DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE PARA VIGILÂNCIA E ALERTA DE DETERIORAÇÃO CLÍNICA E DISFUNÇÕES ORGÂNICAS

André Luis Antoneli Senju[1], Marcelo Alexandre Santos[1], Filipe Andrade Bernardi[2], José Carlos Bueno de Moraes[3], Gerson Alves Pereira Júnior[4].

[1]Programa de Pós-graduação Interunidades em Bioengenharia, Escola de Engenharia de São Carlos(EESC), Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto(FMRP) e Instituto de Química de São Carlos(IQSC), Brasil
[2]Universidade de São Paulo (USP), Brasil
[3]Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada, Faculdade de Filosofia Ciências e Letras de Ribeirão Preto (FFCLRP), Brasil
[4]Departamento de Cirurgia e Anatomia, Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto (FMRP), Brasil.

Resumo: Objetivos: Desenvolvimento de um software para auxiliar no gerenciamento médico para casos traumáticos e não traumáticos com recursos de vigilância e alerta de deterioração clínica baseado nos sinais vitais e disfunções orgânicas baseadas nos resultados de exames laboratoriais. Métodos: Desenvolvimento de um módulo de software para sistemas web. Resultados: Este estudo mostra o desenvolvimento de um sistema capaz de reunir informações clínicas e laboratoriais para criar alertas visuais sobre a evolução do quadro clínico do paciente. Conclusão: Através de resultados preliminares com 32 variáveis fisiológicas (25 resultados de exames laboratoriais e sete sinais vitais) foi possível desenvolver uma interface que reúne todos os dados de uma maneira clara e de fácil entendimento. Utilizando o desvio de normalidade de cada parâmetro fisiológico, foi criado um alerta visual guiado por cores, indicando melhora ou deterioração do quadro clínico.

Palavras-chave: Sistemas de Alerta Rápido, Gestão da Informação em Saúde, Índices de Gravidade do Trauma.

Abstract: *Objectives: To develop software to support medical management of traumatic and non-traumatic cases, using surveillance resources in addition to a clinical deterioration alert system based on vital signs and organ dysfunction, with the latter being dependent on the results of laboratory analysis. Methods: Development of modular software for web systems. Results: The study demonstrated the development of a system capable of assembling clinical and laboratory data in order to create visual alerts from tracking a patient`s clinical progress. Conclusion: From the preliminary results using 32 physiologic variables (25 results from laboratory exams and 7 from vital signs), it was possible to develop an interface that assembled data in a clear and comprehensible way. From the physiological parameters, a colour-coded visual alert system was created, which was able to indicate the improvement or deterioration in the patient`s condition.*

Keywords: *Early Warning Systems, Health Information Management, Trauma Severity Indices.*

Introdução

O estudo de evolução clínica e as estimativas de risco de óbito hospitalar têm se utilizado de modelos preditivos utilizando processamento de dados clínicos e resultados de exames complementares com objetivo de melhorar a previsibilidade de má evolução clínica, antecipando disfunções orgânicas sequenciais que culminam com a morte do paciente.

Há diversos modelos de sistemas de predição. O Acute Physiology and Chronic Health Evaluation II (APACHE II) é o mais difundido dos índices prognósticos em terapia intensiva, assim como o Simplified Acute Physiology Score III (SAPS-III) para patologias não traumáticas e utilizam variáveis clínicas e laboratoriais[1]. Em casos de trauma, utiliza-se o índice fisiológico (Revisited Trauma Score – RTS), o índice anatômico (Injury Severity Score – ISS) e o cálculo da probabilidade de sobrevida (TRauma and Injury Severity Score – TRISS) que inclui, além destes dois índices, a idade (maior ou menor que 54 anos) e o mecanismo de trauma (contuso ou penetrante) [2-3].

