

Sistema inteligente de apoio à decisão e monitorização de doentes críticos em tempo-real

Carlos Filipe da Silva Portela^a Manuel Filipe Vieira Torres dos Santos^a
António Carlos da Silva Abelha^b José Manuel Machado^b Álvaro Moreira Silva^c
Fernando Rua Martins^c

^aCentro Algoritmi, Universidade do Minho, Azurém, Guimarães, Portugal; ^bCentro Algoritmi, Universidade do Minho, Gualtar, Braga, Portugal; ^cServiço de Cuidados Intensivos, Centro Hospitalar do Porto, Hospital Santo António, Porto, Portugal

Palavras chave

Sistemas de apoio à decisão inteligentes · Aprendizagem automática em tempo-real · Medicina intensiva · *Data mining*

Resumo

Os cuidados intensivos são unidades clínicas onde os sinais vitais dos doentes são monitorizados continuamente e onde é registada uma multiplicidade de parâmetros clínicos. Este trabalho apresenta como principal objetivo estudar a possibilidade e desenvolver um sistema inteligente que promova a monitorização e a criação de novo conhecimento útil para o processo de decisão fulcral para a prestação de um melhor tratamento ao doente. Este artigo apresenta os resultados obtidos, em particular o sistema desenvolvido com o propósito de monitorizar os dados clínicos e recorrer a tecnologias de *data mining*, para prever eventos clínicos com grande sensibilidade (90–100%), nomeadamente a probabilidade de falência orgânica, reinternamentos e sépsis.

© 2018 The Author(s). Published by S. Karger AG, Basel on behalf of NOVA National School of Public Health

Real-Time Intelligent Decision Support and Monitoring System of Critical Patients

Keywords

Intelligent decision support system · Real-time online learning · Intensive medicine · Data mining

Abstract

Intensive care units are places where patients' vital signs are continuously monitored and recorded alongside a multiplicity of clinical parameters. The main goal of this work is to study and develop an intelligent system to promote new decision-making knowledge crucial to provide better treatment to the patient. This article presents the achieved goals; in particular, the system developed for monitoring the clinical data and, using data mining technologies, for predicting clinical events with great sensitivity (90–100%), including organ failure probability, readmissions, and sepsis.

© 2018 The Author(s). Published by S. Karger AG, Basel on behalf of NOVA National School of Public Health

Introdução

Atualmente, reconhece-se que as unidades de cuidados intensivos (UCI) estão apetrechadas de uma diversidade de dispositivos técnicos/médicos que permitem monitorizar o estado dos seus doentes. No entanto, também é reconhecido que, normalmente, esses dados são armazenados manualmente na folha de enfermagem e raramente são utilizados como suporte ao processo de decisão. Depois da realização de alguns estudos, foi possível concluir que, com a utilização correta destes dados, é possível obter algumas vantagens a fim de apoiar o processo de decisão e com isto melhorar a qualidade da prestação de cuidados de saúde. Sendo o principal objetivo deste trabalho o desenvolvimento de um sistema inteligente, é essencial que o mesmo apoie o processo de decisão de forma abrangente e global (*pervasive*). Assim, e com o desenvolvimento desta solução, passará a ser possível monitorizar em tempo-real um conjunto de dados fisiológicos, sinais vitais, ventilação, entre outros parâmetros do doente, e prever situações clínicas nas próximas horas. No âmbito do trabalho desenvolvido, a primeira tarefa focou-se na mudança do ambiente, a fim de utilizar os dispositivos médicos para recolher os dados dos doentes de forma automática e em tempo-real. De seguida, usando esses dados combinados com funções automáticas de transformação de dados, foi possível preparar os dados de acordo com algumas variáveis, tendo como principal finalidade a obtenção de novo conhecimento. Este processo tornou-se uma realidade com a introdução do INTCare na UCI de uma unidade pública de saúde, o centro hospitalar do Porto, Porto, Portugal.

O sistema INTCare e todos os benefícios associados são os principais resultados deste trabalho. O INTCare é um sistema de apoio à decisão inteligente e *pervasive*, composto por um conjunto de módulos integrados, que executa todas as tarefas do processo de descoberta de conhecimento em base de dados (BD) de forma automática e em tempo-real. O sistema encontra-se organizado em torno de duas plataformas: uma de monitorização e outra de apoio à decisão. A plataforma de monitorização acompanha a evolução dos dados do doente desde a sua admissão até à alta, dos quais se destacam:

- (a) Os dados clínicos do doente (sinais vitais, balanço hídrico, análises clínicas, *scores* médicos);
- (b) Controlo do balanço hidro-eletrolítico;
- (c) Monitorização de registos clínicos;
- (d) Monitorização e alerta de eventos críticos (EC) (SpO₂, temperatura, frequência cardíaca [FC], pressão arterial [PA] e débito urinário) [1];

(e) Resultados dos *scores* médicos (SAPS II [2], SAPS III [3], SOFA [4], Glasgow [5], MEWS [6–8] e TISS-28 [7]).

A plataforma de apoio à decisão permite apresentar, a qualquer hora e em qualquer lugar, informação/conhecimento essencial para o processo de tomada de decisão. O sistema INTCare pode fornecer:

- (a) A probabilidade de ocorrer uma falha no sistema orgânico (cardiovascular, coagulação, respiratória, hepático e renal) [9];
- (b) Probabilidade de um doente falecer;
- (c) Previsão de um doente ser reinternado [10];
- (d) Previsão de sépsis [11];
- (e) Previsão de EC [12, 13];
- (f) Previsão de eventos associados à ventilação [14];
- (g) Tempo de internamento [15].

Este artigo apresenta a arquitetura do sistema de informação (SI) da UCI e a plataforma integrada, onde, usando a interoperabilidade, um conjunto de técnicas de inteligência artificial, automatização de processos e aprendizagem em tempo-real, é possível apoiar o processo de tomada de decisão em tempo-real. Apesar de estar focado numa área específica, o trabalho exposto neste documento apresenta toda uma solução que pode ser adaptada e aplicada aos mais variados tipos de prestação de cuidados de saúde, como por exemplo, a utilização desta plataforma em outros ambientes para controlar a situação clínica de um doente em tempo-real.

Este documento está dividido em onze secções. A primeira e segunda secções fazem um enquadramento do problema, apresentam os conceitos relacionados, a motivação e os objetivos. A secção 3 aborda a metodologia de investigação seguida na realização deste trabalho: *Design Science Research*. A secção seguinte [4] apresenta o SI desenvolvido. A secção 5 faz uma breve análise da evolução verificada ao nível dos SI. As secções 6 e 7 apresentam as duas plataformas desenvolvidas: monitorização e apoio à decisão. De seguida, a oitava secção faz uma análise dos resultados obtidos ao nível dos modelos de *data mining* (DM). Por fim, a secção 9 apresenta uma discussão dos resultados obtidos, a secção 10 tece algumas conclusões relativas ao trabalho desenvolvido e a secção 11 apresenta algum do trabalho futuro.

Estado da arte

Contextualização

Este trabalho insere-se na área dos SI inteligentes para a saúde. Em 2005, e após ter emergido um novo

ambiente – o da “computação ubíqua” – como um controlador primário que permite mudar o ambiente em que os decisores operam, reformulando assim uma nova era de como tomar decisões [16], tornou-se fundamental o desenvolvimento de SI inteligentes e *pervasive* para as áreas críticas, como é o caso da Medicina Intensiva.

Segundo a ARS Norte, citando Kickbusch [17], “A Saúde Pública é a ciência e a arte de promover saúde, com base no entendimento de que a saúde é um processo que envolve o bem-estar social, mental, espiritual e físico. A Saúde Pública intervém com base no conhecimento de que a saúde é um recurso fundamental do indivíduo, da comunidade e da sociedade como um todo e que deve ser sustentada por um forte investimento nas condições de vida que criam, mantêm e protegem a saúde”.

Este projeto representa um ponto de encontro entre diferentes disciplinas, sectores, instituições, culturas e valores e enquadra-se no contexto de saúde pública na medida em que pretende obter ganhos de informação no tratamento de um indivíduo. O INTCare centra-se nas condições de saúde de um indivíduo e procura contribuir de uma forma eficaz para a melhoria da sua condição de vida, produzindo novo conhecimento útil para o processo de decisão, providenciando assim mais e melhor informação sempre no melhor interesse do indivíduo.

