

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Departamento de Engenharia Elétrica
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

Tese de Doutorado

Sistema Físico Cibernético Multiagente para Monitoramento Remoto de
Pacientes

Aldenor Falcão Martins

Campina Grande, Paraíba
Março de 2015

Sistema Físico Cibernético Multiagente para Monitoramento Remoto de Pacientes

Aldenor Falcão Martins

Tese de Doutorado apresentada à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande - Campus de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Engenharia da Computação

Angelo Perkusich, D.Sc.

Orientador

Campina Grande, Paraíba, Brasil

©Aldenor Falcão Martins, Março de 2015

**"SISTEMA FÍSICO CIBERNÉTICO MULTIAGENTE PARA MONITORAMENTO
REMOTO DE PACIENTES"**

ALDENOR FALCÃO MARTINS

TESE APROVADA EM 24/04/2015



ANGELO PERKUSICH, D.Sc., UFCG
Orientador(a)



HYGGO OLIVEIRA DE ALMEIDA, D.Sc., UFCG
Examinador(a)



MÁRIA DE FÁTIMA QUEIROZ VIEIRA, Ph.D., UFCG
Examinador(a)

MARIA DEL ROSARIO GIRARDI GUTIÉRREZ, Dr., UFMA
Examinador(a)



EVANDRO DE BARROS COSTA, D.Sc., UFAL
Examinador(a)



JOSÉ SÉRGIO DA ROCHA NETO, D.Sc., UFCG
Examinador(a)

CAMPINA GRANDE - PB

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais, Antonio Martins da Silva (in memoriam) e Vera Lúcia Falcão Martins por sempre privilegiarem o ensino, a disciplina, a fé e o amor.

Post Tenebras Lux

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por me conduzir com saúde e perspicácia para buscar novos desafios. Este trabalho é fruto principalmente das inúmeras horas longe de minha família, de quem sempre tive o apoio irrestrito. Sharon, Adriel e Caleb, obrigado pelo apoio sempre. Agradeço também ao Prof. Angelo Perkusich pela paciência, por irônico que seja, em lidar com minha teimosia, quando tantas vezes insistia em temas longe do objeto do trabalho, me trazendo para um caminho profícuo. Agradeço aos Profs. Hyggo Almeida(UFCG/CEEI) e Evandro Costa(UFAL/IC) pelos seus comentários e suporte. Agradeço ao Prof. Nelson Antônio Moura de Araújo(UFPE/UPE/Medicina) pela ajuda com os exemplos citados de doentes crônicos. Agradeço a Danilo Santos pelos comentários concernentes à arquitetura do sistema.

Resumo

Segundo o IBGE em 2013, o Brasil apresentava 13% de sua população composta por pessoas acima de 65 anos, somado a isto, o estilo de vida das sociedades ocidentais tem facilitado o aparecimento de doenças crônicas cada vez mais cedo. A premissa é que tornemos mais eficiente a utilização do nosso sistema de saúde, pois este é um recurso escasso. Uma forma de melhorar esta eficiência é assegurar que os tratamentos prescritos serão devidamente seguidos. Quando o paciente se encontra no hospital uma gama de recursos monitora a saúde do paciente oferecendo acompanhamento seguro na eventualidade de um desvio, alertando e armazenando as informações do paciente no decorrer de suas atividades. Um recurso que ajuda no acompanhamento deste paciente é a monitoração remota do paciente, que possibilita que sensores enviem a informação da condição de saúde do paciente e permitam o acompanhamento do mesmo. Sistemas Físicos Cibernéticos (SFC) são entidades computacionais ligadas em rede que operam entidades no mundo físico de maneira cooperativa. Tais sistemas podem ser utilizados em redes de monitoramento remoto de pacientes com o fim de apresentar e ajustar o tratamento de acordo com as recomendações do médico. Este trabalho propõe um passo na direção da autonomia, que permita uma melhor qualidade de vida ao paciente crônico, permitindo que situações conhecidas e dentro de um regime de segurança previamente determinado pelo médico sejam ajustadas. Este trabalho apresenta uma proposta de um Sistema Físico Cibernético (SFC), que permite que adequações ao tratamento previamente elaboradas sejam colocadas em planos de tratamento por meio de agentes inteligentes e de planejadores SAT e sejam disponibilizadas de acordo com a mudança da condição do paciente, através de uma rede de monitoramento do paciente, seguindo padrões estabelecidos para dispositivos médicos utilizados em casa que disponibiliza o tratamento ao paciente. O modelo proposto é indicado para o acompanhamento em casa de doenças crônicas através de um coletor central responsável pela coordenação do acompanhamento do paciente.

Palavras Chave: Sistemas Multiagentes, Sistemas Físicos Cibernéticos, Monitoramento Remoto de Pacientes

Abstract

According to IBGE¹ in 2013 13% of the population had 60 or more years old. As the national population ages, we have to move towards more efficient use of SUS². A way to improve is the closer followup of patient's evolution by the healthcare professional. At the hospital the patient has access to a set of equipments and expert knowledge capable to correct the treatment path. From this scenario it is easy to imply the need for a change, the current status quo is unbearable financially and cumbersome for patient and doctor routines. A resource that helps is the remote patient monitoring (RPM) , where sensors provide the latest information about patient's health status and are able to suggest a course correction on the treatment path. A Cyber-Physical System (CPS) is a network of interacting computational entities with physical inputs and outputs that work together towards a goal. A CPS can be part of a RPM in order to present and adjust the treatment according to the healthcare professional recommendations.

This work offers a framework for situations where the medical expert knowledge is complete allowing changes on the treatment path be adjusted with minimum risk. Our proposal to deal with the problem is a CPS based remote patient monitoring network where a model for the system is developed based on Multiagent Agent System (MAS) and automatic planning system based on SAT, allowing safe and minimal course correction on treatment paths already set for a patient. This proposal operates through a central hub element responsible to coordinate the followup of the patient.

Keywords: Multiagent Systems, Cyber-Physical Systems, Remote Patient Monitoring

¹Brazilian Institute for Geography and Statistics

²Brazilian Public Health System

Lista de Tabelas

5.1	Resumo de definições do modelo	73
5.3	Mapeamento baseado na ambiente da aplicação, arquitetura e sensoriamento	102
6.1	Interações medicamentosas e alimentares com a Varfarina	110

Lista de Figuras

1.1	Rede Típica de Monitoramento Remoto do Paciente(RMRP)	8
1.2	Exemplo de Sistema Físico Cibernético Médico.	11
2.1	Exemplo de Sistema Físico Cibernético	20
2.2	Exemplo Sistema Físico Cibernético para o controle de bomba de infusão, [3]	23
2.3	Exemplo Sistema Físico Cibernético para o controle de Diabetes, [27]	24
2.4	Taxonomia para um SFCM,[32]	25
2.5	Modelo de Agente Inteligente	27
2.6	Fluxo para a criação de um plano coordenado	34
3.1	Sistema de Monitoramento EMUTEM,[56]	38
3.2	Localização dos sensores no EMUTEM,[56]	38
3.3	Sistema de Monitoramento Prognosis,[65]	39
3.4	Sistema de Monitoramento de Saragoça,[52]	40
3.5	Arquitetura ICE,[50]	44
3.6	Arquitetura de modelo de rede em nuvem proposta por <i>Rolim et Al.</i> ,[68]	45
3.7	Arquitetura de modelo de prontuário eletrônico proposta por <i>Men- dez et Al.</i> ,[57]	46
3.8	Arquitetura conceitual de modelo de lista inteligente em <i>Avrunin et Al.</i> ,[5]	48

4.1	Organização de interfaces Continua	52
4.2	Coleta de dados via interface sem fio PAN	53
4.3	Coleta de dados via interface sem fio TAN	54
4.4	Autenticação via senha ou sequência utilizando o ACS	55
4.5	Autenticação via NFC no ADPS	56
4.6	Atribuição de uma medida de sinal vital a um usuário	57
4.7	ADPS e ACS(controle-remoto).	58
5.1	Modelo de Agente Mediador	77
5.2	Interação do agente de Serviços de Saúde com o agente Mediador	78
5.3	Modelo de MRP utilizando Sistema Multiagente	79
5.4	Ações necessárias para a criação de um novo serviço de saúde	83
5.5	Máquina de estado da Aplicação de Tratamento	85
5.6	estrutura do MMRPM e relação entre seus papéis	86
5.7	Esquema da Organização MMRPM	88
5.8	Fluxo para a criação de um plano coordenado	94
5.9	O plano coordenado conjunto	95
5.11	Papéis relacionados a cada um dos agentes no sistema	97
5.13	Exemplo de Objetivo no PDT	99
5.15	Exemplo de Percepção no PDT	99
5.16	Exemplo de Ação no PDT	99
5.17	Exemplo de Base de Dados no PDT	100
5.10	Diagrama de papéis no sistema	104
5.12	Visão completa do sistema	105
5.14	Bases de dados e suas relações com os objetivos do sistema	106
6.1	Algoritmo para administração do Marevan	109
6.2	Mockup da interface web do MMRPM	111

Sumário

1	Introdução	7
1.1	Problemática	12
1.2	Objetivo	16
1.3	Relevância	17
1.4	Organização do Documento	18
2	Fundamentação Teórica	19
2.1	Sistemas Físico Cibernéticos	19
2.1.1	Sistemas Físicos Cibernéticos Médicos-SFCM	22
2.2	Sistema Multiagente(SMA)	27
2.2.1	Organização no SMA	28
2.3	Função de Utilidade	35
2.4	Sumário do Capítulo	36
3	Trabalhos Relacionados	37
3.1	Redes de Monitoração Remota do Paciente	37
3.1.1	EMUTEM	37
3.1.2	Prognosis	39
3.1.3	Sistema de MRP da Universidade de Saragoça	40
3.2	Sistemas Físicos Cibernéticos Médicos - SFCM	42
3.2.1	Plataforma de Aplicação Médica-MAP	42
3.3	Sumário do Capítulo	50

4	Modelo de Dispositivo para MRP em Redes Domésticas	51
4.1	As Interfaces do ADPS	53
4.1.1	Autenticação do usuário	54
4.1.2	A implementação do ADPS	57
4.2	Sumário	59
5	Modelo de MRP utilizando Sistema Multiagente - MMRPM	60
5.1	Caso 1	60
5.2	Como o problema é encarado hoje ?	61
5.3	Modelo do Sistema	62
5.3.1	Elementos do Sistema	62
5.4	Estado do Paciente e Planos de Tratamento	66
5.5	Etapas do Tratamento	68
5.5.1	Sumário das Definições do Modelo	73
5.6	Análise Conceitual do Modelo	75
5.7	Arquitetura do MMRPM	79
5.7.1	Cenários de utilização	81
5.7.2	Adição de um novo serviço de saúde	82
5.8	Uma visão geral utilizando normas	85
5.8.1	Estrutura do MMRPM	86
5.8.2	Harmonização e Resolução de Conflitos no Tratamento	93
5.8.3	Problema	95
5.8.4	Processo para definição do tratamento	96
5.9	Ferramentas de desenvolvimento	96
5.9.1	Modelos para análise	97
5.10	Comparativo do MMRPM frente ao Estado da Arte	101
5.11	Sumário do Capítulo	102
6	Estudo de Caso	107
6.1	Exemplo Real	107
6.1.1	Exemplo no tratamento de doença coronariana	107
6.1.2	Adição do paciente ao tratamento do serviço de IAM	111

<i>Sumário</i>	6
6.2 Exemplo na Coordenação de Tratamento	115
6.3 Sumário do Capítulo	118
7 Considerações Finais e Trabalhos Futuros	119
7.1 Contribuições	120
7.2 Trabalhos Futuros	121
Referências Bibliográficas	123

Capítulo 1

Introdução

A sociedade atual tem evidenciado um aumento das Doenças Crônicas Não Transmissíveis (DCNTs), que representam 70% dos gastos mundiais com saúde, com forte tendência a aumentar [7]. As DCNTs podem ser definidas como um mal da vida moderna. No âmbito empresarial, por exemplo, as DCNTs são o maior obstáculo à produtividade, sendo responsáveis por um custo de mais 150 bilhões de dólares por ano [66]. Outras pesquisas que levam em conta fatores indiretos apresentaram valores na ordem de 1.1 trilhões de dólares anuais [40]. Em 2007, os custos diretos e indiretos apenas com a Diabetes Mellitus totalizaram 174 bilhões de dólares nos Estados Unidos [12].

Uma vez que uma DCNT não ocasiona óbito imediato, é possível destacar diversas maneiras de acompanhar o paciente crônico e melhorar sua chance de evitar complicações ainda maiores para sua saúde e assim melhorar sua qualidade de vida. Certamente uma das principais medidas é promover o auto-acompanhamento desse paciente sob supervisão médica [62]. O paciente é instruído a tomar nota dos seus dados vitais com uma certa regularidade e mostrá-los ao seu médico na sua próxima consulta. De posse deste histórico dos sinais vitais do paciente, o médico tem uma melhor chance de avaliar a evolução do quadro do paciente.

A indústria tem desenvolvido equipamentos que permitem fazer a leitura dos mais variados sinais vitais (pressão arterial, temperatura, ECG, glicose, saturação de oxigênio) de um paciente e enviar para um dispositivo com conexão à Internet

de maneira segura. Esta informação é disponibilizada ao médico que pode analisar a mesma em tempo real ou na próxima visita do paciente [51]. Ao uso de dispositivos e da rede que recebe a leitura do sinal vital dá-se o nome de Rede de Monitoramento Remoto do Paciente (RMRP), como ilustrado na Fig. 1.1, onde os elementos principais que compõem a rede possibilitam um maior conhecimento sobre o paciente pelos grupos de profissionais de saúde, resultando em um incremento na qualidade de vida do doente, pois possibilitam ajustes no tratamento em um menor espaço de tempo. A estrutura de um RMRP pode ser simplificada mediante a junção de mais de um elemento que compõem a rede em um único dispositivo [53] ou pode receber informações de dispositivos eletrônicos de consumo espalhados pela casa [54].

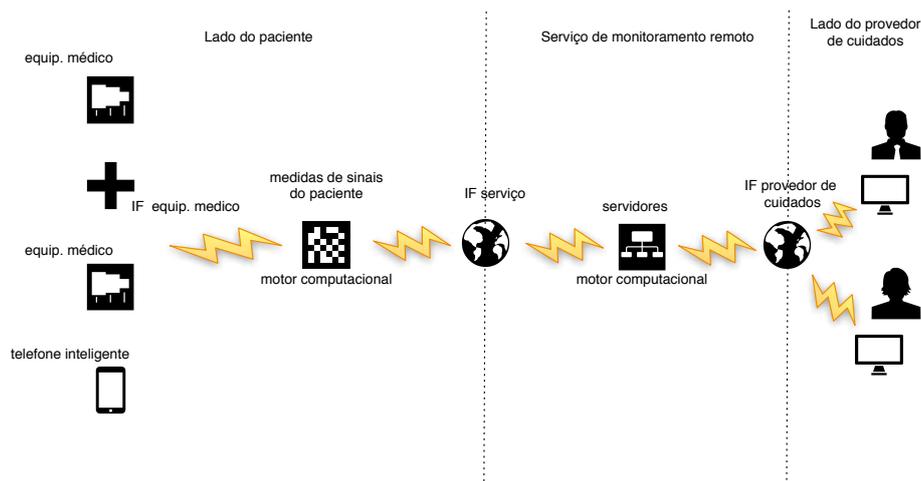


Figura 1.1: Rede Típica de Monitoramento Remoto do Paciente(RMRP)

Desta forma, estas redes de monitoramento podem desempenhar um papel importante para a evolução positiva do quadro clínico do paciente [65]. As RMRP, algumas vezes chamadas de redes de tele saúde ou redes pessoais de atenção à saúde, prestam-se como veículo de prevenção, tratamento e orientação [11, 64].

Dentre as diversas arquiteturas propostas, para uma RMRP, a Continua He-

alth Alliance (CHA) tem se destacado na indústria por se tornar uma promotora dos padrões desenvolvidos em outros fóruns da indústria médica nas áreas de Tecnologia da Informação, Sensores e Comunicação [74]. Com esta rede operando em um ambiente conectado com a Internet, o paciente pode coletar medidas que servem para avaliar o seu estado de saúde a cada momento, disparando alarmes quando alguma situação atípica é identificada. O conhecimento destes alarmes, por parte do paciente, pode servir de alerta para desencadear mudanças de maus hábitos ou ações como, por exemplo, a marcação de uma consulta com o médico ou a mudança de medicamento, além de servirem como base para recomendações de acordo com o histórico do paciente.

Com o advento dos alarmes baseados em monitoramento nos hospitais, o profissional de saúde obteve a capacidade de ajustar os valores de acordo com o perfil do paciente, permitindo que seja notificado quando um dos sinais vitais ultrapassa limites pré-estabelecidos [44]. No entanto, apenas 10% dos mesmos são relevantes, levando muitas vezes os profissionais de saúde a desativá-los ou desconsiderá-los, mesmo que temporariamente [80, 31].

Uma vez que é disparado o alarme, a condição do paciente é avaliada junto com outros sinais vitais e verifica-se se o alarme representa um problema real de saúde para aquele paciente [80]. Neste processo, cada um dos alarmes é verificado unicamente pelo equipamento, portanto quando ao menos um dado vital ultrapassa o limite estabelecido pelo médico o alarme é disparado. Em geral, no equipamento não se leva em conta o histórico do paciente ou tendências que poderiam ajudar a demonstrar que a leitura não faz sentido frente aos valores observados de outros sinais vitais.

Por exemplo, se o valor medido da pressão arterial média ultrapassar um determinado limite pré-estabelecido, o alarme será disparado e a enfermeira irá verificar se de fato a leitura foi correta e se faz sentido diante dos sinais vitais do paciente, tais como: saturação de oxigênio (SpO₂), frequência cardíaca (BPM), glicose (mg/dL) e temperatura (Celsius). Assim, o profissional de saúde utiliza sua experiência para verificar o conjunto completo das medidas e tomar uma decisão quanto à gravidade da situação. A decisão portanto é efetuada mediante

uma análise de todas as medidas, respeitando-se critérios e procedimentos de intervenção estabelecidos na literatura [80]. Sendo assim, é imprescindível que haja um profissional para avaliar o alarme e tomar uma decisão, considerando todos os sinais vitais medidos.

A característica principal de uma RMRP é possibilitar que o paciente seja acompanhado em casa e tenha seu histórico registrado. Inúmeros estudos têm apontado os benefícios de manter-se o paciente em casa [60, 59], mas é inviável considerar um profissional de saúde para cada paciente sendo monitorado, uma vez que nem a demanda nos hospitais pode ser suprida adequadamente, como citados em diversos estudos resumidos em [62]. Isto significa que os alarmes são gerados e o histórico é armazenado, mas nenhuma decisão autônoma é tomada.

Felizmente em alguns casos pode-se repassar a função de tomada de decisão para um equipamento médico. Por exemplo, o marca-passo é um dispositivo que é programado pelo médico durante o procedimento cirúrgico, para entrar em funcionamento na eventualidade de uma anomalia no comportamento do coração, de acordo com as funções projetadas pelo fabricante do marca-passo [6]. Durante o procedimento cirúrgico para colocação do dispositivo, o médico escolhe para que situação o equipamento deverá funcionar [50]. Uma vez programado e devidamente ajustado, se em algum momento posterior o coração sofrer alguma interrupção na função reconhecida pelo marca-passo, o mesmo dispara um pulso elétrico que permite que o coração tenha sua função normalizada.

Neste caso, o processo envolvendo o sistema cardiovascular é profundamente conhecido pela Medicina e a prática já é estabelecida entre os profissionais de saúde. Nesta condição específica não seria possível ter sempre ao lado do paciente um cardiologista, que detectasse o problema e em tempo hábil fizesse uma intervenção. Assim, a possibilidade de delegar o controle a um dispositivo permite que o paciente possa experimentar uma qualidade de vida que não seria possível de outra maneira.

Sistemas que conectam o mundo virtual (ex: dispositivo do marca-passo que atua sobre o coração) e o mundo físico (ex: dados de leitura de batimento cardíaco) são denominados Sistemas Físico Cibernéticos (SFCs) [48]. A estrutura de um SFC [47, 48] estabelece a figura de um planta (ou processo físico que precisa ser

controlado) que é monitorada por sensores, elementos que percebem o estado atual do sistema e que se comunicam em rede, e de elementos chamados de atuadores que agem para manter ou restabelecer o estado da planta (Fig. 1.2). SFCs aplicados à área de saúde são denominados Sistemas Físico Cibernéticos Médicos (SFCMs).

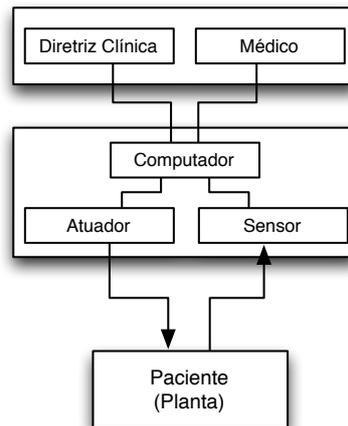


Figura 1.2: Exemplo de Sistema Físico Cibernético Médico.

A planta se comunica e recebe estímulos de um ou mais subsistemas, que são responsáveis por interpretar dados recebidos através dos sensores e atuar na mudança deste estado, através dos atuadores, de modo que a planta venha a alcançar uma nova condição. O atuador é acionado através do computador, que é o elemento que decide, de acordo com as regras armazenadas, quando uma mudança deve ser imposta na condição do sistema. Como se observa, a planta pode interagir com um ou mais subsistemas. Cabe ao computador ajustar de maneira dinâmica para preservar ou alterar a condição do sistema, utilizando informações advindas dos sensores ou através de um outro subsistema conectado à mesma planta. O médico representa um subsistema que atua na planta, de acordo com os dados que recebe dos outros subsistemas (pressão arterial, nível de glicose, temperatura), sendo responsável por fechar a malha, tomando decisões baseadas na sua experiência e treinamento profissional. Em um SFCM, o médico programa o computador

e o computador fecha a malha, sendo parte integrante da solução para autonomia assistida do sistema.

No caso de um SFCM, o controle cabe ao próprio computador que vai se ajustar de acordo com as regras estabelecidas no sistema, ou seja, o sistema ganha uma autonomia limitada, possibilitando que tarefas determinadas pela diretriz clínica possam agora ser executadas sem erros ou atrasos. É importante frisar que o médico continua sendo aquele que estabelece os limites de atuação do sistema e que estas soluções não procuram substituir o médico.

SFCMs se apresentam como uma solução adequada para viabilizar RMRPs com suporte à autonomia, sem a necessidade de presença constante do médico. É neste contexto que se insere o presente trabalho, mais especificamente na proposição de soluções que possam auxiliar o paciente no monitoramento de sua condição de saúde em sua residência, oferecendo autonomia no redirecionamento do seu tratamento, para as situações já previstas em diretrizes clínicas que são publicadas pelas diferentes associações de diferentes especialidades médicas, como a Associação Brasileira de Cardiologia, Associação Brasileira de Diabetes, entre outras, que se prestam a atualizar o conhecimento dos especialistas em relação a cada uma das condições de saúde que dizem respeito às suas especialidades.

1.1 Problemática

Implantar um SFCM para prover autonomia para uma RMRP em uma residência implica em algumas dificuldades do ponto de vista técnico. No ambiente hospitalar a rede que é utilizada para comunicação entre os dispositivos é dedicada, isolada, com controle de tráfego, com arranjo semelhante ao descrito em [2], o que implica em um ambiente não sujeito às dificuldades de um ambiente de monitoramento operando em casa. Em termos de comunicação o ambiente e qualidade de operação da rede não são certificados, estando sujeitos à sobrecargas e interferências, pois é compartilhada com outros serviços.

Devido à necessidade de redução de custos, os sensores utilizados para monitoramento em casa normalmente não apresentam as redundâncias existentes nos

equipamentos que são utilizados nos hospitais. Soma-se a isso que em um hospital os equipamentos são conectados geralmente via fios, o que aumenta a confiabilidade da transmissão. No ambiente em casa precisa-se ter flexibilidade pois tanto a rede de comunicação como o ambiente são utilizados para outros propósitos. Busca-se então um modelo que possa representar a estrutura de sensores que recebem informação do paciente e estabeleça uma resposta adequada à mudança de estado de maneira segura para o paciente.

Além disso, no dia a dia do paciente na residência, a presença do médico para tomada de decisão é praticamente inviável. Sendo assim, a necessidade de autonomia do paciente para o tratamento deve ser considerada como um requisito imprescindível ao SFCM. Essa demanda por suporte *in loco* à tomada de decisão é ainda mais crítica para determinados tipos de pacientes. Aos pacientes que apresentam mais de duas condições crônicas, denominados Pacientes com Doença Crônica Complexa (DCC), o processo decisório é imperativo. Para estes, a possibilidade de se ter ajustes no tratamento se houver algum desvio de sua condição, é uma questão de risco de morte. Quando o paciente apresenta estas condições no hospital, as mudanças no tratamento são feitas imediatamente, pois existe a informação colhida pelo sinal vital e a presença do profissional, que interpreta a informação mediante sua experiência e a prática estabelecida.

A questão é por que não implementar tal capacidade decisória em dispositivos médicos para serem acionados na eventualidade da condição descrita ser alcançada? A resposta envolve o quanto se conhece de determinada situação e da viabilidade de se monitorar continuamente os sinais vitais necessários para se estabelecer se o paciente encontra-se numa situação de normalidade. Diferentemente da condição que envolve o marca passo no sistema cardiovascular, a decisão para a administração de um determinado procedimento clínico precisa avaliar mais de um sinal vital juntamente com o histórico do paciente.

Há diversos trabalhos na literatura que abordam o monitoramento remoto de pacientes. Em *Medjahed et al.*[56] é apresentada a proposta de monitoramento utilizando o EMUTEM, sistema que utiliza fusão de dados para o monitoramento da saúde em casa. O EMUTEM realiza a fusão através de informações obtidas

mediante sensores de localização, de som e de sinais vitais. De acordo com [56], a originalidade do sistema encontra-se na combinação de várias modalidades de sensores em casa. A fusão de dados acontece por meio de lógica difusa para classificação da informação.

Em *Pantelopoulos et al.*[65] são descritos o método e o modelo de um protótipo de rede de monitoramento remoto (RMRP), que é capaz de estimar a condição do paciente (doente, normal) e enviar alertas sobre a condição de saúde do paciente para os profissionais de saúde, mediante um nó central, responsável pela comunicação do sistema com o centro médico. Contudo, não se discute como se garante que a informação coletada pelo sistema será entregue caso ocorra uma falha. O conjunto de medidas envolve parâmetros fisiológicos (sinais vitais), que são mensuráveis via sensores e parâmetros não-mensuráveis, onde a informação é enviada através de interação verbal com o paciente. Estes parâmetros são submetidos à fusão de dados, onde é estimada a condição do paciente mediante uma máquina de estados de lógica difusa.

Em *Martinez et al.*[52] é descrita a experiência adquirida na implementação de uma RMRP utilizando-se tecnologias já aceitas como padrão pela indústria. São apresentadas as experiências na utilização do IEEE 11073, protocolo para a coleta e transmissão de dados de equipamentos médicos (protocolo X73 via ISO), para comunicação e da utilização do EN1306 (substituto do HL7 para EU). O experimento envolveu o envio de informações obtidas no dispositivo médico (sinal vital) baseado em 11073 até a sua armazenagem utilizando uma base de dados EN1306 para o armazenamento de registros.

Em *Insup et al.*[50] são descritos os desafios encontrados no desenvolvimento de Sistemas Físicos Cibernéticos Médicos (SFCM), junto com a descrição da abordagem desenvolvida para a implementação de um SFCM, descrevendo as etapas de desenvolvimento, modelagem, verificação e validação do sistema. A metodologia herda do ICE e MDCF[33] a estrutura básica, tendo no Gerente de Interoperabilidade (GI) a coordenação das aplicações de equipamentos médicos virtuais e protocolos clínicos que precisam ser seguidos pelo sistema. O GI implementa as funções de gerenciamento de equipamentos, de serviço de publicação-assinatura

de mensagens e gerenciamento de aplicação de dispositivo médico virtual (VMD), responsável pela implementação de um *workflow* na condução do protocolo clínico de tratamento.

Em *Rolim et al.*[68] é proposta uma arquitetura para a coleta de dados que se propõe a ser extensível e que automatiza a coleta de dados. Para a implementação dos módulos de processamento e coleta utiliza máquinas virtuais que são executadas em um sistema baseado em Open Nebula. Os autores afirmam que a arquitetura apresentada no trabalho possibilita a reutilização da estrutura e oferece um ambiente propício para o monitoramento de pacientes não críticos.

Em *Mendez et al.*[57], é tratado o desenvolvimento de uma interface SFC para a leitura automática de sinais vitais. Os autores consideram que esta é uma solução para os casos de erros de leitura e otimização de tempo da equipe médica. O artigo oferece uma interface SFC que integra sensores em uma rede com fio que permite a recuperação e armazenamento de informações em um Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP).

Em *Avrunin et al.*[5], é apresentada a proposta de uma lista inteligente que assiste e guia o corpo médico nas suas tarefas. A interação com os equipamentos e aplicações em software também são suportadas pelo sistema. Os autores desenvolveram como parte do sistema um processo de monitoramento do paciente.

Em *Don et al.*[21], é proposta uma arquitetura de processamento em *Big Data*¹ para SFCM, que combina o mundo físico com provisão dinâmica e estrutura flexível em tempo real para o processamento de domínios diferentes de informação necessários à tomada de decisão para o ambiente médico.

Apesar da grande quantidade de trabalhos existentes na área, nenhum dos trabalhos encontrados na literatura aborda os desafios e problemas inerentes à implantação de RMRP com suporte à autonomia, com ou sem o suporte de um SFCM, no ambiente residencial do paciente. É neste foco específico que o trabalho aqui proposto traz contribuições para a área.

Diante do exposto acima, enuncia-se o problema abordado nesta tese: *como possibilitar o desenvolvimento de redes de monitoramento remotos de pacientes,*

¹Termo que se refere a soluções computacionais para lidar com dados em volume.

considerando o ambiente residencial, ainda garantindo autonomia mesmo sem a supervisão médica?

1.2 Objetivo

Neste trabalho, tem-se como objetivo a concepção de um modelo de Sistema Físico Cibernético Médico que possa ser utilizado como uma Rede de Monitoramento Remoto de Paciente, com suporte à autonomia, em ambiente residencial, utilizando dispositivos médicos pessoais, que tenha a capacidade de seguir um tratamento mediante a utilização de diretrizes clínicas.

O modelo é baseado em três conceitos para abordar os problemas discutidos anteriormente: i) a RMRP é concebida como um sistema multiagente [85], herdando características importantes como gerenciamento de autonomia, conhecimento descentralizado e resolução de conflitos; ii) a infraestrutura segue padrões da Continua Health Alliance, como o IEEE 11073, cuja implementação aumenta a confiabilidade do ambiente de rede residencial; iii) o conhecimento se baseia em diretrizes clínicas, promovendo uma padronização relacionada ao monitoramento e auxílio ao tratamento dos pacientes.

