



PUC

ISSN 0103-9741

Monografias em Ciência da Computação
n° 11/18

Design de uma Plataforma para a Gestão de Informações Médicas Distribuídas Baseada em Sistemas Multiagentes e Proveniência de Dados

Tassio Sirqueira

Marx Viana

Chrystinne Fernandes

Nathalia Nascimento

Jefry Sastre

Pedro Augusto Miranda

Vitor Augusto

Carlos Lucena

Departamento de Informática

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

RUA MARQUÊS DE SÃO VICENTE, 225 - CEP 22453-900

RIO DE JANEIRO - BRASIL

Design de uma Plataforma para a Gestão de Informações Médicas Distribuídas Baseada em Sistemas Multiagentes e Proveniência de Dados

Tassio Sirqueira^{1,2}, Marx Viana¹, Chrystinne Fernandes¹,
Nathalia Nascimento¹, Jefry Sastre¹, Pedro Augusto Miranda¹,
Vitor Augusto¹, Carlos Lucena¹

¹Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio)

²Instituto Vianna Junior (FIVJ)

tmsirqueira@vianna.edu.br, mleles@inf.puc-rio.br, cfernandes@inf.puc-rio.br,
nnascimento@inf.puc-rio.br, jefry.sastre@gmail.com, pedroampuc@gmail.com,
victoraugustolls@gmail.com lucena@inf.puc-rio.br

Abstract. This paper discusses the detailed design of a medical information system and propose an architecture of a distributed information management platform. The system, called Vital Signs, focuses on patients located on Intensive Care Unit (ICU). The Vital Signs is a platform that allows the doctor to monitor in real time the status of patients in the ICU from anywhere, either by a browser or a mobile device. The platform provides a resource for capturing, analysing and monitoring patient data. The concepts underlying are proposed design are based on the features provided by multiagent systems (distributed IA) and the notion of data provenance.

Keywords: Vital Signs; Medical Information System; Multiagent Systems.

Resumo. Este artigo discute o design detalhado de um sistema de informação médica e propõe uma arquitetura de uma plataforma de gerenciamento de informações distribuídas. O sistema, chamado Sinais Vitais, concentra-se em pacientes localizados na Unidade de Terapia Intensiva (ICU). O Sinais Vitais é uma plataforma que permite ao médico monitorar em tempo real o status de pacientes na UTI de qualquer lugar, seja por um navegador ou dispositivo móvel. A plataforma fornece um recurso para capturar, analisar e monitorar os dados do paciente. Os conceitos básicos subjacentes são propostos baseados nos recursos fornecidos pelos sistemas multiagentes (IA distribuída) e a noção de proveniência de dados.

Palavras-chave: Sinais Vitais; Sistema de Informação Médica; Sistemas Multiagentes.

Responsável por publicações

Rosane Teles Lins Castilho
Assessoria de Biblioteca, Documentação e Informação
PUC-Rio Departamento de Informática
Rua Marquês de São Vicente, 225 - Gávea
22453-900 Rio de Janeiro RJ Brasil
Tel. +55 21 3114-1516 Fax: +55 21 3114-1530
E-mail: bib-di@inf.puc-rio.br

Sumário

1	Introdução	1
2	Pressupostos Teóricos	2
3	Sinais Vitais	4
3.1	Infraestrutura.....	4
3.2	Arquitetura	6
3.3	Agentes de Software.....	7
3.4	Modelo de Dados	8
4	Cenário de Uso	9
5	Considerações Finais e Trabalhos Futuros	10
	Agradecimentos.....	11
	Referências.....	11

1 Introdução

A área de saúde historicamente envolve a geração de grandes quantidades de dados [Kudyba 2010] e o crescimento do uso de Internet of Things / Internet das Coisas (IoT) na saúde torna a quantidade de dados ainda maior e mais complexa de ser gerenciada. Por essa razão, a cooperação entre pessoas e sistemas de informações médicas devem ser explicitadas e o uso de técnicas que utilizam inteligência artificial distribuída, ou seja, sistemas baseados em agentes de software, se tornou uma abordagem promissora.

Como abordado por Kifor et al. [2006], sistemas de informações médicas em muitos casos trabalham como ilhas desconectadas de informação, gerando falta de comunicação e de coordenação, prejudicando a tomada de decisão da equipe médica. Em um sistema médico distribuído, todas as informações sobre o histórico de saúde do paciente, os procedimentos por ele realizado e os registros médicos, devem ser armazenados e disponibilizados para todo o corpo médico, para auxiliar a tomada de decisão, e a aplicação de agentes de software que possuem algum grau de autonomia pode permitir, trabalhar com dados descentralizados advindos de diferentes fontes de informação, tais como monitores paramétricos, sensores e registros médicos manuais.

Roski et al. (2014) argumentam que quando se tem um grande volume de dados, é possível adicionar valor aos cuidados com a saúde, melhorando os resultados e inclusive reduzindo custos. No entanto, para que isso aconteça, é necessário uma boa infraestrutura e ferramentas de visualização e de análise dos dados que proporcionem suporte ao mesmo, pois caso isso não ocorra, os dados existentes terão seu valor limitado e baixa utilidade.