Medicina intensiva

A medicina intensiva possibilita a recuperação de doentes em fase terminal ou em estado de falência orgânica [18], sendo que esta recuperação depende, em muito, das decisões que são tomadas nas UCI. As decisões tomadas podem ter maior influência na alta de um doente do que qualquer intervenção inovadora que possa ser realizada [19]. Tendo por base a situação com a qual este projeto se confronta, o processo de tomada de decisão nas UCI é algo complexo, pois envolve vários intervenientes e situações delicadas. Com a realização deste trabalho, e após uma reunião informal com os enfermeiros do CHP, foi possível identificar algumas particularidades relacionadas com o processo de tomada de decisão. Importa aqui destacar o facto de, por vezes, os médicos decidirem tendo em conta o seu conhecimento pericial e sem considerar o trabalho realizado pelos enfermeiros. De modo a melhorar o processo de decisão, o INTCare possibilita o registo de toda a informação relacionada com o doente, permitindo assim tomar uma decisão baseada em evidências e sustentada pelos registos efetuados pelos enfermeiros junto da cama do doente.

Dados pervasive

O conceito nasce do termo *pervasive computing*. O conceito de computação *pervasive* assenta na combinação das atividades do dia-a-dia com aplicações ubíquas, sendo a computação distribuída e a computação móvel as principais fontes deste tipo de computação [20]. A computação distribuída permitiu uma evolução significativa em direção à computação *pervasive*, ao introduzir o acesso contínuo a recursos de informação remotos e a comunicação com tolerância a falhas, alta disponibilidade e segurança [21]. Segundo Saha [20], a computação móvel permitiu introduzir na computação *pervasive* o conceito “em qualquer lugar e a qualquer hora,” com a evolução dos dispositivos móveis e o aparecimento de tecnologias/dispositivos com acesso à internet. As principais características da computação *pervasive* trazem uma nova forma de disponibilizar e apresentar os dados e conhecimentos obtidos. Como principais características, refira-se a ubiquidade, mobilidade, pro-atividade, portabilidade, percepção do contexto, escalabilidade e invisibilidade [22]. A própria área da saúde embebeu este termo e criou o conceito *pervasive health care* (PHC) [23, 24]. O PHC tem como principal objetivo generalizar o acesso aos cuidados de saúde, fornecendo um novo serviço disponível em qualquer lugar e a qualquer hora, o que permite assegurar a escalabilidade e qualidade da prestação de serviços. O INTCare insere-se, assim, nesta área na medida em que permite apoiar o processo de decisão independentemente do local e da hora em que tem de ser tomada a decisão.

Apoio à decisão

Com o objetivo de facilitar a tomada de decisão e torná-la o mais acertada possível, onde a opinião de todos é fundamental, é necessária a introdução de sistemas capazes de, através de modelos inteligentes, apresentar um conjunto de soluções baseadas em fatores de decisão. O desenvolvimento deste tipo de sistemas engloba o processo de descoberta conhecimento em BD [25], que permite a seleção e transformação da informação recolhida de modo a que esta seja materializada em conhecimento.

Os sistemas de apoio à decisão [26] utilizam esse conhecimento em conjunto com os modelos de previsão para suportar ao processo de tomada de decisão.

Com a presença do módulo de adaptabilidade (capacidade do sistema se adaptar automaticamente aos contextos em que é inserido) e através do conhecimento, o sistema tem a possibilidade de prever situações futuras, otimizando-as de acordo com o ambiente em que se insere [26]. Deste modo, permite aumentar a acuidade e validade dos modelos, tornando o processo de decisão o

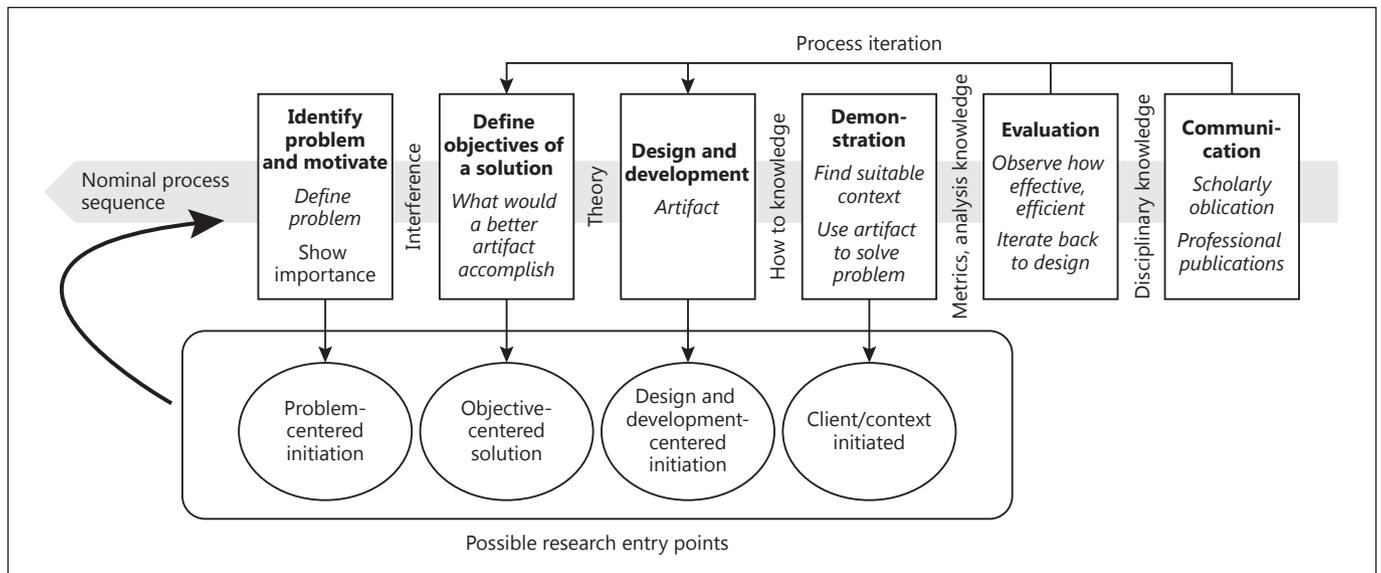


Fig. 1. *Design science research* methodology retirado de Peffers e colaboradores [32].

mais correto e eficaz possível. Os sistemas de apoio à decisão inteligentes têm a capacidade de se adaptar a situações futuras, sendo que, para isso, os modelos necessitam de estar em constante atualização. Essa atualização está dependente de atividades como a monitorização, a aquisição e a transformação contínua dos dados, permitindo ter uma base de conhecimento sempre atualizada [27–30].

A inclusão de características como o “*pervasive*” e a ubiquidade permite que o sistema seja universal e que a informação esteja disponível em qualquer lugar e a qualquer hora, eliminando qualquer tipo de barreira, quer seja temporal ou local [23]. Apesar de um bom planeamento, a aplicação deste tipo de sistemas e conceitos num contexto real depara-se com a existência de alguns problemas e riscos que podem comprometer o seu sucesso.