Com base no objetivo principal, podem ser elencados os seguintes objetivos específicos:

1. Definir um modelo de sistema de monitoramento do paciente considerando as limitações do ambiente doméstico.
2. Definir uma arquitetura de software baseada no modelo proposto.
3. Definir uma arquitetura de integração entre sensores de acordo com padrões da Continua Health Alliance;
4. Exemplificar como se daria a implementação deste software utilizando ferramentas compatíveis com o ambiente residencial.
5. Demonstrar a automatização da resolução de conflitos mediante a utilização de diretrizes clínicas.

1.3 Relevância

Como descrito em [62, 45], a crescente demanda pelos serviços de saúde implica em um conjunto de demandas que são impossíveis de serem atendidas levando em conta a realidade da medicina no cuidado primário do paciente, em termos de custo, tempo e estrutura para tratar estes pacientes. Os sistemas baseados em SFC têm ampla possibilidade de modificar a forma como interagimos com o mundo ao nosso redor [84]. Na literatura têm sido apresentados casos onde a interação destes subsistemas com o mundo físico possibilitam a criação de novas formas de utilização dos sensores [53], onde se obtém um aperfeiçoamento nos processos de controle e observação envolvidos. Isto se deve à possibilidade de geração de informação mediante o compartilhamento dos dados dos sensores e atuação no sistema através dos diversos elementos físicos.

A abordagem proposta tem relevância e contribuição em relação ao estado da arte ao possibilitar a adição de diretrizes clínicas na rotina do tratamento em casa. Isto implica que a estrutura de acompanhamento estabelecida pelo médico pode ser incorporada minimizando os erros, pois será assumida diretamente pelo sistema para os dispositivos do paciente.

Outro ponto importante é a possibilidade de atualização do estado de saúde do paciente. Um sistema que mantém o histórico possibilita que o corpo clínico tenha confiança nas informações apresentadas para planejamento de novas etapas de tratamento. As restrições de custo e tempo que afligem o corpo clínico podem ser melhor direcionadas quando se dispõem de histórico sobre que condições devem ser priorizadas numa próxima reavaliação.

Com a adaptação inteligente para o tratamento, uma vez implementada uma diretriz clínica, o histórico da utilização do sistema possibilita que o próprio sistema utilize esta informação para verificação da taxa de sucesso da adoção de determinadas diretrizes.

Por fim, com a resolução automática de conflitos, os eventuais conflitos entre os tratamentos para um mesmo paciente são resolvidos mediante o ajuste das etapas que priorizam o tratamento de maior criticidade.

1.4 Organização do Documento

O restante desse documento está organizado da seguinte forma:

- No Capítulo 2 são apresentados conceitos relacionados ao trabalho considerados importantes para o entendimento do restante do documento.
- No Capítulo 3 são apresentados os trabalhos relacionados à solução proposta.
- No Capítulo 4 são apresentados um modelo de agregador de dispositivos para redes domésticas e os resultados de uma implementação de um dispositivo responsável pela coleta dos dados vitais de saúde por um usuário.
- No Capítulo 5 descreve-se o modelo de sistema proposto e da arquitetura de software para a implementação do modelo.
- No Capítulo 6 apresenta-se como o modelo pode ser utilizado no auxílio ao tratamento de uma condição de saúde.
- No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões e principais contribuições desse trabalho.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

2.1 Sistemas Físico Cibernéticos

Em 2006 foi cunhado o termo Sistema Físico Cibernético (SFC) por Helen Gill [48]. Um SFC tem a habilidade de conectar o mundo virtual ao mundo físico e representar de maneira satisfatória o mundo físico.

Como descrito no Cap. 1, o SFC é uma abordagem utilizada para descrever as interações entre computadores e a atuação destes elementos controlados pelos computadores que fazem parte do mundo físico. De acordo com a informação fornecida pelo sensores que leem a informação do mundo físico, o SFC, através de um conjunto de regras previamente definidas, aciona os atuadores que realizam uma tarefa programada de acordo com a informação fornecida pelos sensores. Um SFC apresenta uma arquitetura como descrita na Fig. 2.1.

Um Sistema Físico Cibernético(SFC) é um sistema que possui subsistemas físicos junto com elementos de computação e comunicação em rede. Um SFC geralmente possui os três elementos(físico, computacional e rede) [48]. A origem do termo Cibernético é baseada na descrição feita por Norbert Wiener, matemático americano, que trabalhou no desenvolvimento do controle de miras em baterias antiaéreas na Segunda Guerra Mundial. Wiener cunhou o termo Cibernético que vem do grego (Kibernetes) e significa o senhor, governador, piloto, para descrever o sistema de realimentação (feedback) nos sistemas de controle, sua teoria é a base

para os sistemas de controle com realimentação utilizados hoje.

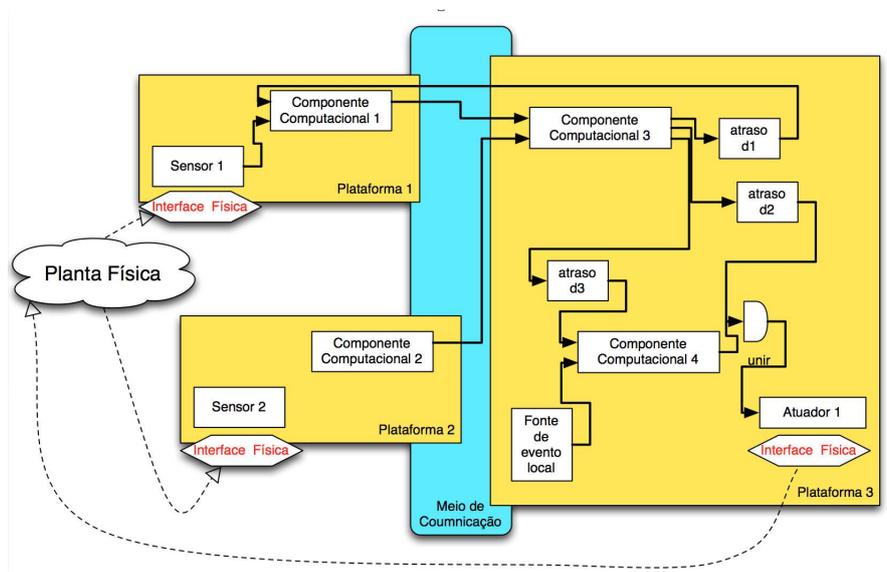


Figura 2.1: Exemplo de Sistema Físico Cibernético

Por definição, sistemas com característica SFC tem um descrição do ambiente físico em que estão inseridos de forma que possibilite atuar neste ambiente físico (Planta). A premissa de poder atuar no mundo físico independente da ação do um elemento externo, fornece ao SFC uma autonomia restrita, primeiro na medida do quão completo é conhecimento do processo físico ao qual está submetido a Planta, segundo, isto depende também qual é a capacidade de sensoriamento neste ambiente. Por exemplo, o processo ao qual é submetido o marca-passo é completamente conhecido, e de maneira completa a informação necessária para acioná-lo também é fornecida pelo próprio marca-passo. Num outro exemplo podemos ter um algoritmo que detecte a queda de um indivíduo, através de sensores de movimento, usado em casos de tratamento de pessoas incapacitadas, o algoritmo necessita que os sensores estejam presentes em cada cômodo no qual o indivíduo se locomove, se dispomos de um sensor apenas em um dos cômodos em um ambiente com três cômodos, não teremos informação suficiente para atuar nos cômodos restantes. A questão do quão completa é a informação do ambiente externo remete a discussões que envolvem o quão bem conhecemos a situação sobre a qual devemos decidir e as implicações desta decisão com a finalidade de restaurar ou alterar o estado cor-

rente deste Paciente(Planta), isto implica em uma especialidade do conhecimento do elemento que vai auxiliar a tomada de decisão.

Características do SFC

Um sistema SFC apresenta as seguintes características:

- É composto por subsistemas que possibilitam a interação com o mundo físico, ou seja contém atuadores;
- Lê informações do mundo físico e processam essas informações, possuem sensores;
- Permite a comunicação entre os subsistemas físicos com o fim de satisfazer certas condições;
- Permite a computação das informações coletadas através dos subsistemas e envia comandos para os atuadores.

A literatura descreve casos da utilização de sistemas SCF para a Medicina (SFCM)[49, 46, 13], nestes casos um ambiente para a medicina exhibe características particulares [49], onde deve conter um conjunto de regras e treinamento, que seriam os guias de procedimento clínico¹; um elemento central de gerenciamento, que é alimentado com as regras e histórico do paciente; diversos subsistemas com sensores, que fornecem informação, sinais vitais ao gerente central ou subsistemas com atuadores, que executam tarefas, mediante comandos do gerente central.

Esta arquitetura oferece a possibilidade da construção do que seria um elemento de controle, baseando-se em Sistemas Especialistas que auxiliam no processo decisório. Exemplos desta arquitetura podem ser encontradas em :

- Em [50] é descrita a arquitetura para um caso de Bomba de Infusão onde é relatado o desenvolvimento de trava de segurança via software a fim de impedir que um paciente debilitado na sua capacidade respiratória receba doses da droga acima do níveis de segurança para a manutenção de sua vida[44];

¹Clinical Workflows

- Em [43], onde é descrito todo o processo utilizado no desenvolvimento de uma solução para monitorar os pacientes oriundos de cirurgia de *bypass*²; a informação coletada e alarmes inteligentes para pacientes que foram submetidos a cirurgia de CABG (Coronary Artery Bypass Graft) [43].

Em [46] é descrita uma proposta de SFC para equipamentos médicos pessoais que foi testada em ao menos dois casos em ambientes hospitalares:

- Bomba de infusão, onde um SFCM, foi implementado através de um alarme inteligente para impedir a utilização da bomba de infusão quando o paciente se encontrar sobre risco, através de um trava de segurança via software quando o nível de saturação de oxigênio encontra-se abaixo de um determinado valor.
- Sistemas de Alarmes inteligentes para pacientes oriundos de Cirurgia Cardíaca de Ponte (ex. Ponte Safena) levando em conta o histórico do paciente e análise contínua do conjunto de medidas a fim de evitar que alarmes falsos positivos sejam acionados e assim seja alcançada coerência com a real condição do paciente. O sistema utiliza lógica bayesiana para separação dos casos e lógica difusa para determinação do grau de pertencimento da condição.

2.1.1 Sistemas Físicos Cibernéticos Médicos-SFCM

A Medicina tem sido uma das áreas de foco no desenvolvimento de SFC e alguns casos tem sido relatados [77, 82, 79, 76, 27, 3], a este foco tem se dado o nome SFCM (Sistema Físico Cibernético Médico). Para se executar a cirurgia em um coração, hoje o médico pára o funcionamento do coração, faz a cirurgia e reanima o coração. O problema é que podem ocorrer complicações e o coração não conseguir ser reanimado. Uma solução para isso é a utilização de ferramentas cirúrgicas robóticas controladas por um computador que possibilite que o cirurgião veja uma representação estereoscópica do coração e execute a cirurgia vendo um coração imóvel, mas que na realidade encontra-se em movimento [48]. Outro caso desenvolvido é utilização de trava de segurança em casos de analgesia controlada pelo

²ou popularmente chamada de ponte em português, sendo a mais conhecida a ponte de safena

paciente, onde a bomba de infusão controlada apenas possibilita a administração de uma nova dose após checar com o mecanismo de controle se uma nova dose é segura para o paciente (Fig. 2.2). O mecanismo de controle recebe informação de um oxímetro que mede continuamente a saturação de oxigênio do paciente (SpO₂) e a frequência cardíaca (HR), e envia a informação para o controlador, se a análise do nível de SpO₂ junto com o HR estiver abaixo de um determinado limite a bomba é instruída a ligar a trava de segurança e informar ao paciente que não é possível aplicar a droga.

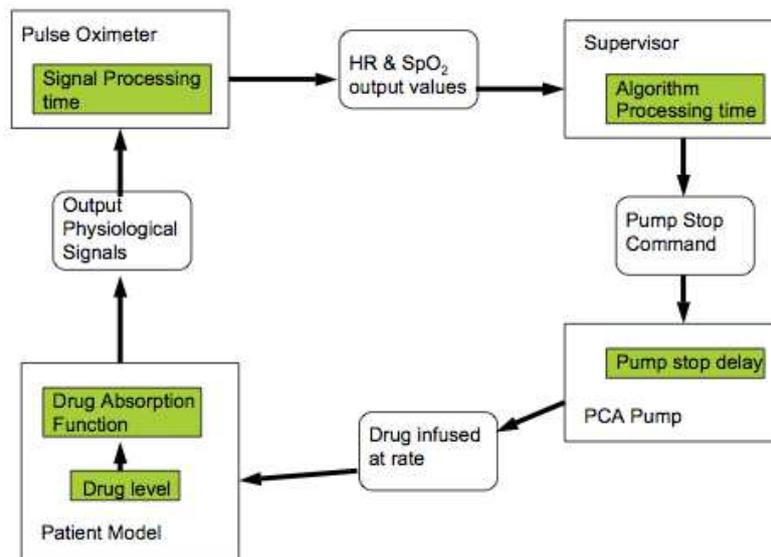


Figura 2.2: Exemplo Sistema Físico Cibernético para o controle de bomba de infusão, [3]

Suponha o seguinte caso SCFM (Fig. 2.3): o paciente é diabético tipo 1 e utiliza-se de um serviço que monitora continuamente o seu nível de glicemia. Uma vez detectada uma tendência de aumento de glicemia, respeitando um padrão de segurança, o SFC permite que seja enviado um alarme de registro para a central de monitoramento, que no caso é um computador da bomba de insulina, e envia um comando para o atuador para injetar insulina no paciente.

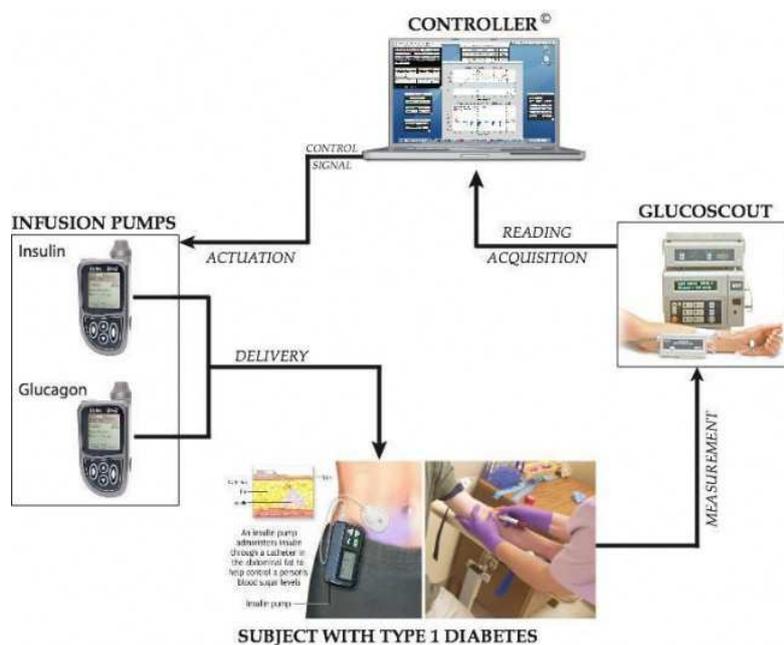


Figura 2.3: Exemplo Sistema Físico Cibernético para o controle de Diabetes, [27]



Figura 2.4: Taxonomia para um SFCM,[32]

Classificação de um SFCM

Para a classificação de um SFCM a pesquisa encontrada em [32], estabelece um taxonomia para a a classificação de modelos em SFCM. Considerando os aspectos desenvolvidos em [32], podemos observar uma aplicação SFCM para a casa de acordo com as seguintes características:

1. Ambiente de utilização da aplicação, que pode ser dividido em Ambiente As-

sistido ou Ambiente Controlado, num ambiente de assistência se busca não restringir a independência do paciente, em um ambiente controlado se tem o humano no meio da malha fechada, que é a situação encontrada em uma unidade de terapia intensiva. No caso de um SFCM em casa, o paciente encontra-se em um ambiente de assistência, onde se busca automatização de tarefas, os requisitos apresentam uma menor complexidade devido a um menor risco associado.

2. Arquitetura da solução SFC envolve aspectos de Infraestrutura, Aquisição de Dados e Composição. No caso da Infraestrutura, a monitoração de um ambiente doméstico pode ser satisfeita mediante um solução em Rede ou em Nuvem. A aquisição de dados pode ser considerada Leve para um ambiente de aplicação atuando com medidas simples, como temperatura, ou Pesado, quando considerado um alto fluxo de dados, como no tráfego de imagens. Na questão da composição dos sistemas podemos ter um sistema definido dinamicamente ou definido pelo usuário.
3. Requisitos de Sensoriamento, onde são consideradas as características de Tipos de Sensores, Método de Sensoriamento e Parâmetros Observados.
4. Computação, onde são tratados os aspectos de Modelagem do problema que se buscar resolver e as questões da complexidade do Monitoramento que se busca para a solução.
5. Comunicação, onde são apresentadas as questões de Agendamento da tarefa que se ocupa em resolver o problema observado e os aspectos de arquitetura dos Protocolos envolvidos nesta Comunicação.
6. Segurança, onde são avaliados os aspectos de Privacidade da informação fornecida e de Cifragem desta informação.
7. Controle/Atuação, que envolve os aspectos de como se dá a tomada de Decisão e os Mecanismos necessários para automatização dos aspectos do sistema.

2.2 Sistema Multiagente(SMA)

Um agente inteligente como descrito em [85](Fig. 2.5), é um elemento computacional que percebe o ambiente no qual está inserido e através de informação coletada através de sensores, consegue decidir qual a trajetória mais adequada para recuperar o estado anterior do sistema observado ou levar o sistema a um estado que possa ser descrito como adequado para operação do sistema.

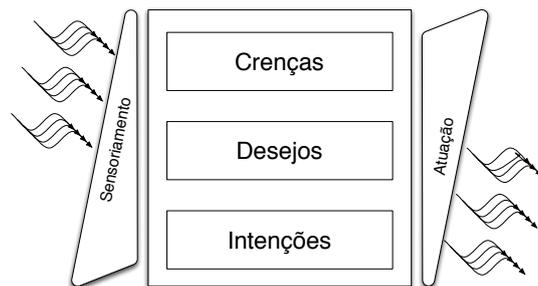


Figura 2.5: Modelo de Agente Inteligente

Da definição de agentes, nos deparamos com aplicações que necessitam da interação entre diversos indivíduos de modo que um determinado objetivo seja alcançado, as ações destes indivíduos tem que ser coordenadas, onde cada indivíduo tem responsabilidades e objetivos distintos, que podem ou não competir entre si. Se pensarmos em cada indivíduo como um agente, podemos denominar tais sistemas como *Sistemas Multiagentes*. O tal conjunto de agentes tem a capacidade de perceber e de agir sobre o ambiente. Um SMA [85] é caracterizado como um sistema onde:

1. Cada agente tem informação incompleta ou não são completamente capazes de oferecer uma resolução do problema;
2. Não existe um controle central;
3. Os dados são descentralizados;
4. A computação é assíncrona.

De acordo com [85], um SMA apresenta, as seguintes características:

1. Disponibilizam uma infraestrutura que especifica protocolos de comunicação e interação;
2. São tipicamente abertos e não centralizadores;
3. Contém agentes que são autônomos e distribuídos, e podem ser apresentar interesse-próprio ou serem cooperativos.

Ainda segundo [85], um aspecto que merece destaque é que em um SMA, os agentes são entidades autônomas, que possuem seus próprios interesses individuais, crenças e capacidades. Desta perspectiva, o comportamento global do sistema emerge, através das interações individuais, assim o comportamento completo do sistema não pode ser completamente previsto. No entanto em ambientes críticos, o comportamento global do sistema deve ser considerado, que é o caso de um sistema que interage com a saúde do paciente. Desta forma vamos pré-estabelecer qual o melhor caminho, que deve ser seguido por um agente, de modo que o mesmo cumpra com a missão com a qual está comprometido.

2.2.1 Organização no SMA

Uma teoria que tem recebido considerável atenção na literatura é o conceito de Especificação Organizacional[28, 38]. Esta visão que está bem fundamentada em [18], pode ser desenvolvida através de uma visão centrada no agente ou através de visão centrada na organização. A organização estabelece um conjunto de restrições de comportamento que um grupo de agentes adota, de modo a controlar a autonomia do agente e alcançar os objetivos globais [37], sendo que nesta as restrições da organização são definidas previamente e estabelecidas através da definição de *planos* e *papéis*. Os planos definem o *funcionamento* da organização (a especificação dos planos globais, políticas para alocação de tarefas para os agentes, a coordenação na execução de um plano e a qualidade do plano), nesta dimensão os propósitos são melhores alcançados pois os SMAs tem um tipo de memória organizacional onde os melhores planos para alcançar o objetivo global são armazenados. Na dimensão dos papéis são abordados aspectos estáticos, ou *estruturais*,

tais como: os papéis atribuídos a cada agente, as relações entre estes papéis (comunicação, autoridade, conhecimento, compatibilidade), relações de obrigações e permissões.

Estas relações organizacionais podem ser definidas através da metodologia *Moise*⁺, que considera a estrutura, funcionamento e a relação deôntica, nos níveis individuais, coletivos e sociais.

Especificação Estrutural

Como descrito em [38], no *Moise*⁺, os conceitos principais de *papéis*, *relações* entre os papéis e *grupos* são utilizados para construir os aspectos individual, social e coletivo dos níveis estruturais de uma organização.

- *Nível Individual*: Formado por papéis em uma organização. Ao aceitar a entrada em um grupo que desempenha um determinado papel, o agente se submete a um conjunto de restrições que devem ser seguidas. Estas restrições são definidas em relação a outros papeis, no nível coletivo estrutural e na relação deôntica com os planos globais, na dimensão funcional. Se um papel ρ' herda de um papel ρ (descrito como $\rho \sqsubset \rho'$), com $\rho \neq \rho'$, onde ρ' recebe algumas propriedades de ρ , e ρ' é um sub-papel, ou especialização de ρ . Onde o conjunto de todos os papéis é denotado por \mathcal{R}_{ss} . Defini-se também *papel abstrato* como um papel que é não assumido por nenhum agente, mas tem um propósito especificacional. O conjunto de papéis abstratos é especificado como $\mathcal{R}_{abs}(\mathcal{R}_{abs} \subset \mathcal{R}_{ss})$.
- *Nível Social*: As *ligações* [30] são relacionamentos que restringem os agentes e são representadas pelo predicado $link(\rho_s, \rho_d, t)$ onde ρ_s é a ligação fonte, ρ_d é a ligação de destino e $t \in \{acq, com, aut, compat\}$ é o tipo de ligação. No caso que ligação $t = acq$ (acquaintance), os agentes que assumem o papel de fonte (ρ_s) são permitidos terem uma representação dos agentes que assumem o papel destino (ρ_d), em uma ligação de comunicação ($t = com$), os agentes do tipo (ρ_s) tem permissão para se comunicarem com os agentes do tipo (ρ_d), em uma ligação de autoridade ($t = aut$), os agentes (ρ_s) tem autoridade

sobre os agentes (ρ_d), ou seja tem controle sobre os mesmos. Uma ligação de autoridade, caracteriza uma ligação de comunicação que implica numa ligação de conhecimento:

$$\text{link}(\rho_s, \rho_d, \text{aut}) \Rightarrow \text{link}(\rho_s, \rho_d, \text{com}) \quad (2.1)$$

$$\text{link}(\rho_s, \rho_d, \text{com}) \Rightarrow \text{link}(\rho_s, \rho_d, \text{acq}) \quad (2.2)$$

Com relação à herança, as ligações seguem as regras:

$$\text{link}(\rho_s, \rho_d, t) \wedge \rho_s \sqsubset \rho'_s \Rightarrow \text{link}(\rho'_s, \rho_d, t) \quad (2.3)$$

$$\text{link}(\rho_s, \rho_d, t) \wedge \rho_d \sqsubset \rho'_d \Rightarrow \text{link}(\rho_s, \rho'_d, t) \quad (2.4)$$

- *Nível Coletivo*: A restrição de compatibilidade $\rho_s \bowtie \rho_d$ estabelece que os agentes que assumem o papel ρ_s também são permitidos assumir o papel ρ_d (uma relação transitiva e reflexiva), detalhes podem ser encontrados em [38].

Especificação Funcional

O *Moise*⁺ baseia-se no conceito de missões, que são um conjunto de planos, e planos globais que são os objetivos de uma estrutura. Estes conceitos são apresentados numa árvore de decomposição de objetivos-GDT³, chamada de Esquema Social(SCH) [38]. Onde a raiz é o objetivo do SCH e onde as responsabilidades para os sub-objetivos são distribuídas em missões. Cada objetivo pode ser decomposto em sub-objetivos através de planos que utilizam 3 (três) operadores que são sequência, escolha ou paralelismo. Em um SCH, uma missão é um conjunto de objetivos coerentes com os quais um agente se compromete.

Um esquema social(SCH) é representado pela tupla $\langle \mathcal{G}, \mathcal{M}, \mathcal{P}, mo, nm \rangle$, onde \mathcal{G} é o conjunto de objetivos globais; \mathcal{M} é o conjunto de missões; \mathcal{P} é o conjunto de

³Goal Decomposition Tree

planos que formam a estrutura da árvore; $mo : \mathcal{M} \rightarrow \mathbb{P}(\mathcal{G})$ é uma função que especifica o conjunto de objetivos da missão; e $nm : \mathcal{M} \mapsto \mathbb{N} \times \mathbb{N}$, especifica o número mínimo e máximo de agentes que precisam estar comprometidos com o esquema de modo que seja declarado bem formado, para detalhes ver [38]. A especificação funcional é um conjunto de SCHs e preferências da missão que descreve como um SMA alcança seus objetivos globais.

Especificação Deontica - Normas

No $Moise^+$ esta relação é especificada no nível individual como permissões e obrigações de um papel em uma missão. Uma permissão $per(\rho, m, tc)$ estabelece que um agente que assume o papel ρ tem permissão para se comprometer com a missão m e que tc é a restrição de tempo da permissão. A especificação deontica é um conjunto de permissões e obrigações para os agentes, por meio do SCH através de missões.

Em lógica deontica, uma norma é vista como uma obrigação ou permissão que um indivíduo possui em um sistema social[8]. A Obrigação pode tornar uma forma de negação, que poderá ser considerada uma proibição.

Como descrito em [35], agentes normativos devem ter a habilidade de representar normas através do uso de lógica e assim ter a possibilidade de disponibilizar um sistema baseado em regras.

Planejadores SAT

Com o intuito de reproduzir a capacidade de planejar objetivos, a comunidade de Inteligência Artificial dedicou-se ao estudo de técnicas de representação do conhecimento e a construção de planejadores, este campo de estudo passou a ser chamado de *Planejamento Automático* [29][41].

Formalmente o problema do planejamento pode ser representado pela tupla:

Definição 1 (Planejamento) *Podemos definir que o planejamento é :*

$$P = \langle T, e_0, G \rangle \tag{2.5}$$

onde:

- T Conjunto de transição de estados;
- e_0 Estado inicial;
- G Conjunto de objetivos.

Um conjunto T , é representado pela seguinte tupla:

Definição 2 (Transição de estados) Podemos definir que o planejamento é :

$$T = \langle S, A, z \rangle \quad (2.6)$$

onde:

- $S = s_0, s_1, \dots, s_n$ é o conjunto de estados;
- $A = a_0, a_1, \dots, a_m$ é o conjunto de ações;
- $z = S \times A \rightarrow S$ função de transição de estados.

Um plano P é formado por uma sequência linear de ações que satisfaz G , de modo que:

- $s_1 = z(s_0, a_i), s_2 = z(s_1, a_j), \dots, s_n = z(s_{n-1}, a_k)$;
- $P = a_i, a_j, \dots, a_k$;
- $s_n \in G$.

Como descrito em [29], os planejadores SAT foram objeto de grande interesse na década de 90 através do trabalho de Kautz e Selman [41]. A Satisfiabilidade Booleana (SAT) é um dos mais importantes problemas da Ciência da Computação.

O problema da Satisfiabilidade pode ser resumido na pergunta: Pode um conjunto de restrições ser satisfeito ?

Na Satisfiabilidade Booleana, todas as variáveis só podem apresentar dois valores, *falso* ou *positivo*. As restrições são expressas em cláusulas, do tipo:

$$A \vee B, \bar{B} \vee C \vee D, \dots \quad (2.7)$$

Que representam disjunções (OU lógico) de literais, sendo um literal, uma variável ou sua negação. Ao conjunto de cláusulas, dá-se o nome de Forma Conjuntiva Normal (FCN). O problema de Satisfiabilidade, consiste em testar se uma sentença em sua forma FCN, pode ser satisfeita.

- $F = (p \vee q \vee r) \wedge (\neg p \vee \neg r)$;
- Para $p = 0, q = 1, r = 0$ então $F = 1$;
- $s_n \in G$.

Ou seja consiste em encontrar um conjunto C de valores, que satisfaça F:

- $C = p=0, q=1, r=0$

Caso a fórmula lógica F correspondente à instância de planejamento seja satisfeita, então um plano pode ser extraído desta fórmula (Fig. 2.6).

Como descrito em [29], Planejadores SAT, oferecem uma plataforma generalista de raciocínio e busca combinatória, onde o formalismo de representação é feito em lógica proposicional. Contudo o potencial completo dos Planejadores SAT só se tornam claros, quando consideramos seu uso em aplicações que não são normalmente vistas como tarefas de raciocínio proposicional. Consideremos portanto o planejamento em IA, que é um problema PSPACE-completo. Ao restringir os planos a tamanhos polinomiais, obtém-se um problema de resolução NP-completo, que pode ser codificado em um problema Satisfiabilidade Booleana, que pode ser resolvido por um Planejador SAT.

Um Problema de Satisfiabilidade Booleana (SAT), pode ser descrito como:

Dado uma fórmula, baseada em FNC, existe um conjunto de atribuições que satisfaçam F ?

Este é um problema NP-completo [14, 15].

