

PRINCÍPIOS E PRÁTICAS NA DIGITALIZAÇÃO DAS OPERAÇÕES DE SAÚDE EM UM COMPLEXO HOSPITALAR PRIVADO

PRINCIPLES AND PRACTICES IN THE DIGITIZATION OF HEALTH OPERATIONS IN A PRIVATE HOSPITAL COMPLEX

Davenilcio Luiz de Souza*  E-mail: davenilciol@edu.unisinios.br
Andres Eberhard Friedl Ackermann*  E-mail: andresarckemann@edu.unisinios.br
André Luis Korzenowski*  E-mail: akorzenowski@unisinios.br
João Henrique Sperafico*  E-mail: joah.sperafico@gmail.com
*Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil.

Resumo: A pressão orçamentária imprime ao segmento da saúde o potencial da Indústria 4.0 para organizar a cadeia de valor em melhorias de eficiência e eficácia. Derivado da indústria 4.0, o conceito da *Health 4.0* tem foco na progressiva virtualização de serviços a pacientes, profissionais e demais envolvidos no processo do cuidado. As tecnologias habilitadoras da *Health 4.0* impulsionam tratamentos em tempo real, personalizados em análises e diagnósticos instantâneos. Este estudo propõe descrever a implementação da digitalização nas operações de um complexo hospitalar brasileiro e relacioná-las aos princípios da *Health 4.0*. A metodologia utilizada na pesquisa segue o processo de busca e descrição do ambiente de estudo, com a orientação pelos recursos implementados nas rotinas e no fluxo de atendimento ao paciente em um hospital privado na região sul do Brasil. Ao analisar os conceitos, princípios e tecnologias da indústria e da *Health 4.0* é possível relacioná-los às práticas aplicadas na organização hospitalar. Houve ganhos de capacidade e de produtividade no atendimento em razão do aumento do nível de confiabilidade nos dados, obtidos pela digitalização de prontuários, interoperação entre dispositivos, redução de erros na medicação, acompanhamento eficiente do fluxo do paciente, satisfação dos profissionais de saúde e de pacientes

Palavras-chave: *Health 4.0*. Digitalização. *Lean healthcare*. Operações de saúde. Hospitais.

Abstract: Budgetary pressure imposes on the healthcare industry the potential of Industry 4.0 to organize the value chain to improve efficiency and effectiveness. Derived from Industry 4.0, the concept of *Health 4.0* focuses on the advanced virtualization of services for patients, professionals, and others involved in the care process. The enabling technologies from *Health 4.0* drive personalized treatments in real-time analysis and diagnostics. This study proposes to describe the implementation of digitalization in the operations of a Brazilian hospital complex and relate them to the principles of *Health 4.0*. The methodology used in the research follows the process of searching and describing the study environment, guided by the resources implemented in the routines and flow of patient care in a private hospital in southern Brazil. By analyzing the concepts, principles, and technologies of Industry and *Health 4.0*, it is possible to relate them to the practices applied in the hospital organization. There were gains in capacity and productivity in care due to increased reliability in data obtained by digitizing medical records, interoperability between devices, reduction of medication errors, efficient monitoring of patient flow, healthcare professionals, and patient satisfaction.

Keywords: *Health 4.0*. Digitalization. *Lean healthcare*. Healthcare operations. Hospitals.

1 INTRODUÇÃO

A Indústria 4.0 representa a quarta revolução na produção de bens e serviços sustentada por novas tecnologias que podem aumentar a eficiência e reduzir o consumo de recursos (Kamble *et al.*, 2018; Tessarini; Saltorato, 2018). Por meio das tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, o ambiente de produção passa por mudanças radicais na execução das operações com alto nível de comunicação entre cada entidade do fluxo de valor, este ambiente estabelece a personalização em massa na produção (Lasi *et al.*, 2014; Posada *et al.*, 2015).

Os princípios da Indústria 4.0 conforme Hermann (2015) e Carvalho *et al.* (2018) são: Interoperabilidade, Virtualização, Descentralização, Capacidade em Tempo Real, Modularidade e Orientação para Serviços. Com base nesses princípios e a integração das tecnologias com os processos é possível obter resultados ambientais e econômicos sustentáveis (Kamble *et al.*, 2018).

A limitação de orçamento impulsiona o ambiente do cuidado a explorar o potencial da Indústria/Health 4.0 para organizar a cadeia de valor nos serviços de saúde em ganhos de eficiência (Turati; Pinto, 2022). O conceito Health 4.0 está centrado na virtualização progressiva para personalizar o cuidado de pacientes e profissionais da saúde, como exemplo a análise de exames laboratoriais e de imagem proporcionando o diagnóstico e tratamento em tempo real (Thuemmler; Bai, 2017).