Ao falar de grandes conjuntos de dados (Big Data), refere-se a uma quantidade de dados tão grande que como explicado por Frost (2015), são informações além de volumosas, complexas e difíceis de serem gerenciadas por software tradicionais, que não são capazes de lidar com essas características. Isso ocorre em função dos dados de saúde serem advindos de fontes heterogêneas e com diferentes formatos e estruturas. Essa falta de padronização influencia a velocidade de processamento e a capacidade de extrair informações úteis para as equipes médicas.

Nestes cenários, uma abordagem promissora é o uso do conceito proveniência de dados, que conforme Kifor et al. (2006), permite rastrear: (i) eventos em processos distribuídos complexos; (ii) dependências entre os processos e; (iii) decisões tomadas por atores humanos. Como supracitado, agentes de software tem um papel imprescindível, uma vez que possuem capacidade de lidar com dados advindos de diferentes origens. Estes agentes podem ser responsáveis por documentar os processos que ocorreram e as ações que foram tomadas, isso porque possuem acesso a todas as informações que fazem parte do processo.

Utilizar-se um sistema multiagente para acompanhar e documentar os eventos que ocorrem em UTIs, pode reduzir a carga de trabalho da equipe médica, dado que o sistema multiagente fica responsável por monitorar amplamente o paciente e alertar a equipe em casos específicos. Além disso, como descrito em Morejón et al. (2017), o volume de dados no mundo e em nossas vidas aumenta de forma constante e as tecnologias da informação (TI) nos dominam com dados, pois os sistemas de TI registram todas as ações que tomamos ao utilizá-los. Isto dificulta o acompanhamento de pacientes pelas equipes médicas, principalmente em UTIs onde os pacientes devem ser acompanhados em tempo integral e a quantidade de dados produzida é muito grande.

O objetivo deste trabalho é apresentar em detalhes, o design de uma plataforma de gestão de informações médicas distribuídas, Sinais Vitais, com foco em pacientes em UTIs. Será definida sua infraestrutura, arquitetura, e agentes de software utilizados, assim como os detalhes do armazenamento de dados médicos. Ademais, a utilização de proveniência para rastrear a conformidade do sistema será definida.

O artigo é estruturado da seguinte forma: na seção 2 são abordados alguns pressupostos teóricos acerca de soluções que formam a base da plataforma e alguns trabalhos relacionados. A seção 3 descreve em detalhes a infraestrutura que se faz necessária para uso da plataforma, sua arquitetura em termos de software, dos agentes e suas finalidades, e o modelo de dados. Já a seção 4 apresenta um cenário de uso representando o uso da plataforma. Por fim, a seção 5 apresenta algumas considerações finais sobre a plataforma apresentada e os trabalhos futuros a serem desenvolvidos.

2 Pressupostos Teóricos

O conhecimento sobre a área de saúde vem crescendo e se modernizando em termos de aplicações computacionais e, segundo Pang [2013], representa uma das áreas de aplicação mais atraentes para a Internet das Coisas [Gubbi et al., 2013]. A IoT pode ser entendida como um conjunto conectado de pessoas, coisas, em qualquer hora, qualquer lugar, por qualquer serviço e qualquer rede [Islam et al. 2015]. Como descrito por Islam et al. (2015), com o uso de IoT na saúde, está ocorrendo uma rápida migração dos dados que antes eram em papel para dados digitais e, com isso, um consequente aumento dos dados gerados formando o que é chamado de Big Data, visto que a grande quantidade de informações vem de diferentes fontes.

Este grande volume de dados em saúde é de difícil tratamento, não só por causa do seu volume, mas também pela diversidade de tipos de dados e pela rapidez com que devem ser gerenciados [Frost 2015]. Como dados são importantes nos cuidados da saúde, a análise associada a grandes dados é descrita por três características principais: (i) volume; (ii) velocidade e; (iii) variedade [Islam et al. 2015].

O uso de sistemas multiagentes para capturar e organizar os dados vindos de diferentes fontes e em diferentes formatos, tais como o High Level Seven HL7 [Dolin et al. 2006] e DICOM [Mildenberger et al. 2002], possibilita acrescentar informações de proveniência a esses dados, que como apresentado em [Sirqueira et al. 2017], o uso de proveniência de dados sobre as informações médicas permite que os dados sejam usados para aprender ou compreender métodos e regras de design, contendo informações de “como”, “quando”, “onde” e “por que” os dados foram obtidos e “quem” os obteve.

Essas informações podem ser capturadas através de monitores paramétricos, os mesmos que são utilizados em UTIs ou por sensores, como apresentado em [Nascimento & Lucena 2017].

Esse conjunto de informações podem ser tratados e analisados por agentes antes de serem entregues às equipes médicas. Em [Morejón et al. 2017], os agentes são responsáveis por coletar os dados, treinar os agentes que irão minerar os dados e com base nas regras, irão fazer as predições sobre os dados dos pacientes. Dessa forma, a equipe médica pode tanto ter acesso aos dados brutos, como aos dados já minerados pelos agentes de software. Um exemplo disto pode ser visto na Figura 1.