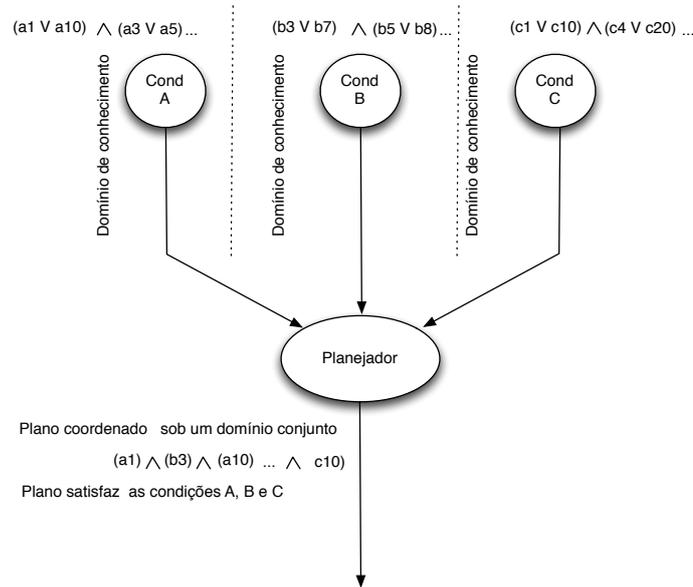


Figura 2.6: Fluxo para a criação de um plano coordenado

Coordenação e Cooperação

Um aspecto dominante na teoria de agentes é o da coordenação e cooperação, como descrito em [20]. Agentes apresentam objetivos individuais que podem ser alcançados sem ajuda externa. Os planos gerados por estes agentes podem ser gerados e executados de modo independente. Uma vez que estes agentes operam em um ambiente comum, conflitos podem surgir e causar interações danosas ao SMA. Para que estas situações não ocorram elas precisam ser coordenadas de modo que os objetivos sejam alcançados, nós chamamos a isto de *Coordenação em um Sistema Multiagente*(CMA). Um caso especial de CMA ocorre quando um agente solicita a um segundo agente pré-condições de ações que aparecem em seu plano, chamamos a isto de *Assistência*.

No caso específico deste trabalho as definições de cooperação e coordenação são extensões das encontradas em [19], onde:

- Cada agente tem a capacidade de alcançar seus objetivos sem ajuda externa,

embora os agentes tenham capacidades e áreas de domínio diferentes. Em casos mais extremos os efeitos das ações dos agentes são disjuntos.

- Em [19], a avaliação é feita através da extensão do plano.

2.3 Função de Utilidade

Utilidade é uma medida de satisfação. Quanto maior for a utilidade que um agente espera de uma determinada ação, maior será o desejo de exercer esta ação. Um agente pode utilizar este mecanismo para tomar decisões de modo que a *utilidade* [72] seja maximizada.

Definição 3 (Função de Utilidade) *Podemos definir uma função de utilidade u , de modo que :*

$$u : O \rightarrow \mathbb{R} \quad (2.8)$$

Onde O é um conjunto de opções que representam os estados finais do mundo que o agente percebe.

Suponha que o agente conheça a probabilidade de se alcançar o estado $s_{t+1} \in O$ quando se encontra no estado s e exerce a ação a .

Definição 4 (Valor Esperado da Utilidade) *Podemos definir que a utilidade esperada da ação a no estado s é:*

$$E[s_t, a, u] = \sum_{s_{t+1} \in O} T(s_t, a, s_{t+1}) u(s_{t+1}) \quad (2.9)$$

A política ótima $\pi(s_t)$ de um determinado estado s_t é a ação a , de um conjunto de ações possíveis, que um agente pode realizar de modo que a utilidade esperada seja maximizada.

Definição 5 (Política Ótima) *A política ótima pode ser definida por:*

$$\pi(s_t) = \arg \max_a (E[s_t, a, u]) \quad (2.10)$$

A política ótima, é uma forma de se perceber qual a ação que deve ser realizada no próximo instante $t + 1$ de modo que o agente persevere em direção ao seu objetivo.

2.4 Sumário do Capítulo

Neste capítulo foram apresentadas as teorias relacionadas à área de SFC e sua aplicação na área da Medicina. Foi apresentado também a utilização de modelagem baseada em SMA e os avanços que esta metodologia permite na construção de sistemas autônomos utilizando normas. A teoria de planejamento automático baseada em SAT foi apresentada, como um forma de decisão sobre planos conflitantes. Ainda foi apresentada uma metodologia para se avaliar a ação seguinte em $t + 1$ dentre um conjunto de ações possíveis de um agente inteligente, que por conseguinte auxilia na estimativa do caminho ótimo que um agente pode utilizar para cumprir o seu objetivo.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

Este Capítulo relaciona o estado da arte em Soluções de Redes de Monitoramento Remoto do Paciente(RMRP) e Soluções Físico Cibernéticas Médicas(SFCM), encontradas na literatura e descreve o estado da arte no que diz respeito as RMRPs. Seguem as análises.

3.1 Redes de Monitoração Remota do Paciente

3.1.1 EMUTEM

Em [56] é apresentada a proposta de monitoramento utilizando o EMUTEM, sistema que utiliza fusão de dados para o monitoramento da saúde em casa. O EMUTEM realiza a fusão através de informações obtidas mediante sensores de localização, de som e de sinais vitais. De acordo com [56], a originalidade do sistema encontra-se na combinação de várias modalidades de sensores em casa. A fusão de dados acontece por meio de lógica difusa para classificação da informação(Fig. 3.1 e Fig. 3.2).

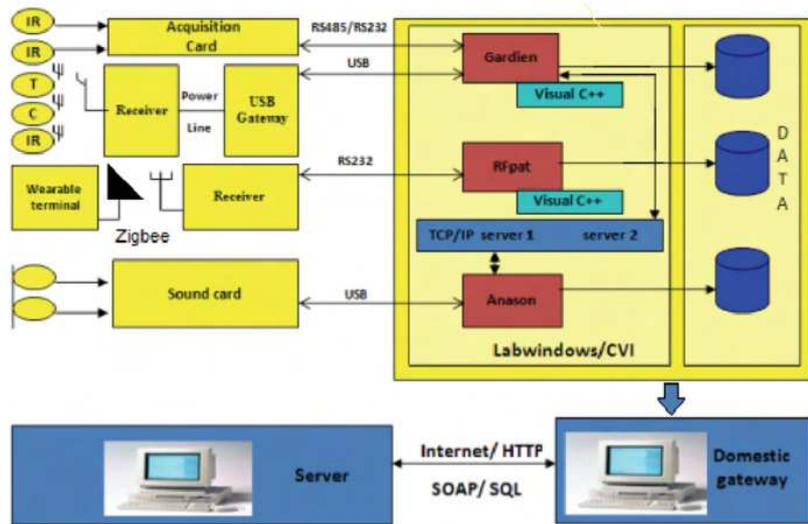


Figura 3.1: Sistema de Monitoramento EMUTEM,[56]

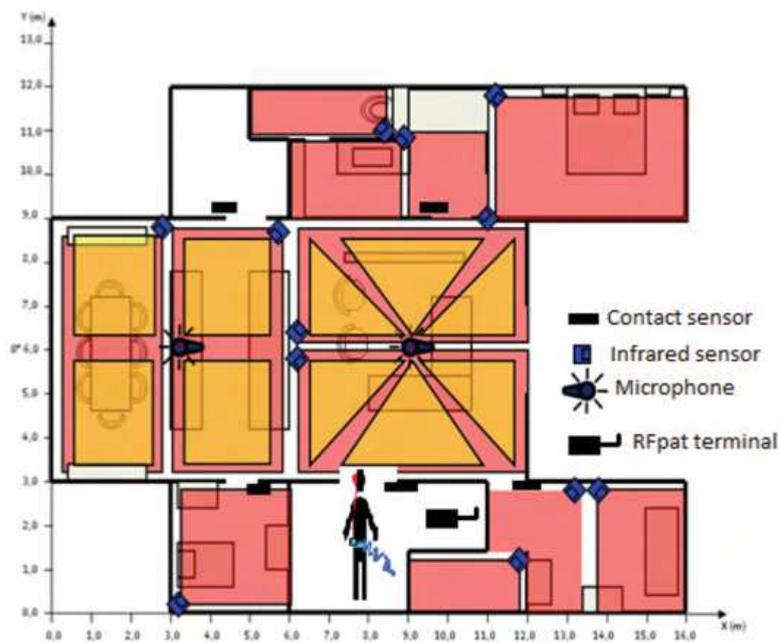


Figura 3.2: Localização dos sensores no EMUTEM,[56]

3.1.2 Prognosis

Em [65] são descritos o método e o modelo de um protótipo de rede de monitoramento remoto (RMRP), que é capaz de estimar a condição do paciente (doente, normal) e enviar alertas sobre a condição de saúde do paciente para os profissionais de saúde, mediante um nó central, responsável pela comunicação do sistema com o centro médico (Fig. 3.3). Em [65], não se discute como se garante que a informação coletada pelo sistema será entregue caso ocorra uma falha. O conjunto de medidas envolve parâmetros fisiológicos (sinais vitais), que são mensuráveis via sensores e parâmetros não-mensuráveis, onde a informação é enviada através de interação verbal com o paciente. Estes parâmetros são submetidos à fusão de dados, onde é estimada a condição do paciente mediante uma máquina de estados de lógica difusa.

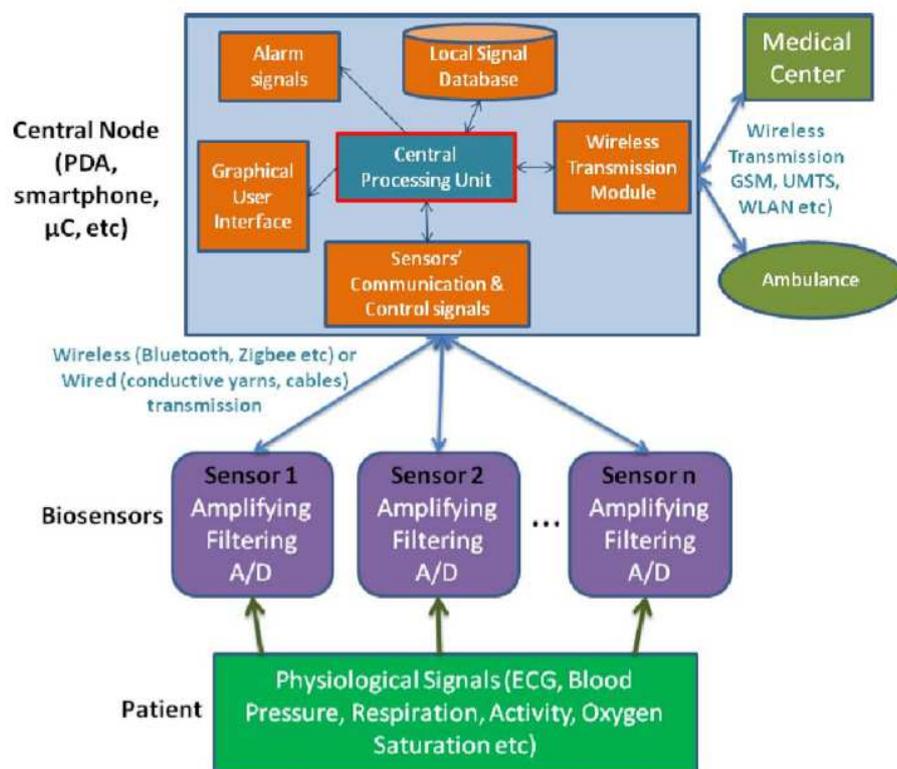


Figura 3.3: Sistema de Monitoramento Prognosis, [65]

3.1.3 Sistema de MRP da Universidade de Saragoça

O Sistema de Monitoramento Remoto desenvolvido em *Martinez et al* [52] foi uma atividade que envolveu um grupo de pesquisadores de 5 diferentes instituições de pesquisa e universidades espanholas que teve como intuito avaliar o processo de desenvolvimento de uma rede fim-a-fim utilizando os padrões 11073 [39] (protocolo X73 via ISO) e EN13606[73]. O projeto desenvolveu módulos interoperáveis e independentes, a partir da observação dos padrões. O ambiente planejado para operação do sistema é o hospitalar, mas precisamente UTI, no que é denominado Ponto de Tratamento (ou PoC - *Point of Care*), geralmente ao lado da cama do paciente, onde os equipamentos estão conectados. Cada PoC contém vários Equipamentos Médicos (EM), a informação coletadas por estes equipamentos são enviadas ao Gateway de 11073 (GW). O GW envia as informações coletados do EMs para o Servidor de Monitoramento (SM), isto forma uma rede de PoCs conectados ao SM, onde os PoC podem se encontrar em locais físicos diferentes do SM. Por fim a informação do SM pode ser armazenada num Servidor de Prontuário Eletrônico do Paciente(EHR), utilizando o padrão EN13606, semelhante ao HL7 [10] utilizado nos EUA. Como descrito na Fig. 3.4, o sistema envolveu a construção de 4 elementos:

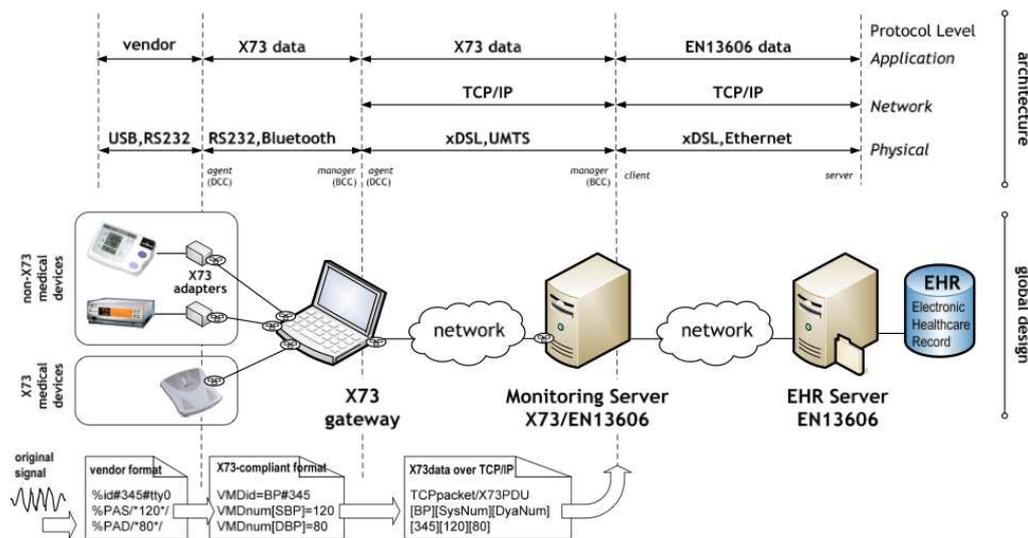


Figura 3.4: Sistema de Monitoramento de Saragoça,[52]

1. **EM e Adaptadores 11073** - Foram desenvolvidos adaptadores que transcodificaram o dado em uma mensagem compatível com o protocolo 11073. Os EMs utilizados tinham RS-232 ou IrDA como protocolos de transporte. O adaptador inclui suporte a MDDL, DIM e Modelo Dinâmico (Agente-Gerente- DCC e BCC ¹), utilizados na interconexão entre o adaptador de 11073 e o GW de 11073.
2. *GW 11073* - Funciona como ponto de acesso para os dados coletados dos EMs, do ponto de vista lógico, o GW representa um MDS, de acordo com padrão 20601 [39].
3. *Servidor de Monitoramento 11073/EN13606* - Atua como Servidor de Comunicação junto ao GW 11073 e como Cliente junto ao Servidor de Prontuário Eletrônico do Paciente (EHR). No Servidor de Monitoramento (SM) reside a lógica para identificação, detecção e gerenciamento dos dados do paciente. O processamento destes dados possibilita a detecção de anomalias, através do envio de falhas e alertas estabelecidos através das especificações dos limites aceitáveis no perfil do paciente.
4. *Servidor EHR* - Responsável por armazenar os registros do paciente e atualizá-los com as informações dos EMs enviadas através do SM. Recebe os dados como um extrato seguindo o padrão EN13606, prosseguindo com a validação e armazenamento na base de dados apropriada.

A maior contribuição desta experiência foi a avaliação do processo de desenvolvimento fim-a-fim de uma solução de RMRP. Não existe nenhuma informação sobre validação do sistema com pacientes, bem como se foi desenvolvida algum modelo de redundância ou tolerância falhas para o sistema.

¹Ver referências a modelo de comunicação em [39]

3.2 Sistemas Físicos Cibernéticos Médicos - SFCM

3.2.1 Plataforma de Aplicação Médica-MAP

Em [33] são descritos os desafios encontrados no desenvolvimento de SFCMs, junto com a descrição da abordagem desenvolvida para a implementação de um SFCM, cobrindo as etapas de desenvolvimento, modelagem, verificação e validação do sistema. A realização de uma MAP deve obedecer as seguintes características:

- *Um Sistema de Sistemas*: Uma MAP é um sistema complexo que é composto de sistemas menores, que podem funcionar de maneira independente.
- *Interoperabilidade com Sistemas Heterogêneos*: Os elementos da MAP são constituídos por elementos que são produzidos por diferentes fabricantes, respeitando diferentes processos de qualidade e fabricação.
- *Instâncias do Sistema são Variáveis*: Os elementos de um Sistema MAP sendo executados em diferentes instâncias de uma aplicação podem utilizar modelos diferentes de equipamentos mas devem garantir os mesmos requisitos de segurança e eficácia.
- *Integração em Tempo de Execução*: Sistemas são compostos em tempo de execução no ponto de tratamento (PoC) pelos Engenheiros Clínicos, através da conexão de equipamentos de diferentes fabricantes, que não possuem as mesmas características de construção e testes, mas que precisam trabalhar conjuntamente. Não existe em uma MAP a figura de um Integrador central que verifique as características e restrições do sistema previamente.
- *Padronização e Extensibilidade*: A infraestrutura de uma MAP deve permitir que novas aplicações sejam criadas a partir de um arcabouço comum de desenvolvimento sem a necessidade de buscar novas autorizações dos órgãos regulatórios para estes componentes de infraestrutura. Cria-se assim uma base onde apenas os novos componentes e aplicações são avaliados.

- *Proteção à Falhas*: Comportamento não intencional pode levar à morte do paciente, desta forma, componentes e arquitetura devem suportar falhas operacionais e de projeto.
- *Segurança da Informação*: Diferente de dispositivos convencionais, a segurança da informação é prioritária e parte da proteção à falhas, uma vez que isto pode levar a invasão e utilização de forma maliciosa da MAP, padrões como HIPAA [83] e cifragem do canal devem ser considerados.
- *Regulação por Componentes* : É necessária uma mudança no modelo atual de certificação dos dispositivos médicos, onde se uma mudança ocorre na plataforma todo o sistema precisa ser novamente certificado, o modelo do MAP apenas funcionará se a regulação ocorrer através de componentes que possam ser reaproveitados através do ecossistema.
- *Interface Aberta para Integração*: O modelo de integração através de componentes possibilita que seja disponibilizada uma interface comum para que outros sistemas possam se valer das informações coletadas através da MAP.

As propostas do ICE (Ambiente Clínico Integrado)(Fig. 3.5) e MDCF (Arcabouço de Coordenação de Equipamento Médico) [50] implementam a estrutura básica da MAP, tendo no Gerente de Interoperabilidade (Interoperability Manager - IM) a coordenação das aplicações de equipamentos médicos virtuais e protocolos clínicos que precisam ser seguidos pelo sistema. O IM implementa as funções de gerenciamento de equipamentos, de serviço de publicação-assinatura de mensagens e gerenciamento de aplicação de Dispositivo Médico Virtual (VMD), responsável pela implementação de um *fluxo de operação* na condução do protocolo clínico de tratamento. O MAP é apenas uma proposta que começa a ser considerada pela indústria médica. Isto realmente aponta para o futuro da indústria médica e seus sistemas, mas inviabiliza consideráveis investimentos feitos nos últimos anos e prejudicar de modo considerável parte da indústria de equipamentos médicos. Isto não responde as questões de que modo se pode utilizar isto no ambiente de casa e a viabilidade econômica de uma abordagem baseada na MAP.

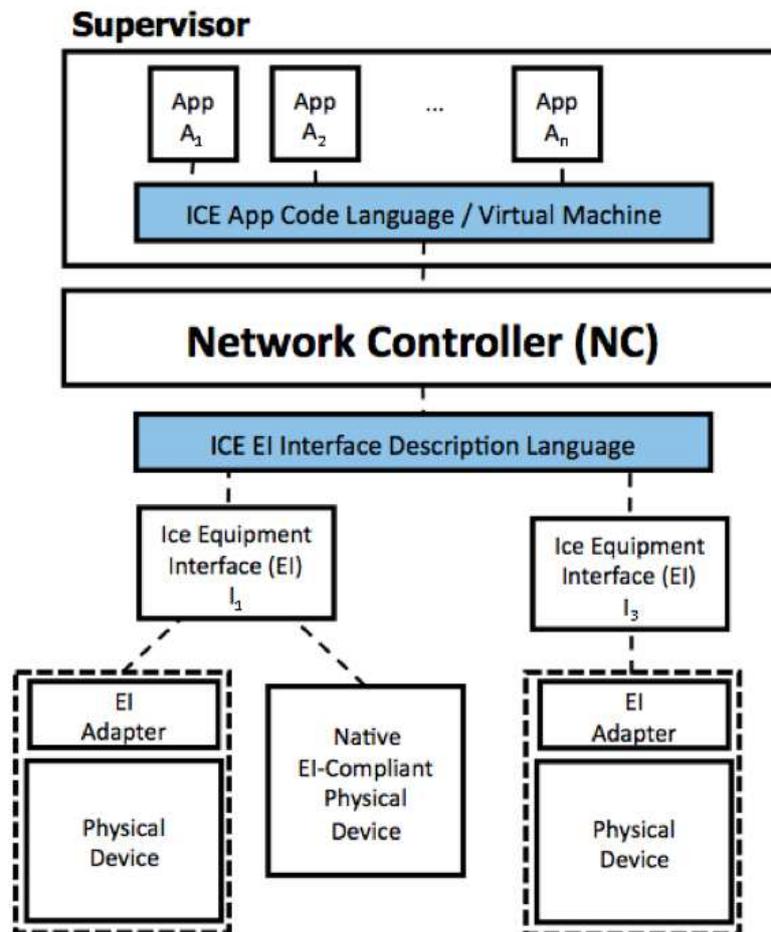


Figura 3.5: Arquitetura ICE,[50]

Em *Rolim et al.*[68](Fig. 3.6), os autores sustentam que o sistema utiliza características de um rede de sensores sem fio, embora tenha a distribuição dos dados via fio apenas. O sistema é baseado em 4 elementos principais:

- Módulo do sensor, que contém os elementos para extrair e transformar os dados dos sensores.
- Módulo de troca de serviço de aplicação, que funciona com um facilitador entre os dispositivos e os serviços remotos.
- Serviço de aplicação de conteúdo, que disponibiliza a interface de forne-

cimento de informação entre o serviço de troca de informação e a equipe médica.

- Provedor de processamento, oferece ao sistema a capacidade de processamento, armazenamento e entrega dos serviços.

O sistema se propõe a ser uma plataforma de serviços, contudo não estabelece um conjunto de interfaces ou padrões para a oferta destes serviços, além de oferecer apenas a comunicação entre os dispositivos via fio. As interfaces de troca de informação também não são declaradas, citando apenas que são baseadas em XML e HTML.

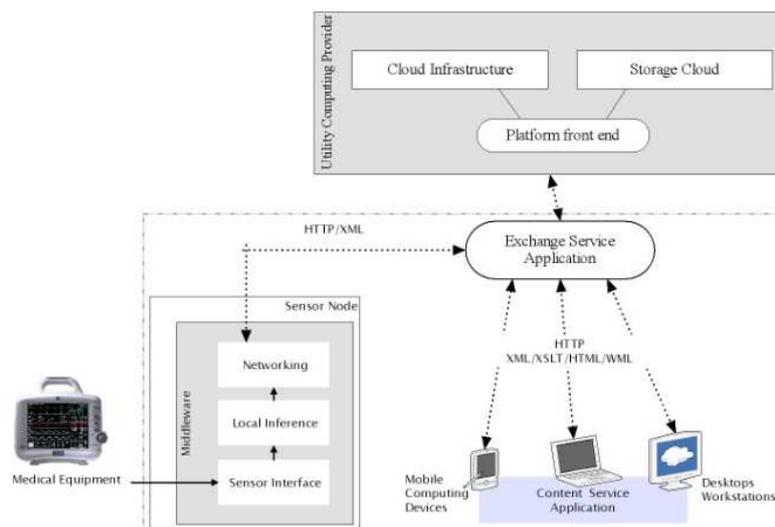


Figura 3.6: Arquitetura de modelo de rede em nuvem proposta por *Rolim et Al.*,[68]

Em *Mendez et al.*[57](Fig. 3.7), é tratado o desenvolvimento de um sistema que permite a leitura automática dos sinais vitais de um paciente e adição destes sinais a um serviço de Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP). O sistema proposto pode ser decomposto em 3 camadas lógicas:

- Camada de interface, inclui todos os objetos de fronteira que lidam com o usuário. Faz parte desta camada o formulário de sinais vitais e a estação de leitura dos dados.

- Camada de aplicação, contém o elemento de controle que faz a aquisição de dados da estação de sinais vitais e apresenta no formulário. Esta camada também é responsável por processar o dado e enviar para a camada de dados utilizando um elemento adaptador.
- Camada de dados, Compreende além do PEP existente, sem qualquer modificação, funcionalidade baseada na seleção e no uso de tipos que carregam automaticamente diferentes formulários, incluindo o formulário de sinais vitais, de modo que a leitura dos sinais seja possível.

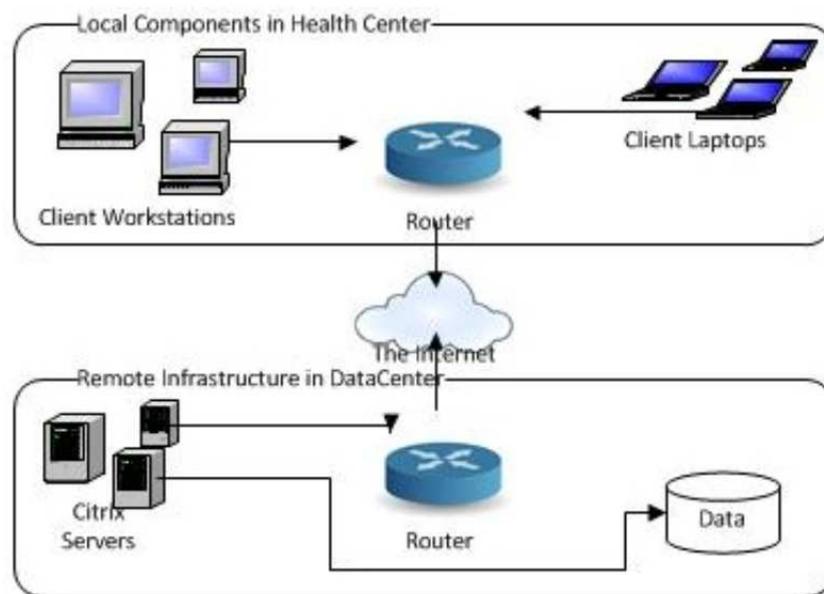


Figura 3.7: Arquitetura de modelo de prontuário eletrônico proposta por *Mendez et Al.*,[57]

Como vantagens da abordagem podemos notar que o sistema possibilita a redução do tempo de aquisição dos sinais vitais, redução na probabilidade de erro durante a leitura dos sinais e simplificação do processo de aquisição de dados. Segundo a literatura, de 10 a 25% dos dados inseridos manualmente são errados, levando a diagnósticos imprecisos [57].

Como desvantagens principais foram evidenciadas o aumento nos eventos de manutenção do sistema e do treinamento da equipe na utilização do sistema. A so-

lução, dada a complexidade de implementação, é adequada apenas para hospitais e depende de pessoal treinado para ser utilizada. As interfaces lógicas desenvolvidas e equipamentos utilizados são proprietários, daí a demanda por manutenção da solução ser alta, como declarada pelos autores.

Em *Avrunin et al.*[5](Fig.3.8), é apresentada a proposta de uma lista inteligente que assiste e guia o corpo médico nas suas tarefas. O SmartCheck, foi desenvolvido com o foco em SO (salas de operação) e UTIs. O ambiente é um sistema de apoio à decisão. O SmartCheck foi construído a partir de pesquisa anterior, feita pelo grupo, que estabeleceu os fundamentos para a modelagem de processos e cenários que são tratados pelo sistema. A pesquisa atual tem o objetivo de guiar o corpo clínico na preparação de medicação, ajuste e reajuste das configurações dos dispositivos médicos, identificação de passos no processo de tratamento, dados e equipamentos.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizadas soluções existentes para a comunicação de dados e interconexão dos equipamentos médicos. A tecnologia Janus, desenvolvida pela Universidade de Massachusetts, para envio de mensagens e a tecnologia DocBox, baseada na solução da empresa DocBox Inc., que foi construída a partir da pesquisa do MD PnP já citado em [33].

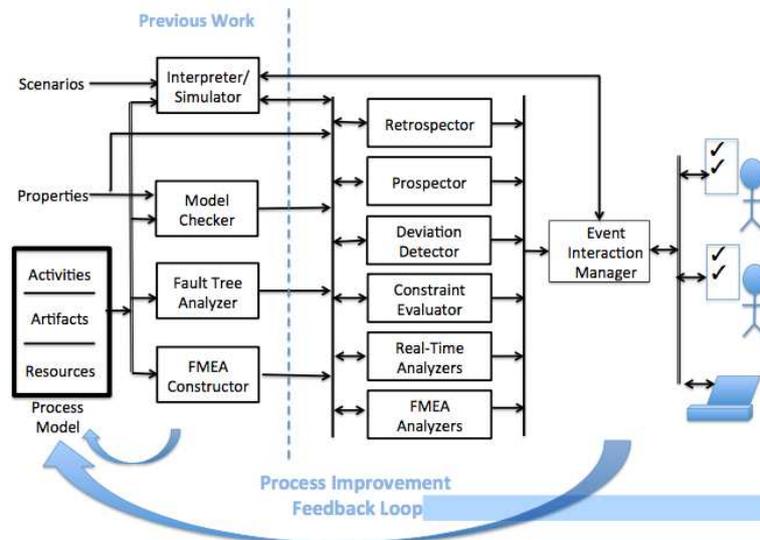


Figura 3.8: Arquitetura conceitual de modelo de lista inteligente em *Avrunin et Al.,[5]*

Os componentes do SmartCheck são:

- Restropectiva: Oferece informação sobre o histórico do processo.
- Prospecção: Oferece informação sobre o desenrolar do processo, tal como a necessidade futura da execução de tarefas que devam ser realizadas, recursos que serão necessários e decisões que deverão ser tomadas.
- Detector de desvios: Monitora os eventos com o fim de determinar quando um processo foi desviado da sequência estabelecida no modelo de processos, aponta as mais prováveis causas de desvio, sugere o que foi realizado de modo equivocado e indica possíveis alternativas para recuperação.
- Avaliador de restrições: Notifica o corpo clínico quando um processo viola ou violará uma restrição especificada.
- Analisador em tempo real: Mantém os operadores cientes dos limites estipulados para execução do processo e aumenta o nível de urgência na proximidade do alcance deste limite.

- Analisadores baseados em perfil: Acumulam dados históricos com o fim de determinar eventos indesejáveis e sugere caminhos para evitá-los.
- Gerente de interação de eventos (EIM): Gerencia o fluxo de eventos e informação entre os componentes de análise e corpo clínico, de modo que os eventos corretos e as informações sejam entregues aos responsáveis designados.