Metodologia de investigação

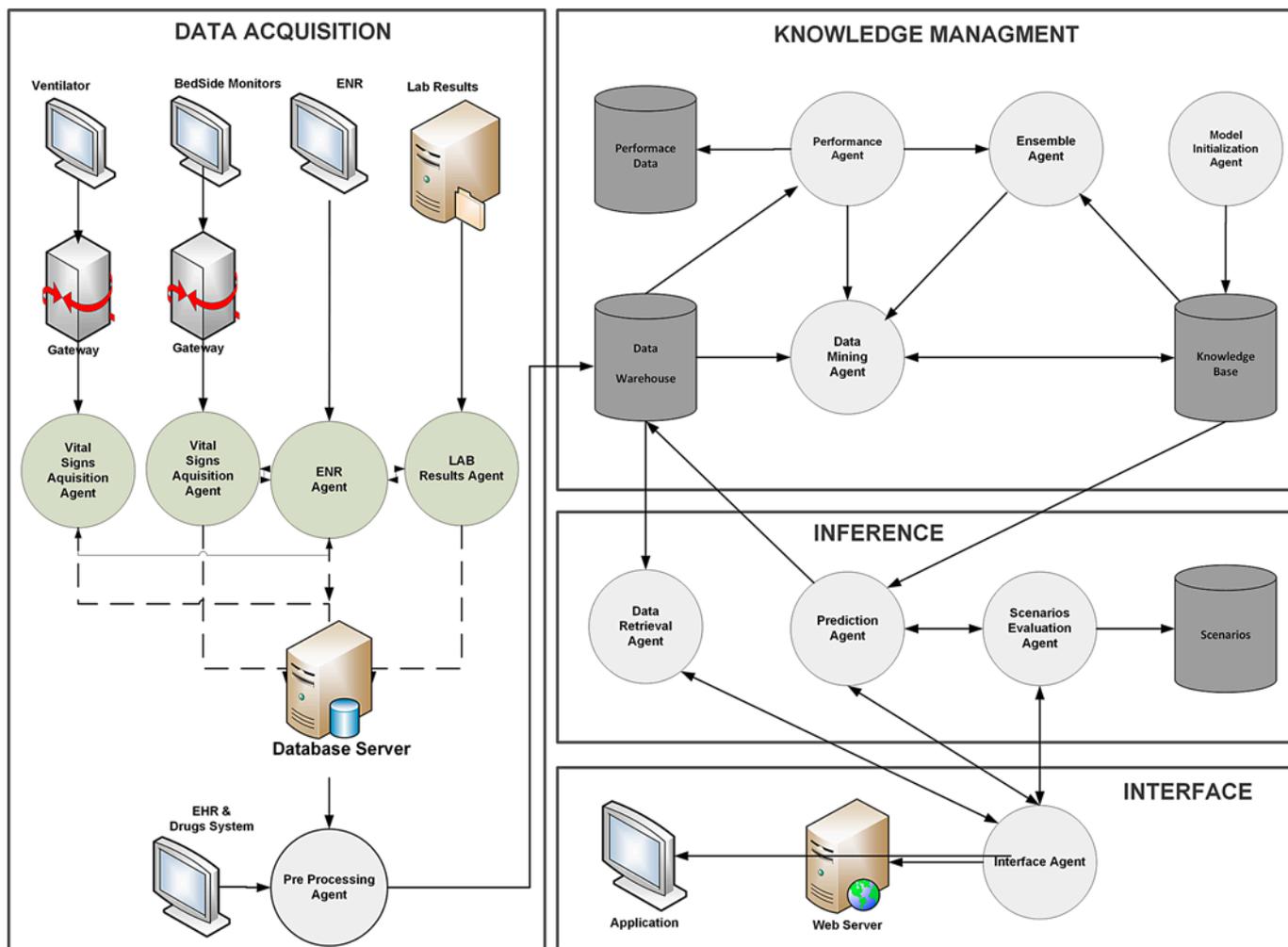
Ao nível da metodologia de investigação, este projeto teve por base o *design science research* [31], que tem como principal objetivo a construção de um artefacto (solução) para um determinado problema, e que compreende seis fases (Fig. 1) [32]: estudo do problema, definição dos objetivos da solução, desenvolvimento da solução, implementação, avaliação da solução e comunicação dos resultados. Seguindo o *design science research*, numa primeira

etapa, foram percebidos o contexto e o ambiente das UCI. Depois, foi analisado o problema (falta de informação crucial no momento da decisão capaz de suportar todo o processo) e desenhadas várias possíveis soluções. De seguida, foi encontrada, juntamente com os intensivistas, a solução que melhor poderia dar resposta aos problemas encontrados. O artefacto (solução) chamado INTCare (dividido em duas plataformas – apoio à decisão e monitorização) foi desenvolvido e avaliado. A comunicação dos resultados foi efetuada através da escrita de várias publicações científicas, na qual se enquadra este artigo, e de uma demonstração e instalação do sistema na UCI do CHP.

Sistema de informação

Arquitetura do sistema

Após a definição de algumas características e funcionalidades, foi necessário estudar o sistema existente e introduzir algumas modificações. A Figura 2 apresenta o sistema atual após a realização das alterações. As mudanças mais importantes foram efetuadas no subsistema de aquisição de dados, que é responsável pela recolha, processamento e preparação dos dados para o processo de DM, e na forma como os modelos de DM são induzidos. Os dados fornecidos por este subsistema são armazenados e processados para o *data warehouse* em tempo-real,



Color version available online

Fig. 2. Arquitetura do sistema INTCare.

estando os mesmos sempre preparados para serem utilizados pelo motor de DM. Os outros três subsistemas são responsáveis por criar os modelos de DM, comparar os cenários, avaliar os resultados e apresentar os melhores resultados para o utilizador.

Sistema de aquisição de dados

Arquitetura

O sistema de aquisição de dados está dividido em dois tipos de recolha: manual e automática. Contrastando com o facto de muitos dos dados inicialmente serem adquiridos manualmente e registados em papel, agora todos os dados são recolhidos e armazenados eletronicamente. Os dados são adquiridos em tempo-real, em formato eletrónico e em modo *online*, através de procedimentos ma-

nuais ou automáticos. Após a obtenção dos dados, estes são armazenados na BD e disponibilizados *online* através da folha de enfermagem eletrónica (FEE).

Fonte de dados

Os dados utilizados pelos dois subsistemas são provenientes de diversas fontes de dados: ventiladores, monitores de sinais vitais (MSV), FEE, processo clínico eletrónico, laboratório e sistema farmacêutico. A Tabela 1 apresenta os dados recolhidos, bem como identifica os dados que são utilizados por cada subsistema: EC, sinais vitais, scores médicos e DM. Todos os dados são armazenados em tempo-real, ou seja, no momento em que o valor é recolhido.

Table 1. Fontes de dados

Variáveis	Fonte de dados	EC	SV	SM	DM
Pressão arterial e frequência cardíaca	MSV/FEE	X	X	X	X
Frequência respiratória	MSV/FEE		X	X	
Saturação de oxigênio (SpO ₂) e temperatura	MSV/FEE	X	X	X	X
PEEP, plateau pressure, %O ₂ , others	VENT/FEE	X		X	X
Vasopressores	SF			X	X
Dados de admissão, alta e idade	PCE			X	X
Doenças crónicas	PCE			X	
Eventos e procedimentos clínicos e AVPU	FEE			X	
Glasgow	FEE			X	X
Débito urinário/diurese	FEE	X		X	X
Albumina, BUN, glicose, HCO ₃ , leucócitos, PH	LAB			X	
Bilirrubina, creatinina, Fio ₂ e Po ₂	LAB			X	X
Plaquetas, potássio, ureia, glóbulos brancos	LAB			X	

Sistema de apoio à decisão inteligente pervasiva

A Figura 3 ilustra o sistema de apoio à decisão inteligente *pervasive* (SADIP) ao nível do processo de monitorização de dados e criação de conhecimento. Primeiro, os dados são adquiridos a partir das cinco fontes de dados, sendo de seguida validados e processados de acordo com a gama de valores possíveis na UCI e a correta identificação do doente. Depois dos dados serem validados, estes são armazenados na BD e transformados de acordo com cada uma das metas do SADIP. Cada variável é cuidadosamente preparada de modo a ser um atributo de entrada no motor de inferência. Por fim, o resultado é produzido pelo motor de inferência, através da utilização de um conjunto de dados e conseqüente processamento e indução de modelos de DM, automaticamente e em tempo-real. O resultado gerado é de seguida difundido através de duas plataformas: INTCare e FEE (ENR). No lado oposto do processo, estão os profissionais da UCI, que podem consultar todo o conhecimento produzido pelo sistema de inferência em qualquer lugar e a qualquer hora, usando para o efeito um dispositivo móvel com acesso à internet. Estes profissionais podem, por meio de um acesso ubíquo, consultar os sinais vitais, EC, scores médicos e as probabilidades geradas pelos modelos de DM. O sistema é reconhecido por ter algumas características particulares de computação *pervasive* [20], tais como a escalabilidade, heterogeneidade, integração, invisibilidade e sensibilidade ao contexto em que o sistema é inserido.

Evolução dos sistemas de informação

A melhoria da interoperabilidade entre os sistemas foi um dos principais benefícios verificados com a introdução do INTCare. A Figura 4 demonstra a interoperabilidade existente na UCI. Antes do início do projeto, todas as fontes presentes na UCI tinham uma plataforma diferente para consultar/registar os dados. Agora, é possível consultar, gravar e validar todos os dados numa única plataforma. Os principais dados dos doentes da UCI estão centralizados e são interoperáveis, a partir de uma plataforma única: FEE (ENR).