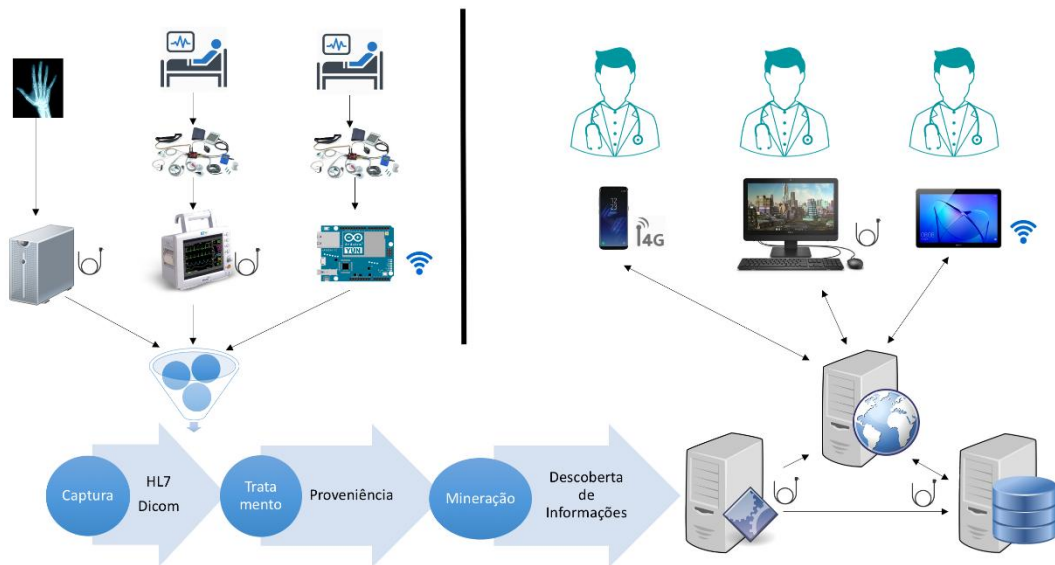


Figura 1. Processo de aquisição dos dados e apresentação à equipe médica.

Na Figura 1, têm-se que cada paciente que está sendo monitorado via sensores, via monitor paramétrico ou que gerou alguma imagem DICOM, terá seus dados enviados para um servidor, onde os dados capturados são anotados com informações de proveniência e a partir disto os agentes podem analisá-los, enviando alertas para a equipe médica ou a um médico específico, responsável pelo paciente. Os dados coletados dos pacientes podem ser visualizados em tempo real via computador ou dispositivo móvel, ou ainda acessados posteriormente.

Em Lo et al. (2005) foi apresentada uma solução baseada no uso de sensores conectados ao corpo de um certo paciente. A comunicação e troca de dados dos sensores com a base de dados foi realizada através de redes sem fio. Entretanto, neste trabalho não foram apresentados os detalhes de como a plataforma funciona ou, de como os dados são tratados e nem a forma como os dados foram mostrados à equipe médica.

O trabalho de López et al. (2010), denominado de ‘LOBIN’, segue a mesma ideia de Lo et al. (2005), onde sensores são conectados ao corpo para captura e envio dos dados. No entanto, não foi apresentado com clareza como os dados são tratados e exibidos aos interessados. Já o trabalho de Machado et al. (2010), o ‘AIDATrace’, busca dar suporte aos sistemas de monitoramento via RFID [Want 2006]. Contudo, seu acesso é limitado, o que impede obter mais detalhes sobre seu andamento e os resultados que foram obtidos.

A plataforma ‘EHR4CR’ [El Fadly et al. 2011] trabalha com dados do tipo HL7 [Dolin et al. 2006] e do tipo DICOM [Mildenberger et al. 2002], e teve como objetivo fazer a integração entre documentos, formulários e dados pré-coletados. Apesar de ser uma abordagem interessante, não são tratadas informações sobre a plataforma, os desafios com o grande volume de dados e sobre como são tratadas e extraídas informações para as equipes médicas.

Woznowski et al. (2017), apresentam o ‘SPHERE’, uma plataforma de sensores para cuidado com a saúde focada em ambiente residencial. Isto é feito através de dispositivos de IoT dentro da própria residência, os quais coletam dados de saúde sobre seus moradores. Assim como o trabalho de El Fadly et al. (2011), ele não deixa claro como os dados são manipulados e também sobre quem faz uso deles.

processados, o que torna a REST independente da versão HL7 que o monitor ou sensor estão trabalhando. O HL7 é um padrão para interoperabilidade entre dados médicos amplamente difundido. Atualmente está na versão 3, contudo, apresenta algumas características que devem ser tratadas frente às versões anteriores para a captura, anotação da proveniência e armazenamento.

Junto ao middleware trabalham alguns frameworks, sendo eles responsáveis pelo pré-processamento dos dados enviados à REST, como é o caso da anotação de proveniência, FProvW3C [Sirqueira et al. 2017], pela preparação e mineração dos dados, JAF4HDM [Morejón et al. 2017], para interoperabilidade com dispositivos de IoT, FIoT [Nascimento & Lucena 2017], para tratamento das imagens DICOM, U-Net [Pérez et al. 2017] e para notificação de alertas aos médicos responsáveis pelo paciente, IoT4Health [Fernandes et al. 2016].