O SmartCheck é uma solução baseada em padrões, que permite uma redução na manutenção do sistema e um menor custo para evolução da solução. O fato de se estabelecer utilizando elementos do MD PnP permite que se concentrem exclusivamente na melhoria do serviço, uma vez que o problema de comunicação fica no domínio do MD PnP.

Em *Don et al.*[21], é proposta uma arquitetura de processamento de informação utilizando tecnologias de *Big Data*. O sistema propõe uma estrutura para a aquisição, organização e processamento, que de acordo com o autor, hoje é coletada de maneira desestruturada.

O sistema se propõe a tratar as informações, sob três aspectos:

- Volume, pois a quantidade de dados gerada por vários equipamentos médicos, são enormes se comparadas com o tamanho tradicional dos dados.
- Velocidade, a quantidade de geração de dados pelos equipamentos médicos são muitos maiores que as capacidades das estruturas oferecidas hoje pelas redes dos hospitais.
- Variedade, os formatos tradicionais de dados se prestam menos à adaptação de dados de sensores, implementação, etc.

Levando isto em consideração *Don et Al* propõe que sejam desenvolvidos 3(três) módulos para o correto processamento desta informações:

- Aquisição de dados: Deve envolver baixa latência na captura dos dados e utilização de mecanismos simples de busca para processar uma grande quantidade de dados.

- Organização dos dados: Uma vez que o sistema lida com uma grande quantidade de dados, o sistema precisa coletar e processar os dados a partir da localização original destes dados. A sugestão é que seja utilizada a plataforma Hadoop da Fundação Apache, pois oferece a tecnologia para processar grandes volumes de dados e ao mesmo tempo manter os dados nos seus repositórios originais.
- Processamento de dados: Em uma solução *Big Data*, os dados devem ser processados em um ambiente distribuído. Os requisitos para a análise dos dados médicos requer técnicas estatísticas e de mineração de dados para a completa avaliação destes dados.

Em *Don et Al.* foi apresentada apenas uma proposta de organização da informação, sem descrição dos detalhes de como esta estrutura pode ser obtida.

3.3 Sumário do Capítulo

Neste capítulo foram apresentados exemplos de sistemas de monitoramento de pacientes que utilizam padrões já estabelecidos na indústria, e buscam observar o paciente principalmente através da estrutura disponível em sistemas sanitários de um hospital, com exceção do EMUTEM. Também foram observados exemplos de estruturas em SFCM que tomaram como base o ambiente hospitalar, considerando a criticidade dos procedimentos em questão. Com exceção do sistema EMUTEM todos os outros casos trataram do ambiente hospitalar. Em nenhum dos casos foi observada a utilização de uma arquitetura de suporte ao paciente que pudesse ajustar parâmetros em situações críticas em um ambiente doméstico. Existe um conjunto de pacientes denominados de Paciente Medicamento Complexos (*Medically Ill Patients [16]*) que não são atendidos no ambiente doméstico por soluções como EMUTEM. São pacientes acometidos por mais de uma condição crônica e que precisam de um cuidado constante para não serem hospitalizados.

Capítulo 4

Modelo de Dispositivo para MRP em Redes Domésticas

A Aliança para a Saúde Contínua (CHA) adota os padrões definidos no grupo ISO/IEEE 11073 [39]. O Dispositivo de Hospedagem da Aplicação (DHA), descrito em [1], tem a função de coletar informação dos sensores através de interfaces definidas para exposição dos dados, que são definidos seguindo um critério geográfico (Fig. 4.1):

- interface TAN, interface para rede de área de toque, que compreende dispositivos que tem ser tocados fisicamente ou estarem a uma distância próxima.
- Interface PAN, interface para rede de área pessoal, que compreende a região ao redor de uma pessoa.
- Interface LAN, interface para rede de área local, que compreende um local.

O DHA, é parte da arquitetura de referência fim-a-fim descrita no Contínua, e é responsável por enviar as informações coletadas dos sensores. Na norma Contínua [1], os dispositivos que hospedam os sensores tem a designação de dispositivos pessoais de saúde (DPS), os DPSs implementam de forma lógica, a partir de funções especificadas na norma para cada sensor o papel de *agente*. Os DPSs são dispositivos portáteis que coletam dados vitais dos pacientes e disponibilizam esta

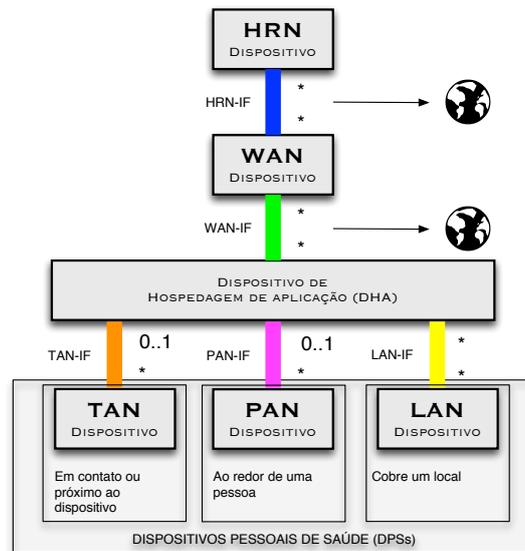


Figura 4.1: Organização de interfaces Contínua

informação através de uma interface sem fio (TAN, LAN ou PAN), um exemplo de um DPS, é um monitor de pressão arterial.

Para viabilizar a coleta de dados em redes residenciais, foi estabelecido nesse trabalho o Agregador de Dados Pessoais de Saúde (ADPS) [17] que é um DHA melhorado, que recebe os dados de saúde a partir de DPSs, utilizando uma das interfaces sem fio (TAN ou PAN). O ADPS armazena os dados de saúde e os envia para os registros pessoais de saúde, chamados de PEP. Os dados de saúde podem ser recebidos pelo ADPS usando múltiplas tecnologias de comunicação, como Bluetooth, Bluetooth Low Energy, ANT+, USB, etc. Dentre as principais inovações do ADPS está a possibilidade de ser utilizado por diferentes usuários, através do mecanismo de sessão do usuário. Ao abrir uma sessão, os dados coletados durante a sessão são automaticamente atribuídos ao usuário autenticado. Os usuários podem acessar e controlar o ADPS através de diferentes mecanismos de interface do usuário. Outra inovação do ADPS é na implementação do transporte sem fio de uma interface TAN, ao utilizar-se de um acessório intermediário para o transporte da informação. As descrições das inovações são apresentadas a seguir.

4.1 As Interfaces do ADPS

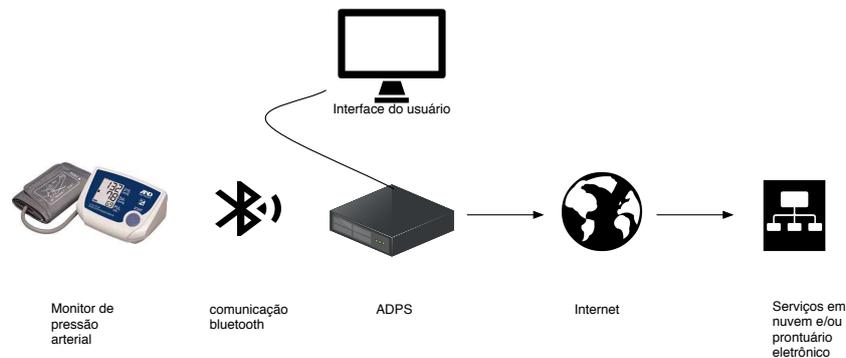


Figura 4.2: Coleta de dados via interface sem fio PAN

O ADPS pode receber informações dos DPSs via 2 tipos diferentes de interfaces: TAN e PAN. Numa implementação regular da interface PAN, o ADPS funciona como descrito na Fig. 4.2, uma sessão de usuário encontra-se aberta e a leitura feita através do DPS é enviada via interface PAN para o ADPS, que processa esta informação e atribui o dado ao usuário que está atualmente autenticado no sistema.

O ADPS apresenta um dispositivo intermediário, chamado de acessório coletor sem fio (ACS) que é uma realização de uma interface TAN, que não restringe sua utilização aos protocolos lógicos de comunicação especificados em [39], mas pode implementar comunicação em RF com o ADPS e NFC com os DPSs. A função do ACS é dupla, atua como dispositivo de navegação para a Interface do Usuário (IU) e como dispositivo extensor da coleta dos dados de saúde de um DPS com interface TAN.

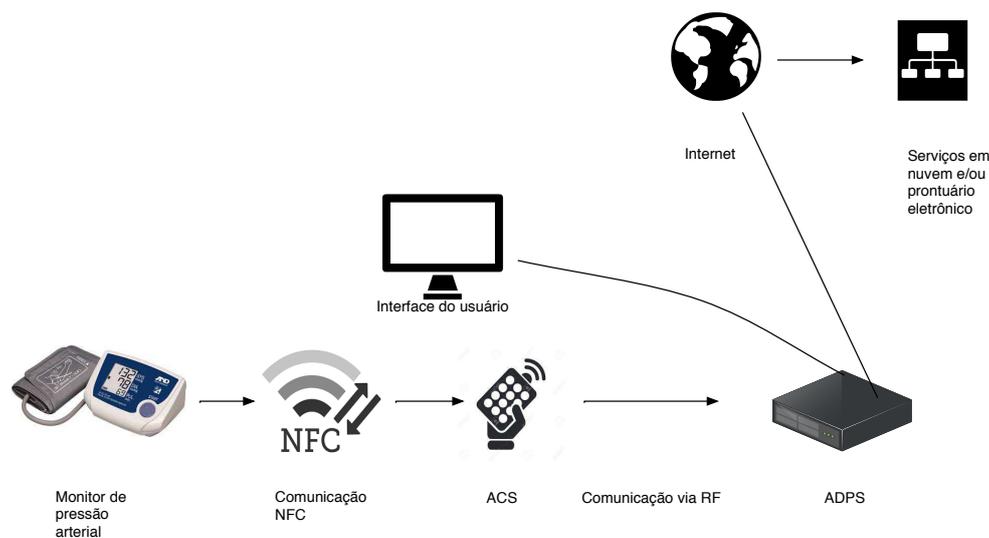


Figura 4.3: Coleta de dados via interface sem fio TAN

4.1.1 Autenticação do usuário

O dispositivo ADPS pode ser configurado para gerenciar as sessões de usuário, a fim de saber quem está usando um DPS em um determinado momento, designando as leituras dos dados para este usuário. O método específico de autenticação depende diretamente da interface de usuário utilizada, dessa forma dois métodos de autenticação podem ser utilizados para identificar um usuário.

Em um primeiro método (Fig. 4.4), o usuário pode ser autenticado com o ADPS remotamente, tal como, por exemplo, usando um controle remoto. Usando este método, o usuário pode inserir suas credenciais dentro do ADPS. A identificação pode incluir um nome de usuário e senha ou outra sequência de caracteres. A identificação pode ser obtida através de uma sequência de teclas digitadas no controle remoto.

Um segundo método de autenticação do usuário pode usar tecnologias de rádio frequência que permitem que uma etiqueta com uma assinatura eletromagnética sirva para identificar o usuário, tais como NFC ou RFID. O usuário pode ser iden-

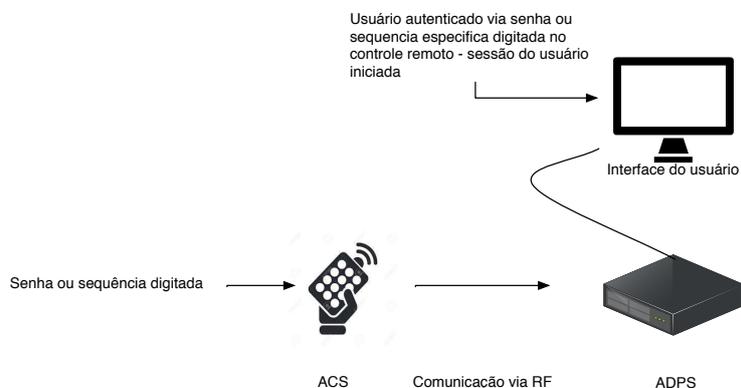


Figura 4.4: Autenticação via senha ou sequência utilizando o ACS

tificado usando um cartão de identificação ou qualquer outro dispositivo habilitado no alcance do leitor do NFC ou RFID, como demonstrado na Fig. 4.5.

Após a identificação do usuário, o mesmo pode ser considerado como tendo uma sessão aberta com o ADPS. Durante uma sessão, os dados recebidos pelo ADPS provenientes do DPS podem ser associados ao usuário autenticado. Os dados do usuário associados podem ser armazenadas no ADPS. O ADPS também pode transmitir esses dados para um banco de dados remoto chamado de PEP.

O dado autenticado

Em alguns cenários, o DPS pode não precisar estar associado e conectado a um ADPS específico, a fim de coletar dados de saúde. Por exemplo, estes DPSs podem compartilhar suas informações usando tecnologias sem fio (TAN) com o ADPS em um momento específico, e nenhuma associação entre os dispositivos pode ser obrigada a priori. O uso de tecnologias sem fio pode envolver a aproximação física, ou tocar no dispositivo, do ADPS para o DPS. Este movimento físico pode

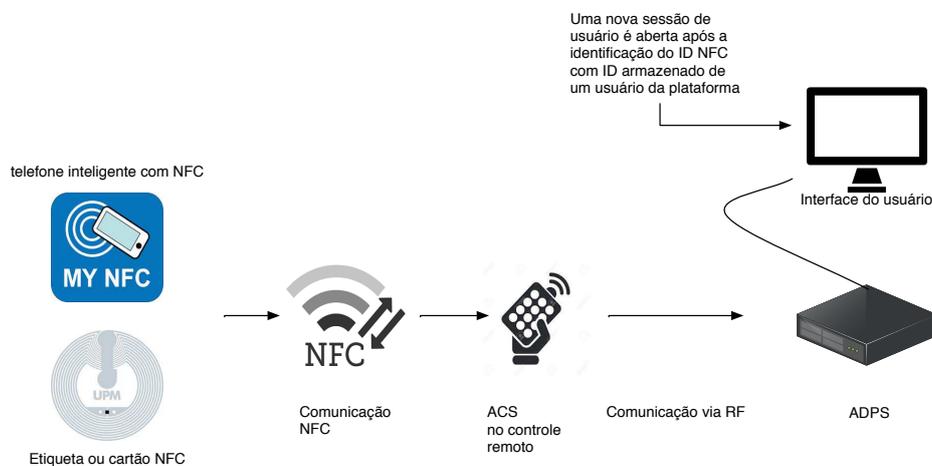


Figura 4.5: Autenticação via NFC no ADPS

ser difícil para um usuário. Isto ocorre quando o ADPS ou o DPS não são portáteis o suficiente. Por exemplo: o ADPS pode incluir um computador pessoal ou um receptor set-top box ligado a um aparelho de TV. Em outro exemplo, o DPS pode incluir uma balança de pesagem no chão, o que não é facilmente deslocado.

Em um outro cenário, a utilização conjunta do ADPS e DPS pode permitir que os usuários gravem informações de saúde e exerçam o cuidado de sua saúde em localidades diferentes, em casa, no trabalho ou em outros lugares. No entanto, apesar de serem dispositivos pessoais de saúde, um caso de uso comum é que os DPSs podem ser utilizados por vários usuários. Como exemplo, uma balança em casa pode ser compartilhada por toda uma família. Portanto, associar ou conectar um DPS a um dispositivo pessoal, tal como um telefone ou outro dispositivo usado como um ADPS, pode tornar este DPS acessível apenas para o proprietário do telefone celular.

A descrição lógica da associação de uma medida de saúde para um usuário específico pode incluir, ao armazenar uma medida, o ADPS criando uma tupla em que a medida de saúde é associada ao ID de chave para o usuário específico. A

Fig. 4.6 ilustra a sequência de um fluxo de dados de saúde [X] recebido pelo ADPS. Ao receber dados por meio de um de seus links de comunicação, o ADPS pode verificar se algum usuário tem uma sessão aberta. Se uma sessão é aberta para o usuário A, o ADPS pode associar dados da medida [X] para o usuário [A], criando assim uma nova peça de informação [A,X]. O ADPS salva essas informações na memória. Se nenhum usuário é autenticado no ADPS, ou seja não existe uma sessão de usuário aberta, a medida [X] pode ser recusada.

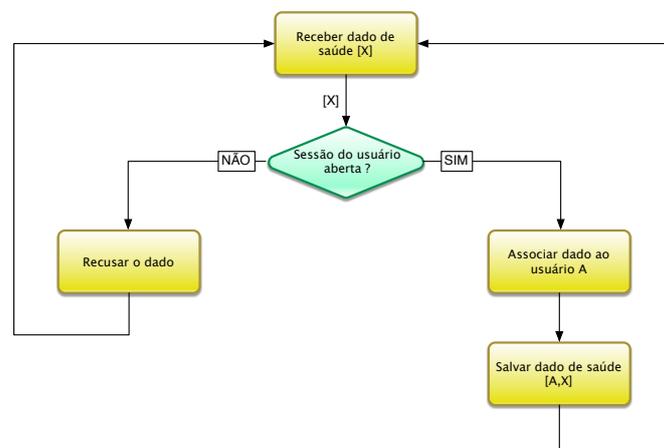


Figura 4.6: Atribuição de uma medida de sinal vital a um usuário

Depois que uma sessão é aberta, o usuário pode sair da sessão autenticada utilizando uma interface de usuário ("IU") associada com o ADPS. Depois disso, o ADPS pode aceitar outros usuários para autenticar e serem abertas outras sessões de usuário.

4.1.2 A implementação do ADPS

Um protótipo do ADPS foi implementado como parte da solução SigHealth ¹, em um dispositivo embarcado com arquitetura IMX da Freescale. A solução consiste

¹maiores detalhes sobre o SigHealth podem ser encontrados em <http://signove.com>

de um controle remoto e do computador embarcado que é conectado a um monitor via HDMI.

A autenticação do usuário na solução pode ser feita via sequencia de caracteres ou via teclado carregado na interface do sistema. Outra forma de autenticação possível é via tecnologia NFC, onde o dispositivo móvel ou tag NFC podem ser utilizados como autenticador para abertura de uma sessão de leitura do dados. A autenticação é revogada se decorrerem 5 minutos de inatividade ou se um *logout* for requisitado.

A solução de referência foi implementada em uma plataforma de desenvolvimento iMX53 da Freescale ² e alimentada via fonte USB (Fig. 4.7).



Figura 4.7: ADPS e ACS(controle-remoto).

A autenticação do dado na plataforma pode ser feita via acesso à interface de usuário ou via ACS para a interface TAN. O ACS foi implementado no controle remoto da solução permitindo que a informação de DPSs sejam coletadas seguindo um protocolo onde uma vez que tenha sido estabelecida uma sessão para o usuário, o dado é coletado para o controle remoto utilizando tecnologia NFC e posteriormente transportado via sinal de RF em 2.4 GHz utilizando um protocolo proprietário para a transmissão do dado ao ADPS.

²Freescale é uma empresa de microeletrônica(<http://freescale.com>)

4.2 Sumário

Neste capítulo foi descrito um modelo de dispositivo para habilitar as diretrizes da Aliança Continua em redes domésticas, denominado ADPS. O ADPS possibilita que um mesmo agregador sirva a diferentes usuários. Além disso foram descritos os métodos de autenticação e as interfaces sem fio que podem ser utilizados com o ADPS. Ainda foi demonstrada uma prova de conceito do ADPS implementada como parte do esforço da patente requerida para o ADPS.

Capítulo 5

Modelo de MRP utilizando Sistema Multiagente - MMRPM

Uma vez apresentados os desafios(Sec. 1.1) e os mecanismos de comunicação e infraestrutura para o monitoramento remoto de pacientes(MRP) em redes domésticas(Cap. 2,Cap. 4), neste capítulo tem-se como foco a definição do Modelo de MRP utilizando Sistema Multiagente (MMRPM). O MMRPM tem como alvo garantir a observância da condição do paciente, pois a demora em agir pode implicar em um custo maior tanto fisicamente como monetariamente. O objetivo de um MRP baseado em SFC é possibilitar que o paciente seja observado com segurança e na eventualidade de uma ocorrência agir de forma a preservar a vida do paciente.

Com intuito de facilitar o entendimento das definições apresentadas neste capítulo, segue a descrição de um caso real de tratamento de indivíduo portador de Hipertensão Arterial Sistêmica (HAS).

5.1 Caso 1

Paciente JBW, sexo masculino, 48 anos, portador de HAS há três anos. O mesmo se alimenta com menos de seis gramas de sal por dia e pratica atividade física regular com intensidade moderado diariamente. Após a última consulta, seu médico modificou o tratamento para que Sr. JBW faça uso regular e diário de Losartan

25 mg pela manhã e Amlodipina 5 mg à noite. Seu médico recomendou aferir a pressão arterial diariamente pela manhã e à noite e após o cinco dias, checar o resultado da Pressão Arterial (PA) e da Frequência Cardíaca(FC) e proceder da seguinte forma se :

- Pressão Arterial - PA > 160/90 mmHg, deve-se aumentar o Losartan para dois comprimidos ao dia. Reavaliar PA após três dias. Se PA mantida, aumentar Amlodipina para dois comprimidos ao dia.
- PA > 160/100 mmHg, deve-se aumentar o Losartan para para dois comprimidos, duas vezes ao dia. Reavaliar PA após três dias. Se PA mantida, aumentar Amlodipina para dois comprimidos ao dia.
- PA > 180/100 mmHg, deve-se procurar a emergência ou contatar o médico assistente.
- PA > 160/110 mmHg, deve-se procurar a emergência ou contatar o médico assistente.
- Frequência Cardíaca - FC < 140 bpm, deve-se procurar a emergência ou contatar o médico assistente.

Necessidade de ser alertado continuamente para observar edema de membros inferiores após o aumento da dose diária de Amlodipina e reportar ao médico, caso ocorra.

Objetivo tratamento: manter PAS < =160 e PAD <=90 e FC <=140.

5.2 Como o problema é encarado hoje ?

Ao ser identificada a condição do paciente, o médico consulta a diretriz clínica ¹ e passa as recomendações adequadas anotadas para o paciente, como descrito no exemplo para o paciente JBW. Todo o processo é prescrito e entregue ao paciente

¹Diretrizes clínicas são disponibilizadas por cada uma das especialidades médicas, os tratamentos oferecidos são baseados nas recomendações encontradas nestes documentos. Exemplos: Sociedade Brasileira de Cardiologia e Sociedade Brasileira de Endocrinologia

pelo médico, as alterações são consideradas mediante a verificação pelo paciente dos sinais vitais. Cabe ao paciente verificar e lembrar de cada um dos passos e alterar o tratamento se alguma condição for alterada. Como descrito no Cap. 1 o sucesso do tratamento é diretamente dependente da situação emocional e física do paciente, levando a riscos que poderiam ser evitados se o acompanhamento e administração do tratamento fossem realizados adequadamente.

5.3 Modelo do Sistema

Nossa abordagem é oferecer um sistema que observa a situação do paciente através do acompanhamento dos sinais vitais do mesmo e disponibiliza a etapa de tratamento de acordo com as recomendações prescritas pelo médico. É importante observar que por questões de interoperabilidade todas as definições apresentadas neste trabalho devem seguir as recomendações mandatórias encontradas no padrão 11073-10472[70] quando implementada a função de monitor de medicação, e do padrão 11073-10471 [78], quando implementada a função de *living hub*, sendo que as características condicionais e opcionais, de ambas, serão implementadas ou não, de acordo com a funcionalidade extra que se procurar satisfazer. Todo modelo de comunicação e informação deve seguir as recomendações descritas em 11073-20601 [39].

Nas seções seguintes, são apresentadas as definições dos elementos e blocos do sistema que visam implementar o MMRPM: sensor, atuador, mediador, agregador e serviços de saúde (Seção 5.3.1); o tratamento (Seção 5.5) e, a inclusão de um novo serviço de saúde (Seção 5.7.2).

Parte das definições relacionadas ao paciente, plano de tratamento e consequências do tratamento são extensões das definições encontradas na tese de Ferreira [25].

5.3.1 Elementos do Sistema

Definição 6 (MMRPM) *O Sistema é composto por:*

$$MMRPM = \langle S, A, H, Me, Hs \rangle \quad (5.1)$$

Definição 7 (Conjunto de Sensores) *Conjunto dos sensores atrelados ao paciente S , onde :*

$$S = \langle s_1, s_2, \dots, s_N \rangle, \text{ dado que } s_i \text{ é um sensor e onde } i = 1 \dots N \quad (5.2)$$

é o conjunto dos sensores que estão atrelados a um determinado paciente. O paciente portanto é observado por N sensores. A leitura de cada sensor é enviada ao agregador H , que tem como uma de suas atribuições a coleta de dados do paciente.

Para o exemplo em questão temos que para o tratamento da HAS o paciente, Sr.JBW, teria apenas um Medidor de Pressão Arterial.

Definição 8 (Sensor) *Onde o sensor s_i é definido como:*

$$s_i = \{ms_{i_1}, ms_{i_2}, \dots, ms_{i_n}\}, \text{ onde } n \in \mathbb{N} \quad (5.3)$$

que são o conjunto de medidas que podem ser coletadas por cada sensor i .

Definição 9 (Medida de Sensor) *A medida do sensor é o resultado obtido para cada elemento do sensor.*

$$ms_{i_k} = \{(timestamp), (vm, valor) \mid vm \in VM \wedge valor \in \mathbb{R}\} \quad (5.4)$$

sendo:

- *timestamp é o momento em que a medida é efetuada, segundo a ISO8601 [69];*
- *vm é um termo médico para o sinal vital medido;*
- *valor é o resultado observado no paciente p_i para o termo médico vm.*

Os dados coletados através de S , possibilitam a construção da medida do sensor ms_{i_k} , para cada uma das medidas de cada um dos sensores conectados ao paciente, que contém a coleta de sinais vitais do paciente.

O termo médico (vm) pode ser descrito por um conjunto de diferentes medidas de telemetria. Essas medidas podem ser fornecidas por cada sensor de acordo com as especificações do grupo de trabalho de padrões para dispositivos médicos pessoais do IEEE segundo o protocolo 11073-20601 [39], onde o Vocabulário Médico (VM), é o conjunto dos diferentes medidas que compõem o conjunto S .

Diferentemente da definição encontrada em [25], a determinação de cada medida segue um padrão definido pela Biblioteca Nacional de Medicina dos EUA denominada de UMLS (Unified Medical Language System) [61].

Definição 10 (Vocabulário Médico) *O conjunto de medidas do sistema VM :*

$$VM = \{vm_0, vm_1, \dots, vm_n\} \quad (5.5)$$

onde vm representa cada um dos termos médicos.

No exemplo em questão podemos ter a lista dos sensores conectados ao paciente Sr. JBW como:

$$S = \langle s_1 \rangle \quad (5.6)$$

onde s_1 :

$$s_1 = \{(2013 - 03 - 20T18 : 03 : 30 - 03 : 00), (vm_{1PAS}, 170), (vm_{1PAD}, 85), (vm_{1FC}, 120)\} \quad (5.7)$$

Portanto, s_1 é a representação da leitura do medidor de pressão, que fornece a pressão sistólica em 170 mmHg, a pressão diastólica em 85 mmHg e a Frequência cardíaca em 120 batimentos por minuto, às 18:03:32, do dia 20/03/2013.

Sendo vm_{1PAS} a pressão arterial sistólica medida pelo sensor s_1 e vm_{1PAD} a pressão arterial diastólica medida pelo s_1 em 85 mmHg e vm_{1FC} a frequência cardíaca medida pelo sensor s_1 em 120 batimentos por minuto.

Definição 11 (Conjunto de Atuadores) *A é conjunto de atuadores conecta-*

dos ao paciente, onde:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_I\}, a_i \text{ onde } i = 1 \dots I \quad (5.8)$$

Os atuadores possibilitam a administração de procedimentos de acordo com a especificação recebida de H , mediante a informação de atuação contida em A , onde:

Definição 12 (Atuador) Onde o atuador a_i é definido como:

$$a_i = \{ma_{i_1}, ma_{i_2}, \dots, ma_{i_n}\}, \text{ onde } n \in \mathbb{N} \quad (5.9)$$

Definição 13 (Mudança no Atuador) Onde a mudança no atuador é o comando que indica a medida que deve ser administrada em cada elemento k do atuador i .

$$ma_{i_k} = \{(ma, valor) \mid ma \in ma \wedge valor \in \mathbb{R}\} \quad (5.10)$$

Onde:

- ma é a denominação do medicamento ou procedimento na base de dados incluído pelo médico, segue as recomendações do guia de genéricos do ministério da saúde [58]
- $valor$ é a quantidade, que deve ser aplicada ou administrada, no caso de ma ser um medicamento, $valor \in \mathbb{R}$.

Onde ma_{i_k} representa a mudança que é requerida no estado do elemento k do atuador i .

Para o paciente JBW, podemos ter como exemplo de um atuador, um monitor de medicação, que é um dispositivo médico, com definições encontradas em [70]. O monitor de medicação pode oferecer um conjunto definido de cápsulas com conteúdo fixo que podem ser programadas para serem acionadas no horário designado.

Definição 14 (Agregador) Cada conjunto S e A , pertencem a um único agregador H .

o agregador(H) atua como o elemento que coleta informações dos sensores, produzindo o vetor S . Para que H tome conhecimento se a situação descrita em S configura a normalidade ou não, o valor é comparado com as instruções de tratamento fornecidas. Se os dados em S apresentam algum desvio de parâmetro, é enviada uma solicitação de avaliação de tratamento.

$$H = \{S, A, p_i\} \quad (5.11)$$

Um conjunto de sensores, um conjunto de agregadores e um único paciente, determinam um Agregador.

Apenas o paciente Sr.JBW está sendo tratado. Dessa forma, o conjunto de pacientes é definido por $P = \{p_{JBW}\}$.

5.4 Estado do Paciente e Planos de Tratamento

Definição 15 (Paciente) Cada paciente $p_i \in P$ é definido por:

$$p_i = \langle S, Ts_i, CE_i \rangle, \quad (5.12)$$

onde:

- S (Estado do Paciente) é o conjunto que representa o estado atual do paciente p_i , com base na avaliação das suas condições fisiológicas;
- Ts_i (Planos de Tratamento) é o conjunto que representa todos os planos definidos para o tratamento do paciente p_i ao longo da evolução da doença;
- CE_i (Consequências Esperadas) é o conjunto que representa todas as consequências esperadas mediante a execução do tratamento pelo paciente p_i , é a situação de equilíbrio esperada do tratamento.

Definição 16 (Mediador) (Me) - Responsável por avaliar e se necessário eleger o serviço de saúde que vai apresentar um tratamento ao H . O mediador é res-

ponsável por receber as etapas de tratamento Ts , mediante o envio do tratamento feito pelo Serviço de Saúde(hs) escolhido no processo de oferta de contrato.