Com a implantação de registros eletrônicos de saúde (EHR), os vários sistemas de informação dos serviços de saúde armazenam e coletam dados clínicos, sinais vitais, laudos de exames radiológicos e anátomo-patológicos, bem como resultados de exames laboratoriais, especialmente com dados numéricos, tornando o processo amplamente automatizado[4]. Isto permite a utilização de diversas ferramentas de informática para exploração destes dados com diferentes enfoques. A avaliação rápida da gravidade clínica usando dados EHR disponíveis nos vários momentos do atendimento hospitalar desde a admissão pode ajudar no apoio à decisão das condutas a serem tomadas, na predição de má evolução e estabelecimento de alertas para anotações de sinais vitais e de resultado de exames laboratoriais fora dos limites de normalidade.

Mais de 40 anos se passaram desde que *Lundberg* utilizou o conceito de "valores de pânico" em resultados de testes de laboratório. Estes valores, também conhecidos como valores críticos, identificam condições de risco de vida que requerem intervenção médica imediata[5]. Existem diversos estudos na literatura médica que utilizam valores críticos de exames laboratoriais e sinais vitais.

Há uma vasta literatura sobre valores críticos, sendo estes juntamente com índices prognósticos, importantes ferramentas para a medicina de urgência e emergência. O APACHE II e o SAPS II são mundialmente adotados. No entanto, ao longo do tempo, várias revisões foram feitas surgindo em 2002 o primeiro estudo a considerar dados de várias partes do mundo.

Com a proposta do SAPS III houve a necessidade de adequação de um modelo previamente existente para necessidades especificas. Mais ainda, ficou evidenciada a necessidade de propor inovações, que por definição trata da viabilização de um produto ou processo novo ou melhorado[6].

De maneira geral, este estudo teve por objetivo o desenvolvimento de um software capaz de monitorar os valores de exames laboratoriais e de sinais vitais, de forma a alertar o médico responsável sobre possíveis deteriorações do quadro clínico, utilizando-se de cores para destacar visualmente uma série de resultados disponibilizados de forma cronológica.

A cada exame realizado, seu resultado é automaticamente processado e classificado em cores de acordo com seu grau de desvio em relação a normalidade, visando auxiliar as atividades de gerenciamento das condutas médicas, podendo acarretar em aumento de expectativa de recuperação de um paciente hospitalizado.

Métodos

Este estudo teve por interesse um conjunto de dados disponíveis em um banco de dados dos pacientes traumatizados atendidos na Unidade de Emergência do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto no período de 01 de janeiro de 2006 a 31 de dezembro de 2014(parecer número 673508 aprovado junto ao Comitê de Ética e Pesquisa), totalizando mais de 21 mil casos. A base de dados contém parâmetros demográficos, epidemiológicos, bem como índice de gravidade fisiológico (RTS), anatômico (ISS) e a probabilidade de sobrevida (TRISS), e condições de alta. Como são dados retrospectivos já temos conhecimento sobre a evolução clínica para o óbito ou não.

Os diversos tipos de exames laboratoriais foram divididos em variáveis estáticas (envolvendo resultados isolados de exames, por exemplo, eletrólitos e coagulação), dinâmicas (envolvendo o mesmo tipo de exame em medidas sucessivas, por exemplo dosagem de creatinina sérica e nível de consciência

pela escala de coma de Glasgow) e complexas (envolvendo mais de um tipo de exame ou dado, por exemplo instabilidade hemodinâmica ou inflamação sistêmica). Os resultados dos diversos exames laboratoriais foram classificados em faixas de valores críticos de diferentes gravidades identificados por meio de um sistema de cores (vermelho, laranja, amarelo e verde) que criaram um alerta visual por meio da combinação destas cores.