Em comparação a outros segmentos de atividade, os serviços de saúde apresentam um desafio ampliado em razão dos clientes estarem inseridos no processo. Esta realidade acentua a importância da segurança e eficiência no processo de atendimento (Patwardhan; Patwardhan, 2008; Heiderscheidt *et al.*, 2019). Os sistemas de saúde apresentam alta variação de demanda repercutindo em superlotação, capacidade limitada de recursos físicos e de mão de obra, o que gera instabilidade e atrasos no fluxo impactando na qualidade do atendimento e na segurança dos pacientes (Taylor; Nayak, 2012; Vermeulen *et al.*, 2014; Vose *et al.*, 2014).

A indústria 4.0 pode auxiliar na tomada de decisão em tempo real por meio do uso eficiente dos recursos e na entrega de produtos, isto permite o controle eficaz

dos processos. A indústria 4.0 se destaca pela integração entre tecnologias avançadas e processos que geram recursos virtuais, são procedentes de elementos físicos interoperáveis em tempo real que permitem orientação para serviços descentralizados (Kumari, A. *et al.*, 2018; Kamble *et al.*, 2018).

Em um estudo relacionado à indústria, Kamble *et al.* (2018), afirmam que a indústria/*Health* 4.0 é uma área emergente, corroborando com Dalenogare *et al.* (2018) onde consideram que as tecnologias da indústria 4.0 se manifestam em um cenário de economia emergente. No entanto, a indústria brasileira ainda não aplica de forma efetiva algumas tecnologias como *Big Data Analytics*, *Cloud Computing* e a digitalização dos processos para análise de desempenho organizacional (Dalenogare *et al.*, 2018). Salomi e Maciel (2016) concluíram que há muitos benefícios a alcançar no cuidado a pacientes e que não há estudos no Brasil que oferecem evidências objetivas quando relatam os benefícios e avanços conquistados com a aplicação da digitalização, portanto, uma lacuna a ser explorada.

Frente ao contexto da digitalização da saúde brasileira, este estudo propõe descrever a implementação da digitalização nas operações de um complexo hospitalar brasileiro, relacionando as práticas aos princípios da *Health* 4.0. Este artigo está organizado em cinco seções, além da introdução. A seção 2 descreve a fundamentação teórica sobre a evolução, os princípios e as tecnologias da *Health* 4.0. A metodologia de pesquisa utilizada e o ambiente de estudo são descritos nas seções 3 e 4. Os princípios e as tecnologias estudadas estão relacionados ao ambiente de estudo e são apresentados na seção 5. As conclusões e oportunidades de pesquisa são apresentadas na seção 6.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

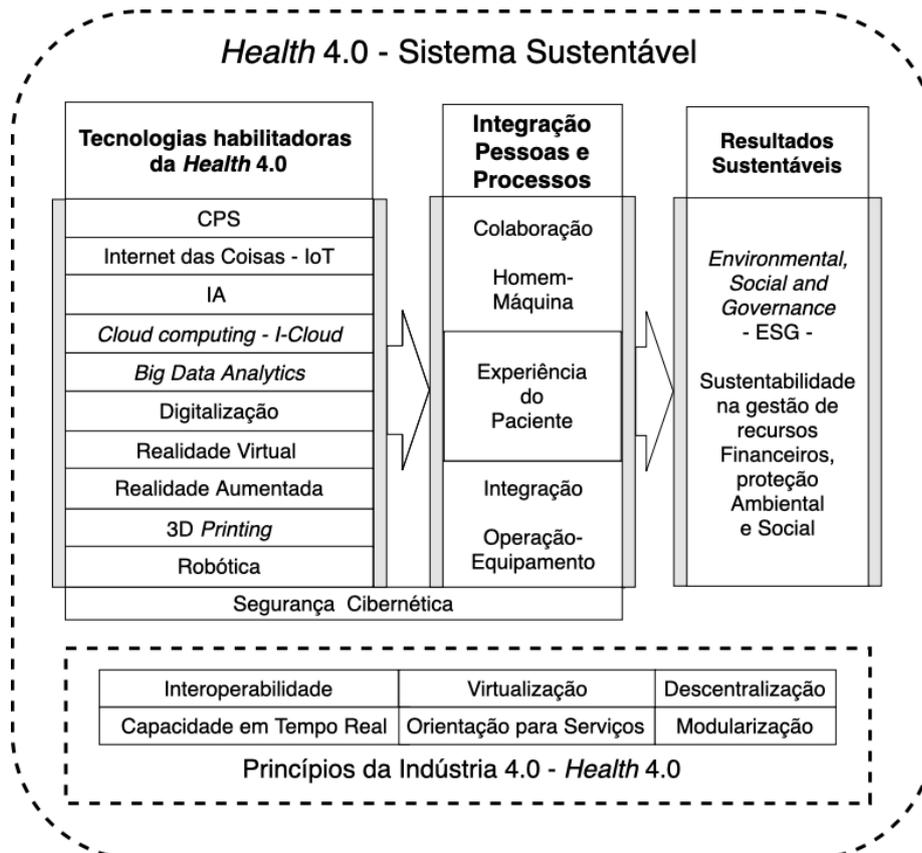
O termo indústria 4.0 surgiu em 2011 na Feira de Hanover sediada na Alemanha (Sanders *et al.*, 2016). Atualmente a iniciativa está difundida pelo mundo inteiro, chamada por diferentes nomes em diferentes países. As abordagens da indústria 4.0 relacionam *Smart Manufacturing*, *Smart Production* ou *Internet of Things* como os principais influenciadores da manufatura digital e automatizada (Kamble *et al.*, 2018).