Definição 17 (Conjunto de Serviços de Saúde) (Hs) - A rede de serviço de saúde atrelados a um determinado mediador(Me) desempenham a função de tratar diferentes condições clínicas. O serviço de saúde(hs) que melhor pode desempenhar o tratamento da condição do paciente p_i é escolhido mediante um anúncio feito a este conjunto de serviços. Cada serviço de saúde é especializado em tratar uma única condição clínica, por exemplo, Diabetes Mellitus Tipo 2 ($DM2$) hs_{DM2} . que é enviado por Me a um serviço de saúde hs , especializado no tratamento de uma determinada condição, pertencente ao conjunto Hs de serviços de saúde. Onde:

$$Hs = \langle hs_1, hs_2, \dots, hs_N \rangle \quad (5.13)$$

e N é o número de serviços de Saúde disponíveis em Hs .

Por exemplo, a informação enviada pelo Me , faz a solicitação para o tratamento de uma condição clínica específica. Para uma rede de serviço Hs , com dois serviços de saúde, hs_1 e hs_2 , onde o serviço hs_1 trata uma condição clínica do paciente (por exemplo, Diabetes tipo 1 - DM1), enquanto o serviço hs_2 trata a condição de hipertensão, se Me solicitou o tratamento para DM1, apenas hs_1 irá responder a oferta de serviço.

Definição 18 (Serviço de Saúde) \acute{E} o elemento que responde à solicitação do Me , ganha a oportunidade de iniciar o tratamento da condição do paciente. O Serviço de Saúde (hs) é definido como:

$$hs_i = \{Ts_i, CE_i, u_i, cl_i\} \quad (5.14)$$

onde:

- Ts_i (Etapas do Tratamento) é o conjunto de etapas do tratamento oferecido ao paciente;
- CE_i (Consequências Esperadas) é o conjunto que representa todas as consequências esperadas mediante a execução do tratamento pelo paciente.

- u_i (Valor de utilidade do Tratamento) é o valor retornado pela função de utilidade que avalia continuamente o benefício do tratamento, é um número mapeado, cujo valor $\in \mathbb{R}$, como apresentado na Def. 3.
- cl_i (Classe da condição) é o valor de classe da condição tratada, indica a severidade da condição, $cl_i \in 1, 2, 3$, sendo o valor $cl_i = 1$ utilizado para recomendações ao paciente, o valor $cl_i = 2$ para condições de tratamento de doenças crônicas e o valor $cl_i = 3$ para condições severas. Este valor é passível de ser alterado pelo médico.

5.5 Etapas do Tratamento

Definição 19 (Etapas do Tratamento) *As etapas do tratamento, que são um extensão da proposta encontrada em [25] para a condição são definidas por:*

$$Ts_i = \{(timestamp), DT_i, CM_i\} \quad (5.15)$$

onde:

- *timestamp* é o momento em que a etapa de tratamento é definida;
- DT_i (Descrição de tratamento) é o conjunto da ação para a etapa do tratamento as ações relacionadas à etapa de tratamento;
- CM_i (Condições Médicas) é o conjunto formal de condições médicas que devem ser satisfeitas para se aplicar um dada etapa de tratamento.

Cada etapa de tratamento k para o serviço de saúde hs_i é referenciado por Ts_{i_k} , com $Ts_{i_k} \in Ts_i$ e $0 < k < |Ts_i|$. Cada etapa pode ainda apresentar um conjunto de subetapas, desta forma $Ts_{i_{k_j}}$, onde j pode $0 \leq j < |Ts_{i_k}|$

A seguir são descritas 2 etapas de tratamento para Hipertensão Arterial Sistêmica (HAS), definidas pelo hs_{HAS} para o paciente.

Definição 20 (Descrições de Tratamento) *O conjunto das descrições de tratamento de uma etapa de tratamento Ts_{i_k} é definido por:*

$$DT_{i_k} = \{ dt_{i_{k_1}}, dt_{i_{k_2}}, \dots, dt_{i_{k_n}} \} \quad (5.16)$$

onde dt_{i_k} representa cada descrição médica e $n \in \mathbb{N}$.

Definição 21 (Descrição de tratamento) *Especifica quais os valores que devem ser aplicados aos atuadores que estão ligados ao paciente e por quanto tempo, portanto:*

$$dt_k = \{(ma, valor), freq, quant, duracao, unid, tipo, conseq\} \quad (5.17)$$

onde:

- *ma é um mudança no atuador para a condição médica definida $ma \in MA$, já definido em 13;*
- *valor é a quantidade da unidade valor $\in \mathbb{R}$;*
- *freq é a frequência que se deve administrar o medicamento, $freq \in \mathbb{N}$;*
- *quant é a quantidade do medicamento $quant \in \mathbb{N}$;*
- *duracao é a duração que deve ser aplicado o medicamento, em minutos, horas e dias;*
- *unid é a representação textual da unidade de administração da etapa de tratamento;*
- *tipo é a representação textual do tipo do medicamento, por exemplo: ampola, comprimido, seringa;*
- *conseq se presente, estabelece que esta é uma subetapa, $\in \mathbb{N}$.*

A descrição de tratamento dt_k é dita uma descrição de tratamento condicional (ou subetapa) dentro de uma etapa de tratamento e só ocorre se o *flag conseq*

estiver presente. Após a execução da etapa dt_k , o fluxo de execução das descrições é retornado ao fluxo normal.

Um exemplo de uma descrição de tratamento para o paciente JBW, seria:

$$DT_{HAS_1} = \{((\text{"losartan"}, 25), 1, 1, PT120H, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \\ ((\text{"amlodipina"}, 5), 1, 1, PT120H, \text{"mg"}, \text{"comprimido"})\} \quad (5.18)$$

Definição 22 (Condições Médicas) *O conjunto das Condições Médicas de uma etapa de tratamento Ts_{i_k} é definido por:*

$$CM_i = \{ cm_{i_1}, cm_{i_2}, \dots, cm_{i_n} \} \quad (5.19)$$

onde cm_{i_k} representa cada condição médica e $n \in \mathbb{N}$.

Definição 23 (Condição Médica) *Após a aplicação de uma etapa de tratamento, espera-se que a condição médica do paciente seja estabilizada em determinados intervalos e que na ocorrência de uma mudança, saiba-se qual a próxima etapa que deve ser contemplada. A condição médica deve ser satisfeita para que a etapa de tratamento seja aplicada, portanto:*

$$cm_{i_k} = \{(vm, intervalo, conseq) \mid vm \in VM \wedge intervalo \subset \mathbb{R} \wedge Ts_{i_k} \in Ts_i\} \quad (5.20)$$

onde:

- vm é um termo médico para a condição médica definida;
- $intervalo$ é o intervalo em que se aplica a etapa do tratamento;
- $conseq$ sinaliza um condição que deve ser satisfeita para que subetapa de descrição de tratamento seja processada.
- Ts_{i_k} é a etapa do tratamento k para a para o serviço de saúde i .

sendo que o intervalo é representado por:

$$\begin{aligned}
 (a, b) &= \{x \in \mathbb{R} \mid a < x < b\} \\
 [a, b) &= \{x \in \mathbb{R} \mid a \leq x < b\} \\
 (a, b] &= \{x \in \mathbb{R} \mid a < x \leq b\} \\
 [a, b] &= \{x \in \mathbb{R} \mid a \leq x \leq b\}
 \end{aligned} \tag{5.21}$$

Uma subetapa é uma etapa que desvia o curso do tratamento e só acontece se uma condição for satisfeita. Se a condição for inexistente o tratamento segue o fluxo normal de verificação de etapas em Ts . Na ocorrência de um *conseq* o vetor $S' \in S$ é retornado, e as medidas são reavaliadas, de acordo com as condições que apresenta o *conseq*, e apenas as descrições de tratamento que contenham este marcador serão executadas. Não existem subetapas para o tratamento do paciente Sr. JBW. Um exemplo que utiliza *conseq* é descrito na Sec.6.1.2.

Como exemplo de condição médica podemos utilizar o caso da etapa 1(Sec. 5.1) de tratamento do paciente JBW.

$$\begin{aligned}
 CM_{HAS_1} &= \{(vm_{PAS}, (120, 160]), (vm_{PAD}, (80, 90]) \\
 &\quad (vm_{FC}, [70, 140]), \}
 \end{aligned} \tag{5.22}$$

Portanto a primeira etapa de tratamento 5.1 para o paciente Sr.JBW pode ser descrita como:

$$\begin{aligned}
 Ts_1 &= \left\{ (2013 - 03 - 20T18 : 12 : 35 - 03 : 00), \right. \\
 DT_{HAS_1} &= \{((\text{"losartan"}, 25), 1, 1, P5D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \\
 &\quad ((\text{"amlodipina"}, 5), 1, 1, P5D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"})\}, \\
 CM_{HAS_1} &= \{(vm_{PAS}, (120, 160]), (vm_{PAD}, (80, 90]) \\
 &\quad (vm_{FC}, [70, 140]), \} \left. \right\}
 \end{aligned} \tag{5.23}$$

Definição 24 (Condições Esperadas) *É o conjunto de condições esperadas para*

o tratamento, $CE_i \rightarrow CM_i$, as medidas de CE são diretamente mapeadas em CM . São as condições médicas que se espera que o tratamento proporcione ao paciente.

Definição 25 (Satisfação de Condição Médica) *É a função que identifica a obtenção da condição médica para aplicação da próxima etapa do tratamento.*

$$scm(vm_i, CM_k, S) = \begin{cases} VERDADEIRO & (valor \in S) \subset (intervalo \in CM_k) \\ FALSE & (valor \in S) \not\subset (intervalo \in CM_k) \end{cases} \quad (5.24)$$

onde:

- vm_i é um termo médico para $\in S$;
- CM_k é a condição médica da etapa k ;
- S é o conjunto da leitura do estado dos sensores ligados ao paciente.

As condições estabelecidas em $hs_i \in Hs$ são transferidas em etapas para H , desta forma se acompanha a evolução do tratamento, conduzindo uma avaliação em cada etapa, na busca por uma maior confiabilidade na solução oferecida ao paciente. As etapas são fases do tratamento que são enviadas para a administração através dos atuadores ligados a H . Após a conclusão de cada etapa, H envia a avaliação para ser processada em Me , que decide se envia a próxima etapa ou faz uma nova solicitação para uma alternativa ao tratamento atual. Após a conclusão do tratamento é feita uma avaliação final em Me e enviada a hs_i .

Os serviços de saúde que são parte de Hs usam como base, o universo estabelecido pelo conhecimento médico através de diretrizes e protocolos desenvolvidos mediante a experiência médica, estes serviços são avaliados e pontuados, através da função de utilidade (u_i) cada vez que são utilizados, assim é montada uma base de informações sobre os serviços desta rede. Nas próximas requisições do serviço, esta informação é utilizada como base para a escolha, a fim de se obter o tratamento adequado à condição.

O modelo descrito apresenta uma proposta de aumentar a confiabilidade de uma RMRP através da utilização de agentes inteligentes que operam seguindo um protocolo para a operação de uma diretriz clínica estabelecida no sistema, através de cada agente em Hs . O paciente pode ser monitorado de maneira episódica seguindo intervalos especificados pelo sistema, ou mediante uma leitura contínua do sinal vital, em ambos os casos, uma mudança no estado de saúde do paciente é comunicada ao *Agregador* que verifica que procedimento deve ser executado. O MMRPM, inclui uma estrutura de coordenação do tratamento através do *Me* [86, 85], e apresenta:

- a capacidade de avaliar a situação atual do paciente - *O que está acontecendo?*;
- a evolução em curto prazo - *O que pode acontecer se ...?*, dentro de determinados cenários;
- elaborar potenciais planos de ação - *O que fazer ?*, de modo que uma avaliação de riscos em tempo real é efetuada.

5.5.1 Sumário das Definições do Modelo

Tabela 5.1: Resumo de definições do modelo

Definição	Representação	Descrição
Sistema MMRPM	$MMRPM$	Elementos do sistema
Conjunto de Sensores	S	Todos os sensores que estão ligados ao paciente
Sensor	s_i	Um sensor é o conjunto das medidas que ele fornece
Medida de Sensor	ms_{i_k}	é uma capacidade de medida do sensor isto é diretamente relacionado com a definição de vm

Continua na próxima página

Definição	Representação	Descrição
Termos Médicos	VM	Conjunto de termos médicos disponíveis no sistema
Termo Médico	vm	é a sinal vital, procedimento médico de acordo com o UMLS
Conjunto de Atuadores	A	Atuadores que estão conectados ao paciente
Atuador	a_i	Um Atuador representa o conjunto da capacidade de procedimentos terapia que ele pode aplicar
Mudança de Atuador	ma_{i_k}	É mudança aplicada a um elemento de atuação
Agregador	H	É o elemento que percebe o ambiente e ministra as ações encaminhadas pelo mediador através das etapas de tratamento.
Conjunto de Pacientes	P	Universo de pacientes que estão registrados no sistema
Paciente	p_i	Representa o estado atual do paciente, o tratamento ao qual ele está submetido e os resultados esperados deste tratamento
Mediador	Me	Elemento que procura o serviço de saúde mais adequado para o tratamento paciente
Conjunto de Serviços de Saúde	HS	Conjunto de condições que podem ser tratadas pelo sistema
Serviço de Saúde	hs_i	Apresenta o resultado esperado e etapas para se tratar o paciente, ao final o desempenho do tratamento é avaliado

Continua na próxima página

Definição	Representação	Descrição
Etapas de Tratamento	Ts_i	Descreve a duração, quantidade da aplicação da terapia e as condições para se aplicar a etapa do tratamento
Conjunto de Descrições de Tratamento	DT_{i_k}	conjunto de ações numa etapa de tratamento
Descrição de Tratamento	dt_k	Descrição da ação de tratamento, esta informação pode ser mapeada em a_i
Conjunto de Condições Médicas	CM_i	condições para se aplicar uma etapa de tratamento
Condição Médica	cm_{i_k}	Valores individuais para aplicação de uma determinada etapa de tratamento.
Condição Esperada	$CE \rightarrow CM$	pode ser mapeada diretamente em condições médicas
Função de Condição Médica	$scm(vm_i, CM_k, S)$	Calcula se os sinais vitais do paciente satisfazem a condição para a aplicação de uma determinada descrição de tratamento

5.6 Análise Conceitual do Modelo

O MMRPM tem como objetivo principal apontar a melhor conduta a fim de preservar a saúde do paciente. Os agentes que compõem o sistema são:

Agregador - (H) Requisita informações dos sensores com a frequência estipulada no tratamento/acompanhamento, comanda ainda os Atuadores de acordo com o conhecimento obtido através do Mediador, a fim de que o estado do Paciente seja modificado. Na eventualidade, de não precisar de Atuadores envia um alerta ao paciente indicando o procedimento a ser efetuado através do conhecimento adquirido através de *Me*. O Agregador adquire o conhecimento necessário para a operação de um procedimento com segurança,

mediante a orientação do Mediador. O Agregador pode se conectar a internet de maneira autônoma, numa estrutura onde o Agregador e o Sensor são parte do mesmo dispositivo[53], ou o Agregador pode dispor de informação advinda de sensores espalhados em dispositivos espalhados pela casa[54] ou Agregador é distinto fisicamente do Sensor, comunicando-se com este apenas através de protocolo de transporte local que encapsula o 11073[39].

Mediador - (*Me*) Recebe requisição do Agregador e executa uma negociação para alocação de tarefas na organização dos agentes de Serviços de Saúde. Ainda verifica a possibilidade de utilizar o mecanismo de coordenação, nos casos em que o paciente apresenta mais de uma condição a ser tratada. Após a solicitação do Serviço de Saúde, mediante uma chamada, é elaborado um planejamento, levando em conta os objetivos a serem atingidos, mediante o acompanhamento do Mediador.

Serviços de Saúde - (*Hs*) São agentes que contém conhecimento sobre um determinado domínio do conhecimento médico e buscam oferecer a melhor solução através da atualização contínua do conhecimento armazenado. O conhecimento é adquirido através do *feedback* dos tratamentos enviados ao Agregador ou através da atualização de conteúdo feita por médicos especialistas que alimentam o Serviço de Saúde em questão.

A interação entre os agentes descritos na organização MMRPM começa a partir do Agregador, que é o elo de comunicação dos sensores e atuadores com o Mediador, a fim de que um determinado estado seja restabelecido pelo sistema. O *Agregador* busca sempre a comunicação com o *Mediador* para restabelecer as condições do paciente. Na impossibilidade de se contactar o *Mediador* trabalha-se com a opção da tarefa de menor *custo*, a fim de restabelecer o estado do paciente. A visão do mundo externo é fornecida pelos *Sensores* que estão ligados ao paciente que está conectado ao *Agregador*. Os sensores fornecem a percepção do MMRPM quanto a situação do paciente. Os *Atuadores* são os elementos que atuam para restabelecer a normalidade ao mundo físico, que neste caso é a Planta [48] que está sendo observada, que é o paciente, mediante instruções enviadas pelo *Agregador*, que

indica o procedimento que deve ser realizado, a fim de que o estado desejado seja alcançado.

O *Agregador* requisita os dados vitais do paciente periodicamente aos *Sensores*, o *Agregador* também tem a responsabilidade de instruir os *Atuadores* com o fim alcançar o novo estado indicado pelo procedimento enviado pelo *Mediador*.

O *Mediador* ao receber uma requisição para tratamento do paciente inicia uma *Solicitação* (Como descrito no Cap. 2) com o objetivo de identificar qual agente da sociedade de agentes de *Serviços de Saúde* pode resolver a tarefa. Uma vez identificado o agente de *Serviço de Saúde*, um conjunto de tarefas é enviado ao *Mediador*. Se a condição clínica proposta pelo *Mediador* não for possível de ser resolvida por um único agente de *Serviço de Saúde* Hs_i do conjunto Hs , o próprio agente *Mediador* irá se encarregar de solicitar o agente da sociedade para cooperar na resolução da tarefa onde Hs_j é o especialista.

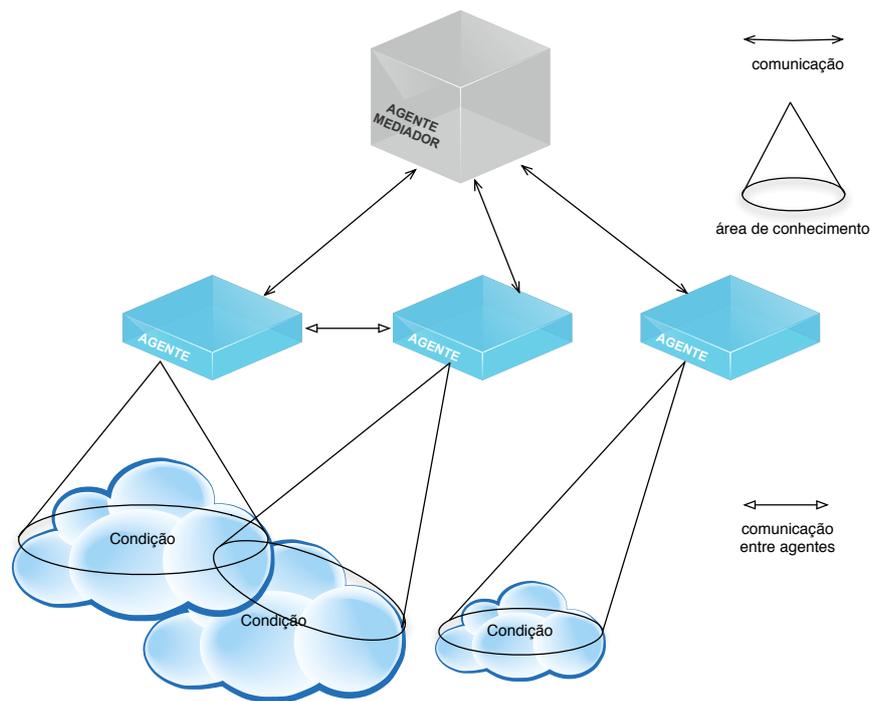


Figura 5.1: Modelo de Agente Mediador

Neste caso é iniciado um processo onde o *Mediador* prepara um plano conjunto

para as condições descritas, por meio do planejador (SAT)[75] integrado, através do qual será fornecido um plano conjunto de tratamento, que é uma descrição de tarefas que devem ser seguidas mediante indicações de Hs_i e Hs_j . O *Me* assume a solução indicada pelo planejador interno e envia o tratamento particionado em etapas para *H*, este julgamento considera as limitações do *Agregador-H*. Agora o *Mediador* tem uma visão de como o problema deve ser resolvido e que etapas são necessárias para se superar o estado atual e trazer o paciente de volta ao estado normal.

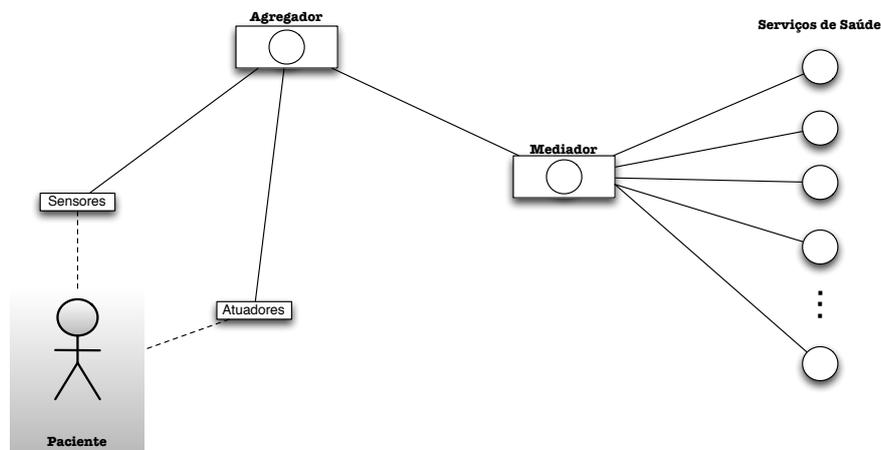


Figura 5.2: Interação do agente de Serviços de Saúde com o agente Mediador

O sistema de MMRPM apresenta as seguintes características:

- Permite a verificação do estado de saúde do paciente através da coleta de dados dos sensores, pelo *Agregador*;
- Permite a solicitação dos serviços de saúde pertinentes e monta um plano que atende aos objetivos necessários para restabelecer a saúde do paciente, através do *Mediador*;
- Permite o envio do tratamento ao *Agregador* mediante etapas que são avaliadas pelo *Mediador*;
- Permite uma avaliação do sistema do tratamento e potencial recompensa pelo serviço.

5.7 Arquitetura do MMRPM

Esta seção descreve como os agentes reagem (ação) as entradas do ambiente (percepção). Quais são os objetivos e os objetivo secundários, cenários apropriados e papéis. Esta descrição implementa um modelo de malha fechada, que tem a sua importância apresentada no Cap. 1 e em [50]. Nestes ambientes o elemento computacional tem a capacidade de substituir o cuidador em tarefas simples de ajustes no tratamento, isto permite que o sistema reaja à mudanças na condição do paciente e busque restabelecer as condições de normalidade estabelecidas pelo médico.

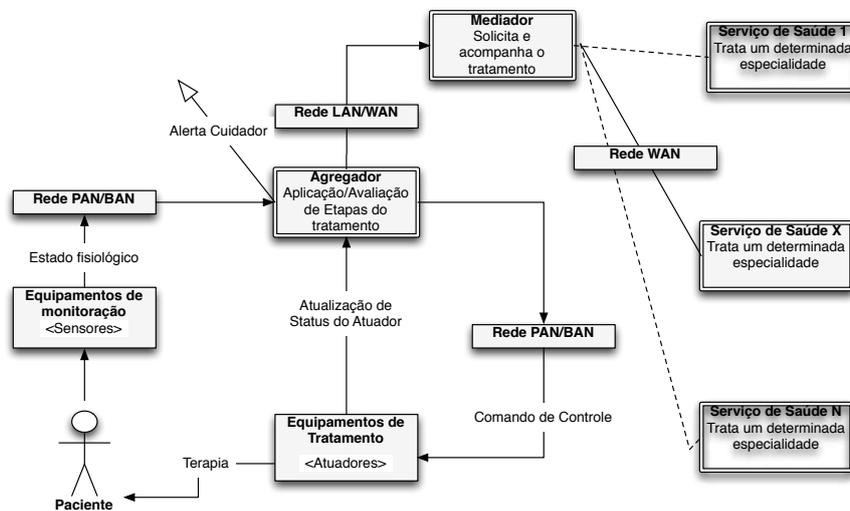


Figura 5.3: Modelo de MRP utilizando Sistema Multiagente

Objetivos

Aqui os requisitos são convertidos em objetivos do sistema:

- Verificar a saúde do paciente
- Obter um tratamento para o paciente
- Administrar o tratamento ao paciente

- Avaliar o tratamento ministrado ao paciente

Para cada um dos objetivos agora devemos buscar quebrá-los, em objetivos menores (objetivos secundários) de forma que os objetivos principais possam ser alcançados.

- Verificar a saúde do paciente
 1. Agregador requisita lista de sensores e atuadores do paciente
 2. Agregador ler dados dos sensores do paciente
 3. Agregador avalia valores dos sensores mediante o tratamento indicado
 4. Agregador requisita avaliação
- Obter um tratamento para o paciente
 1. Mediador recebe requisição de avaliação
 2. Mediador faz busca aos Serviços de Saúde
 3. Serviço de Saúde avalia oferta
 4. Serviço de Saúde responde busca
 5. Mediador avalia respostas às buscas Serviços de Saúde
 6. Serviço de Saúde envia tratamento para o Mediador
- Administrar o tratamento ao paciente
 1. Mediador envia tratamento em etapas ao paciente
 2. Agregador administra tratamento
 3. Agregador avalia etapa do tratamento
 4. Agregador solicita nova etapa de tratamento
- Avaliar o tratamento ministrado
 1. Agregador envia avaliação de etapa ao Mediador
 2. Mediador calcula avaliação do tratamento
 3. Mediador armazena índice de sucesso do tratamento
 4. Mediador anuncia índice de sucesso do tratamento ao Serviço de Saúde

5.7.1 Cenários de utilização

Podemos identificar alguns cenários para o sistema:

- Quando o estado de saúde do paciente é verificado
- Quando é obtido um tratamento para o paciente
- Quando é administrado o tratamento escolhido para o paciente
- Quando é avaliada a eficácia do tratamento

Para a execução de cada cenário é necessário que o mesmo seja particionado em tarefas, que se relacionam diretamente ao conhecimento de agentes inteligentes, seguindo a metodologia BDI [85]: percepção, ações, objetivos, e cenários(ou sub-cenários). Assim, para o nosso sistema podemos detalhar os seguintes cenários:

- Verifica estado de saúde
 1. Verifica saúde do paciente
 2. Envia leitura ao Mediador
 3. Mediador avalia necessidade de tratamento
- Obtém tratamento
 1. Mediador anuncia uma requisição de tratamento aos Serviços de Saúde
 2. Serviço de Saúde faz busca para cumprir a requisição de tratamento
 3. Mediador encontra Serviço de Saúde
 4. Serviço de Saúde envia um tratamento ao Mediador
 5. Agregador obtém um tratamento para o paciente
- Administra Tratamento
 1. Mediador envia uma etapa do tratamento para o Agregador
 2. Agregador procede com um tratamento para o paciente

3. Agregador faz leitura de sensores
- Avaliação do tratamento
 1. Serviço de Saúde é avaliado sobre o tratamento
 2. Serviço de Saúde é informado do sucesso/insucesso do tratamento

5.7.2 Adição de um novo serviço de saúde

Para que um novo serviço de saúde seja disponibilizado no MMRPM, um conjunto de requisitos deve ser satisfeito:

1. Inclusão na base de serviços de saúde do termo, por exemplo, tratamento para Hipertensão Arterial Sistêmica, pode ser definida por HAS;
2. Guia de Diretrizes clínicas, deve estar disponibilizado, do contrário o sistema não aceita a inclusão do tratamento;
3. Conjunto mínimo de sensores para o avaliação da condição;
4. Conjunto mínimo de atuadores para o tratamento da condição;
5. Ajustes do médico, de acordo com a idade, peso do paciente e severidade do caso, o tratamento sofre variações;

Como inserir uma diretriz no MMRPM ?

Ao se aplicar uma terapia ao paciente, os médicos buscam informações em diretrizes clínicas publicadas pelas sociedades de cada uma das especialidades médicas. Estas diretrizes são estabelecidas mediante avanços na pesquisa médica ou procedimentos estabelecidos, apresentados como evidência da terapia aplicada a uma determinada condição, possibilitando ao médico, por vezes montar sua própria adaptação de um procedimento [34].

No sistema MMRPM, para um tratamento de uma condição clínica se tornar disponível implica na abstração de parte deste conhecimento ser introduzida no

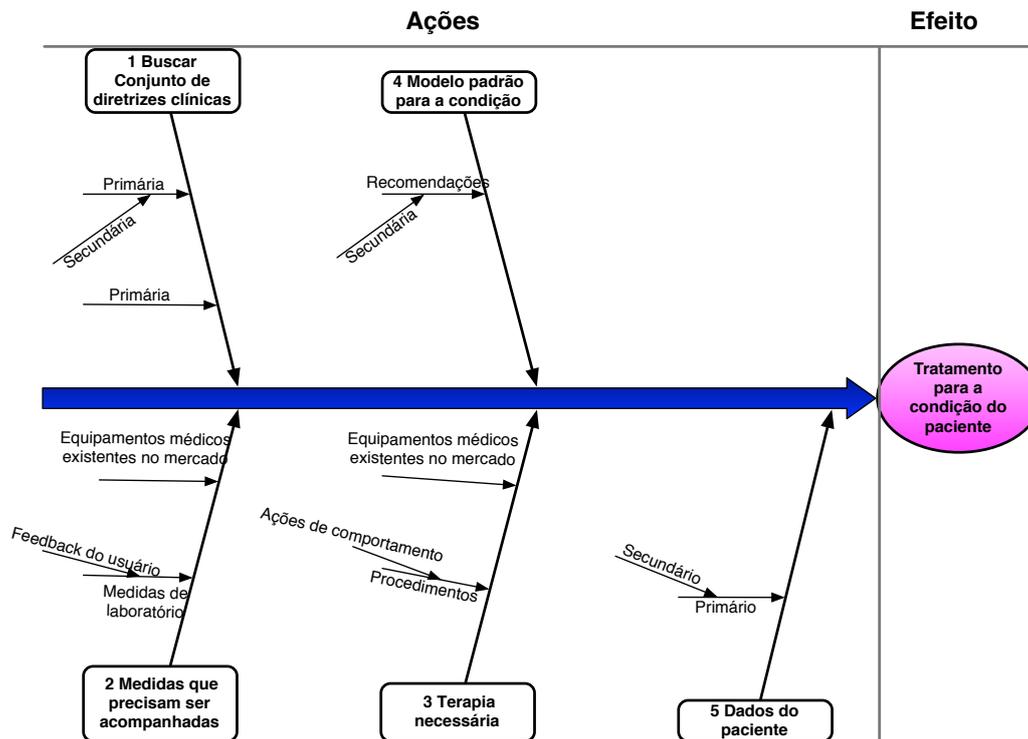


Figura 5.4: Ações necessárias para a criação de um novo serviço de saúde

sistema. Portanto para cada novo serviço de saúde (*hs*), que oferece o tratamento para a condição, descrita na Fig. 5.4, deve se seguir os passos citados na Sec. 5.7.2.