O primeiro passo da produção do software foi a coleta e análise de requisitos, onde foram definidas algumas funcionalidades e atributos do sistema, sendo utilizado o modelo de processo de software chamado de prototipação, que capacita o desenvolvedor a criar um modelo do software que será implementado como um programa existente que executa parte ou toda a função desejada, mas que tem outras características que serão melhoradas em um novo esforço de desenvolvimento[7]. A escolha foi justificada pela dificuldade em estabelecer todos os requisitos em etapa anterior ao desenvolvimento, de forma que a cada versão futura seja aprimorada de acordo com a necessidade de forma que são construídos tantos protótipos quanto forem necessários, até que o sistema consiga atender as necessidades do cliente[8]. Vale ressaltar que este estudo propôs o desenvolvimento de um software que é integrado com outro sistema que implementa funcionalidades gerais de um sistema de informação em saúde, como por exemplo, cadastro de pacientes, cadastro de atendimentos, registro de exames e resultados.

Ao estabelecer os requisitos, foram determinadas algumas características do sistema que implicam em escolhas de arquiteturas diferentes, como a necessidade de acesso ao sistema, independente de seu sistema operacional ou hardware utilizado. Assim fica evidente que a arquitetura do software deve atender as necessidades e restrições de forma a viabilizar seu desenvolvimento, utilização e manutenção. Para garantir o acesso multiplataforma, bem como sua disponibilidade e garantia de acesso das informações, foi escolhido o desenvolvimento de sistema web.

Para o desenvolvimento, utilizamos a linguagem de programação PHP: *Hypertext Preprocessor*, que é uma linguagem muito utilizada para desenvolvimento web, podendo ser utilizada em conjunto com o código HTML, permitindo o desenvolvimento de páginas que serão geradas dinamicamente. Tem uma similaridade com Linguagem C e Java, sendo de fácil aprendizagem[10].

Visando melhor organização do software, foi utilizado o MVC (*model-view-controller*), que é um padrão de arquitetura de software que divide uma aplicação em três partes interligadas, de modo a separar as representações internas das informações que são apresentadas ao usuário[11].

Resultados

Após realização de pesquisa bibliográfica na literatura, foram encontrados estudos de classificação de resultados de dados clínicos referentes a sinais vitais e resultados de exames laboratoriais. O estudo denominado Acute Laboratory Risk of Mortality Score (ALaRMS)[4] mostra um conjunto de 25 exames laboratoriais, cada qual com respectivas faixas de valores divididas de acordo com o desvio de normalidade. Os exames e faixas de valores são demonstrados na tabela 1.

Em outro estudo, denominado National Early Warning Score(NEWS)[11], é apresentado um conjunto de 7 varáveis fisiológicas de monitoramento de sinais vitais, também com respectivas faixas de normalidade e desvios classificados por faixas e cores mostradas na tabela 2.

As faixas de cores utilizadas (tabelas 1 e 2) são referentes a ideia de normalidade próximo da cor verde e anormalidade próximo da coloração vermelha, ficando entre os extremos o amarelo e o laranja, caracterizados por faixas transitórias entre estados de normalidade e anormalidades. Mais que isso, as cores de tonalidade próximas a vermelho representam situação de perigo, risco de morte, de forma que as cores se tornam auxiliares na classificação

de variáveis fisiológicas numéricas ou lógicas.

A implementação do software foi realizada de forma a estabelecer uma interface capaz de integrar as informações através de uma representação gráfica por tabela, baseada em uma linha do tempo, dispondo os diversos exames realizados em um determinado período de internação ao longo das datas de realização, já classificados por cores de acordo com seu resultado (figura 1).

Tabela 1: Faixas de Valores para Exames Laboratoriais.