Desse modo, a REST fica responsável pelo acesso ao banco para persistência e consulta dos dados e, pela exibição em tempo real dos dados recebidos para os médicos. Assim, a plataforma visa simplificar o acesso aos dados armazenados, visto que só serão utilizados caso o médico queira visualizar o histórico. O médico ao ter acesso à plataforma a partir de qualquer dispositivo, deve selecionar o paciente do qual se deseja visualizar os dados para que a REST o redirecione ao fluxo correto. Os dados são apresentados aos médicos em uma interface similar aos monitores multiparamétricos, como pode ser visto na Figura 3.



Figura 3. Interface do aplicativo - Sinais Vitais.

Na Figura 3a (à esquerda), tem-se a tela de seleção do paciente pelo médico, contendo o nome, o número de alertas ocorridos e alertas personalizados pré-definidos pelo médico. Já na Figura 3b (à direita), tem-se as informações colhidas do paciente em tempo real pelos monitores multiparamétricos e sensores, sendo que esta tela (Figura 3b) é ajustada de acordo com o dispositivo que está sendo utilizado para acesso à plataforma.

Os alertas apresentados na Figura 3a, podem ser provenientes dos alertas padrão do monitor multiparamétrico, como os destacados em vermelho nos dois primeiros pacientes, ou alertas que o médico personalizou, de forma a acompanhar de modo mais próximo

mo os eventos ocorridos com o paciente já que nesses alertas foram definido o sensor, o valor mínimo ou máximo que se deseja o alerta e a forma de notificação (push notification, envio de e-mail ou envio de SMS). Alguns detalhes adicionais sobre os alertas serão apresentados na seção 3.3, visto que essa tarefa é gerenciada por um sistema multiagente.

A plataforma Sinais Vitais também conta com um módulo de conversão de áudio em texto, para que todos os registros médicos fiquem armazenados juntos ao banco de dados (vide Figura 2). Com isso, essa solução de voz reduz o tempo de registro das informações do paciente no prontuário médico.

3.2 Arquitetura

A arquitetura da plataforma Sinais Vitais é modularizada, composta por diferentes frameworks, extensíveis e flexíveis por meio de pontos de extensão. Os dados coletados dos monitores multiparamétricos e sensores são transferidos ao middleware por meio do protocolo UDP, em forma de stream de dados criando um socket entre o middleware e o emissor dos dados. A partir dos dados coletados, toda comunicação ocorre por meio do protocolo TCP, garantindo a entrega dos dados na sequência correta e com verificação de erros, conforme ilustrado na Figura 4.

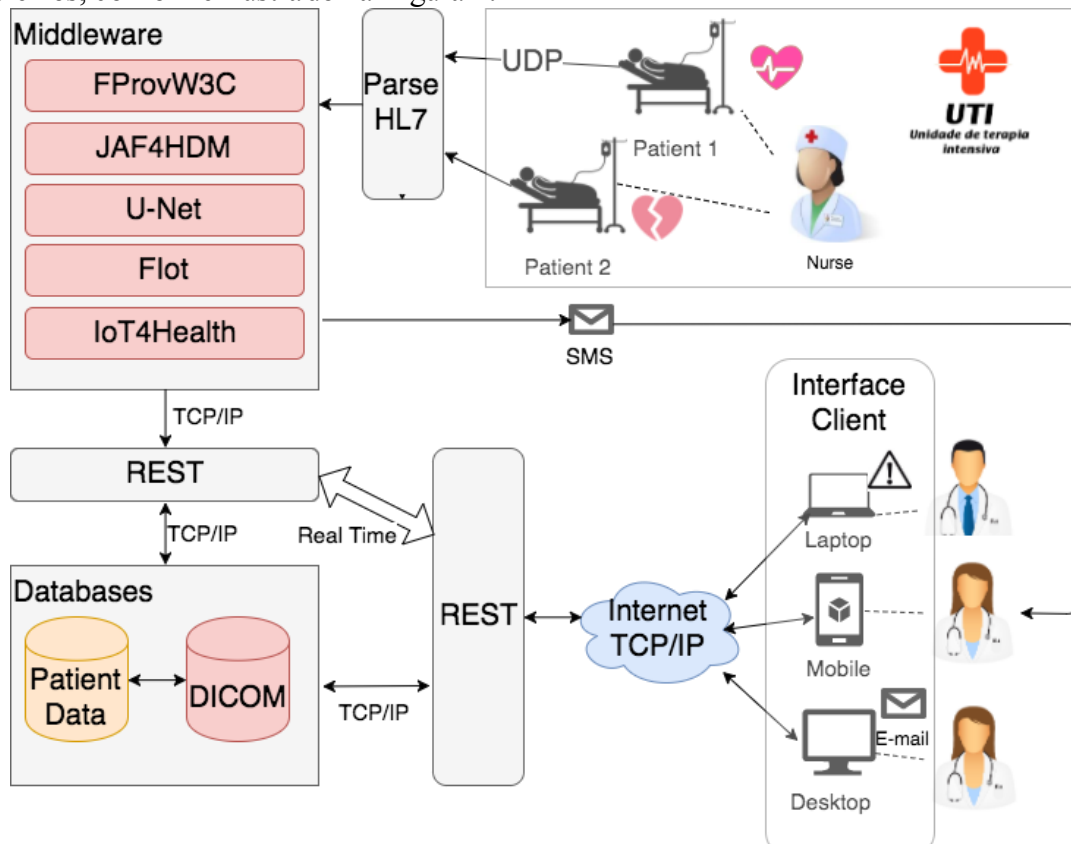


Figura 4. Arquitetura Sinais Vitais.