Para que um tratamento seja disponibilizado ao paciente

1. No passo 1 é verificada a existência de diretrizes para o tratamento da condição clínica. Existem casos onde pode se encontrar mais de um protocolo para tratamento da doença, por exemplo em casos onde o paciente não responde a uma primeira terapia e é submetido a um segunda tentativa com um novo medicamento [34].
2. Satisfeito o passo 1, teremos um conjunto de sinais vitais ou sintomas que precisam ser acompanhados, é listada aqui quais os sensores disponíveis para acompanhar o paciente e assim permitir um relato preciso, livre de erros, na avaliação da terapia.

3. Verifica-se a existência de equipamentos médicos que permitam a administração precisa do medicamento e da terapia. Exemplos de equipamentos que podem ser programados são: monitor de medicação e bomba de infusão controlada.
4. Aqui são apresentadas as sugestões mínimas que servirão de guia quando da aplicação da diretriz.
5. Apesar de existir um conjunto mínimo que compõe a diretriz, deve ser observado que cabe ao médico a configuração do serviço, portanto deve ser oferecida a possibilidade de ajuste levando em conta as particularidades do paciente.

No passo 4, observa-se as condições padronizadas mínimas declaradas na diretriz clínica, quando da oferta de um novo serviço de saúde. É interessante que a interface da ferramenta que irá configurar o MMRPM apresente como sugestão o conjunto mínimo preenchido da diretriz, no que diz respeito à quantidade, número de etapas, duração e frequência da terapia. Para cada um dos passos existem elementos primários e secundários. Os primários são elementos essenciais para o sucesso do tratamento, por exemplo tomar o medicamento na hora exata. Os secundários são informações que ajudam mas que se não forem seguidas, não implicam necessariamente numa falha do tratamento, exemplo de elemento secundário seria não ingerir determinado alimento, devido a possibilidade de interação medicamentosa.

Aplicar tratamento

Um vez programado o MMRPM, passa-se a utilização do mesmo pelo paciente, que tem agora um conjunto de procedimentos seguros a sua disposição, as mudanças que se fizerem necessárias no tratamento já foram previamente avaliadas pelo seu médico, ou consulta o serviço para tratamentos alternativos já prescritos pelo médico.

Na Fig. 5.5 é demonstrada a máquina de estado que descreve o processo que os agentes *HealthHub*, que representa o Agregador, *HealthMediator*, que representa

o Mediador e *HealthService*, que representa um Serviço de Saúde, desenvolvem, a fim de aplicar uma etapa de tratamento ao paciente. Onde o agente *HealthHub* percebe e atua no ambiente no Agregador(*H*), realizando a interação com o mundo físico necessária, segundo as instruções do Mediador(*Me*), que percebe informações repassadas por *H*, e devolve a próxima etapa de tratamento para *Me*, na inexistência de um tratamento, faz uma *oferta* para o conjunto dos agentes de serviços de saúde(*Hs*), onde cada agente é uma instância do agente *HealthService*, respondendo aquele que trata a condição.

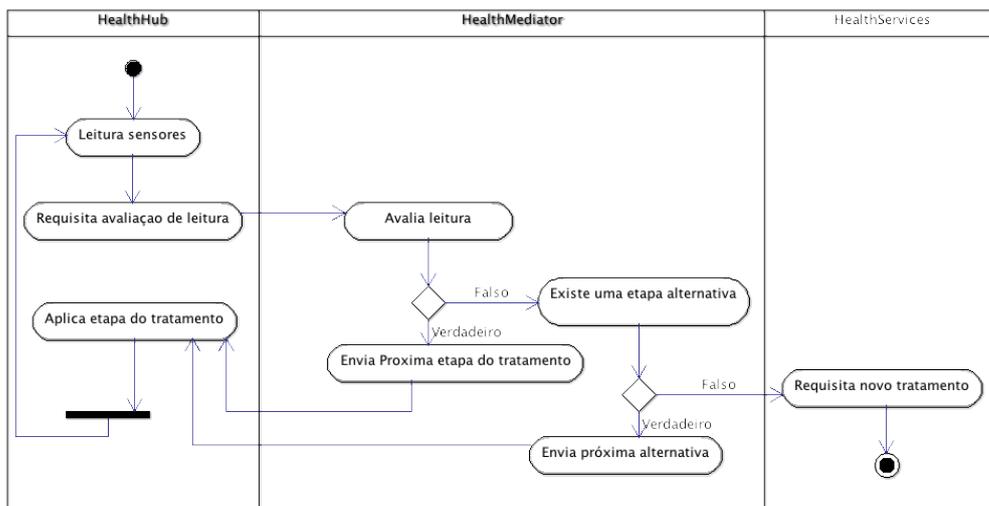


Figura 5.5: Máquina de estado da Aplicação de Tratamento

Avaliar tratamento

Uma vez que o tratamento tenha sucesso é calculado um valor de utilidade para o tratamento, este valor é então armazenado e uma cópia da avaliação é enviada de volta ao agente para a própria avaliação do desempenho do tratamento.

5.8 Uma visão geral utilizando normas

Com o fim de demonstrar a utilização do MMRPM, iremos especificá-lo utilizando a notação *Moise*⁺(Cap. 2), descrita em detalhes em [36, 9].

5.8.1 Estrutura do MMRPM

Para o MMRPM temos apenas um grupo declarado chamado de *mGroup*. Na (Fig. 5.6) pode se observar as relações de ligações(*link*) entre os três papéis com quais os os agentes que pertencem ao MMRPM podem se comprometer. O *mediator* tem uma relação de autoridade com o *agregator* e com o *healths*, o que implica uma relação de *conhecimento* e *comunicação*. Já o *mediator* tem uma relação de apenas conhecimento com o *mediator*.

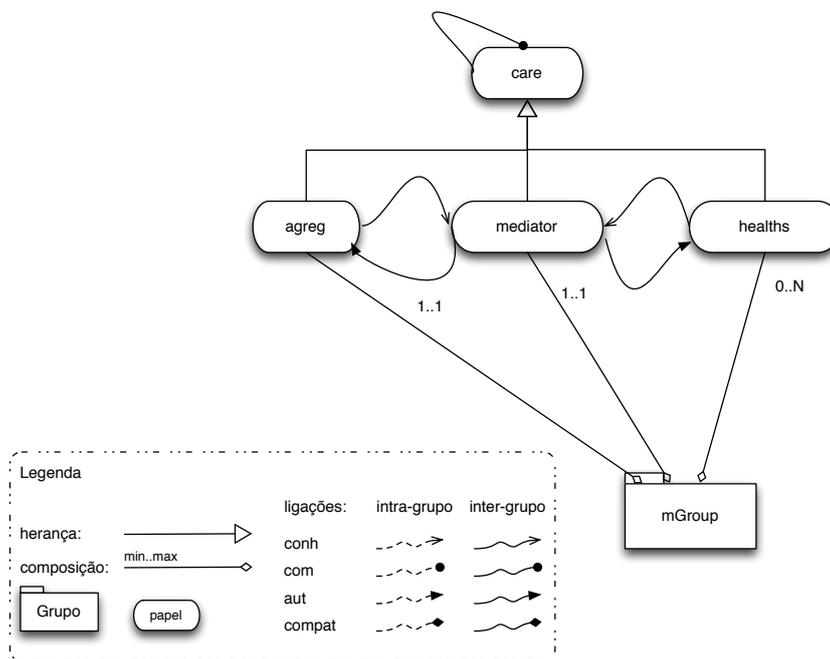


Figura 5.6: estrutura do MMRPM e relação entre seus papéis

A Tab. 5.2 relaciona a descrição entre os papéis no esquema(SCH) do MMRPM e suas respectivas missões. Isto implica que se um agente se compromete a assumir o papel de mediador a sua missão será alcançar os objetivos da missão *mMtreat*.

papel	relação deôntica	missão
agregador	obrigação	mAtreat
mediador	permissão	mMtreat
mediador	permissão	mTreat
serviço de saúde	obrigação	mHtreat

A Fig. 5.6 é representada na metodologia *Moise*⁺ como:

```

<structural-specification>
<role-definitions>
  <role id="agregator"></role><role id="mediator" /><role id="healthservice"></
  role>
    <role id="drinkwater">
      <extends >healthservice</extends></role>
    <role id="labtestprep">
      <extends >healthservice</extends></role>
</role-definitions>

  <group-specification id="mgroup">
<roles>
  <role id="agregator" min="1" max="1"/>
  <role id="mediator" min="1" max="1"/><role id="healthservice" max="0" min="
  100" />
</roles>

<links>
  <link from="mediator" to="healthservice" type="authority" scope="intra-group
  " bi-dir="false"/>
  <link from="mediator" to="agregator" type="authority" scope="intra-group" bi
  -dir="false"/><link
  from="agregator" to="mediator" type="acquaintance" scope="intra-group"
  bi-dir="false" /><link
  from="healthservice" to="healthservice" scope="intra-group"
  type="compatibility" />
</links>
<subgroups></subgroups>
<formation-constraints>
  <compatibility from="role1" to="role2" type="compatibility" />
</formation-constraints>
</group-specification>
</structural-specification>

```

A especificação funcional do MMRPM(Fig. 5.7) descreve as missões e os objetivos globais para o MMRPM. Pelo esquema do MMRPM(Fig. 5.7) fica claro que objetivos descritos tem uma natureza sequencial, devido à natureza do sistema, que deve cumprir as missões de coletar as informações, obter o tratamento, aplicar o tratamento e por fim avaliar o tratamento, nesta ordem. Perceba que neste esquema, não foram declarados os objetivos de cada uma das condições que se pretende tratar, ou seja a $mMtreat$ e $mHtreat$ de cada paciente serão diferentes, pois os tratamentos que serão solicitados para cada um deles deverão ter características específicas. O *mediator* será responsável por sugerir resolução de conflitos, para um paciente com duas ou mais condições de tratamento, no sentido de que a missão de tratar a condição de saúde $cond_A$ do paciente não interfira no cumprimento da missão de tratar a condição de saúde $cond_B$, deste paciente. Neste caso, o MMRPM vai buscar planos alternativos tomando como base os planos iniciais apresentados pela $cond_A$ e $cond_B$, de modo que se tenha um plano conjunto ótimo, dado o comprimento máximo de etapas do plano \mathcal{L} como entrada e sugerir um caminho para resolução do conflito se este for um caminho atingível.

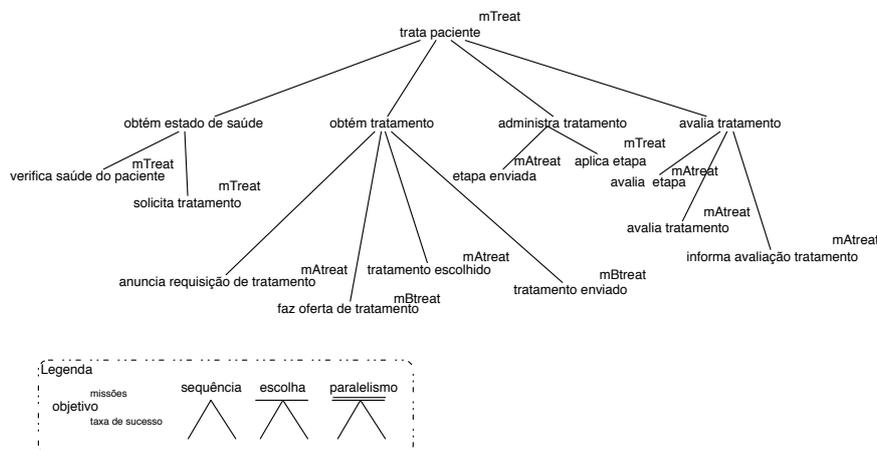


Figura 5.7: Esquema da Organização MMRPM

Um trecho da especificação descrita na Fig. 5.7, é descrita na metodologia

Moise⁺ como:

```

<functional-specification>
  <scheme id="schMMRPM">
    <goal id="treat_patient" ds="treat patient">
      <plan operator="sequence">
        ...
        <goal id="find_treatment" ds="find treatment
          for patient">
          <plan operator="sequence">
            <goal id="treatment_request"
              ds="announce treatment
                request">
            </goal>
            <goal id="answer_request"
              ds="answer treatment
                request">
            </goal>
            <goal id="chose_treatment" ds="
              choose treatment"></goal>
            <goal id="send_treatment" ds="
              send treatment "></goal>
          </plan>
        </goal>
        ...
      <mission id="mBtreat">
        <goal id="answer_request" ></goal>
        <goal id="send_treatment" ></goal>
      </mission>
    </scheme>
  </functional-specification>

```

As normas definidas para o tratamento do paciente são:

NORMA 1

- *papel*: Agregador
- *ativação*: a cada X horas
- *expiração*:
- *conceito deôntico*: obrigação
- *objetivo*: verifica saúde do paciente
- *punição*:

- *premiação*:

NORMA 2

- *papel*: Agregador
- *ativação*: após execução da NORMA1
- *expiração*: após conclusão da NORMA11
- *conceito deontico*: obrigação
- *objetivo*: solicita tratamento
- *punição*:
- *premiação*:

NORMA 3

- *papel*: Mediador
- *ativação*: após NORMA2
- *expiração*: após NORMA4
- *conceito deontico*: obrigação
- *objetivo*: anuncia requisição de tratamento
- *punição*:
- *premiação*:

NORMA 4

- *papel*: Serviço de Saúde
- *ativação*: após NORMA3
- *expiração*:
- *conceito deontico*: permissão
- *objetivo*: faz oferta de tratamento
- *punição*:

- *premiação*:

NORMA 5

- *papel*: Mediador
- *ativação*: após NORMA4
- *expiração*: após NORMA6
- *conceito deontico*: permissão
- *objetivo*: tratamento escolhido
- *punição*:
- *premiação*:

NORMA 6

- *papel*: Serviço de Saúde
- *ativação*: NORMA5 concluída
- *expiração*:
- *conceito deontico*: permissão
- *objetivo*: enviar tratamento
- *punição*:
- *premiação*:

NORMA 7

- *papel*: Mediador
- *ativação*: após NORMA6
- *expiração*:
- *conceito deontico*: permissão
- *objetivo*: enviar etapa
- *punição*:

- *premiação:*

NORMA 8

- *papel:* Agregador
- *ativação:* após NORMA7
- *expiração:*
- *conceito deontico:* obrigação
- *objetivo:* aplica etapa
- *punição:*
- *premiação:*

NORMA 9

- *papel:* Mediador
- *ativação:* após NORMA8
- *expiração:*
- *conceito deontico:* permissão
- *objetivo:* avalia etapa
- *punição:*
- *premiação:*

NORMA 10

- *papel:* Mediador
- *ativação:* a cada X dias
- *expiração:*
- *conceito deontico:* permissão
- *objetivo:* avalia tratamento
- *punição:*

- *premiação*:

NORMA 11

- *papel*: Mediador
- *ativação*: após NORMA10
- *expiração*:
- *conceito deôntico*: obrigação
- *objetivo*: informa avaliação de tratamento
- *punição*:
- *premiação*:

Consideramos que as informações de tratamento e percepção do mundo físico através das leituras dos sensores já estejam disponíveis para o Mediador (Me), que será responsável por disponibilizar o tratamento para o paciente que está sendo monitorado, igualmente assume-se que os Serviços de Saúde (Hs), já foram escolhidos e que cabe ao Mediador através da ligação de autoridade (Fig. 5.6) aceitar se os planos de tratamento enviados satisfazem as condições de saúde apresentadas pelo paciente. Neste cenário o agente Mediador (Me) é responsável por controlar a utilização dos recursos disponíveis no ambiente.

A partir de então vamos focar num esquema particular pertencente à *Norma 6*, que precisa enviar o tratamento de modo que não exista conflito entre as sequências de transição de estado enviadas, (Fig. 5.8).

No caso, mais de uma condição, as sequências de transição enviadas precisam ser avaliadas de acordo com o conjunto total das transições e efeitos desejados para o plano principal que será representado pelo conjunto dos planos das condições de saúde que serão tratadas.

5.8.2 Harmonização e Resolução de Conflitos no Tratamento

Conflitos no tratamento das diversas condições de saúde, se houverem serão tratados mediante a submissão das transições de estado (Def. 2), ao planejador disponível no *Mediador*. No caso da (Fig. 5.9) temos um exemplo do como se daria

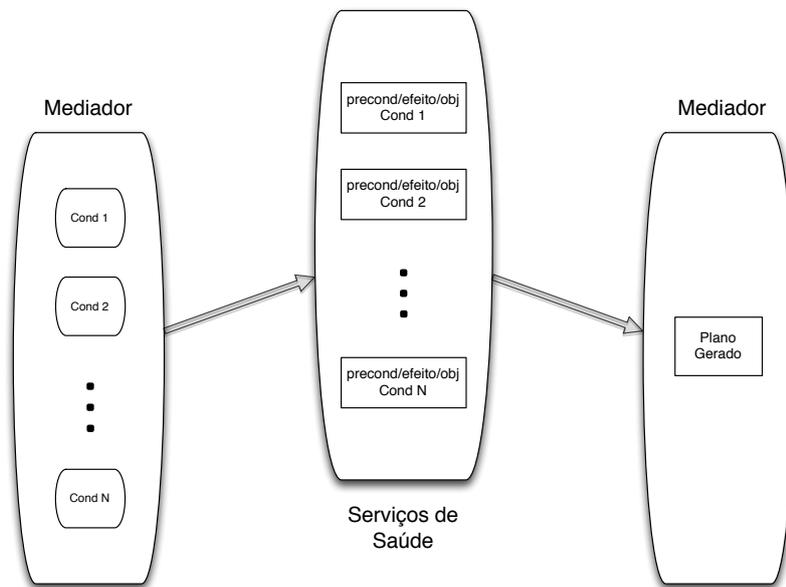


Figura 5.8: Fluxo para a criação de um plano coordenado

o fluxo para obtenção do plano conjunto, que se houver será devolvido pelo planejador. Neste exemplo o paciente sofre de duas doenças crônicas, cada uma com um plano específico de tratamento. Assume-se que estes planos individuais são coerentes e especificados em Formas Normais Disjuntivas (FND), ordenadas em Formas Normais Conjuntivas (FNC), indicando que para serem satisfeitos tem satisfazer as FNC que compõem o conjunto das condições sob tratamento. No exemplo (Fig. 5.9), temos um paciente crônico que sofre de Asma e de Diabetes Mellitus 2 (DM2), este paciente tem agendado um exame de PET. O médico vai disponibilizar para o paciente o acesso ao serviços de saúde para Asma e DM2. Quando da proximidade do exame o paciente vai receber um convite para acessar o novo serviços que trará os cuidados que devem ser tomados para a realização do exame. As pré-condições e efeitos esperados deste 3 tipos diferentes de Serviços de Saúde, são submetidos ao Planejador disponível no agente Mediador. A prioridade dos serviços de saúde são indicadas por 3 classes(Def. 18), indicadas pelo médico quando da disponibilização do serviço. A classe 1 deve ser utilizada para exames e rotinas que levam a interações que podem afetar a saúde do paciente, que seria

por exemplo a preparação para um exame. A Classe 2 indica doenças crônicas, por exemplo tratamento de DM2. A classe 3 indica Doença Aguda, que pode ser atribuída à febre alta ou a uma crise asmática, esta classe tem a maior prioridade. Se na escolha do plano ainda não for possível resolver o conflito pelo planejador, passa-se a decisão ao profissional de saúde, o mesmo vai indicar ao médico que precisa de uma decisão, buscando assim eliminar a ação conflitosa que impede a indicação de um plano que satisfaça a condição do paciente.

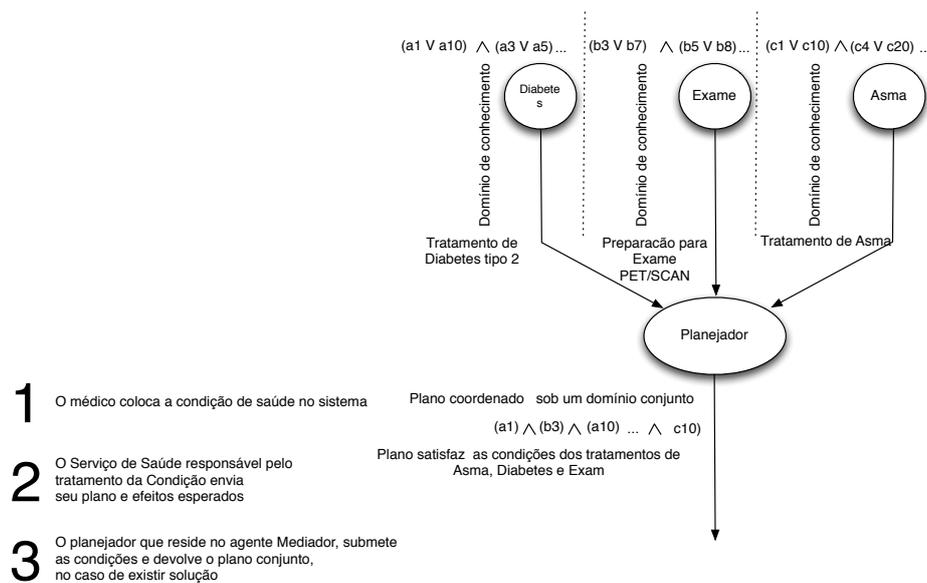


Figura 5.9: O plano coordenado conjunto

5.8.3 Problema

A definição de um tratamento no MMRPM pelo serviço de saúde implica que a missão $mHtreat$, para uma determinada condição, especificada por um serviço de saúde, foi alcançada com sucesso. No entanto para que a missão de tratamento do paciente possa estar completa, devem ser avaliados os eventuais conflitos, caso o paciente apresente mais de uma condição para tratamento. Estes conflitos se caracterizam por conflitos de coordenação, onde um plano(P_{Ai}), com $i \in P_A$ onde P_A é o conjunto de planos disponíveis para tratamento da condição A pode vir a

desempenhar um conjunto de ações que prejudique o plano (P_{Bj}), com $j \in P_B$ onde P_B é o conjunto de planos disponíveis para tratamento da condição B , o plano $P' \in P_{A_i} \cup P_{B_j}$, é o plano que satisfaz as condições A e B . Outra possibilidade quando existe mais de uma condição de tratamento é a da oportunidade de cooperação, onde o plano P_{A_i} pode ser requisitado a prestar *assistência* ao plano (P_{B_j}), de modo que (P_{B_j}) possa vir a ser alcançado ou ser alcançado com um custo menor para o sistema. Um custo menor significa que o MMRPM poderá alcançar o objetivo num número de passos inferior a proposta anterior.

Se o paciente (p_i) apresenta apenas uma condição, o agente que assume o *papel* de *mediador* ao solicitar o tratamento aceita a missão designada para o tratamento.

5.8.4 Processo para definição do tratamento

O processo para o tratamento de um paciente obedece o fluxo estabelecido onde o profissional de saúde, ciente das condições do paciente, disponibiliza o tratamento para o paciente e este fluxo é dependente do número de condições que serão tratadas, se o paciente será tratado em apenas uma condição o MMRPM pode ser aplicado seguindo apenas a indicação do tratamento da condição a ser tratada.

Caso o paciente venha apresentar mais de uma condição o sistema segue o fluxo de fornecer cada um dos planos de cada um dos domínios ao planejador.

5.9 Ferramentas de desenvolvimento

Para o projeto da arquitetura de software, o presente trabalho utilizou a metodologia Prometheus desenvolvida no RMIT [63]. O sistema descreve o modelo lógico de acordo com os papéis desenvolvidos por cada um dos agentes no projeto.

O Prometheus é uma metodologia que lida primeiramente com agentes que utilizam Crenças, Desejos e Intenções (BDI). Para aplicação da metodologia foi utilizada a ferramenta PDT, desenvolvida como um plugin para Eclipse [24]. O diagrama apresentado é a visão sistêmica da arquitetura de software que deve ser implementada.

Maiores detalhes sobre a metodologia são encontrados em [81], com a completa descrição da terminologia utilizada, que tem como base UML e AUML. Para implementação da lógica dos agentes o Prometheus utiliza a linguagem de agentes JACK, que representa um subconjunto da especificação de agentes BDI.

Em relação ao modelo apresentado na Sec. 5.3, a arquitetura de software proposta pode ser realizada através de elementos apresentados nesta seção. Segue portanto uma descrição de como pode ocorrer esta implementação.

5.9.1 Modelos para análise

De acordo com o diagrama, o sistema para sua completa realização precisa desempenhar 6(seis) papéis diferentes, sendo que estes papéis são atribuições desempenhadas por cada um dos agentes que compõem o sistema(Fig. 5.10). Na realização de todos os papéis descritos, temos a composição do sistema de MMRPM.

Agent Role Grouping Overview

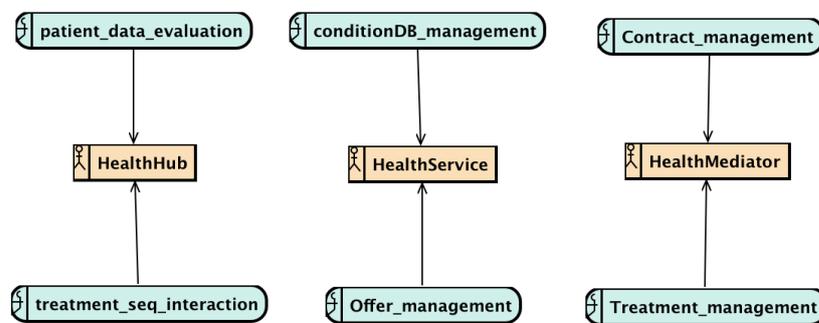


Figura 5.11: Papéis relacionados a cada um dos agentes no sistema

Na Fig. 5.11, são demonstrados os papéis implementados por cada um dos agentes. O agente *HealthHub* é responsável por implementar o papel de avaliar os dados do paciente (*patient_data_evaluation*) e processar a informação da próxima sequência de tratamento(*treatment_seq_interaction*), para fins de simplificação

consideremos que o sistema contém apenas um único dispositivo que implementa o agente *HealthHub* para cada paciente. O agente *HealthHub* pode servir a mais de um paciente (Cap. 4).

Cabe ao agente *HealthMediator*, a gerência sobre todo processo dos tratamentos que estão sob sua responsabilidade, quanto à avaliação dos tratamentos, o envio das sequências de tratamento adequadas e a perfeita atualização das informações do paciente. Quando o agente desempenha estas funções, realiza o papel de (*treatment_management*).

Ainda cabe ao *HealthMediator*, o papel de gerenciar os planos de tratamento mediante as informações enviadas por cada um dos agentes *HealthService* responsáveis por cada uma das condições de saúde. O sistema implementa apenas um único agente *HealthMediator*, para cada paciente.

Por fim, o último agente do sistema é o *HealthService*, que é responsável por desempenhar o papel de resposta à oferta (*offer_management*) dos serviços prestados pelo serviço de saúde, mediante a análise de riscos e da capacidade do agente de contemplar a oferta de serviço enviada. Uma vez que a análise seja positiva, o agente envia um aceite como resposta a requisição de serviço feita pelo *HealthMediator*, uma vez que tenha confirmação da resposta, começa a desempenhar o papel *ConditionsDBmanagement*, que monta a sequência de tratamento e inicia o processo de tratamento do paciente mediante interação com o *HealthMediator*.

Uma vez que o tratamento é finalizado ou o contrato rescindido, o *HealthService*, novamente volta a assumir o papel *offer_management*, recebendo por fim a avaliação do serviço desempenhado no contrato.

Esta visão (Fig. 5.12) permite verificar as diversas entidades que devem ser implementadas para que os papéis descritos anteriormente possam ser devidamente exercidos. O sistema é composto por:

- Objetivos, (Fig. 5.12), que apresentam de forma sintética a que o sistema se propõe. Por exemplo o objetivo *evaluate_offer_responses*, é realizado pelo papel *Contract_management* que deve ser implementado pelo agente *HealthMediator* (Fig. 5.13). Os objetivos ainda estão diretamente relacionados às bases dados utilizadas pelo sistema (Fig. 5.14).

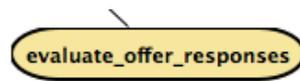


Figura 5.13: Exemplo de Objetivo no PDT

- Percepções, descrevem que dados são necessários para que um determinado papel seja realizado, por exemplo a percepção *get_offer_answer* é responsável por receber as diversas ofertas enviadas pelos serviços de saúde e repassá-las para o objetivo *evaluate_offer_responses*(Fig. 5.15).

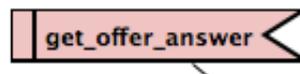


Figura 5.15: Exemplo de Percepção no PDT

- Ações, descrevem as tarefas que devem ser executadas pelo agentes, como resposta ao ambiente, no caso *publish_offer_request*, é a ação onde o agente *HealthMediator* anuncia ao ambiente uma oportunidade de prestação de um serviço de saúde, através do papel de *Contract_management*, esta ação inicia o processo de anúncio do tratamento(Fig. 5.16).

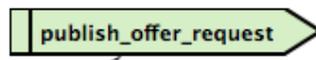


Figura 5.16: Exemplo de Ação no PDT

- Dados, declaram as bases de dados que fazem parte do sistema, elas podem ser persistentes, quando armazenadas de maneira permanente pelo agente, ou transientes, que é caso das respostas recebidas pelo agente *HealthMediator*, que são descartadas após a oferta. No caso da Fig. 5.17, temos um exemplo de um base de dados que é externa ao ambiente, que é o caso *HealthServicesDB*, que se propõe que seja atualizada pelos serviços reais de saúde(Ex. Hospitais) e por seus médicos.



Figura 5.17: Exemplo de Base de Dados no PDT

Como descritos anteriormente (Fig. 5.17), a matriz de dados deste sistema é composta de 8 bases, que são:

- *PatientID*, é a base de dados dos pacientes que utilizam o sistema, aqui são armazenadas as informações que identificam unicamente o paciente, as informações de telemetria coletadas e as informações dos tratamentos aplicados ao paciente, esta base pode ser representada pelo que se comumente se conhece na indústria como um Prontuário Eletrônico do Paciente (PEP) [55].
- *HealthServiceDB*, é a base de dados que abstrai o conhecimento médico através do armazenamento da diretrizes clínicas estabelecidas pelas associações de especialidades médicas, por exemplo [22].
- *sensor_data*, são os vetores de dados de telemetria coletados do paciente e enviados ao agente *HealthHub* [39, 71].
- *effector_data*, são os vetores de atuação passados para os equipamentos que irão administrar a terapia recomendada no tratamento.
- *treatment*, é o tratamento enviado pelo *HealthMediator*.
- *treatment_seq*, é a sequência do tratamento, enviada a partir do agente *HealthMediator* para o agente *HealthHub*.
- *treatment Seq Evaluation*, é base de dados que fornece informação para se avaliar individualmente cada uma das etapas do tratamento, o uso contínuo deste serviço permite alimentar o agente *HealthService* sobre o desempenho de uma determinada etapa do tratamento.