A abordagem da indústria 4.0 combina a interface em inúmeras áreas do conhecimento como engenharia elétrica, administração de empresas, ciência da computação, engenharia de sistemas de negócios, tecnologia da informação e a engenharia mecânica, além de saberes complementares (Lasi *et al.*, 2014). Sanders *et al.* (2016) destacam que a indústria 4.0 aplica os princípios de sistemas Ciber-físicos (CPS), internet das coisas (IoT), tecnologias orientadas para o futuro e sistemas inteligentes voltados a interação aprimorada homem-máquina.

Os sistemas Ciber-físicos (CPS) são dispositivos computacionais embarcados dentro de um equipamento mecânico ou eletrônico, executando funções de integração e coordenação entre computação e processos físicos. O CPS nos processos de manufatura é composto de elementos e subsistemas conectados a equipamentos e processos que atuam de forma autônoma e cooperativa, capazes de responder a mudanças internas e externas (Monostori *et al.*, 2016). A aplicação da internet das coisas (IoT) possibilita criar um ambiente inteligente dentro das organizações. Com os recursos propostos pela indústria 4.0 o ambiente de produção e de serviços passa por mudanças radicais na execução das operações, definem a identidade e o alto nível de comunicação a cada entidade do fluxo de valor para proporcionar a personalização em massa (Lasi *et al.*, 2014; Posada *et al.*, 2015).

Ao adicionar inteligência tecnológica às máquinas, aos sistemas de armazenamento e às instalações, há completa integração dos fluxos de informação em toda a cadeia de fornecimento, do início da realização do produto ou do serviço até a entrega ao cliente. Esta realidade impulsiona a cooperação entre gestores, funcionários e parceiros de negócios (Sanders *et al.*, 2016). Kamble *et al.* (2018), revisaram a literatura e propuseram uma estrutura de indústria 4.0 sustentável. Em adição ao proposto, a Figura 1 destaca a adaptação para a *Health* 4.0 considerando a integração das tecnologias habilitadoras nos processos em um ambiente Ciber-físico para determinar um sistema de saúde sustentável.

Figura 1 - Framework Health 4.0 sustentável



Fonte: Elaborado pelos autores - Adaptado de Kamble *et al.*, 2018.

Os benefícios da indústria 4.0 foram expandidos da indústria para outros setores a exemplo dos serviços de saúde, apresentando grande potencial de melhoria em seus processos na aplicação das tecnologias habilitadoras. A estrutura sugere a integração das tecnologias habilitadoras com os processos, originando resultados sustentáveis e proporcionando benefícios econômicos ao sistema. Espera-se a redução de custos totais a partir do aprimoramento e o desenvolvimento de serviços inteligentes, melhora na tomada de decisão ao oferecer experiência personalizada a pacientes e demais envolvidos no cuidado (Kamble *et al.*, 2018; Tortorella; Luz *et al.*, 2020). A automação resultante da indústria 4.0 permite o planejamento em tempo real dos serviços, otimização dinâmica da utilização dos recursos e a melhoria da gestão na alocação dos profissionais (Posada *et al.*, 2015; Kumari *et al.*, 2018;).

Autor	Ano	Objetivo	Pontos positivos	Desafios
Collins, Francis S.; Varmus, Harold.	2015	Foco: curto prazo no câncer e longo prazo no saber aplicável em medicina de precisão a amplitude de saúde na doença.	Esforços para melhorar as formas de antecipar, prevenir, diagnosticar e tratar cânceres em estágio inicial e avançado.	A compreensão dos cânceres passa pelo estudo dos vários genomas para novas formas de diagnóstico molecular.
Chiavegatto Filho, A. D. P.	2015	Perspectivas de aplicação de Big Data nos serviços de saúde no Brasil.	Linguagens Python e R são as mais usadas em prontuários eletrônicos e medicina de precisão.	Assegurar a privacidade e segurança em dados de pacientes.
Zhang <i>et al.</i>	2017	Desenvolver um sistema de saúde seguro para uma extensa rede de usuários.	Compartilhamento da carga de dados na rede.	Processo em fase de maturação na entidade.
Lee, E. A.	2008	Avanços do CPS / Modelo para otimizar a seleção de máquinas virtuais de ICloud e IoT em aplicativos de serviços de saúde.	O CPS gera a virtualização. O modelo proposto supera os anteriores em tempo total de execução numa taxa de 50%.	Os recursos necessários para gerenciar dados em um ambiente cloud-IoT ainda são um grande desafio.
Elhoseny, M. <i>et al.</i>	2018			
Kumari, A. <i>et al.</i>	2018	Arquitetura de saúde de três camadas orientada para o paciente em coleta, processamento e transmissão de dados em tempo real.	Investimento mínimo de capital em instalações de computação em nuvem para armazenar os dados de pacientes.	Necessidade de regulação na padronização de protocolos e interfaces de produtos e dispositivos disponíveis na <i>Health 4.0</i> .
Jiang <i>et al.</i>	2018	Desenvolvimento de um sistema baseado em blocos para troca de dados médicos. / Plataforma HIS.	Armazenamento fora e verificação dentro da rede para assegurar a privacidade e autenticidade dos dados. O HIS oferece segurança em sistemas.	Controle de desempenho complexo.
Leite, S. F. <i>et al.</i>	2021			
Uddin <i>et al.</i>	2018	Explorar o monitoramento contínuo do fluxo com agente virtual centrado no paciente.	Criptografia e autenticação simples, à prova de adulteração e proteção contra fraude.	Tornar o processo ágil de ponta a ponta.
Salomi, M. J. A.; Maciel, R. F.	2016	Protocolos eletrônicos. / Assinatura descentralizada em rede em serviços de saúde.	Compartilhamento seguro de Registros Médicos Eletrônicos autenticados em larga escala.	Exige certificados de atributos e alta capacidade de armazenamento de dados.
Sun <i>et al.</i>	2018			