A Figura 4 apresenta a arquitetura, onde todos os dados HL7 recebidos passam por parser, para serem tratados e encaminhados ao middleware onde diferentes ferramentas operam pré-processando os dados que serão enviados à REST. Ainda no middleware, qualquer anomalia identificada nos dados do paciente, gera um alerta que é enviado ao médico de acordo com a forma de notificação que ele escolheu para ser notificado. Essa análise de anomalias para geração de alertas é feita por agentes de software, com inteli-

gência suficiente para distinguir dados normais de anomalias no monitoramento de um paciente qualquer.

Essa notificação visa reduzir o tempo de comunicação entre a equipe de enfermagem que está presente na UTI, e o médico responsável. Desta forma reduz-se, o tempo de resposta ao que foi comunicado. O paciente também pode ser monitorado remotamente pelo médico através da plataforma com acesso à Internet.

Os dados apresentados em tempo real para o médico, também são armazenados em um banco de dados para formação do histórico do paciente. Assim, quando o médico deseja, através da aplicação, visualizar a linha do tempo de um dado sinal vital do paciente, é realizada uma consulta a essa base selecionando-se um intervalo de dados, que é exibido na tela do aplicativo para que o médico possa atrasar ou adiantar a linha do tempo com os dados do paciente.

3.3 Agentes de Software

O uso de um sistema multiagente pela plataforma proporciona maior agilidade no processamento das informações, sendo a plataforma composta por agentes heterogêneos, cada qual com uma finalidade específica que realizam todo o pré-processamento, a análise dos dados e a notificação ao médico. Uma representação do fluxo de trabalho pode ser visto na Figura 5.

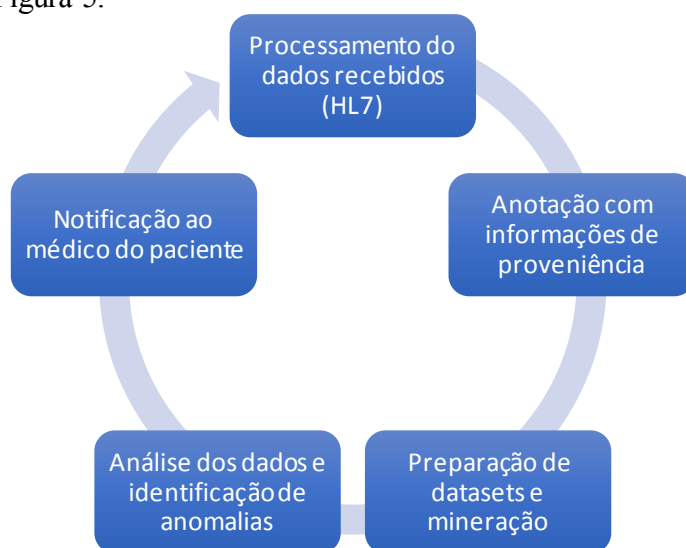


Figura 5. Ciclo de operação dos agentes na plataforma Sinais Vitais.

O uso de um sistema multiagente acelera o processamento dos dados, visto que cada agente opera de forma independente. Isso é importante devido à grande quantidade de dados recebidos e que devem ser verificados. Outro ponto importante para o emprego de agentes é a escalabilidade, visto que com a demanda de dados aumentando, basta aumentar o número de agentes operando sobre os dados da plataforma.

Assim, os agentes buscam na base de dados as anomalias que devem ser verificadas para cada paciente e quando identificadas alertam os médicos. Cada médico pode escolher a quantidade de anomalias sobre as quais deseja ser alertado, sendo essa configuração realizada por cada médico para cada paciente sob sua responsabilidade. Atualmente, a plataforma só permite notificar um médico para cada alerta configurado. Contudo, quando atua mais de um médico sob o mesmo paciente, podem ser configuradas notificações de anomalias idênticas para ambos.

3.4 Modelo de Dados

A plataforma Sinais Vitais segue um modelo de dados relacional, focado no armazenamento de dados colhidos do paciente, vinculando qual monitoramento e a qual médico as informações são destinadas, conforme a Figura 6, adiante.

Os monitoramentos da plataforma são registrados na tabela “tb_monitoring”, vinculando dados do paciente (“tb_patient”), do médico (“tb_health_provider”), dos sensores (“tb_sensor”) que estão sendo alugados para monitorar o paciente. Também são monitoradas a anomalia (“tb_anomaly”) que o médico deseja verificar e as notificações que foram emitidas (“tb_notification”), mostrados na Figura 6. Além disso, conforme citado anteriormente, na Figura 7, são realizadas anotações de proveniências sobre os dados coletados. Essas anotações de proveniência seguem o PROV-DM [Moreau et al., 2013], tanto para as relações primárias como secundárias do PROV [Missier et al., 2013]. Esses dados de proveniência são utilizados pelo sistema multiagentes para análise e predição de informações, ajudando a responder questões sobre a evolução dos pacientes. Um exemplo de funcionamento será apresentado na próxima seção.