- *Treatment Evaluation*, é a base de dados que avalia e procede com o processo de armazenamento da avaliação do tratamento, permitindo que o tratamento seja penalizado ou premiado. Isto permite que o agente *HealthMediator* monte uma base de dados sobre que agentes são mais adequados para tratar uma determinada condição. Esta informação também permite que o agente avalie o sucesso das estratégias utilizadas no tratamento, permitindo uma melhoria do serviço prestado pelo agente *HealthService*.

5.10 Comparativo do MMRPM frente ao Estado da Arte

Levando em consideração a taxonomia de um SFCM desenvolvida por Haque em [32] e descrita no Cap.2, podemos considerar o MMRPM comparado com as soluções apresentadas no Cap.3 de acordo com a Tab. 5.3.

Ao se analisar a Tab. 5.3 verifica-se que apenas os trabalhos do EMUTEM, PROGNOSIS, DON et al. e MMRPM são de fato pensados para casa. Isto contrasta diretamente com a informação em Haque et al.[32], que afirma que o trabalho de Mendez[57] se presta para o idoso, quando o foco do trabalho é de fato para uma central de triagem, operado apenas por profissionais de saúde. O SmartChecklist[5] também apresentado com o foco nos hospitais é em Haque apresentado como uma solução que serve para monitoramento em casa. O único trabalho que foi analisado em Haque e neste trabalho e que está corretamente indicado é Don et al.[21], mas é vago quanto a como de deve implementar a estrutura proposta. Os trabalhos apresentados em [50, 52] igualmente não tem foco para o ambiente de casa. Como já descrito no Cap.3, o EMUTEM e o PROGNOSIS sofrem por não terem a flexibilidade de ter seu foco de monitoramento alterado de maneira dinâmica ao paciente. O MMRPM oferece um modelo para desenvolvimento de verticais de monitoramento de acordo com cada uma das condições crônicas de maneira modular e escalável, tendo como base padrões para a implementação que permitem uma configuração de conjuntos de monitoramento de maneira facilitada para o serviço de saúde e para o paciente. Nenhum dos trabalhos apresentados no Cap.3 com

foco para casa oferece um framework que permita o aspecto de atuação no tratamento para os casos já previstos pelo médico, servindo apenas como elementos de monitoramento.

Projeto	Ambiente da Aplicação			Arquitetura		Sensoriamento		
	Assistido	Controlado	Infraestrutura	Requisitos de Dados	Composição	Tipo de Sensor	Método	Parâmetro
EMUTEM[56]	AAL para idoso ²	-	Servidor	Pesado	Definida pelo Usuário	Heterogêneo	Passivo	Múltiplo
PROGNOSIS[65]	Em casa	Hospital	Servidor	Pesado	Definida pelo Usuário	Heterogêneo	Passivo	Múltiplo
Martinez et al.[52]	Em casa	Hospital	Servidor	Leve	Definida pelo Usuário	Heterogêneo	Passivo	Múltiplo
MAP[50]	-	Cuidado Intensivo	Servidor	Pesado	Automática	Heterogêneo	Ativo	Múltiplo
Mendez et al.[57]	-	Hospital	Servidor	Pesado	Automática	Heterogêneo	Ativo	Múltiplo
Avrunin et al.[5]	-	Hospital	Servidor	Leve	Automática	Homogêneo	Passivo	Simples
Don et al.[21]	AAL para idoso	Hospital	Servidor	Pesado	Automática	Homogêneo	Ativo	Simples
Rolim et al.[68]	-	Cuidado intensivo	Nuvem	Pesado	Definida pelo Usuário	Heterogêneo	Ativo	Múltiplo
MMRPM	Em casa	-	Nuvem	Leve	Definida pelo usuário	Heterogêneo	Ativo	Múltiplo

Tabela 5.3: Mapeamento baseado na ambiente da aplicação, arquitetura e sensoriamento

5.11 Sumário do Capítulo

Neste capítulo foi apresentada uma descrição do modelo de uma Rede de Monitoramento Remoto do Paciente (RMRP), que é composta por Sensores (S), Atuadores (A), Agregador (H), Mediador (Me) e Serviços de Saúde (Hs). A rede de serviços de saúde conta com um conjunto de serviços, que são disponibilizados através do Mediador, que particiona o tratamento e envia a etapa a ser executada por um serviço de saúde ao H . Por sua vez, H é responsável também, por coletar as informações de evolução do tratamento e enviar a informação para Me que é responsável por escolher o serviço de saúde (h_i) adequado, onde $h_i \in Hs$, Me também avalia o desempenho do tratamento, atribuindo-lhe uma avaliação que é armazenada e posteriormente utilizada quando da necessidade de novos tratamentos. As definições da Sec. 5.5 foram estendidas e agora incluem componentes em relação a duração do tratamento e inclusão de sensores e atuadores que não foram abordados em [25]. No caso da resolução de conflitos, o Planejador embarcado no Mediador (Me), avalia se um mesmo termo médico tem especificado valores diferentes em sequências de tratamento de diferentes serviços de saúde. Se um

plano for possível de ser obtido através do Planejador, ele será devolvido com os valores que atendem à ambas as serviços de saúde, tendo como critério, a classe dos serviços envolvidos nos conflitos. Foram descritas cada parte dos elementos que compõem o sistema e quais são as relações entre estes elementos. Também foram apresentados os agentes que compõem o sistema e que serviços estes agentes devem oferecer de modo que o sistema funcione de maneira adequada.

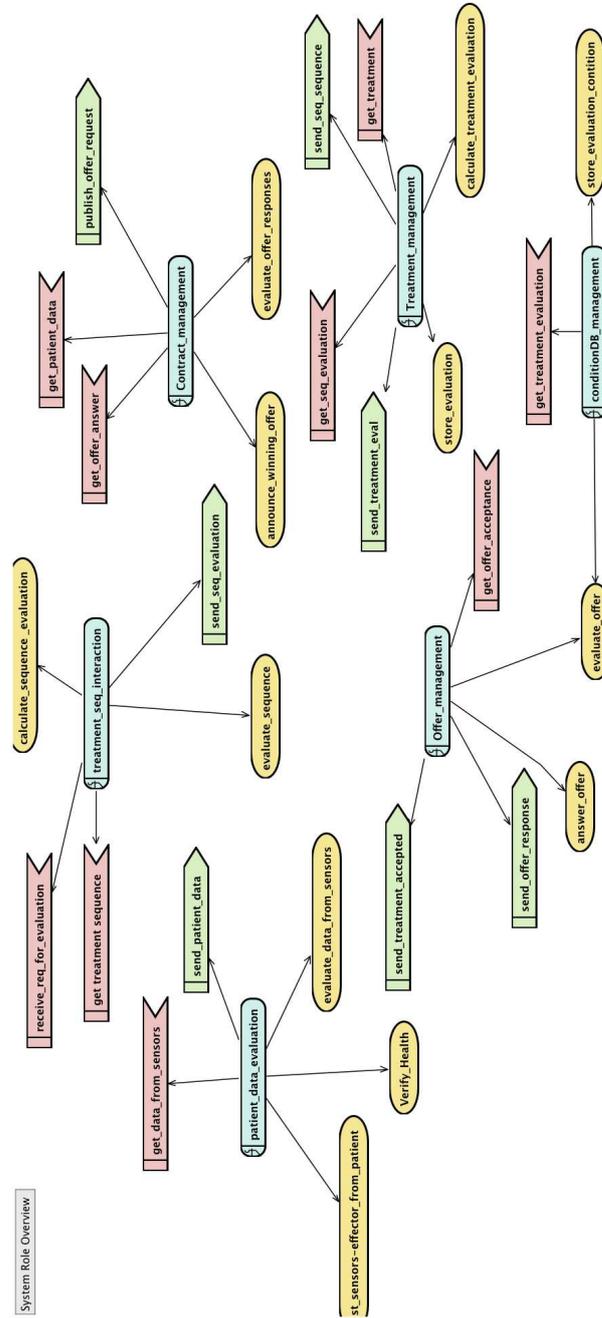


Figura 5.10: Diagrama de papéis no sistema

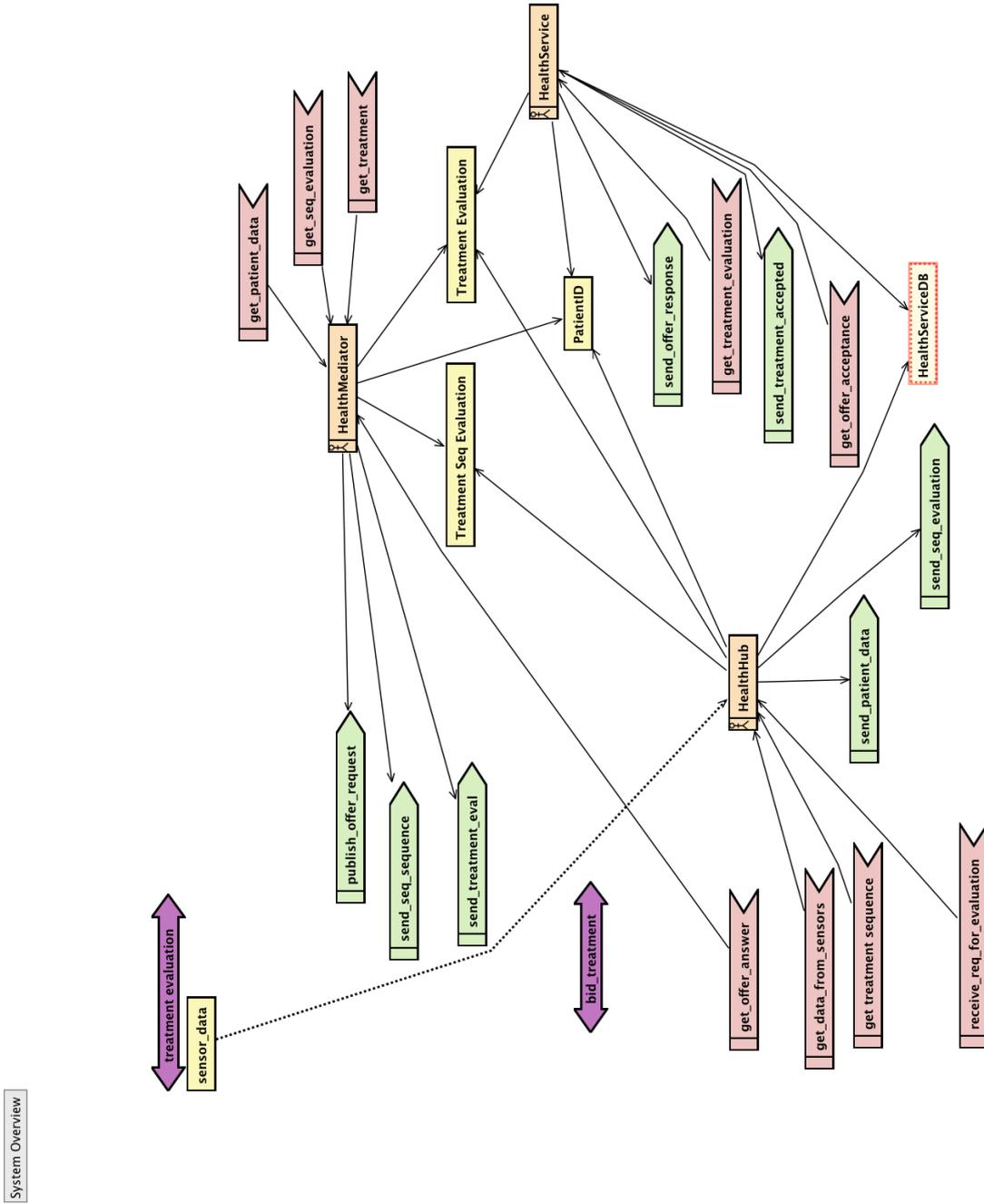


Figura 5.12: Visão completa do sistema

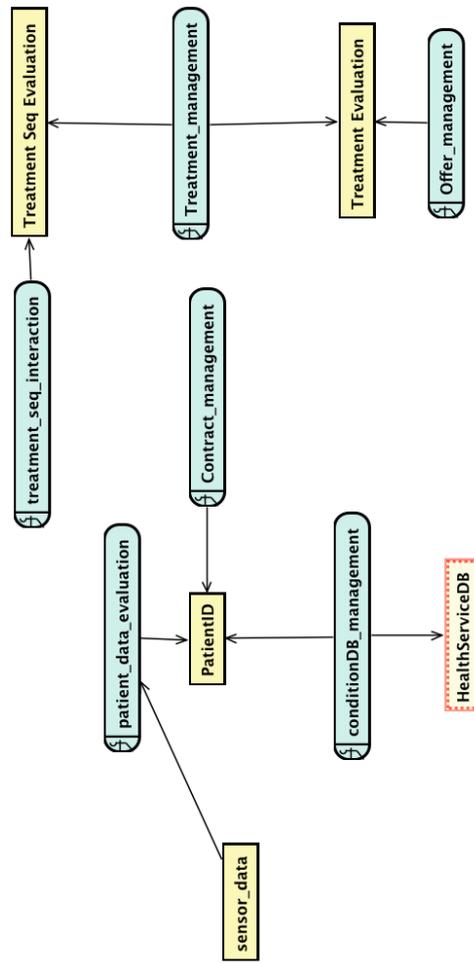


Figura 5.14: Bases de dados e suas relações com os objetivos do sistema

Capítulo 6

Estudo de Caso

No Cap. 5, foi descrito o modelo do sistema de MMRPM. Neste capítulo descreve-se como se dá a representação de sistema que deverá ser desenvolvido a partir do modelo. Para ajudar no esclarecimento vamos utilizar um exemplo para descrever o sistema utilizando as definições encontradas no Cap. 5.

6.1 Exemplo Real

6.1.1 Exemplo no tratamento de doença coronariana

Paciente AXM, sexo masculino, 53 anos, portador de doença arterial coronariana obstrutiva apresentou infarto agudo do miocárdio (IAM) há três meses. Na ocasião, foi submetido a cateterismo cardíaco que demonstrou obstrução grave em artéria coronária descendente anterior e acinesia apical de ventrículo esquerdo com imagem de trombo séssil no local. Foi realizada angioplastia primária, ou seja, desobstrução da referida artéria e iniciada anticoagulação por via subcutânea, durante a fase hospitalar. À alta hospitalar, o paciente foi orientado a tomar medicações antianginosa e anti-agregante próprias ao paciente acometido por IAM. Além destas medicações, o Sr. AXM foi alertado que fará uso de anticoagulante, Marevan(Varfarina), devido a presença de coágulo na ponta do coração (trombo na região apical), que aumenta a chance de derrame cerebral (acidente vascular encefálico) e por isso ele deverá manter a anticoagulação por pelo menos seis meses

ou talvez por mais tempo, como profilaxia contra esta enfermidade.

O Sr. AXM tomou conhecimento que para não causar danos a ele, o medicamento Marevan precisa permanecer em uma faixa ótima de anticoagulação, definida por um exame chamado INR, que representa um índice internacional de anticoagulação do sangue. O uso de anticoagulante oral pode estar associado a sangramentos em qualquer região do corpo e que qualquer corte ou ferimento de pele poderá sangrar por mais tempo que o habitual. Portanto ele precisa observar rigorosamente o resultado do INR para evitar complicações hemorrágicas. Uma vez que, o INR esteja fora da faixa, a dosagem do Marevan necessita de uma alteração. A faixa ótima para o INR e consequente profilaxia adequada contra tromboembolismo em pacientes com coágulo em ventrículo esquerdo corresponde ao INR entre 2,0 e 3,0. A prescrição de Marevan para o Sr. AXM foi um comprimido diariamente, durante quatro dias e meio comprimido/dia do quinto ao sétimo dia. A partir do oitavo dia, repete o ciclo, ou seja, $(1 + 1 + 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2})$, em comprimidos diários. O paciente recebeu alta hospitalar com $\text{INR} = 2,35$. Assim, as seguintes recomendações podem ser armazenadas no sistema, o qual tem um ainda banco de dados de medicamentos e alimentos que interagem com o Marevan e alteram o INR, aumentando-o ou reduzindo-o (Tab. 6.1). Estas recomendações podem ser disponibilizadas através da aplicação que o paciente utiliza para interagir com o sistema.

1. Colher INR em uma semana.
2. Se $\text{INR} > 3,0$ e $< 3,5$. Alterar o Marevan para $1 + 1 + 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$. Colher novo INR após uma semana.
3. Se $\text{INR} > 3,5$ e $< 4,0$. Alterar o Marevan para $0 + 0 + 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$. Colher novo INR após uma semana.
4. Se $\text{INR} > 4,0$ e $< 4,5$. Alterar o Marevan para $0 + 0 + 0 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$. Colher novo INR após quatro dias. Se INR ainda elevado, suspender Marevan por mais três dias. Colher novo INR. Se normalizou, iniciar Marevan $1 + 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$.

5. Se $INR > 4,5$. Suspender Marevan e procurar o médico.
6. Se $INR < 2,0$ e $> 1,5$. Alterar o Marevan para $2 + 2 + 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$. Colher novo INR após uma semana.
7. Agendar consulta médica após 30 dias da alta hospitalar.

A definição do tratamento segue algoritmo que pode ser encontrado em [42] para a administração do Marevan.

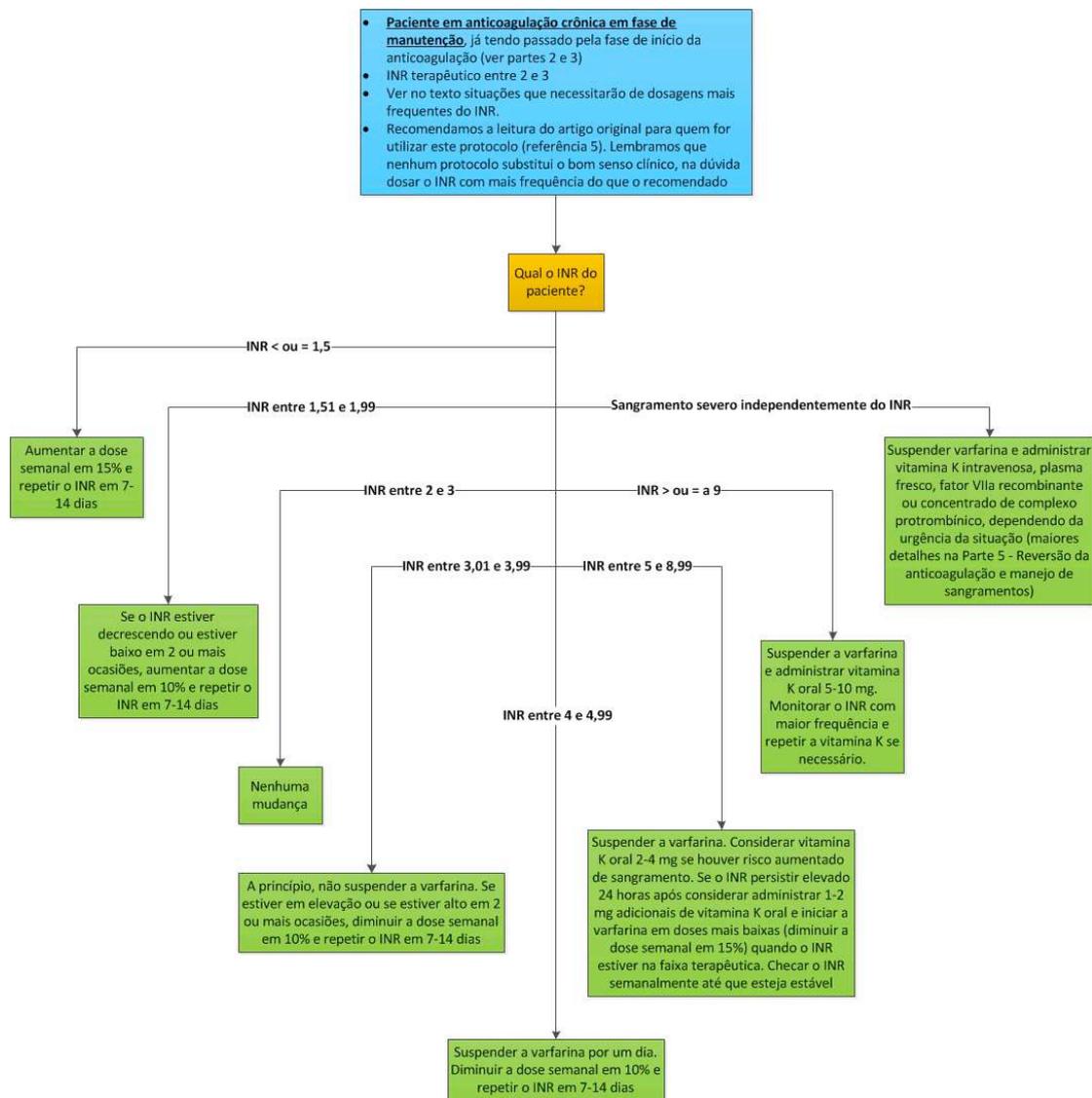


Figura 6.1: Algoritmo para administração do Marevan

Tabela 6.1: Interações medicamentosas e alimentares com a Varfarina

Efeito	Interação
Fatores com potencial de aumentar o INR	Álcool em altas doses, Amiodarona, Anti-depressivos, Aspirina, Azólicos(fluconazol, miconazol, voriconazol), Clopidogrel ou dipiridamol, Corticosteroides, Trimoxazol, Suco de cranberry, Fibratos, Glucosamina, Metronidazol, Anti-inflamatórios não hormonais, Tamoxifemo, Tiroxina
Interações que podem diminuir o efeito da Varfarina	Antidepressivos tricíclicos, Erva de São João(Hipericum), Carbamazepina, Griseofulvina, Fenobarbital, Primidona, Fenitoína, Rifampicina, Complexos vitamínicos contendo vitamina K
Cautela com as seguintes situações, pois interações foram documentadas	Alopurinol, Azatioprina, Suco de grapefruit, Vacina contra Influenza, Metilfenidato, Orlistat, Paracetamol, Propafenona, Inibidores de bomba de prótons, Quinolonas, Macrolídeos, Estatinas, Suspensão de tabagismo crônico

Passemos então aos detalhes do fornecimento das informações para o exemplo do caso.

Inclusão do tratamento no MMRPM

Segue o exemplo em *mockup*(Fig. 6.2) da interface para a inclusão no sistema do tratamento para o IAM(Sec. 6.1.1). Assume-se que ainda não existe nenhum serviço disponível que trate de IAM. Seguindo o método para inclusão do serviço apresentado no Cap. 5. De posse das diretrizes resolve-se adicionar um serviço de saúde que trate da condição IAM seguindo a diretriz encontrada em [42]. A condição para se acompanhar o IAM é através de exame laboratorial que fornece o INR. Como não existem sensores para o INR, o valor do INR será fornecido manualmente pelo usuário ao sistema. O Marevan será disponibilizado ao paciente na hora e no dia certo de acordo com a programação feita no monitor de

medicação [70].

Após este processo o agente é publicado, e passa a fazer parte da rede de serviços de saúde (*Hs*) vista pelo *Mediador*. Uma vez que se tenha o tratamento seguindo a diretriz disponível através de um agente de serviço de saúde, procede-se com a oferta do serviço sendo necessário o ajuste para cada paciente.



Figura 6.2: Mockup da interface web do MMRPM

6.1.2 Adição do paciente ao tratamento do serviço de IAM

Considerando que:

1. Assumimos aqui que o tratamento já foi adicionado ao sistema;
2. O médico após a consulta com o paciente AXM, fez a busca no MMRPM para serviços que tratassem a condição de IAM e recebeu uma única resposta para a oferta do serviço. O MMRPM foi programado com os dados do paciente;
3. O modelo é flexível o suficiente para ser adaptado a situações onde ainda não existem sensores que forneçam continuamente a medida. Considera-se que o agregador é o próprio telefone inteligente do paciente e que a informação do INR será fornecida manualmente pelo paciente. O Sr. AXM para este

tratamento não tem a possibilidade de utilizar ainda um sensor médico, mas deverá se dirigir a um laboratório de análises clínicas e realizar um hemograma para medir o nível do INR;

4. Foi fornecido ao paciente um Monitor de Medicação com recipientes ordenados por dia e com recipiente de dosagem fixa, seguindo a especificação encontrada em [70], a dosagem exata da medicação é um múltiplo dos comprimidos que se encontram em cada recipiente;

Assim as informações fornecidas ao sistema para o tratamento do paciente Sr. AXM são:

O conjunto de pacientes é formado por

$$P = p_{AXM} \quad (6.1)$$

e o paciente:

$$p_{AXM} = \{S_{AXM}, Ts_{AXM_{IAM}}, CM_{AXM_{IAM}}\} \quad (6.2)$$

onde, INR aferido no dia da alta foi de 2,35:

$$S_{AXM} = \{(2014 - 03 - 14 - T08 : 00 : 35 - 03 : 00), (INR, 2.35)\} \quad (6.3)$$

é a leitura inicial do INR colocada na aplicação pelo paciente ao deixar o hospital, esta informação vai para o prontuário eletrônico do paciente. O serviço hs para o paciente sr. AXM, é indicado por:

$$hs_i = \{Ts_{IAM}, CE_{IAM} = (vm_{INR}, [2.0, 3.0]), u_{IAM}\} \quad (6.4)$$

A sequência de tratamento pode ser descrita por:

$$Ts_{IAM} = \{Ts_1, Ts_2, Ts_3, Ts_4, Ts_5, Ts_6\} \quad (6.5)$$

O tratamento é iniciado com o T_{s_1} :

$$\begin{aligned}
T_{s_{IAM_1}} &= \{(2014 - 03 - 06T10 : 03 : 33 - 03 : 00), \\
DT_{IAM_1} &= \{((\text{"marevan"}, 25), 1, 1, P0D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"},), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, 1, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"},), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, 1, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"},), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, 1, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"},), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, \frac{1}{2}, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"},), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, \frac{1}{2}, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"},), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, \frac{1}{2}, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"},), \} \\
CM_{IAM_1} &= \{(vm_{INR}, [2.0, 3.0],)\}
\end{aligned} \tag{6.6}$$

A sequência T_{s_1} é aplicada pois o paciente encontra-se estabilizado, com $INR = 2,35$ e a etapa de tratamento para INR para o intervalo $2,0 \leq INR \leq 3,0$ é T_{s_1} .

Supondo que o INR atinja o valor 4,1 na próxima verificação, utilizando a função scm (Def. 25), temos:

$$scm(vm_{INR}, CM_k, S_{INR}) \tag{6.7}$$

Onde k varia de $1 \dots 6$, observamos que scm , só apresenta o valor *VERDADEIRO*, para $k = 4$, ou seja, para $INR = 4.1$ a etapa de tratamento que será aplicada será T_{s_4} .

Expandindo a etapa 4, temos:

$$\begin{aligned}
T_{SIAM_4} &= \{(2014 - 03 - 13T08 : 03 : 30 - 03 : 00), \\
DT_{IAM_4} &= \{((\text{"marevan"}, 25), 0, 0, PT0D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 0, 0, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 0, 0, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, 1, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, \frac{1}{2}, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, \frac{1}{2}, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, \frac{1}{2}, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 0, 0, P4D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 0, 0, P3D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \textit{conseq}_1), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, 1, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \textit{conseq}_2), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, 1, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \textit{conseq}_2), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, 1, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \textit{conseq}_2), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, \frac{1}{2}, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \textit{conseq}_2), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 1, \frac{1}{2}, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \textit{conseq}_2), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 0, \frac{1}{2}, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \textit{conseq}_2), \\
&((\text{"marevan"}, 25), 0, \frac{1}{2}, P1D, \text{"mg"}, \text{"comprimido"}), \textit{conseq}_2)\}, \\
CM_{IAM_4} &= \{(vm_{INR}, [4.1, 4.5]), \\
&(vm_{INR}, [3.0, 4.5], \textit{conseq}_1) \\
&(vm_{INR}, [2.0, 3.0], \textit{conseq}_2))\}
\end{aligned} \tag{6.8}$$

A etapa 4 pode ser traduzida pela descrição textual já encontrada na Sec. 6.1.1, segue:

Se $4,1 \leq INR < 4,5$. Alterar o Marevan para $0 + 0 + 0 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$. Colher novo INR após quatro dias. Se INR ainda elevado, suspender Marevan por mais

três dias. Colher novo INR. Se normalizou, iniciar Marevan $1 + 1 + 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{2}$.

Nota-se que a etapa de tratamento 4, disponibiliza o Marevan através do Monitor de Medicação [70] até o sétimo dia, com 0 unidades do primeiro ao terceiro dia, com 1 unidade no quarto dia e com meia unidade do quinto ao sétimo dia. Depois tem-se um repouso de 4 dias e volta-se a aferir o INR, pois a próxima sequência apresenta o *flag conseq*, de forma a permitir a administração das subetapas de descrição de tratamento. Ao se verificar o condição de execução do *conseq₁*, percebe-se que a subetapa somente será executada se a condição do INR for maior ou igual a 3, o que implicará em mais 3 dias sem administração do Marevan. Ao final dos três dias especificados pelo *conseq₁*, é colhido um novo INR, se o valor do INR estiver entre 2,0 e 3,0 a etapa *conseq₂* será executada onde é prescrito uma semana de dosagem do Marevan, com (1)uma unidade do primeiro ao terceiro dia, e com ($\frac{1}{2}$)meia unidade do quarto ao sétimo dia, quando deverá ser colhida uma nova medida do INR.

6.2 Exemplo na Coordenação de Tratamento

O paciente AMZ é um doente crônico de insuficiência cardíaca (IC), além de apresentar um quadro de Cálculo Renal, e lhe foi prescrito pelo seu Nefrologista, a ingestão de líquido, no mínimo 3 litros por dia. O Nefrologista acessa o MMRPM e disponibiliza o serviço de saúde *Ingestão de Água*, com prescrição de 3l diários, que divididos em doses de 150ml implica em 20 ingestões diárias, considerando o período de 8:00 às 20:00h, o significa que AMZ vai receber 20 mensagens diárias no período a cada 36 min. Por outro lado, o Cardiologista do AMZ, recomendou uma restrição líquida, pois isto afeta consideravelmente o seu peso, resultando em complicações na sua condição de IC, o limite prescrito pelo cardiologista é de 1,5l por dia.