Exame	Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho
Albumina (g/dL)	< 3	-	3.1 a 3,3	>3.3	-	-	-
Amilase (mg/dL)	-	-	-	20-119	-	120-200	>200
Bilirrubina (mg/dL)		-	-	<1.2	1.2 a 1.9	2.0 a 11.9	> 12
Cálcio total (mg/dL)	<6.6	6.7-7.9	8 a 8.4	8.5 a 10.1	10.2 a 12	12.1 a 13.9	>14
Cálcio iônico	<0.38	0.39 a 0.69	0.7 a 0.79	0.8 a 1.1	-	1.2 a 1.5	>1.6
Creatinina (mg/dL)		<0.6	-	0.6 a 1.4	-	1.5 a 3.4	>=3.5
Glicose (mg/dL)	<70	-	-	71 a 135	-	136 a 165	>165
Sódio (mEq/L)	<110	110 a 119	120 a 129	130 a 149	150 a 159	160 a 179	>180
Pótassio (mEq/L)	<2.5	2.5 a 2.9	3.3 a 4	3.5 a 5.4	5 a 5.9	6 a 6.9	>=7
Lactato (mmol/L)		-	-	<2.5	-	2.6 a 4.9	>=5
pH Arterial	<7.15	7.15 a 7.24	7.25 a 7.32	7.33 a 7.49	7.5 a 7.59	7.15 a 7.24	>7.7
PO_2 (mmHg)	<55.1	-	-	55.1 a 140	-	-	>140
PCO_2 (mmHg)	<36	-	-	36 a 50	-	-	>50
HCO_3 (mEq/L)	<14	14-17	18 a 21	22-26	-	-	>26
BE	< -10	-6 a -9	-3 a -5	+ ou -2	-	-	-

TTPa	-	<22	-	23 a 45	-	45.1 a 55	>55
TP/INR	-	-	-	<1.3	1.3 a 2.0	2.1 a 3.9	> 4
Fibrinogênio (mg/dL)	< 50	99 a 50	149 a 100	> 150	-	-	-
Bastonetes (%)	-	-	-	<=5	-	6 a 9	> =10
Hemoglobina (g/dL)	<= 7	7.1 a 8.5	8.6 a 10.9	11 a 14.5	14.6 a 17	17.1 a 19.9	>=20
Plaquetas (10^3/ mm^3)	< 50	50 a 99	100 a 150	>150	-	-	-
Glob. brancos ($10^3/mm^3$)	<=1	1 a 3.9	-	4.0 a 11	12 a 19.9	20 a 39.9	>=40
Proteína C reativa (mg/L)	-	-	-	< 10	11 a 100	101 a 224	> 225
Troponina I (ng/mL)	-	-	-	<0.04	-	0.05 a 0.1	>0.11
CK MB (ng/ mL)	-	-	-	<=2	-	3 a 5	>=6

Tabela 2: Faixas de Valores para Sinais Vitais

Sinal Vital	Vermelho	Laranja	Amarelo	Verde	Amarelo	Laranja	Vermelho
Frequência Respiratória	<=8	-	-	12 a 20	9 a 11	21 a 24	>=25
Saturação O_2	<=91	92 a 93	94 a 95	>= 96	-	-	-
O_2 suplementar	-	Sim	-	Não	-	Sim	-
Temperatura	<=35	-	35.1 a 36	36.1 a 38	38.1 a 39	>39.1	-
PA Sistólica	<90	91 a 100	101 a 110	111 a 219	-	-	>220
Frenquência Cardíaca	<=40	-	41 a 50	51 a 90	91 a 110	111 a 130	>=131

Nível de Consciência	-	-	-	Alerta	-	-	Estimulo Verbal Dor Sem resposta

A interface conta com recurso de mudança de detalhamento de datas, possibilitando a visualização do quadro clinico em intervalos desde horas, dias, semanas até meses, como mostrado na figura 2.

Figura 1: Linha do Tempo de Resultados de Exames.

Figura 2: Opções de Intervalos de Tempo.

Discussão

O desenvolvimento do software de vigilância e alerta se utiliza de parâmetros já publicados na literatura, porém não utiliza o conceito de indicador, pois difere dos padrões NEWS e ALaRMS não realizando uma quantificação final do estado de saúde do paciente, deixando o alerta apenas no sentido visual. Porém, nas próximas etapas de evolução do software, será necessária a calibração destas variáveis para o padrão brasileiro, utilizando um banco de dados com aproximadamente 21 mil casos atendidos na Unidade de Emergência do Hospital das Clínicas de Ribeirão Preto, entre os anos de 2006 e 2014 e a verificação da correlação com as anormalidades dos resultados e desfecho final do caso, utilizando-se de técnicas e abordagens estatísticas.