Problemas verificados

Durante o desenvolvimento do sistema INTCare, foi necessário realizar um estudo profundo sobre o ambiente onde se iria inserir o sistema e perceber quais as necessidades de inovação e os recursos que precisavam de ser implementados. Neste contexto, foi possível verificar que:

- Os MSV e os ventiladores apenas eram utilizados para visualização dos valores;
- Os resultados das análises clínicas estavam disponíveis num formato fechado (papel);
- As prescrições administradas eram registadas em papel pelos enfermeiros;
- Vários dados do doente eram registados/calculados manualmente e em papel (ex. ventilação, balanço hídrico e índices médicos);
- Alguns registos não eram realizados regularmente;
- Muitas fontes de dados continham dados vitais distribuídos por vários silos de informação.

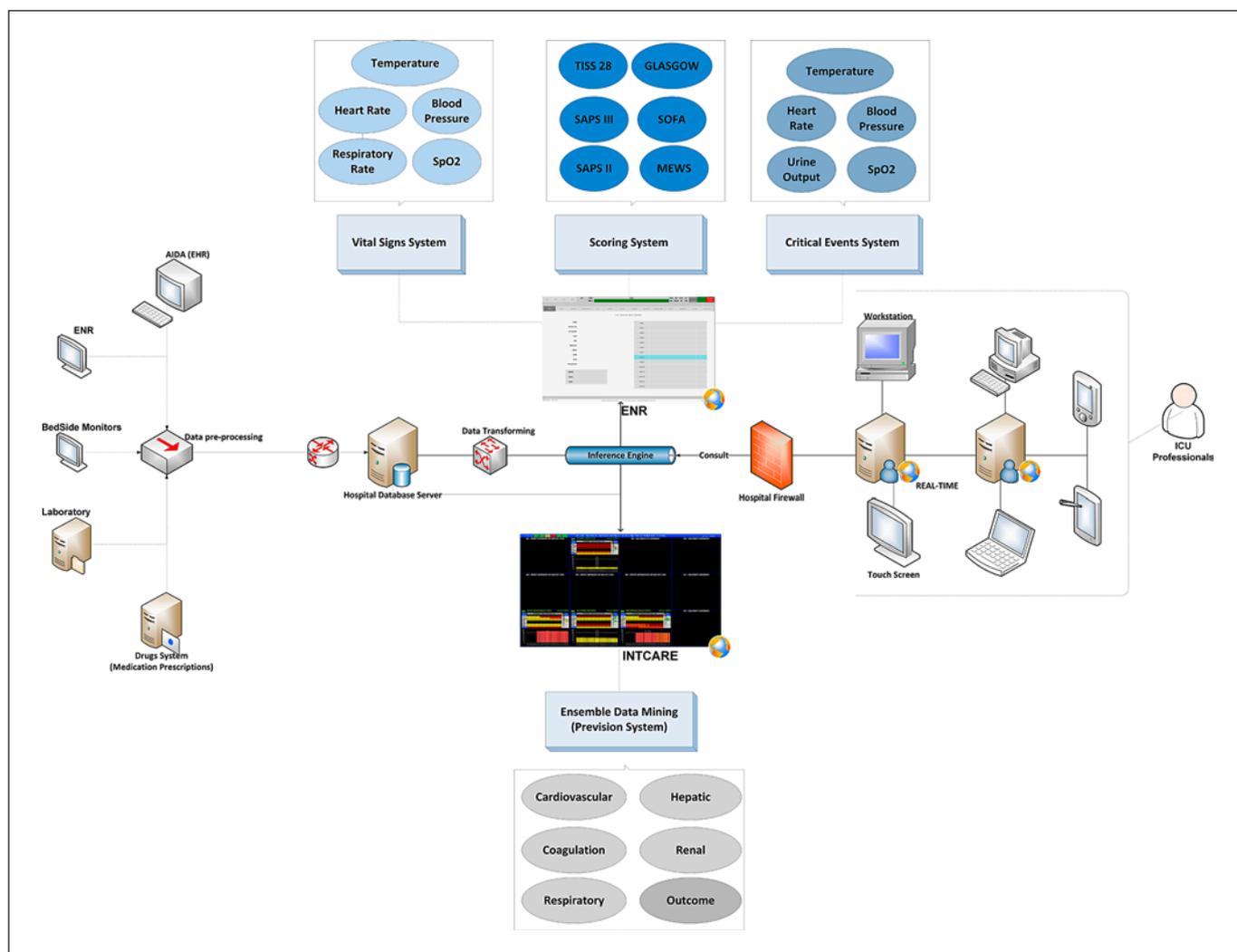


Fig. 3. Processo de construção do SADIP.

Melhorias introduzidas

Com o objetivo de resolver as limitações detetadas, um conjunto de modificações foram introduzidas. Estas melhorias serão sucintamente explicadas nas próximas alíneas.

Sistema de aquisição de dados

A primeira alteração introduzida esteve relacionada com a aquisição dos sinais vitais, o seu armazenamento na BD e a possibilidade de utilizar os dados que estavam no monitor de cabeceira do doente em análises futuras. Para resolver este problema, foi necessário implementar um sistema de aquisição que estivesse ligado aos MSV, lesse as informações do doente, os valores dos sinais vitais

e armazenasse toda essa informação numa BD. Para o efeito foi desenvolvido o agente de aquisição de dados que lê interpreta e grava os dados na BD. Durante o processo de recolha, alguns problemas tiveram de ser resolvidos, sendo o problema da identificação errada do doente e a recolha de dados fora do intervalo normal os problemas mais notórios. Em ambos os casos, a introdução de tarefas automáticas de verificação e validação da informação recolhida e processada foi a solução. Estas tarefas são agora processadas automaticamente pelo agente de pré-processamento. Depois de todos os valores estarem corretamente identificados, gravados na BD e validados, eles são apresentados na FEE (*online*). Mais recentemente, o mesmo processo foi realizado tendo em vista a aquisição dos