Temos aqui um conflito, que pode ser resolvido pelo planejador. O *Serviço de Saúde Beber Água* (hs_{BA}) retorna as ações, beber água, declaradas da seguinte forma: 20 doses, de $20 \times 150ml = 3l$ diários, onde cada dose é indicada por uma

sequência de tratamento:

$$P(hs_{BA}) \leftarrow Ts_{ba_1} = Ts_{ba_{1-1}} \wedge Ts_{ba_{1-2}} \wedge \cdots Ts_{ba_{1-7}} \quad (6.9)$$

O Serviço de Saúde Tratar IC(hs_{IC}) é descrito por:

$$P(hs_{IC}) \leftarrow \{Ts_{ic_1}, Ts_{ic_2}, Ts_{ic_3}, \cdots, Ts_{ic_n}\} \quad (6.10)$$

onde:

$$Ts_{ic_1} = Ts_{ic_{1-1}} \wedge Ts_{ic_{1-2}} \cdots \wedge Ts_{ic_{1-5}} \quad (6.11)$$

Existe um conflito na entre as etapas $Ts_{ba_{1-(i)}}$, onde i vai de 1 a 7 e $Ts_{ic_{1-(j)}}$, onde j vai de 1 a 5.

No caso, o Planejador no agente Mediador, ao receber as sequências, vai perceber que BA é uma recomendação médica ou seja classe 1, e IC é um doença crônica, com classe 3, ou seja hs_{IC} tem prioridade sobre hs_{BA} , ao processar as sequências completas, o planejador vai receber:

O plano para tratar as duas condições do paciente AMZ é definido por

$$AMZ = P(hs_{BA}) \cup P(hs_{IC}) \leftarrow \cdots Ts_{ba_1} \wedge Ts_{ic_1} \cdots, \quad (6.12)$$

que não é verdadeira para as FNCs em questão.

O planejador vai identificar isto ao avaliar as cláusulas individuais :

$$(Ts_{ba_{1-1}} \wedge Ts_{ic_{1-5}}) \rightarrow \text{FALSO} \quad (6.13)$$

O conflito advém do volume total recomendado por hs_{BA} ser superior ao volume total recomendado por hs_{IC} , tomando como base a classe de hs_{IC} , percebe-se que a recomendação deve ser substituída por no máximo 75 ml.

Pois no planejador temos uma ação que avalia, se termos médicos(vm) iguais apresentam recomendações de valores diferentes para a terapia.

Algoritmo 1: Algoritmo para Resolução de Conflitos

Dados: $TS_{A_i}(vm_k) \wedge TS_{B_j}(vm_k)$ **Resultado:** Resolução de conflito para Condições Médicas

inicialização;

for $i \leftarrow 1 \dots N$ **do** **for** $j \leftarrow 1 \dots M$ **do**

ler atual;

if $TS_{A_i}(vm_k) \wedge TS_{B_j}(vm_k)$ **then** **if** $classeA_i > classeB_j$ **then** | $TS_{A_i}(vm_k)$ **end** **else if** $classeA_i < classeB_j$ **then** | $TS_{B_j}(vm_k)$ **end** **else**

| enviar aviso para médico

end **end** **end****end**

Onde vm (Def. 10), é o termo medico que está sendo avaliado, no caso em questão o $vm \leftarrow$ ingestão de água, isto deve incluir a recomendação bem com a interação medicamentosas advindas do termo médico.

Ao final o plano que será fornecido pelo Planejador, levando-se em conta a prioridade da classe:

$$Ts_{ba_{1-(i)}} = Ts_{ic_5} = (\text{tomar } 75\text{ml a cada } 36\text{min, } 20 \text{ vezes por dia}) \quad (6.14)$$

Ao final o plano para $P(AMZ) = P(h_{BA}) \cup P(h_{IC}) \rightarrow VERDADEIRO$, pois o conflito foi contornado e agora $Ts_{ba_{1-(i)}}$ apresenta a recomendação, com a dosagem de $75ml$.

6.3 Sumário do Capítulo

Neste capítulo foi demonstrado como se daria a inclusão das informações do paciente AXM para a utilização do serviço de IAM(Sec. 6.1.1). Foi demonstrada também a utilização da função de satisfação de condição médica, que permitiu apontar qual a sequência de tratamento que seria utilizada na condição do paciente com $INR = 4.1$. No exemplo da Sec. 6.2, ao receber os planos individuais foi detectada a condição de conflito entre os tratamentos enviados pelos serviços de saúde (Ingerir Água-BA) e (Tratar Insuficiência Cardíaca-IC). Como IC tem prioridade na execução do plano, foi então iniciada a coordenação do tratamento, com o fim de evitar uma ação que prejudicaria o tratamento de IC. O serviço de saúde(IC) tem prioridade devido à classe do serviço ser maior que a classe de BA o algoritmo de resolução 1 de conflitos no Planejador é responsável pelo ajuste e geração do novo plano válido, uma vez que este foi o único conflito detectado.

Capítulo 7

Considerações Finais e Trabalhos Futuros

As doenças crônicas são um mal da sociedade moderna e têm atingido a sociedade com consequências econômicas e sociais de modo insustentável, dada a prevalência do sedentarismo e a alimentação ruim. O problema abordado neste trabalho tem como foco o ambiente fora do hospital. No hospital o paciente conta com um aparato humano e de tecnologias que permitem uma análise com riqueza de detalhes: sinais vitais, imagens, avaliação médica que permitem um melhor acompanhamento da sua saúde.

Nossa busca é por replicar procedimentos e mesmo antever mudanças de maneira segura, mesmo fora do ambiente sanitário controlado do hospital. Isto pode ser alcançado uma vez que se possa prever situações que o paciente possa vir a enfrentar fora do hospital de acordo com as condições e dentro de faixas de segurança ratificadas pelo médico, mediante a aplicação de diretrizes clínicas, que podem ser disponibilizadas no sistema por meio de agentes inteligentes que emulam o conhecimento médico. Nosso objetivo é oferecer autonomia, mesmo que mínima, para questões triviais em situações que têm o aval do médico e são controladas, dentro uma zona de segurança.

O presente trabalho descreve um modelo de monitoramento remoto baseado em SFC que possibilita o ajuste do tratamento considerando as restrições de ações

simultâneas, como acontece na ocasião do tratamento de mais de uma condição de saúde, permitindo uma maior autonomia para o paciente no que diz respeito a ajustes que podem ser efetuados através de procedimentos conhecidos, mediante orientações clínicas, que não colocam em risco a vida do paciente. A minimização da propagação de erros no tratamento é alcançada primeiro pela resposta através da informação fornecida pelos sensores, que permitem detecção do desvio; segundo pela influência ajustada dos atuadores com nova informação fornecida pelo agregador ou ajuste das consequências esperadas no tratamento por meio de uma etapa de tratamento que objetiva o ajuste intermediário até que o estado do paciente volte ao que se julga ser a situação normal do paciente.

7.1 Contribuições

O presente trabalho atende às questões de autonomia, tanto da qualidade do tratamento quanto da gerência do tratamento, no caso de situações em que o paciente apresenta mais de uma doença crônica, por disponibilizar um ambiente centralizado onde de forma coordenada as terapias possam ser aplicadas. Isto ainda possibilita que o profissional possa estabelecer métricas para avaliação dos tratamentos a que submete o paciente, por disponibilizar uma clara visão da adequação da intervenção ao paciente e possibilitar correções, dada a imediata disponibilização dos dados, e não na próxima visita ao médico.

No MMRPM, o ciclo completo do tratamento do paciente é apresentado de maneira a considerar continuamente as ações necessárias para cada tratamento e avaliá-lo frente aos demais tratamentos que o paciente é submetido, sendo produzido ao final um caminho alcançável que considera o conjunto dos tratamentos submetidos ao paciente. O MMRPM considera que as condições de saúde do paciente, ou seja as doenças ou interações relacionadas à saúde são declaradas mediante a consulta ao médico. O médico disponibiliza ao sistema as interações e doenças do paciente obtidas durante a consulta, obedecendo um conjunto de normas que são responsáveis por identificar cada um dos tratamentos/procedimentos necessários ao cuidado do paciente. Estes tratamentos são disponibilizados através de um

conjunto de agentes, onde cada agente contém a representação do conhecimento do guia clínico de uma condição de saúde. A representação do conhecimento de cada agente é submetida a um planejador SAT que classifica se existe ou não conflitos entre os diversos planos ao qual o paciente será submetido. Deste modo será gerado através do planejador um plano que satisfaça os objetivos e que elimine os potenciais conflitos ou será enviada uma resposta de que é impossível resolver o conflito e que deve ser tomada uma decisão pelo médico.

O trabalho desenvolvido é pioneiro, conforme apresentado na Tab. 5.3, no que compete à autonomia de sistema MRP em casa, pois contribui para o aprimoramento do estado da arte no que diz respeito à segurança, em dar ao paciente uma rotina com os procedimentos que ele terá disponível em casa a partir de informações estabelecidas pelo médico dele baseada em evidências médicas. O trabalho apresentado oferece um arcabouço para a oferta de serviços de saúde mediante um balcão baseado em práticas recomendadas que oferece a possibilidade de diferentes ofertas de serviços de saúde, que tenham um conjunto completo de diretrizes clínicas, onde o caminho para execução de um tratamento seja atingível, ou declarando que existe um conflito de coordenação não sendo possível alcançar o objetivo proposto. Apresentou-se ainda a inovação do ADPS, descrita no Cap. 4, onde foram descritos os aspectos de interface e autenticação do ADPS. Foi exemplificado ainda como o MMRPM pode vir a ser implementado utilizando-se ferramentas e metodologias de projeto de software existente no mercado.

7.2 Trabalhos Futuros

A arquitetura e considerações desenvolvidas no trabalho em questão oferecem a base para o desenvolvimento de ferramentas para a auxílio no tratamento de doenças crônicas com coordenação, métrica e controle do objetivo planejado, levando em conta ferramentas estabelecidas no domínio da IA e do planejamento baseado em STRIPS/PDDL. Como trabalho futuro pretende-se investigar a utilização de planejadores temporais para inclusão da variável tempo [23] na avaliação da qualidade do plano e simplificação na programação do sistema. Um segundo as-

pecto que pode ser explorado é a implementação do sistema utilizando o ambiente JACAMO [9] e implementar o conjunto de agentes descritos neste trabalho, levando em conta as vantagens de um ambiente integrado para o desenvolvimento dos agentes e da organização.

A implementação do ADPS descrita no Cap. 4, poderá incluir a coleta de dados vitais via dispositivos utilizando a interface LAN, não contemplada neste trabalho, ligados numa rede em malha, o que denotaria um caráter pervasivo da solução de monitoramento remoto. A possibilidade de utilização de algoritmos de predição [67, 4] levando em conta o histórico do paciente e sua informação genética, o que viria a enriquecer a capacidade de ajuste da solução considerando sintomas que ainda não se manifestaram, com o intuito de retardar ou eliminar a manifestação destes sintomas. Um elemento que este trabalho pode vir a contribuir é a publicação dos dados coletados anonimizados, com o fim de contribuir para o avanço da pesquisa médica [26]. Para que isto seja realizável, será necessário o estabelecimento de padrões para a publicação de dados de pacientes, de forma segura, anônima e suficientemente aberta com o fim de permitir a sua utilização de maneira profícua para a pesquisa.

Referências Bibliográficas

- [1] Continua Health Alliance. H.810 Interoperability design guidelines for personal health systems, mar. 2014.
- [2] David Arney, Julian M Goldman, Abhilasha Bhargav-Spantzel, Abhi Basu, Mike Taborn, George Pappas e Michael Robkin. Simulation of medical device network performance and requirements for an integrated clinical environment. *Biomedical instrumentation & technology / Association for the Advancement of Medical Instrumentation*, 46(4):308–315, jul. 2012.
- [3] David Arney, Miroslav Pajic, Julian M Goldman, Insup Lee, Rahul Mangharam e Oleg Sokolsky. Toward patient safety in closed-loop medical device systems. Em *ICCCPS '10: Proceedings of the 1st ACM/IEEE International Conference on Cyber-Physical Systems*, pp. 139–148, New York, New York, USA, abr. 2010. ACM Request Permissions.
- [4] Euan A Ashley, Atul J Butte, Matthew T Wheeler, Rong Chen, Teri E Klein, Frederick E Dewey, Joel T Dudley, Kelly E Ormond, Aleksandra Pavlovic, Alexander A Morgan, Dmitry Pushkarev, Norma F Neff, Louanne Hudgins, Li Gong, Laura M Hodges, Dorit S Berlin, Caroline F Thorn, Katrin Sangkuhl, Joan M Hebert, Mark Woon, Hersh Sagreiya, Ryan Whaley, Joshua W Knowles, Michael F Chou, Joseph V Thakuria, Abraham M Rosenbaum, Alexander Wait Zaranek, George M Church, Henry T Greely, Stephen R Quake e Russ B Altman. Clinical assessment incorporating a personal genome. *Lancet*, 375(9725):1525–1535, mai. 2010.
- [5] George S Avrunin, Lori A Clarke, Leon J Osterweil, Julian M Goldman e

- Tracy Rausch. Smart checklists for human-intensive medical systems. Em *2012 IEEE/IFIP 42nd International Conference on Dependable Systems and Networks Workshops (DSN-W)*, pp. 1–6. IEEE, 2012.
- [6] S Bak, D K Chivukula, O Adekunle, Mu Sun Mu Sun, M Caccamo e Lui Sha Lui Sha. The System-Level Simplex Architecture for Improved Real-Time Embedded System Safety. *IEEE Real-Time & Embedded Technology and Applications Symposium. Proceedings*, pp. 99–107, abr. 2009.
- [7] Robert Beaglehole, Ruth Bonita, Richard Horton, Cary Adams, George Alleyne, Perviz Asaria, Vanessa Baugh, Henk Bekedam, Nils Billo, Sally Caswell, Michele Cecchini, Ruth Colagiuri, Stephen Colagiuri, Tea Collins, Shah Ebrahim, Michael Engelgau, Gauden Galea, Thomas Gaziano, Robert Geneau, Andy Haines, James Hospedales, Prabhat Jha, Ann Keeling, Stephen Leeder, Paul Lincoln, Martin McKee, Judith Mackay, Roger Magnusson, Rob Moodie, Modi Mwatsama, Sania Nishtar, Bo Norrving, David Patterson, Peter Piot, Johanna Ralston, Manju Rani, K Srinath Reddy, Franco Sassi, Nick Sheron, David Stuckler, Il Suh, Julie Torode, Cherian Varghese e Judith Watt. Priority actions for the non-communicable disease crisis. *The Lancet*, 377(9775):1438–1447, abr. 2011.
- [8] Guido Boella, Leendert van der Torre e Harko Verhagen. Introduction to the special issue on normative multiagent systems. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 17(1):1–10, abr. 2008.
- [9] Olivier Boissier, Rafael H Bordini, Jomi F Hübner, Alessandro Ricci e Andrea Santi. Multi-agent oriented programming with JaCaMo. *Science of Computer Programming*, 78(6):747–761, jun. 2013.
- [10] H Burgsteiner, S Sabutsch, A Kollmann e J Morak. COMMUNICATION AND INTEGRATION OF HEALTH RELATED DATA IN ELECTRONIC HEALTH RECORDS USING INTERNATIONAL MEDICAL STANDARDS. *Tagungsband der eHealth2009 und eHealth Benchmarking 2009*, 2009.

- [11] R Carroll, R Cnossen, M Schnell e D Simons. Continua: an interoperable personal healthcare ecosystem. *IEEE Pervasive Computing*, pp. 90–94, 2007.
- [12] CDC. CDC - 2011 National Estimates - 2011 National Diabetes Fact Sheet - Publications - Diabetes DDT. 2011.
- [13] Albert M K Cheng. Cyber-Physical Medical and Medication Systems. Em *ICDCSW '08: Proceedings of the 2008 The 28th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, pp. 529–532. IEEE Computer Society, jun. 2008.
- [14] Stephen Cook. The P versus NP problem. 2000.
- [15] Stephen A Cook. The complexity of theorem-proving procedures. Em *the third annual ACM symposium*, pp. 151–158, New York, New York, USA, 1971. ACM Press.
- [16] Peter de Jonge, Frits J Huysse e Friedrich C Stiefel. Case and Care Complexity in the Medically Ill. *Medical Clinics of North America*, 90(4):679–692, jul. 2006.
- [17] D F de Souza Santos, A F Martins, A F de Albuquerque Rodrigues, J L do Nascimento, A Perkusich e H O de Almeida. Personal Health Data Hub for Multiple Users with Wireless Colector. USPTO, 2014.
- [18] Virginia Dignum, Javier Vazquez-Salceda e Frank Dignum. A Model of Almost Everything: Norms, Structure and Ontologies in Agent Organizations. Em *AAMAS '04: Proceedings of the Third International Joint Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*. IEEE Computer Society, jul. 2004.
- [19] Yannis Dimopoulos, Muhammad Adnan Hashmi e Pavlos Moraitis. μ -SATPLAN: Multi-agent planning as satisfiability. *Knowledge-Based Systems*, 29:54–62, mai. 2012.

- [20] Yannis Dimopoulos e Pavlos Moraitis. Multi-Agent Coordination and Cooperation through Classical Planning. Em *IAT '06: Proceedings of the IEEE/WIC/ACM international conference on Intelligent Agent Technology*. IEEE Computer Society, dez. 2006.
- [21] S Don e Dugki Min. Medical Cyber Physical Systems and Bigdata Platforms . Em *Medical Cyber Physical Systems Workshop*, abr. 2013.
- [22] Bocchi EA, Marcondes-Braga FG, Bacal F, Ferraz AS, Albuquerque D, Rodrigues D e et al. Atualização da Diretriz Brasileira de Insuficiência Cardíaca Crônica - 2012, 2012.
- [23] Patrick Eyerich, Robert Mattmüller e Gabriele Röger. Using the Context-Enhanced Additive Heuristic for Temporal and Numeric Planning. Em *Towards Service Robots for Everyday Environments*, pp. 49–64. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2012.
- [24] Yakov Fain. *Java Programming 24-Hour Trainer*. John Wiley & Sons, out. 2011.
- [25] Glauber Ferreira. Uma Abordagem Multiagente para a Identificação e a Mediação de Conflitos entre Planos de Tratamento Autogerenciado de Pacientes Acometidos por Doenças Crônicas. pp. 1–138, out. 2011.
- [26] Ralf Floca. Challenges of Open Data in Medical Research. *Opening Science*, (Chapter 22):297–307, dez. 2013.
- [27] National Coordination Office for the NITRD Program (NCO/NITRD). Research, and D. Program. High-confidence medical devices: Cyber-physical systems for 21st century health care, fev. 2009.
- [28] Les Gasser. Perspectives on Organizations in Multi-agent Systems. Em *Coordination, Organizations, Institutions and Norms in Agent Systems IV*, pp. 1–16. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, jun. 2001.

- [29] C P Gomes, Henry Kautz, A Sabharwal e Bart Selman. Satisfiability Solvers. Em *Handbook of Knowledge Representation*, pp. 1–46. 2008.
- [30] M Hannoun, O Boissier e J S Sichman. MOISE: An organizational model for multi-agent systems. *Advances in Artificial . . .*, 2000.
- [31] Shah Ahsanul Haque e Syed Mahfuzul Aziz. False Alarm Detection in Cyber-physical Systems for Healthcare Applications. *AASRI Procedia*, 5:54–61, 2013.
- [32] Shah Ahsanul Haque, Syed Mahfuzul Aziz e Mustafizur Rahman. Review of Cyber-Physical System in Healthcare. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014(3):1–20, 2014.
- [33] J Hatcliff, A King, Insup Lee, A MacDonald, A Fernando, M Robkin, E Vaserman, S Weininger e J M Goldman. Rationale and Architecture Principles for Medical Application Platforms. Em *Cyber-Physical Systems (ICCPs), 2012 IEEE/ACM Third International Conference on*, pp. 3–12. IEEE Computer Society, 2012.
- [34] Million Hearts. Million Hearts - Tools - Evidence-based Treatment Protocols. 2013.
- [35] Christopher D Hollander e Annie S Wu. The current State of Normative Agent-Based Systems. *journal od artifical societies social simulation*, 14(2):11, 2011.
- [36] J F Hübner, J S Sichman e O Boissier. Developing organised multiagent systems using the MOISE+ model: programming issues at the system and agent levels. *International Journal of Agent- . . .*, 2007.
- [37] Jomi Fred Hübner, Eric Matson, Olivier Boissier e Virginia Dignum, editors. *Coordination, Organizations, Institutions and Norms in Agent Systems IV*, volume 5428 de *Lecture Notes in Computer Science*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2009.

- [38] Jomi Fred Hübner, Jaime Simão Sichman e Olivier Boissier. A Model for the Structural, Functional, and Deontic Specification of Organizations in Multi-agent Systems. Em *Advances in Artificial Intelligence*, pp. 118–128. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2002.
- [39] IEEE 11073 Standard Committee of the IEEE Engineering in Medicine IEEE EMBS e Biology. IEEE Std 11073-20601TM-2008, Health informatics—Personal health device communication—Part 20601: Application profile—OEP, dez. 2008.
- [40] Milken Institute. Milken Institute | Research | Publications | Research Reports: An Unhealthy America: The Economic Burden of Chronic Disease – Charting a New Course to Save Lives and Increase Productivity and Economic Growth. 2007.
- [41] Henry Kautz e Bart Selman. Unifying SAT-based and graph-based planning. Em *IJCAI'99: Proceedings of the 16th international joint conference on Artificial intelligence*. Morgan Kaufmann Publishers Inc, jul. 1999.
- [42] Y-K Kim, R Nieuwlaat, S J Connolly, S Schulman, K Meijer, N Raju, S Kaatz e J W Eikelboom. Effect of a simple two-step warfarin dosing algorithm on anticoagulant control as measured by time in therapeutic range: a pilot study. *Journal of thrombosis and haemostasis : JTH*, 8(1):101–106, jan. 2010.
- [43] A King, K Fortino, N Stevens, S Shah, M Fortino-Mullen e I Lee. Evaluation of a smart alarm for intensive care using clinical data. Em *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE*, pp. 166–169. IEEE, 2012.
- [44] Andrew L King, Jonathan Tannen, Adrian Viesca Trevino, Soojin Park, Oleg Sokolsky, Insup Lee, Alex Roederer, David Arney, Sanjian Chen, Margaret Fortino-Mullen, Ana Giannareas, William Hanson III, Vanessa Kern e Nicholas Stevens. GSA. Em *the ACM international conference*, p. 487, New York, New York, USA, 2010. ACM Press.

- [45] M Kowalczyk, A J Jara e A F Skarmeta. Home Telehealth Interventions for People with Asthma. Em *Innovative Mobile and Internet Services in Ubiquitous Computing (IMIS), 2012 Sixth International Conference on*, pp. 907–911. IEEE Computer Society, 2012.
- [46] E A Lee. Cyber Physical Systems: Design Challenges. *Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), 2008 11th IEEE International Symposium on*, pp. 363–369, 2008.
- [47] Edward A Lee. *Structure and Interpretation of Signals and Systems*. Lee & Seshia, 2011.
- [48] Edward Ashford Lee e Sanjit Arunkumarr Seshia. *Introduction to Embedded Systems. A Cyber-Physical Systems Approach*. Lee & Seshia, abr. 2011.
- [49] Insup Lee e O Sokolsky. Medical Cyber Physical Systems. Em *Design Automation Conference (DAC), 2010 47th ACM/IEEE*, pp. 743–748, abr. 2010.
- [50] Insup Lee, O Sokolsky, Sanjian Chen, J Hatcliff, Eunkyong Jee, BaekGyu Kim, A King, M Mullen-Fortino, Soojin Park, A Roederer e K K Venkatasubramanian. Challenges and Research Directions in Medical Cyber-Physical Systems. Em *Proceedings of the IEEE*, pp. 75–90. IEEE, 2012.
- [51] C R M Leite, D L Martin, G R M A Sizilio, K E A dos Santos, B G de Araújo, R A de M Valentim, A D D Neto, J D de Melo e A M G Guerreiro. Modeling of medical care with stochastic Petri Nets. Em *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2010 Annual International Conference of the IEEE*, pp. 1336–1339. IEEE, 2010.
- [52] I I Martinez, J J Fernandez, M M Galarraga, L L Serrano, P P de Toledo, J J Escayola, S S Jimenez-Fernandez, S S Led, M M Martinez-Espronceda e J J Garcia. Implementation experience of a patient monitoring solution based on end-to-end standards. *Conference proceedings : ... Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society. IEEE*

- Engineering in Medicine and Biology Society. Conference*, 2007:6426–6429, jan. 2007.
- [53] A F Martins, D F S Santos, A Perkusich e H O Almeida. IEEE 11073 and connected health: Preparing personal health devices for the Internet. Em *Consumer Electronics (ICCE), 2014 IEEE International Conference on*, pp. 274–275. IEEE, 2014.
- [54] A F Martins, D F S Santos, A Perkusich e H O Almeida. UPnP and IEEE 11073: Integrating personal health devices in home networks. Em *Consumer Communications and Networking Conference (CCNC), 2014 IEEE 11th*, pp. 1–6. IEEE, 2014.
- [55] Massad, Marin e Azevedo Neto editores. O prontuário eletrônico do paciente na assistência, informação e conhecimento médico. *OPAS/OMS 2003*, 2003.
- [56] H Medjahed, D Istrate, J Boudy, J.-L Baldinger e B Dorizzi. A pervasive multi-sensor data fusion for smart home healthcare monitoring. Em *Fuzzy Systems (FUZZ), 2011 IEEE International Conference on*, pp. 1466–1473. IEEE, 2011.
- [57] Eduardo Ojeda Mendez e Shangping Ren. Design of cyber-physical interface for automated vital signs reading in electronic medical records systems. Em *2012 IEEE International Conference on Electro/Information Technology (EIT 2012)*, pp. 1–10. IEEE, 2012.
- [58] B R Min da Saúde. *Guia de Medicamentos Genéricos*. anvisa.gov.br, 2001.
- [59] F Mirza, T Norris e R Stockdale. Mobile technologies and the holistic management of chronic diseases. *Health Informatics Journal*, 14(4):309, 2008.
- [60] AC Norris, RS Stockdale e S Sharma. A strategic approach to m-health. *Health Informatics Journal*, 15(3):244, 2009.
- [61] National Library of Medicine. *UMLS® Reference Manual*. National Library of Medicine (US), set. 2009.

- [62] Truls Østbye, Kimberly S H Yarnall, Katrina M Krause, Kathryn I Pollak, Margaret Gradison e J Lloyd Michener. Is there time for management of patients with chronic diseases in primary care? *Annals of family medicine*, 3(3):209–214, mai. 2005.
- [63] Lin Padgham e Michael Winikoff. Prometheus: A pragmatic methodology for engineering intelligent agents. pp. 97–108, 2002.
- [64] Alexandros Pantelopoulos e Nikolaos G Bourbakis. A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews*, 40(1):1–12, jan. 2010.
- [65] Alexandros Pantelopoulos e Nikolaos G Bourbakis. Prognosis: a wearable health-monitoring system for people at risk: methodology and modeling. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(3):613–621, mai. 2010.
- [66] James O Prochaska, Kerry E Evers, Janet L Johnson, Patricia H Castle, Janice M Prochaska, Lindsay E Sears, Elizabeth Y Rula e James E Pope. The well-being assessment for productivity: a well-being approach to presenteeism. *Journal of occupational and environmental medicine / American College of Occupational and Environmental Medicine*, 53(7):735–742, jul. 2011.
- [67] Jaques Reifman, Srinivasan Rajaraman, Andrei Gribok e W Kenneth Ward. Predictive monitoring for improved management of glucose levels. *Journal of diabetes science and technology*, 1(4):478–486, jul. 2007.
- [68] Carlos Oberdan Rolim, Fernando Luiz Koch, Carlos Becker Westphall, Jorge Werner, Armando Fracalossi e Giovanni Schmitt Salvador. A Cloud Computing Solution for Patient’s Data Collection in Health Care Institutions. 2010.
- [69] Jesse Russel e Ronald Cohn. *Iso 8601*. Book on Demand Limited, jan. 2013.

- [70] IEEE SA. Health Informatics-Personal health device communication Part 10472: Device specialization-Medication monitor. *IEEE Std 11073-10472-2010*, pp. –63, 2010.
- [71] IEEE SA. *IEEE Draft Guide for Health Informatics - Personal Health Device Communication - Overview*. IEEE, mar. 2011.
- [72] Tomáš Šalamon. *Design of Agent-based Models*. Developing Computer Simulations for a Better Understanding of Social Processes. Tomáš Bruckner, 2011.
- [73] P Schloeffel, T Beale e G Hayworth. The relationship between CEN 13606, HL7, and openEHR. *HIC 2006 and HINZ ...*, 2006.
- [74] L Schmitt, T Falck, F Wartena e D Simons. Towards Plug-and-Play Interoperability for Wireless Personal Telehealth Systems. *4th International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks (BSN 2007)*, pp. 257–263, 2007.
- [75] Bart Selman, Henry Kautz e Jörg Hoffman. SatPlan: Planning as Satisfiability. jun 2006.
- [76] Lui Sha, Sathish Gopalakrishnan, Xue Liu e Qixin Wang. Cyber-Physical Systems: A New Frontier. Em *SUTC '08: Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (sutc 2008)*, pp. 1–9. IEEE Computer Society, jun. 2008.
- [77] Jianhua Shi, Jiafu Wan, Hehua Yan e Hui Suo. A survey of Cyber-Physical Systems. Em *Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2011 International Conference on*, pp. 1–6, 2011.
- [78] IEEE 11073 Standard Committee of the IEEE Engineering in Medicine Society e Biology. IEEE 11073-10471, Health informatics-Personal health device communication-Part 10471: Device specialization-Independent living activity hub, dez. 2008.

- [79] Zhen Song, YangQuan Chen, Chellury R Sastry e Nazif C Tas. *Optimal Observation for Cyber-physical Systems*. A Fisher-information-matrix-based Approach. Springer, jun. 2009.
- [80] Nicholas Stevens, Ana Rosa Giannareas, Vanessa Kern, Adrian Viesca, Margaret Fortino-Mullen, Andrew King e Insup Lee. Smart alarms. Em *the 2nd ACM SIGHIT symposium*, p. 533, New York, New York, USA, 2012. ACM Press.
- [81] Hongyuan Sun, John Thangarajah e Lin Padgham. Eclipse-based Prometheus design tool. Em *AAMAS '10: Proceedings of the 9th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems, mai. 2010.
- [82] Christophe Tricaud e YangQuan Chen. *Optimal Mobile Sensing and Actuation Policies in Cyber-physical Systems*. Springer, out. 2011.
- [83] K K Venkatasubramanian, S K S Gupta, R P Jetley e P L Jones. Interoperable Medical Devices. *Pulse, IEEE*, 1(2):16–27, 2010.
- [84] J Wan, H Yan, H Suo e F Li. Advances in cyber-physical systems research. *KSII Transactions on Internet and Information Systems*, 5(11):1891–1908, 2011.
- [85] Gerhard Weiss. *Multiagent Systems*. The MIT Press, mar. 2013.
- [86] Michael Wooldridge. *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons, jun. 2009.