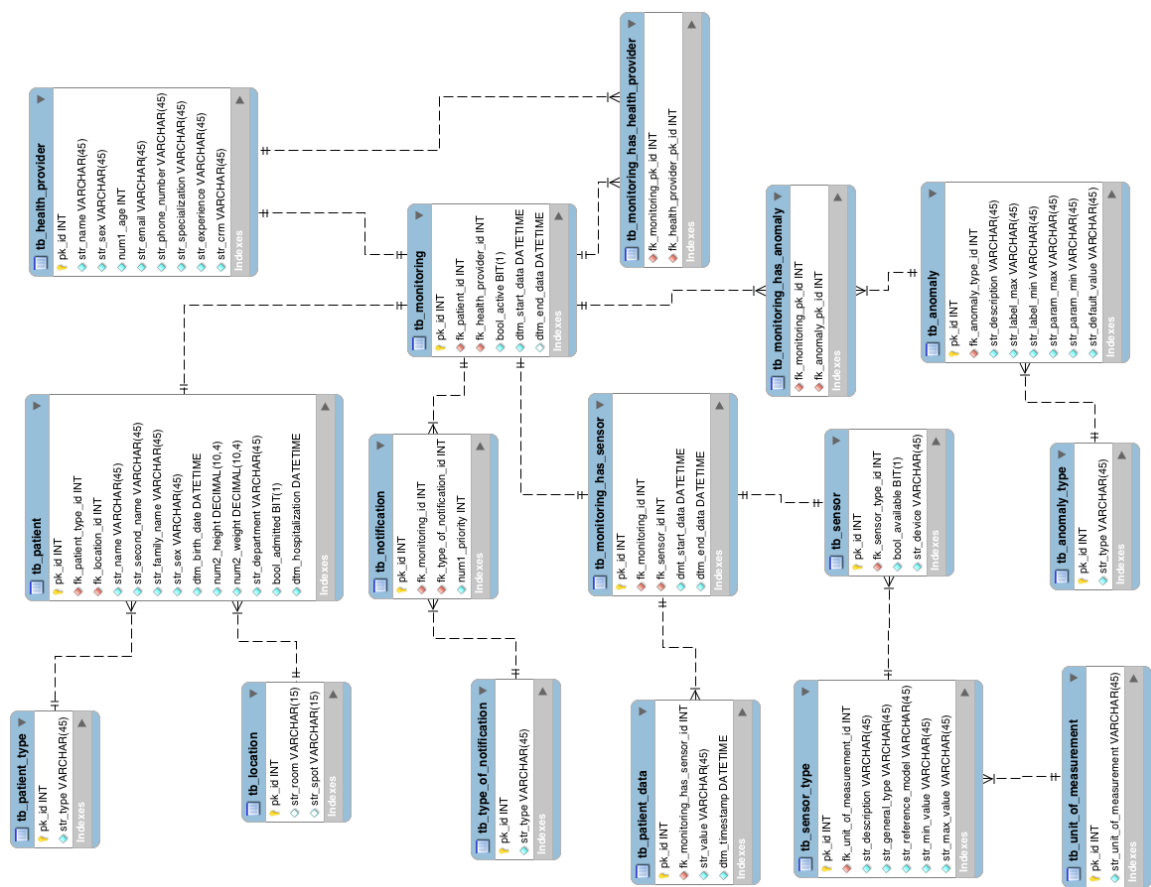


Figura 6. Modelo de dados da plataforma Sinais Vitais.

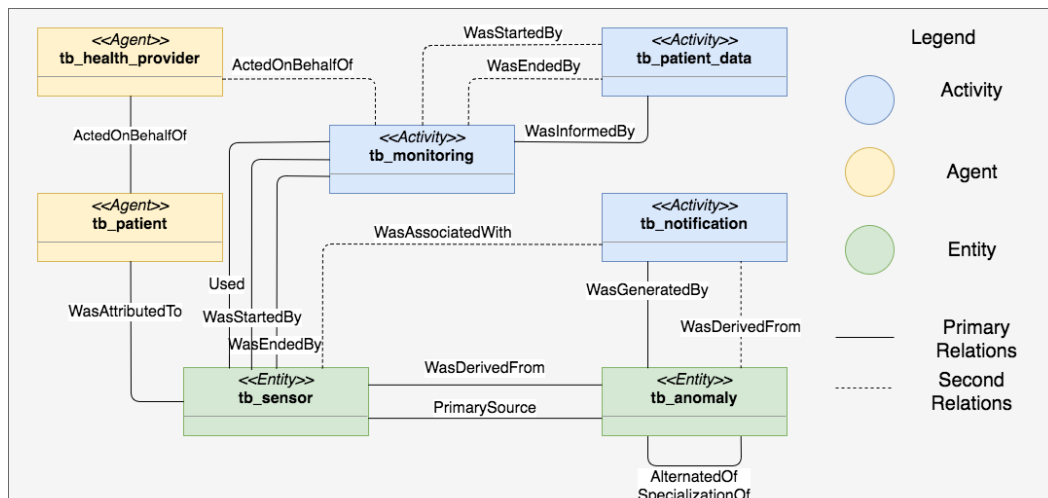


Figura 7. Relação de proveniência entre os dados da plataforma Sinais Vitais.