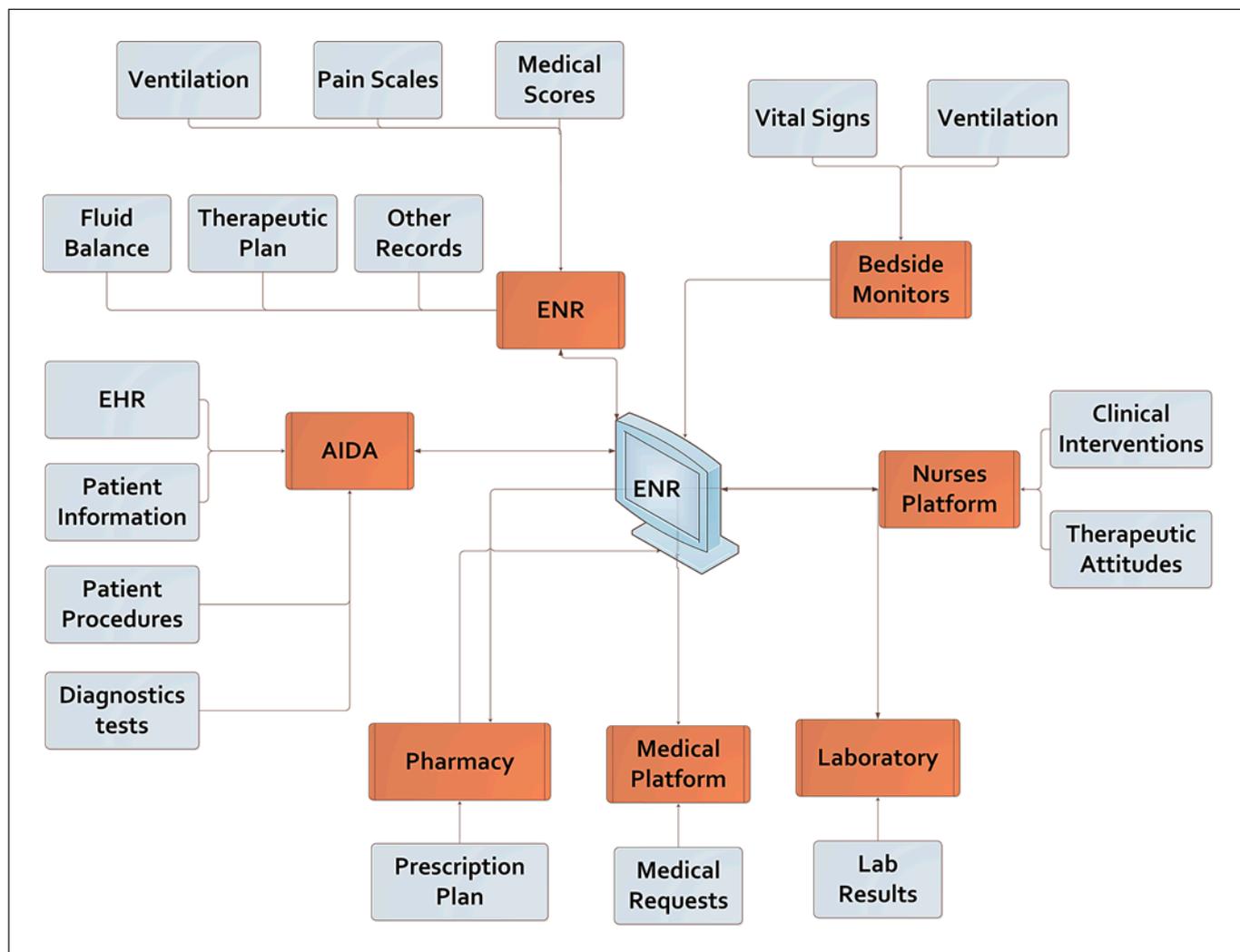


Fig. 4. Sistemas de informação atual.

dados de ventilação provenientes dos ventiladores. Atualmente, é possível recolher em tempo-real e de forma contínua os registos de sinais vitais e ventilação.

De modo a facilitar o processo de registo, deixa de ser necessário que o profissional da UCI registre os dados dos monitores de cabeceira em papel, passando a informação a ser registada automaticamente. Pelo exposto, os profissionais da UCI precisam apenas de validar se os dados que são recolhidos e apresentados na FEE estão corretos. Este processo é fundamental para evitar uma possível recolha de valores errados devido a diversos fatores, destacando-se a possibilidade de os sensores estarem desconetados do doente ou de estarem a medir de forma errada.

Acesso às análises clínicas

Em segundo lugar, e considerando que os laboratórios são uma fonte de dados importante para a UCI, foi possível colocar os resultados de análises clínicas em formato aberto, tornando-os disponíveis para a UCI imediatamente após o exame do doente estar concluído. Esta mudança dá a possibilidade de analisar os resultados de uma forma eletrónica e intuitiva e acompanhar a evolução durante a permanência do doente na UCI. As análises englobam diferentes tipos, sendo executadas por diferentes serviços e em horários distintos. A integração e agrupamento dos resultados obtidos são feitos pela FEE. Os resultados são apresentados graficamente e em grelha pela FEE, estando os dados agrupa-

dos por dia e análise, permitindo assim cruzar vários resultados de um doente de modo a perceber a relação entre eles.

Acesso aberto às prescrições

Esta etapa teve como principal objetivo a obtenção de um acesso parcial aos dados fornecidos pelo SI farmacêutico. Inicialmente, estas prescrições eram totalmente controladas pela farmácia e, sempre que alguém precisava consultar o plano terapêutico do doente, tinha de executar uma plataforma “obsoleta.” Agora, a interação entre o sistema farmacêutico e a FEE é feita por um agente, que desenvolve um elevado número de tarefas de processamento em tempo-real.

Folha de enfermagem eletrónica

A FEE é uma plataforma web e *touchscreen* que foi desenvolvida com o objetivo de receber todos os dados clínicos e colocá-los à disposição dos médicos e enfermeiros num formato horário, onde todas as operações podem ser efetuadas através de uma interface simples e intuitiva. As informações utilizadas na UCI são fornecidas por diferentes plataformas, como a Figura 4 demonstra. A implementação da FEE dá também a oportunidade de ter mais dados disponíveis. Dados que não eram registados eletronicamente, como é o caso de ventilação, escalas de dor, índices médicos, balanço hídrico, plano terapêutico, e outros, estão agora disponíveis eletronicamente e num modo *online*. As várias informações, que anteriormente eram consultadas através de aplicações distintas, estão agora disponíveis na FEE. Os ganhos com a introdução da FEE são notórios:

- Os dados fornecidos pelos sistemas de enfermagem e médico estão integrados na FEE;
- Os resultados fornecidos pelo laboratório estão agora num formato aberto e acessível através da FEE;
- O plano terapêutico fornecido pelo sistema da farmácia está dividido por tipo, hora e dosagens;
- Todos os dados da prescrição são exibidos numa grelha. Por fim, o processo clínico eletrónico também está integrado na FEE.

Os utilizadores da FEE podem consultar todos os dados fornecidos pelas diferentes plataformas, assim como introduzir e validar os dados prementes sempre que necessário. A natureza digital da FEE faz com que os dados contidos na plataforma sejam pesquisáveis e recuperáveis.

Ambientes pervasive

A fim de preparar o ambiente para um SADIP como o INTCare, algumas das características do sistema preci-

sam de ser asseguradas pelo ambiente de modo a que o mesmo seja pervasive [23, 33]. As principais características deste ambiente constituem um guia de requisitos mínimos para a introdução de um SADIP em ambientes críticos, das quais se destacam as seguintes: tempo-real, modo eletrónico, aprendizagem automática, *online*, autónomo, segurança, confiabilidade dos dados, efetividades das operações, privacidade dos dados, adaptabilidade, segurança no acesso, sensibilidade ao contexto.

Plataforma de monitorização

A nível dos resultados, foi possível desmaterializar os processos da UCI, de modo a que estejam disponíveis eletronicamente e em tempo-real os dados clínicos dos doentes. Após a desmaterialização dos processos, passou a ser possível ter todos os dados agrupados numa só plataforma através da interoperabilidade entre sistemas, facilitando e privilegiando uma completa monitorização dos dados clínicos do doente. Com a introdução das mudanças no SI, um conjunto de dados clínicos do doente passou a estar disponível na plataforma FEE, de modo a que esses dados possam ser consultados *online* e contribuam para o suporte ao processo de decisão. Na Tabela 2, é apresentada a disponibilidade dos dados recolhidos, *online* e em tempo-real, assim como as operações que podem ser realizadas.

O módulo de monitorização denominado por FEE é, essencialmente, utilizado pelos enfermeiros.

Sinais vitais

No caso dos sinais vitais, é possível consultar todos os dados recolhidos pelo sistema e observar a evolução dos valores de sinais vitais de um doente. Os resultados são apresentados de duas formas, designadamente em grelha e em gráfico. A grelha apresenta 24 colunas, uma para cada hora, e 11 linhas, uma para cada tipo de sinal vital (PA – sistólica e diastólica, PA média, pressão intracraniana, pressão venosa central, frequência respiratória, FC, pressão sanguínea [PS] não invasiva – sistólica e diastólica, saturação de oxigénio (SpO₂) e temperatura). A grelha é preenchida automaticamente ao longo do dia com o primeiro valor recolhido por cada hora/sinal vital, ao passo que o gráfico apresenta uma análise visual da evolução dos sinais vitais para a PA, FC, frequência respiratória, pressão venosa central, SpO₂ e temperatura. Este gráfico tem três tipos de visualização (hora, minuto e dia) e o utilizador pode sempre selecionar o que pretende visualizar.

Table 2. Informação disponível na UCI

Tipo de informação	OTR	Consultar	Editar	Validar
Informações do doente, dados de admissão e alta	√	√	–	–
Intervenções clínicas e procedimentos clínicos	√	√	–	–
Plano de prescrição e exames de diagnóstico	√	√	–	–
Processo clínico eletrónico (PCE)	√	√	√	√
Balanço hidro-eletrolítico (fluidos)	√	√	√	√
Análises clínicas e pedidos médicos	√	√	–	–
Eventos adversos e scores médicos e atitudes terapêuticas	√	√	√	√
Notas de enfermagem e procedimentos do doente	√	√	√	√
Outros registros (posicionamentos, diâmetro pupilar, etc.)	√	√	√	√
Controlo metabólico, glicemia e transfusões	√	√	√	√
Escalas dor, sedação, delírio, consciência e Ramsay Glasgow	√	√	√	√
Técnicas de substituição renal	√	√	√	√
Plano terapêutico (medicação, soros, nutrição)	√	√	√	√
Sinais vitais e ventilação	√	√	√	√
Monitorização				
Gráfico – análises clínicas	√	√	–	–
Gráfico - Sores (SOFA, SAPS, Glasgow, MEWS, TISS28)	√	√	–	–
Eventos críticos e gráfico - evento crítico	√	√	–	–
Gráfico - sinais vitais e ventilação	√	√	–	–
Scores médicos	√	√	–	–

Eventos críticos

Para o sistema de EC, são utilizadas duas definições: valores críticos e EC. Os valores críticos são valores que estão fora de uma faixa normal [18], durante um período de tempo indeterminado. O evento crítico é definido como um evento onde os valores recolhidos de forma contínua são críticos e têm uma duração superior ao intervalo de tempo aceitável [18]. Por outro lado, um valor pode representar um EC desde que esse valor seja demasiado crítico (tipo b). A introdução dos EC na UCI representa uma novidade para esta unidade, na medida em que, com a introdução da aquisição contínua de dados, foi possível introduzir a monitorização dos EC dos doentes para cinco variáveis: PA, FC, SpO₂, débito urinário e temperatura. O sistema de monitorização de eventos críticos é executado em tempo-real, utilizando a aquisição e processamento de tarefas de forma automática.