Autor	Ano	Objetivo	Pontos positivos	Desafios
YANG, Geng <i>et al.</i>	2020	Identificar as tecnologias habilitadoras da <i>Health</i> 4.0 em CPS para implementar Registros Médicos adequados.	Evidências claras de que as tecnologias habilitadoras são recursos valiosos nos registros do cuidado.	Necessidade de alta capacidade computacional, apresenta baixa capacidade de processamento em nuvem.
TORTORELLA, G. Luz <i>et al.</i>	2020	Examinar as tendências, desafios e lacunas teóricas na implementação da <i>Health</i> 4.0.	Há potencial de aplicação da <i>Health</i> 4.0 em todos segmentos que prestam serviço na saúde.	A aplicação da <i>Health</i> 4.0 tende a ser mais intensa nos fluxos de informação hospitalares.
RODRIGUES, P. I. P.	2022	Identificar os conceitos chave na base da revolução na área da saúde pela <i>Health</i> 4.0. Evidências empíricas nas cadeias de valor digitais.	Tratamento e apoio remoto ao paciente de alzheimer em estágio inicial que não abdica de sua vida normal.	Morosidade e complexidade no processo de implementação de um projeto inédito.
COSTA, R. A. V.	2022	Solução tecnológica da Indústria 4.0 para disciplinar o cumprimento dos protocolos de higienização das mãos.	O projeto mostrou-se eficaz para redução dos índices de Infecção Hospitalar.	Dificuldades: de verba e na coleta de amostras para concluir o projeto e implementar a solução.
Turati, R. C; Pinto, D. P.	2022	Redução da superprodução na higienização de leitos.	A redução de desperdícios agilizaram a liberação de leitos.	Harmonia entre as equipes de higienização e da saúde.

Fonte: Referencial Teórico - Elaborado pelos Autores.

2.1 A saúde na era digital com a *Health* 4.0

A exemplo do aumento da população idosa, as mudanças demográficas e socioeconômicas mundiais impactam significativamente na prestação da assistência à saúde. Ao mesmo tempo que os custos hospitalares apresentam contínuo crescimento, aproximadamente 10% do PIB na Europa e 18% nos EUA impactam na redução da disponibilidade de leitos, isto torna o leito hospitalar cada vez mais valioso. É urgente a evolução na gestão para usufruir de maneira adequada dos avanços da tecnologia aplicada às máquinas e equipamentos, caso contrário, nos próximos 20 anos a acessibilidade a saúde será progressivamente dificultada (Thuemmler; Bai, 2017; Dos Santos; De Azambuja, 2022).

A tecnologia avança apresentando tendências em plataformas virtuais integradas com o mundo real, automatizando tarefas e processos, promovendo o

cuidado gerenciado e integrado. As conexões 4G e 5G evoluem possibilitando a comunicação máquina a máquina (M2M), a integração entre equipamentos e aplicativos *mobile* melhoram a conectividade e permitem a coleta de dados em tempo real entre o mundo virtual e o físico (Thuemmler; Bai, 2017). A implantação dos princípios da indústria 4.0 no setor de saúde pode ser um fator facilitador do cuidado e na redução dos custos operacionais. Inicialmente há necessidade de investimento, no entanto, há um cenário positivo de sua viabilidade apontando benefícios no longo prazo (Thuemmler; Bai, 2017; Yang, Geng *et al.* 2020).