4 Cenário de Uso

Realizar o monitoramento de pacientes em UTIs é uma tarefa complexa e desafiadora. Com o objetivo de auxiliar médicos e suas equipes, a plataforma Sinais Vitais utiliza-se de um Sensor health Kit e o monitor Philips CM100 (Figura 10b) para detecção de anomalias e falsos alarmes. Para mostrar a utilidade da aplicação, imagine um paciente na UTI, sendo monitorado em tempo integral. Para facilitar o trabalho da equipe médica, foi colocado no paciente uma série de sensores, por exemplo, do Sensor health Kit, os sensores Body Position (Figura 8a) e o Myo (Figura 8b). O sensor Body Position detecta até cinco diferentes tipos de posição do corpo (Figura 9), já o Myo é um dispositivo wearable que possui acelerômetro, giroscópio e oito sensores que medem a atividade elétrica muscular (Figura 10a).

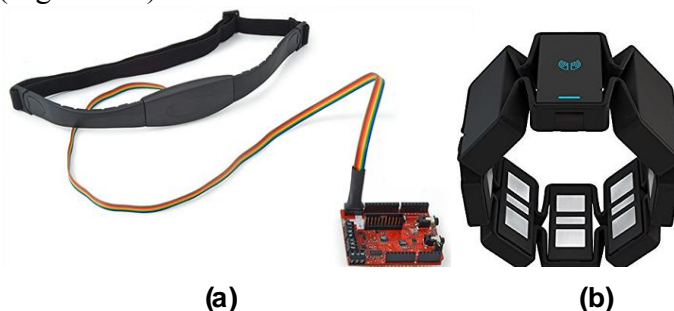


Figura 8. Sensor Body Position, acoplado ao *shield* da plataforma E-health sensor kit, compatível com Arduino e Raspberry, e o dispositivo Myo.

Neste cenário, utilizou-se um Arduino para coletar os dados enviados pelo Body Position e pelo Myo via Bluetooth. Cada movimento que o paciente realiza na cama, seja sozinho ou com o auxílio da equipe médica é detectado e sua nova posição é enviada para a aplicação. Além disso, cada gesto realizado pelo paciente e capturado pelo Myo, acende um LED de uma determinada cor. A intensidade do LED que é aceso corresponde à intensidade da atividade elétrica no músculo estimulado pelo gesto. Para que o LED acenda, é necessário que seja alcançado um mínimo de atividade elétrica muscular, configurável para cada paciente. No caso do monitor Philips CM100, foram utilizados sensores que capturam do paciente a temperatura, pressão, batimento cardíaco, dentre outros.

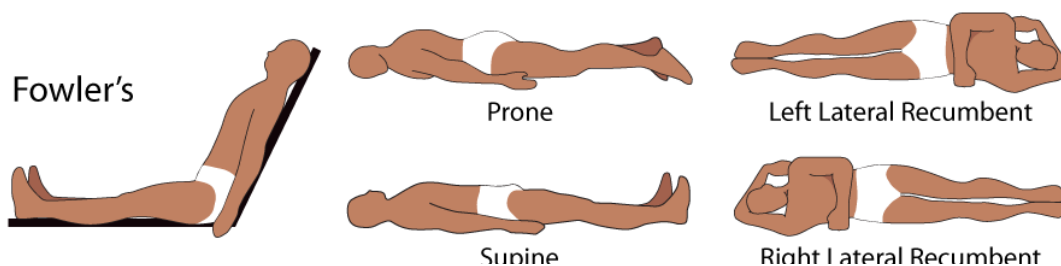


Figura 9. Posições detectadas pelo sensor *Body Position*.



Figura 10. *Myo* sendo utilizado para verificar movimentos do braço e o *Monitor Philips CM 100*.

Com esse conjunto de sensores, foi possível gerar uma base de dados com mais de cinco milhões de linhas de dados de um único paciente. Para retirar informação desses dados brutos, foram utilizados agentes de software inteligentes, ou seja, agentes capazes de realizar ações autônomas sobre essa base de dados, onde seu raciocínio foi criado com algoritmos de Inteligência Artificial para prever/detectar possíveis anomalias e falsos alarmes durante o período de internação dos pacientes.

Os agentes da plataforma sinais Vitis são: i) *MonitoringAgent* ii) *AlertAgent* e, iii) *UserInterfaceAgent*. O *MonitoringAgent* é responsável pelo monitoramento contínuo da posição do paciente e seus movimentos através dos diferentes sensores, explicados anteriormente. Caso este agente detecte alguma anomalia, ele envia uma mensagem para o *AlertAgent*, que notifica o profissional encarregado de tomar providências para cada caso específico. Já o *UserInterfaceAgent* é encarregado de exibir na interface da aplicação a posição do paciente no momento, dentre as posições identificadas pelo sensor *Body Position* e/ou movimentos detectados pelo *Myo*. Caso o sensor não seja capaz de classificar a posição do paciente, ele irá informá-la como “unknown”. Um exemplo da aplicação funcionando pode ser vista no link <https://youtu.be/ScMdPDZMgHo>.

5 Considerações Finais e Trabalhos Futuros

O monitoramento remoto de paciente é uma demanda que vem crescendo para permitir maior mobilidade do médico e ao mesmo tempo, que o mesmo esteja presente acompanhando seus pacientes que estão em UTIs, em tempo real. A plataforma Sinais Vitis é um projeto em constante desenvolvimento e que agora segue para teste e implantação em um ambiente real de UTIs. Os resultados até o instante demonstram robustez na plataforma e avanços na área de engenharia de software aplicada à saúde.