Scores médicos

O sistema de pontuação foi desenvolvido de modo a introduzir um novo conceito de calcular índices. Em vez dos índices (*scores*) serem calculados no final do dia, o sistema pode calcular em tempo-real alguns dos índices médicos. O SP utiliza as regras de processamento e transformação definidos para cada índice, pelo que, de forma automática e em tempo-real, recolhe e processa os dados

de modo a obter os resultados de SAPS II, SAPS III, SOFA, GLASGOW, TISS28 e MEWS. Os resultados dos índices são calculados automaticamente e em tempo-real sempre que um novo valor chega. O SP tem sempre em consideração o pior valor recolhido.

Plataforma de apoio à decisão

A plataforma de apoio à decisão engloba um conjunto de modelos de previsão, que tem como principal objetivo criar conhecimento útil em tempo-real, capaz de suportar o processo de decisão, nomeadamente ao nível da:

- Probabilidade de falência de órgãos [9];
- Probabilidade do doente morrer (alta) [9];
- Probabilidade de um doente ser reinternado [10];
- Probabilidade de um doente ter sépsis nível I ou II [34].

Para os vários modelos, o processo de seleção de variáveis teve em conta os dados disponíveis, o conhecimento clínico na área (após reuniões com os intensivistas) e os artigos científicos que demonstram a correlação existente entre as variáveis selecionadas e o *target* a prever. A seleção tem por base os modelos matemáticos e as regras associadas a cada uma das técnicas. Este processo é um processo de inteligência artificial que é “imperceptíveis” ao ser

humano. Por exemplo, os modelos que utilizam a técnica *supporte vector machine* tentam encontrar a separação ótima entre todas as variáveis, sendo criados vários hiperplanos que consigam separar o conjunto de dados utilizado.

Falência orgânica e alta

Os modelos de previsão da falência orgânica e alta são construídos utilizando as características do *ensemble data mining* (EDM). Este *ensemble* compara todos os resultados obtidos por cada um dos modelos e escolhe o melhor, ou seja, seleciona os modelos que cumprem a medida de qualidade e apresentam os melhores valores. O *ensemble* está organizado em seis componentes independentes, sendo que cada componente está associado a um alvo (*target*) diferente (renal, respiratório, hepático, hematológico, cardiovascular ou alta do doente) e considera sete cenários diferentes (S1 a S7). De seguida, são aplicadas três técnicas de DM diferentes: árvores de decisão (AD), máquinas de suporte de vetor (SVM) e *naïve Bayes* (NB). Para esta previsão foram considerados os seguintes cenários:

CaseMix = {idade, tipo de admissão, origem de admissão}

EC = {EC de PS, EC de saturação de oxigénio (SO), EC de FC}

SOFA = {cardiovascular, respiratório, renal, hepático, hematológico}

Posteriormente, os valores dos EC foram transformados em valores acumulados (ECA), a partir dos quais foram criadas novas variáveis que relacionam o número de ECA de cada parâmetro com o tempo de estadia do doente até ao momento e com o número máximo de ECA verificados por um doente para cada parâmetro. Assim foram considerados pelos modelos os

Rácios 1 (R1) = {ECA de PS/tempo de estadia até ao momento, ECA de SO/tempo de estadia até ao momento, ECA de FC/tempo de estadia até ao momento, total de ECA/número máximo de ECA por hora}

Rácios 2 (R2) = {ECA de PS/número máximo de ECA de PS, ECA de SO número máximo de ECA de SO, ECA de FC/ número máximo de ECA de FC, total de ECA/número máximo de ECA}

R = R1 u R2

Pelo exposto acima, o EDM pode ser definido como uma matriz tridimensional composta por 108 modelos: $s = 7$ cenários (s1 a s7) $\times t = 6$ alvos (t1 a t7) $\times z = 3$ técnicas (z1 a z3): s1 = {CaseMix}; s2 = {CaseMix, ECA, R}; s3 = {CaseMix, ECA, R1}; s4 = {CaseMix, ECA, SOFA}; s5 = {CaseMix, ECA, SOFA, R}; s6 = {CaseMix, ECA,

SOFA, R2}; s7 = {CaseMix, ECA, SOFA, R1}; t1 = respiratório; t2 = cardiovascular; t3 = hematológico; t4 = renal; t5 = hepático; t6 = alta; z1 = SVM; z2 = AD; z3 = NB.

Cada modelo é induzido de forma automática e em tempo-real, usando o *streaming* de dados.

Reinternamentos

O internamento de um doente em UCI segundo o Ministério da Saúde (citado por Susana Penelas [35]) é “um tempo transitório para alguns dos doentes em risco de vida, pelo que é parte de um processo e não um fim em si.” Como tal, é considerado um internamento quando o indivíduo é admitido num estabelecimento de saúde por um determinado tempo, para diagnóstico ou tratamento, por um período nunca inferior a 24 horas [36]. Um doente é considerado readmitido se for internado, no mesmo hospital, com o mesmo diagnóstico, até um máximo de 72 horas após a alta [36]. Para a previsão de reinternamento, foram utilizadas variáveis baseadas no *Stability and Workload Index for Transfer* (SWIFT) [37] e aplicadas três técnicas de DM diferentes: AD, SVM e NB. Neste estudo foram consideradas as seguintes variáveis:

Normal = {pco2, po2/fio2, saladeemergencia, tempoestadia}

Scores = {pco2_score, po2/fio2_score, salaemergenciascore, tempoestadiascore}

Classes = {classepco2, classepo2/fio2, classetempoestadia, classesalaemergencia}

CaseMix = {sexo, idade}

Foram gerados 48 modelos = 8 cenários \times 2 abordagens (A – sem replicação de dados e B – com replicação) \times 3 técnicas e um target; S1 = {normal, scores}; S2 = {scores}; S3 = {normal}; S4 = {normal, scores, classes}; S5 = {normal, scores, CaseMix}; S6 = {scores, CaseMix}; S7 = {normal, CaseMix}; S8 = {normal, scores, classes, CaseMix}.

Sépsis

A sépsis é classificada como uma infeção grave, que é difícil de definir, diagnosticar e tratar [19, 38]. Está relacionada com um grande número de condições clínicas causadas por uma resposta inflamatória sistémica do organismo a uma infeção, que se desenvolve em sépsis grave, também combinado com disfunção de órgãos/falha simples, múltipla ou total, levando à morte [19, 38]. O nível de sépsis está dividido em: resposta sistémica a uma infeção (1), sépsis (2), sépsis grave (3) e choque séptico (4). Para a previsão do valor de sépsis final (1 ou maior que 1), foram aplicadas 3 técnicas de DM (SVM, AD e NB) e utilizadas as seguintes variáveis:

Table 3. Resultados dos modelos de previsão (%)

Alvo	Modelo	Sensibilidade	Acuidade	Especificidade
Cardiovascular	Ensemble	97.95	76.81	41.81
Hematológica	Ensemble	91.20	65.69	49.61
Hepático	Ensemble	69.24	82.89	87.34
Renal	Ensemble	77.17	43.08	43.08
Respiratório	Ensemble	67.11	63.86	60.39
Alta	Ensemble	99.77	63.58	49.58
Reinternamentos	NB_S7_B	99.67	98.91	98.12
Sépsis	SVM_S3	100.00	100.00	100.00

CaseMix = {sexo, data}

Sepsis = {bilirrubina, creatinina, FreqCardiacaMax, FreqCardiacaMin, glucose, leucócitos, PAMMax, PAMMin, PAMMax, PAMMin, plaquetas, TemperaturaMax, TemperaturaMin}

VarSepsis = {SepsisBilirrubina, SepsisCreatinina, SepsisFC, SepsisTemperatura, SepsisGlucose, SepsisLeucocito, SepsisPAM, SepsisPAS, SepsisPlaquetas}

Foram gerados e testados um total de 12 modelos de classificação = 1 alvo × 4 cenários × 3 técnicas; S1 = {CaseMix; sepsis}; S2 = {CaseMix; VarSepsis}; S3 = {CaseMix; sepsis; VarSepsis}; S4 = {seleção automática}.