Princípios fundamentam o sucesso da digitalização. Em um ambiente da internet das coisas (*Internet of Things* – IoT) o Sistema Ciber-físico (CPS – *Cyber Physical System*), monitora processos físicos, cria uma cópia virtual do ambiente e toma decisões descentralizadas em cooperação com os humanos em tempo real (Hermann, 2015). Hermann (2015) e Carvalho *et al.* (2018) classificam em seis os princípios da Indústria/Health 4.0: i) Interoperabilidade; ii) Virtualização; iii) Descentralização; iv) Capacidade em tempo real; v) Orientação para serviços e vi) Modularidade.

2.1.1 Interoperabilidade

Trata-se da integração dos sistemas Ciber-físicos com a Internet das Coisas. Existem três tipos de integração na indústria 4.0: I) a integração horizontal nas redes de valor, II) a integração fim-a-fim na cadeia de produto ou serviço, e III) a integração vertical que envolve o sistema de manufatura (QIN *et al.*, 2016).

Para a Commission (2015), há melhora significativa na capacidade das organizações de saúde e de seus profissionais ao trabalharem de forma integrada, alinhados com os interesses de seus pacientes. Isso é possível por meio do compartilhamento do conhecimento e de informações no processo de assistência, como resultado há a contínua melhora na qualidade do cuidado (Priori; Saurin, 2020). Commission (2015) relaciona os benefícios da interoperabilidade: a) Aumento da flexibilidade a partir da combinação de dados; b) Melhora na relação custo-benefício, permitindo a reutilização de recursos existentes; c) Cria sistemas virtualmente integrados; d) Facilita a criação de novas capacidades.

Aos profissionais de saúde, a interoperabilidade permite coordenação robusta aumentando a segurança no cuidado, assegura informações atualizadas de fácil

acesso, bem como gera diretrizes clínicas baseadas em evidências de apoio à tomada de decisão. Aos pacientes, a interoperabilidade oferece mais segurança nos tratamentos recebidos, o histórico do cuidado estará integrado e disponível. O histórico do cuidado integrado permite a redução de custos das instituições de saúde ao evitar a execução de exames laboratoriais e de imagem duplicados (Commission, 2019). Segundo Commission (2012), a falta de interoperabilidade é uma das principais barreiras à implementação em larga escala do plano de ação da e-Saúde (*Electronic Health - eHealth*) na Europa.

2.1.2 Virtualização

São modelos com base na criação de uma cópia virtual do mundo físico utilizada para o monitoramento em tempo real do ambiente, a partir da comunicação máquina a máquina (M₂M). Esses modelos são baseados em simulação e alimentados com dados de sensores atrelados a dispositivos (Kamble *et al.*, 2018). A virtualização pode personalizar o cuidado de pacientes e de profissionais em tempo real ao possibilitar análise e tomada de decisão instantâneas (Thuemmler; Bai, 2017). Atualmente pacientes são monitorados por sistemas Ciber-físicos, a exemplo do monitoramento anestésico de cirurgias em um sistema fechado. O desafio é a virtualização contínua e autônoma, conduzida pela aplicação de sensores para criar um CPS, tendo como objetivo melhorar a cadeia de valor integralmente e alimentar o histórico hospitalar (Collins; Varmus, 2015; Tortorella; Luz *et al.*, 2020).

2.1.3 Descentralização

É definida como a capacidade das empresas, pessoas e das máquinas tomarem decisões de forma autônoma, ao invés de depender de um processo centralizado. Isso favorece a decisão rápida e flexível, principalmente em serviços e produtos personalizados (Kamble *et al.*, 2018). As decisões descentralizadas baseiam-se em interconexões entre objetos e pessoas, gerando informações locais e globais que combinadas auxiliam na melhor tomada de decisão (Hermann *et al.*, 2016).

A descentralização no cuidado de saúde na Europa está em andamento desde o final do século XX. Há muitos anos, o número de leitos hospitalares está em declínio em praticamente todo o continente Europeu e nos países da Organização

para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE). Segundo Statistics (2016), esta tendência é vista como desafiadora, pois não parece oferecer crédito suficiente a evolução demográfica na maioria dos países. Por outro lado, mais pacientes são tratados em clínicas dia, em suas casas e remotamente pela Internet.

O *mobile healthcare* é uma forma de apoiar a decisão descentralizada, aumentar a segurança e a eficiência clínica (Thuemmler; BAI, 2017). Muitos dispositivos e aplicativos *mobile* são vendidos para medir a forma física e o bem-estar, como *fit-bits*, *smart-watches* e outros. Questões de governança e de responsabilidade não estão resolvidas, há preocupação quanto à precisão e adequação desses dispositivos já que poucos deles foram submetidos a testes rigorosos que garantam sua precisão. Em um estudo da Forbes, Elias (2015) relata que os usuários tendem a confiar mais em aplicativos de saúde do que em seus médicos.

2.1.4 Capacidade em tempo real

As tecnologias de *big data* aumentaram a capacidade de processamento em tempo real. Os dados coletados de diversas fontes como máquinas, equipamentos, pessoas são analisados em tempo real fornecendo agilidade e maior assertividade nas tomadas de decisão (Kamble *et al.*, 2018; Kumari, A. *et al.*, 2018;).