Uma vez realizada a análise de dados, espera-se obter respostas como forma de validação, juntamente com análises de usabilidade com profissionais dos setores envolvidos, buscando a evolução do *software* e melhoria dos recursos computacionais a serem oferecidos. Pensando justamente na evolução, sabe-se que os exames laboratoriais não são capazes de cobrir todos parâmetros fisiológicos existentes, havendo informações contidas em laudos de exames anátomo-patológicos ou exames de imagem. Há a necessidade também de avaliar textos livres contidos nos laudos médicos buscando termos específicos que denotem risco ao paciente.

Vale ressaltar que todo o projeto do *software* foi desenvolvido pensando em aplicabilidade geral, utilizando valores de referência para exames laboratoriais e sinais vitais publicados na literatura mundial, permitindo a aplicação e utilização da aplicação em qualquer hospital.

Conclusão

Este estudo foi capaz de reunir conhecimentos de diferentes abordagens de monitoramento de variáveis fisiológicas estáticas, possibilitando a implementação de recursos de vigilância e alerta de informações gerais do paciente para auxiliar a monitoração do quadro clínico, podendo servir de base para desenvolvimento de preditores de deterioração fisiológica, abrindo caminho para abordagens de análise de dados e propostas de novos modelos utilizando varáveis estáticas, dinâmicas e complexas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio e financiamento desta pesquisa ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Cientifico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa de estudo.

Referências

[1] Moreno R, Metnitz P, Almeida E, Jordan B, Bauer P, Campos R et al. SAPS 3— From evaluation of the patient to evaluation of the intensive care unit. Part 2: Development of a prognostic model for hospital mortality at ICU admission. Intensive Care Med. 2005;31(10):1345-1355.

[2] Pereira Júnior G, Dantas B, Carvalho J, Bonvento M. Indicadores Prognósticos. In: Moock M, Basile-Filho A, Goldstein R, ed. by. Casos Clínicos em Terapia Intensiva. 1st ed. São Paulo: Manole; 2014. p. 1212-1235.

[3] Pereira Júnior G, Scarpelini S, Basile-Filho A, de Andrade J. Índices de Trauma. Revista Medicina. 1999;32(1):237-250.

[4] Tabak Y, Sun X, Nunez C, Johannes R. et al. Using electronic health record data to develop inpatient mortality predictive model: Acute Laboratory Risk of Mortality Score (ALaRMS). Journal of the American Medical Informatics Association. 2014;21(3):455-463.
[5] Liebow E, Derzon J, Fontanesi J, Favoretto A, Baetz R, Shaw C et al. Effectiveness of automated notification and customer service call centers for timely and accurate reporting of critical values: A laboratory medicine best practices systematic review and meta-analysis. Clinical Biochemistry. 2012;45(13-14):979-987.
[6] Oslo manual. Paris: OECD; 1997.
[7] Pressman R. Software engineering. Boston, Mass.: McGraw-Hill; 1995.
[8] Pressman R. Software engineering. Boston, Mass.: McGraw-Hill; 2005.
[9] PHP: Prefácio - Manual [Internet]. Php.net. 2016. Disponível em http://php.net/manual/pt_BR/preface.php. Acesso em 4 jul. 2016.
[10] Coplien T. The DCI Architecture: A New Vision of Object-Oriented Programming [Internet]. Artima.com. 2016. Disponível em http://www.artima.com/articles/dci_vision.html. Acesso em 4 jul. 2016.
[11] Correia N, Rodrigues R, Sá M, Dias P, Lopes L, Paiva A. Improving recognition of patients at risk in a Portuguese general hospital: results from a preliminary study on the early warning score. Int J Emerg Med. 2014;7(22).

Contato

André Luis Antoneli Senju, Avenida Bandeirantes Av. Bandeirantes, 3900 - Monte Alegre - CEP: 14049-900 Ribeirão Preto/SP, Telefone: +55 16 98120-9259, E-mail: andresenju@usp.br