Resultados obtidos

A Tabela 3 apresenta os resultados do melhor modelo para cada um dos alvos a prever. Importa referir que a sensibilidade é a medida mais importante, pois os médicos preferem modelos mais sensíveis à previsão de determinado resultado, ou seja, preferem modelos que sejam bons a prever o 1 (falha orgânica, morte, ser reinternado ou desenvolver sépsis). Para a previsão da falência orgânica e da alta do doente, o melhor modelo é representado pelo conjunto de dados selecionados pelo ensemble. A nível dos reinternamentos o melhor modelo é aquele que utiliza os dados replicados, não agrupados por classe e o *case mix*, apresentando uma sensibilidade de 99.67%. Para a previsão da Sépsis, o modelo mais adequado é o que utiliza todas as variáveis, conseguindo resultados de 100%.

Dado que os modelos são executados em tempo-real, os resultados aqui apresentados são meramente indicativos, pois representam as previsões no momento em que os modelos foram invocados. Por este motivo, os modelos que agora não são satisfatórios podem apresentar resulta-

dos positivos na próxima execução e vice-versa. Com base nestes resultados, a plataforma de apoio à decisão é capaz de induzir bons modelos capazes de prever a falência orgânica (cardiovascular, hematológica), alta, reinternamentos e sépsis.

Discussão

Com a elaboração deste trabalho, e tendo em conta os objetivos delineados inicialmente, é possível verificar que os resultados atingidos permitiram aferir a possibilidade de desenvolver um sistema inteligente que promova a monitorização e a criação de novo conhecimento útil para o processo de decisão que seja fulcral para a prestação de um melhor tratamento ao doente. Para tal, foi seguida a Metodologia de Investigação *design science research* e, para o problema encontrado, foi desenhada e implementada uma solução. Foi desenvolvido o sistema INTCare que é composto por duas plataformas, uma de monitorização e outra de apoio à decisão. Com esta solução, os intensivistas passaram a ter uma nova ferramenta capaz de suportar o processo de tomada de decisão e a unidade de cuidados intensivos ficou assim dotada de uma solução global que permite analisar em tempo-real vários dados associados ao doente, nomeadamente: sinais vitais, medicação, ventilação, análises clínicas, EC entre outros. Ao mesmo tempo, e tirando partido dos modelos de previsão, é possível prever com elevada sensibilidade a ocorrência de falência orgânica (67.11–95.97%), morte (99.77%) reinternamentos (99.97%) e sépsis (100%). Estas previsões permitem antever possíveis complicações do doente e tomar decisões mais precisas, atuando proativamente e de forma preventiva sempre no melhor interesse do doente.

A nível científico, este trabalho apresenta-se como sendo uma novidade visto não existir ainda uma solução

de tão largo espectro como a aqui explanada. Durante a realização deste trabalho, e tendo em conta a análise do estado arte efetuado e os resultados obtidos, foi possível verificar que atualmente não está ainda descrita uma solução global semelhante à apresentada neste artigo. O que existe atualmente são contribuições mais pequenas, com características diferentes, e para outros problemas, que não aqueles que foram abordados neste trabalho.

Esta solução é inovadora e representa uma contribuição original na comunidade medico-científica pelo facto de operar em tempo-real, ser interoperável, utilizar agentes inteligentes, se adaptar ao contexto em que a mesma se insere e estar disponível em qualquer lugar e qualquer hora, suportando o processo de tomada de decisão através da apresentação de conhecimento útil proveniente da análise inteligente dos dados recolhidos em tempo-real ou da previsão de eventos clínicos.

Conclusão

O trabalho desenvolvido ao longo deste projeto serve para demonstrar que é possível desenvolver sistemas de apoio à decisão *pervasive* em ambientes críticos, ou seja, sistemas inteligentes capazes de monitorizar em tempo-real o estado de um doente e suportar o processo de decisão em medicina intensiva em qualquer lugar e a qualquer hora.

Em primeiro lugar, foi necessário preparar o ambiente, a fim de dar suporte aos recursos interativos e *pervasive*. De seguida, foi também indispensável produzir um conjunto de mudanças no SI para que fosse possível recolher, processar e validar os dados automaticamente e em tempo-real. Por fim, foi necessário desenvolver um sistema de inferência capaz de, *online* e em tempo-real, receber os dados, processá-los de acordo com as metas definidas e executar as tarefas associadas aos agentes, tendo como objetivo a criação de novos conhecimentos úteis ao processo de decisão. Para a concretização dos objetivos, foram desenvolvidas duas plataformas intuitivas e com uma interface amigável, designadamente a FEE e a plataforma INTCare. A FEE permite monitorizar os dados do doente (inserir, editar e validar os valores) e apresentar os resultados associados a um doente, como são exemplo os sinais vitais, análises clínicas, planos terapêuticos, EC e scores médicos. A segunda plataforma (INTCare) está focada na apresentação dos resultados fornecidos pelo motor de DM, ou seja, a probabilidade de um doente ter uma falência orgânica ou morrer nas próximas 24 horas (atualização das previsões efetuada de hora a hora), desenvol-

ver sépsis ou ser reinternado. Estes sistemas podem ser acedidos por qualquer pessoa, que tenha privilégios de acesso à UCI, em qualquer lugar e a qualquer hora.

Este projeto tem como finalidade contribuir para a organização dos sistemas e serviços de saúde, atuar em fatores condicionantes e determinantes no processo de saúde, controlando e prevenindo a incidência de doenças graves (ex. sépsis e outras falências/disfunções) nas pessoas internadas nas UCI.

Concluindo, este trabalho procura mostrar uma nova abordagem para os sistemas de informação (SI) das UCIs. O trabalho apresenta um novo SI e um conjunto de modificações que permite automatizar todo o processo de aquisição de dados, fazendo com que os dados estejam disponíveis em tempo-real, em formato eletrónico, *online* e de uma forma *pervasive*, resolvendo todas as lacunas descritas inicialmente. Ao mesmo tempo, permite um processamento automático dos dados, o que implica um aumento significativo da exatidão, fiabilidade e qualidade dos dados usados na UCI. De outro modo, este trabalho mostra uma nova visão de como os dados presentes na UCI podem ser processados e utilizados para apoiar o processo de decisão clínica. Com este sistema, podemos comprovar que “a substituição do registo manual por um sistema de documentação automático aloca mais tempo para o atendimento ao doente por parte dos enfermeiros” [39].

Trabalho futuro

O sistema descrito no presente artigo encontra-se em fase de testes/execução na UCI do CHP – Porto, pelo que o trabalho futuro contempla a execução das seguintes tarefas:

- Otimizar a FEE de acordo com o *feedback* recolhido;
- Testar novos modelos e melhorar os modelos e sistemas desenvolvidos;
- Melhorar o sistema de avaliação e otimização dos modelos;
- Investigar e explorar novas formas de suportar a decisão.

Agradecimentos

Este trabalho foi apoiado por fundos nacionais – FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia no âmbito do projeto FCOMP-01-0124-FEDER-022674 e está enquadrado no projeto de investigação financiado pela FCT: INTCare II – PTDC/EEI-SII/1302/2012.