O fluxo dos processos assistenciais em um hospital é melhorado a partir da gestão de dados em tempo real pelo reconhecimento de dados distintos, permite por exemplo a Medicina Individualizada ou Medicina de Precisão. Outro fator importante é a aproximação entre a terapia e o diagnóstico, resultados de exames e diagnósticos em tempo real ou o mais próximo disso, torna possível a medicina personalizada, produtos farmacêuticos inteligentes e o gerenciamento eficiente da cadeia de suprimentos (Jeelani *et al.*, 2014; Regis, 2018; Silva *et al.*, 2020).

2.1.5 Orientação para serviços

A tecnologia viabiliza a integração e a conexão entre entidades de um sistema facilitando a criação do conceito “produto-serviço”, orientando processos e também fornecendo serviços. Esta orientação faz com que as empresas respondam às mudanças de forma mais rápida e flexível. A integração desses serviços entre as

várias partes interessadas permite a co-criação de valor ao cliente (Kamble *et al.*, 2018).

A indústria farmacêutica já iniciou sua mudança, migrando de fornecedora de medicamentos para prestadora de serviço na coleta de dados por sensores em produtos e equipamentos farmacêuticos inteligentes, objetivando diminuir situações graves, reduzir o tempo de enfermidade, de internação hospitalar e aumentar a qualidade de vida (Silva *et al.*, 2020; Costa; Galo, 2022). Na melhoria do cuidado, pacientes utilizam interfaces de serviços em diferentes modelos de rede e níveis de segurança de seus protocolos apoiadas em plataformas de *cloud Computing* (Zhang, Jie; Xue, Nian; Huang, Xin., 2017; Uddin *et al.*,2018). Neste cenário, as organizações farmacêuticas podem não só fornecer a medicação, mas também gerenciar o tratamento das doenças (Thuemmler; Bal, 2017; Stocher *et al.*, 2019).

2.1.6 Modularização

Sistemas modulares podem ser adaptados de maneira flexível a mudanças de requisitos na realização de produto ou serviço. Módulos são elementos individuais de produto ou serviço interconectados e intercambiados de forma a se ajustarem a requisitos de desempenho, capacidade e ou necessidade específica do cliente (Kamble *et al.*, 2018).

A aplicação de regras que refletem normas e padrões, juntamente com módulos de software tem provado ser uma maneira eficaz de criar códigos mais rápido e estabelecer novas funcionalidades em blocos de construção predefinidos. No futuro, módulos e algoritmos de software serão oferecidos por fornecedores como Google e IBM Watson e serão prontamente implantados como software para dados em hospitais ou instalações de saúde (Thuemmler *et al.*, 2013).

A modularidade na saúde consiste em módulos de serviços flexíveis e compatíveis a provedores e usuários, componentes de softwares modulares permitem diferentes combinações criando funcionalidades. O cuidado de idosos pode ser um exemplo de modularização quando vários tipos de serviço são executados por mais de um provedor em pacotes personalizados (Vähätalo; Kallio, 2015).

2.2 Componentes e tecnologias habilitadoras da Indústria/Health 4.0

Hermann (2015) e Thuemmler e Bai (2017) descrevem os principais componentes da Indústria/Health 4.0 como *Cyber Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT), *Internet of Services* (IoS) e *Smart Factories*.

Para Lee (2008), os CPS são integrações entre computadores e processos físicos de forma a monitorar o mundo físico em ciclos de feedback de dados entre os dois ambientes. Thuemmler e Bai (2017), consideram que o CPS pode ser representado no ambiente da saúde por meio de redes de sensores atrelados a dispositivos, a exemplo de *smartphones* que integram dados em plataformas inteligentes para gerenciamento de enfermidades. Na *Health 4.0* a *Internet of Things* e a *Internet of Services* tem como objetivo virtualizar os processos físicos e traduzi-los em serviços, ou seja, prestar serviços de cuidado em saúde a partir de dispositivos inteligentes.

As *Smart Factories* podem ser relacionadas ao ambiente da saúde a partir do conceito que elas devem auxiliar pessoas e máquinas na execução de suas tarefas. Sistemas de blocos são exemplos de recursos tecnológicos em prol da integração de dados para facilitar os protocolos da saúde (JIANG *et al.*, 2018). O Sistema de Informação Hospitalar (*Hospital Information System* - HIS) e demais *softwares* servem de apoio necessário aos profissionais da saúde para promoverem a sustentação de dados e informações em tempo real, facilitando os fluxos de trabalho na medicina de precisão (Thuemmler; BAI, 2017). Kamble *et al.* (2018), identificaram as tecnologias emergentes da indústria 4.0 como *internet of things*, *big data*, *cloud Computing*, *Simulation* e *Prototype*, *3D Printing*, *Augmented reality*, *Robotic systems* e *cyber security*.