A plataforma ainda possui algumas limitações com relação a coleta de dados em monitores Philips (modelo CM100), devido o fato do monitor multiparamétrico somente

enviar os dados a cada 30s. Contudo, isso não interfere no monitoramento e no envio de alertar aos médicos.

Os próximos passos para a evolução da plataforma são os testes em ambientes reais, por exemplo, determinando como os dados estão sendo armazenados e verificando se através de banco de dados não relacionais pode-se obter melhor tempo de resposta para o armazenamento e recuperação dos dados. O objetivo do presente trabalho foi apresentar o design e implementação da plataforma Sinais Vitais, através de suas ferramentas e suas operações.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CAPES, FAPERJ, CNPq, PUC-Rio, FIVJ e LES por todo apoio e incentivo na pesquisa. Agradecemos também a equipe que participa da implementação e avaliação da plataforma Sinais Vitais.

Referências

- Dolin, R. H., Alschuler, L., Boyer, S., Beebe, C., Behlen, F. M., Biron, P. V., & Shabo, A. (2006). HL7 clinical document architecture, release 2. *Journal of the American Medical Informatics Association*, 13(1), 30-39.
- El Fadly, A., Rance, B., Lucas, N., Mead, C., Chatellier, G., Lastic, P. Y., & Daniel, C. (2011). Integrating clinical research with the Healthcare Enterprise: from the RE-USE project to the EHR4CR platform. *Journal of biomedical informatics*, 44, S94-S102.
- Fernandes, C. O., de Lucena, C. J. P., de Lucena, C. A. P., & de Azevedo, B. A. (2016). Enabling a smart and distributed communication infrastructure in healthcare. In *Innovation in Medicine and Healthcare 2015* (pp. 435-446). Springer, Cham.
- Frost, S. (2015). Drowning in big data? reducing information technology complexities and costs for healthcare organizations.
- Islam, S. R., Kwak, D., Kabir, M. H., Hossain, M., & Kwak, K. S. (2015). The internet of things for health care: a comprehensive survey. *IEEE Access*, 3, 678-708.
- Kifor, T., Varga, L. Z., Vazquez-Salceda, J., Alvarez, S., Willmott, S., Miles, S., & Moreau, L. (2006). Provenance in agent-mediated healthcare systems. *IEEE Intelligent Systems*, 21(6), 38-46.
- Kudyba, S. P. (2010). *Healthcare informatics: improving efficiency and productivity*. CRC Press.
- Lo, B. P., Thiemjarus, S., King, R., & Yang, G. Z. (2005). Body sensor network—a wireless sensor platform for pervasive healthcare monitoring.
- López, G., Custodio, V., & Moreno, J. I. (2010). LOBIN: E-textile and wireless-sensor-network-based platform for healthcare monitoring in future hospital environments. *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, 14(6), 1446-1458.
- Machado, J. M., Miranda, M., Gonçalves, P., Abelha, A., Neves, J., & Marques, J. A. (2010). AIDATrace: Interoperation platform for active monitoring in healthcare environments.
- Mildenberger, P., Eichelberg, M., & Martin, E. (2002). Introduction to the DICOM standard. *European radiology*, 12(4), 920-927.

- Missier, P., Belhajjame, K., & Cheney, J. (2013, March). The W3C PROV family of specifications for modelling provenance metadata. In *Proceedings of the 16th International Conference on Extending Database Technology* (pp. 773-776). ACM.
- Moreau, L., Missier, P., Belhajjame, K., B'Far, R., Cheney, J., Coppens, S., & Lebo, T. (2013). *Prov-dm: The prov data model*. Retrieved July, 30, 2013. W3C.
- Morejón, R., Viana, M., & Lucena, C. (2017). Generating Software Agents for Data Mining: An Example for the Health Data Area. In *29th International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering (SEKE'2017)*. SEKE/Knowledge Systems Institute (pp. 283-288).
- Nascimento, N. M., & Lucena, C. J. P. (2017). FIoT: An agent-based framework for self-adaptive and self-organizing applications based on the Internet of Things. *Information Sciences*, 378, 161-176.
- Pang, Z. (2013). *Technologies and Architectures of the Internet-of-Things (IoT) for Health and Well-being* (Doctoral dissertation, KTH Royal Institute of Technology).
- Pérez, J. S., Viana, M. L., Lucena, C. J. P. (2017). A Multiagent System to Train Machine Learning Models. ISSN: 0103-9741. MCC09/2017. PUC-Rio.
- Roski, J., Bo-Linn, G. W., & Andrews, T. A. (2014). Creating value in health care through big data: opportunities and policy implications. *Health affairs*, 33(7), 1115-1122.
- Sirqueira, T., Viana, M., Nascimento, N., & Lucena, C. (2017). A Software Framework for Data Provenance. In *29th International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering (SEKE'2017)*. SEKE/Knowledge Systems Institute (pp. 615-619).
- Woznowski, P., Burrows, A., Diethel, T., Fafoutis, X., Hall, J., Hannuna, S., & Zhu, N. (2017). SPHERE: A sensor platform for healthcare in a residential environment. In *Designing, Developing, and Facilitating Smart Cities* (pp. 315-333). Springer, Cham.