References

- 1 Portela F, Gago P, Santos MF, Machado J, Abelha A, Silva Á, et al: Pervasive real-time intelligent system for tracking critical events in intensive care patients. *Int J Healthc Inform Syst Informat* 2014;9:19.
- 2 Le Gall JR, Lemeshow S, Saulnier F: A new Simplified Acute Physiology Score (SAPS II) based on a European/North American multicenter study. *JAMA* 1993;270:2957–2963.
- 3 Moreno RP, Metnitz PGH, Almeida E, Jordan B, Bauer P, Campos RA, 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;31:1345–1355.
- 4 Vincent JL, Moreno R, Takala J, Willatts S, De Mendonca A, Bruining H, et al: The SOFA (Sepsis-related Organ Failure Assessment) score to describe organ dysfunction/failure. *Intensive Care Med* 1996;22:707–710.
- 5 Jones C: Glasgow Coma Scale. *Am J Nurs* 1979;79:1551–1553.
- 6 Gardner-Thorpe J, Love N, Wrightson J, Walsh S, Keeling N: The value of Modified Early Warning Score (MEWS) in surgical inpatients: a prospective observational study. *Ann R Coll Surg Engl* 2006;88:571–575.
- 7 Padilha KG, Sousa RMC, Miyadahira AMK, Cruz DALM, Vattimo MFF, Kimura M, et al: Therapeutic intervention scoring system-28 (TISS-28): directions for application. *Rev Esc Enferm USP* 2005;39:229–233.
- 8 Portela F, Santos MF, Silva Á, Machado J, Abelha A, Rua F: A Pervasive Intelligent System for Scoring MEWS and TISS-28 in Intensive Care. 15th Int Con Biomed Eng, Vietnam, June 16–18, 2014. Cham, Springer International Publishing, 2014, pp 287–290.
- 9 Portela F, Santos MF, Machado J, Abelha A, Silva Á: Pervasive and intelligent decision support in critical health care using ensembles; in Bursa M, Khuri S, Renda ME (eds): *ITBAM 2013: Information Technology in Bio- and Medical Informatics: Proceedings*. Berlin, Springer, 2013, pp 1–16.
- 10 Braga P, Portela F, Santos MF (eds): Data mining models to predict patient's readmission in intensive care units. 6th ICAART – International Conference on Agents and Artificial Intelligence, Angers, March 6–8, 2014. Angers, Grande Ecole d'ingénieurs généralistes, 2014.
- 11 Gonçalves JMC, Portela F, Santos MF, Silva A, Machado J, Abelha A: Predict sepsis level in intensive medicine: data mining approach; in Rocha A, Correia AM, Wilson T, Stroetmann KA (eds): *Advances in Information Systems and Technologies: Advances in Intelligent Systems and Computing*. Cham, Springer International Publishing, 2013, pp 201–211.
- 12 Portela F, Santos MF, Machado J, Abelha A, Rua F, Silva A: Real-time decision support using data mining to predict blood pressure critical events in intensive medicine patients; in Bravo J, Hervás R, Villarreal V (eds): *Ambient Intelligence for Health*. Cham, Springer, 2013, pp 1–16.
- 13 Portela F, Santos MF, Silva A, Rua F, Abelha A, Machado J (eds): Preventing patient cardiac arrhythmias by using data mining techniques. *IECBES: 2014 IEEE Conference on Biomedical Engineering and Sciences*, Sarawak, Malaysia, 2014. Kuala Lumpur, University of Malaya, 2014.
- 14 Oliveira S, Portela F, Santos MF, Machado J, Abelha A, Silva A, et al: Intelligent decision support to predict patient barotrauma risk in intensive care units; in: *HCIST 2015: Procedia Technology: Healthy and Secure People*. Berlin, Elsevier, 2015.
- 15 Portela F, Veloso R, Santos MF, Machado J, Abelha A, Silva A, et al: Predict hourly patient discharge probability in intensive care units using data mining. *Science Asia* 2014, in press.
- 16 Kwon O, Yoo K, Suh E: UbiDSS: a proactive intelligent decision support system as an expert system deploying ubiquitous computing technologies. *Expert Syst Appl* 2005;28:149–161.
- 17 Kickbusch I: Approaches to an ecological base for public health. *Health Promot Int* 1989;4:265–268.
- 18 Silva Á, Cortez P, Santos MF, Gomes L, Neves J: Rating organ failure via adverse events using data mining in the intensive care unit. *Art Intell Med* 2008;43:179–193.
- 19 Mador RL, Shaw NT: The impact of a Critical Care Information System (CCIS) on time spent charting and in direct patient care by staff in the ICU: a review of the literature. *Int J Med Inform* 2009;78:435–445.
- 20 Saha D, Mukherjee A: Pervasive computing: a paradigm for the 21st century. *IEEE Computer* 2003;36:25–31.
- 21 Saha D: Pervasive computing: a vision to realize. *Adv Comput* 2005;64:195–245.
- 22 Portela CF, Santos MF, Silva A, Machado J, Abelha A: Enabling a pervasive approach for intelligent decision support in critical health care; in Cruz-Cunha MM, Varajão J, Powell P, Martinho R (eds): *Enterprise Information Systems: CENTERIS 2011: International Conference, Vilamoura, Algarve, Portugal, October 5–7, 2011. Proceedings: Part 3*. Berlin, Springer, 2011, pp 233–243.
- 23 Varshney U: *Pervasive Healthcare Computing: EMR/EHR, Wireless and Health Monitoring*. New York, Springer, 2009.
- 24 Varshney U: Pervasive healthcare and wireless health monitoring. *Mobile Netw Appl* 2007;12:113–127.
- 25 Cios KJ, Pedrycz W, Swiniarski RW, Kurgan L: *Data Mining: A Knowledge Discovery Approach*. Berlin, Springer, 2007.
- 26 Turban E, Sharda R, Delen D: *Decision Support and Business Intelligence Systems*, ed 9. New Jersey, Prentice Hall, 2010.
- 27 Musen MA, Middleton B, Greenes RA: *Clinical Decision-Support Systems*. Berlin, Springer, 2014, pp 643–674.
- 28 Portela F, Santos MF, Machado J, Abelha A, Silva Á, Rua F: *Pervasive and Intelligent Decision Support in Intensive Medicine: The Complete Picture*. Berlin, Springer, 2014, pp 87–102.
- 29 Portela F, Cabral A, Abelha A, Salazar M, Quintas C, Machado J, et al: Knowledge acquisition process for intelligent decision support in critical medicine; in Martinho R, Cruz-Cunha MM, Varajão J (eds): *Information Systems and Technologies for Enhancing Health and Social Care*. Hershey, IGI – Global, 2013, pp 55–68.
- 30 Portela F, Aguiar J, Santos MF, Silva Á, Rua F: Pervasive intelligent decision support system: technology acceptance in Intensive Care Units; in Rocha Á, Correia A, Wilson T, Stroetmann K (eds): *Advances in Information Systems and Technologies*. Berlin, Springer, 2013.
- 31 Hevner AR, March ST, Park J, Ram S: Design science in information systems research. *MIS Quarterly* 2004;28:75–105.
- 32 Peffers K, Tuunanen T, Rothenberger MA, Chatterjee S: A design science research methodology for information systems research. *J Manag Inf Syst* 2007;24:45–77.
- 33 Bardram JE, Baldus H, Favela J: Pervasive computing in hospitals; in Bardram JE, Mihailidis A, Wan D (eds): *Pervasive Computing in Healthcare*. Boca Raton, CRC Press, 2007, pp 49–77.
- 34 Gonçalves JMC, Portela F, Santos MF, Silva Á, Machado J, Abelha A: Predict sepsis level in intensive medicine: data mining approach; in Rocha Á, Correia A, Wilson T, Stroetmann K (eds): *Advances in Information Systems and Technologies*. Berlin, Springer, 2013.
- 35 Penelas SMS: *O caminho percorrido: relatório de estágio*. Porto, Universidade Católica do Porto, 2015.
- 36 Portugal. Ministério da Saúde. ACSS. Circular Normativa nº 33/2012. Lisboa, Administração Central do Sistema de Saúde, 2012.
- 37 Gajic O, Malinchoc M, Comfere TB, Harris MR, Achouiti A, Yilmaz M, et al: The Stability and Workload Index for Transfer score predicts unplanned intensive care unit patient readmission: initial development and validation. *Crit Care Med* 2008;36:676–682.
- 38 Häyrinen K, Saranto K, Nykänen P: Definition, structure, content, use and impacts of electronic health records: a review of the research literature. *Int J Med Inform* 2008;77:291–304.
- 39 Saارينen K, Aho M: Does the implementation of a clinical information system decrease the time intensive care nurses spend on documentation of care? *Acta Anaesthesiol Scand* 2005;49:62–65.