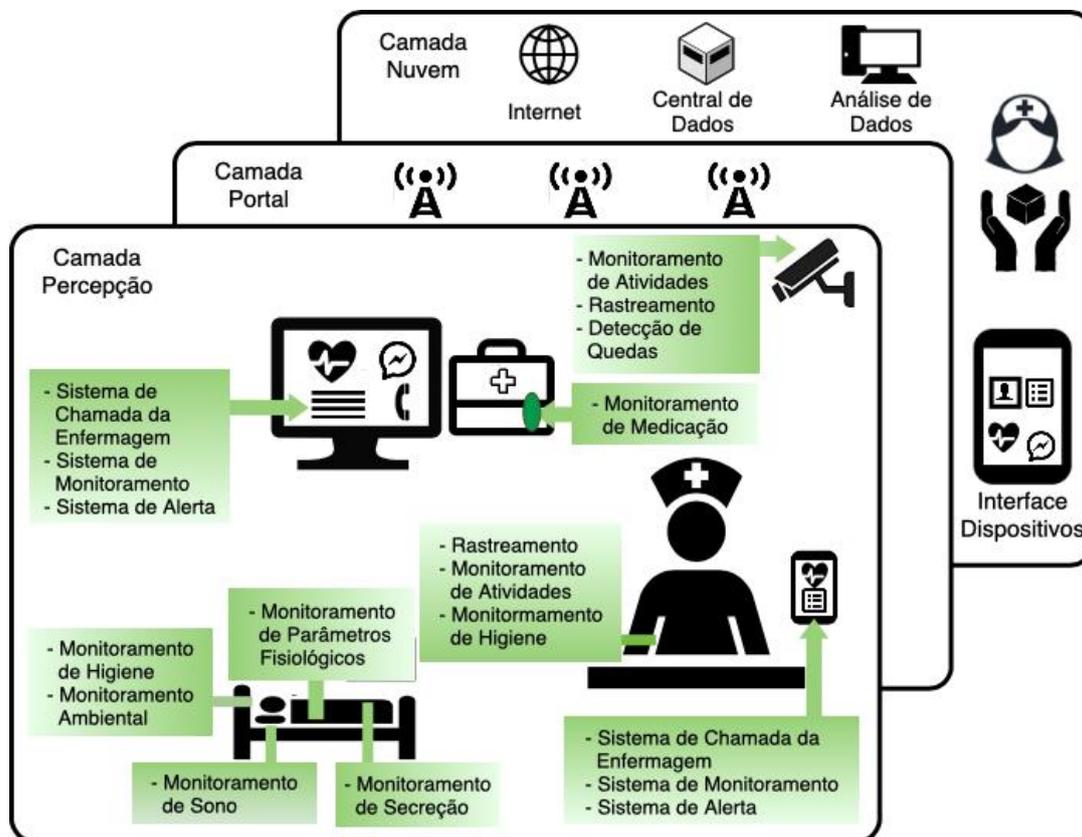
O presente artigo explora o ambiente de saúde sob a ótica das seguintes tecnologias: *internet of things*, *big data* e a *cloud computing*. Tendo em vista o impacto da migração da gestão de prontuários físicos para digitais em um ambiente do cuidado. Neste contexto é explorado o processo de digitalização da documentação da unidade hospitalar estudada.

2.2.1 Internet of Things (IoT)

A IoT permite a comunicação entre objetos e dispositivos inteligentes, conectando servidores para fornecer serviços de coleta, troca e combinação de

dados. No ambiente da saúde, a IoT se ocupa do rastreamento de objetos e pessoas, identifica e autentica informações de pessoas por detecção e coleta automática de dados (Atzori *et al.*, 2010).

Figura 2 - Soluções da IoT no ambiente hospitalar



Fonte: Elaborada pelos Autores – Adaptada de Mieronkoski *et al.* (2017).

A Figura 2 resume as possibilidades de aplicação da IoT no ambiente do cuidado da saúde. A Figura inicia ilustrando a camada na nuvem (*Cloud Layer*), os recursos da *Internet* gerenciada por um *Data Center* identificam a interface com os dispositivos (*Interface Devices*). Em sequência, a conexão se localiza na camada do portal de acesso (*Gateway Layer*), permite a identificação das funções de monitoramento do paciente na camada onde se percebe as conexões (*Perception Layer*) e os diversos modos de interação dos profissionais, os recursos disponíveis em cada estágio do fluxo do paciente. Todos os elementos do sistema são conectados pelos dispositivos no processo de realização do cuidado pelo monitoramento por sinais visuais, auditivos e nos controles autônomos disponibilizados pela integração entre todos os dispositivos.

O rastreamento e o monitoramento de pacientes, funcionários, materiais e o fluxo no ambiente, identifica o cenário em tempo real proporcionando a facilidade na tomada de decisão. A identificação e a autenticação no prontuário clínico eletrônico envolvem a validação da informação do paciente na administração de medicamentos: dosagem, horário e a correção no procedimento. Esses dados alimentam o prontuário clínico eletrônico, asseguram a rastreabilidade, o histórico e eliminam erros no cuidado (Priori; Saurin, 2019). A coleta e a transferência de dados de forma automática aumentam a agilidade e segurança no processamento de prontuários e automatiza os processos. O gerenciamento automatizado dos atendimentos, audita automaticamente os procedimentos (Atzori *et al.*, 2010).

A IoT ainda está em estágios iniciais na aplicação em saúde básica, mas pode beneficiar muito a enfermagem pela automação do monitoramento do paciente e do ambiente hospitalar. A coleta e o gerenciamento dos dados podem promover a qualidade do cuidado e a segurança do paciente, no entanto, ainda não há evidências de sua eficácia na literatura (Mieronkoski *et al.*, 2017).

2.2.2 Big Data

A coleta, integração, análise, interpretação de dados e informações pertinentes ao negócio em conjunto com seus processos, pode ajudar os gestores na tomada de decisão de forma mais precisa a partir da compreensão de comportamentos e tendências. Esses conceitos ainda estão em estágio inicial na área da saúde, apesar deste cenário, há um grande potencial de aplicação na assistência médica (Wang *et al.*, 2018).

Wang *et al.* (2018) revisou 26 casos de implantação de *big data* na área da saúde e categorizou 5 formas de análise: capacidade analítica para padrões de cuidado, capacidade analítica de dados não estruturados, capacidade de suporte à decisão, capacidade preditiva e capacidade de rastreabilidade.

Chiavegatto Filho (2015) declara que apesar de estar em estágio inicial, o uso de *big data* no Brasil apresenta três campos promissores na área da saúde, a saber: a medicina de precisão, os prontuários eletrônicos do paciente e a internet das coisas. Para tornar a medicina de precisão realidade, se faz necessário aumentar as amostras em estudos multicêntricos, conectados aos dados públicos existentes.

E para a medicina de precisão funcionar é necessário digitalizar todos os dados de pacientes nos serviços de saúde.

O uso integrado do prontuário eletrônico do paciente (PEP) é um investimento importante para a eliminação de erros, perda de tempo em cadastros repetidos e incompletos por desnecessária duplicação e históricos divergentes que afetam negativamente o serviço. O acesso remoto dos dados e informações sobre o histórico do paciente assegura a rastreabilidade dos eventos clínicos. A internet das coisas atende a necessidade de interoperabilidade de dispositivos conectados entre si (inteligência artificial – máquinas que aprendem) pela internet, tomando decisões em cooperação com humanos em tempo real (Chiavegatto Filho, 2015).

2.2.3 Computação em Nuvem

De acordo com Elhoseny *et al.* (2018) a computação em nuvem fornece o processamento, o armazenamento, os aplicativos e a rede necessários para suportar aplicativos de *big data*. A popularidade da *big data* lidera uma nova tendência como a análise de dados na indústria 4.0 que é usada em muitas aplicações de gerenciamento de big data. Sensores e microchips dão suporte a dispositivos de inteligência artificial. A computação em nuvem possui várias vantagens em serviços de mídia que oportuniza maior escalabilidade e entregas online de serviços de *software* e *hardware*, o que permite que as organizações de saúde avancem na prestação do cuidado (Sultan, 2014).

Em ambientes complexos como os da saúde (Priori; Saurin, 2019; Turati; Pinto, 2022), o processamento paralelo é a solução mais adequada para reduzir o tempo de execução das solicitações recebidas e maximizar a utilização dos recursos. A IoT é usada atualmente para coletar grande massa de dados de pacientes de forma eficiente e sem erros. Algoritmos são usados para implementar propostas *big data* integradas em nuvem na IoT para apoiar o cuidado. Os algoritmos propostos tentam encontrar a seleção ótima de máquinas virtuais para reduzir o tempo de execução de tarefas das partes interessadas e maximizar a utilização dos recursos (Zhang, Jie; Xue, Nian; Huang, Xin., 2017; Elhoseny *et al.*, 2018).

2.2.4 Digitalização dos documentos e processos

Os registros de saúde eletrônicos elevam a qualidade e reduzem os custos em um hospital, melhoram a comunicação entre as equipes, auxiliam na decisão e promovem redução de erros nos processos (Yang; Geng *et al.* 2020). No Brasil, os estudos ainda são primários, apresentando poucos resultados. A automação dos hospitais é imperativa e a evolução no conceito de hospital sem papel é um recurso importante para a sobrevivência destas instituições. Apenas 49% dos hospitais brasileiros fazem uso das tecnologias da informação e comunicação (TICs) em diagnósticos e somente 40% usam os sistemas para prescrição de medicamentos (Salomi; Maciel, 2016).

Para iniciar a automação de hospitais é necessário analisar os processos e realizar mudanças para que haja melhorias na instituição antes de implementar a tecnologia, importante evitar agregar recursos tecnológicos a um processo existente com problemas básicos (Priori; Saurin, 2019). Para obter um bom nível de integração no momento da implantação de tecnologias é necessário atentar ao compromisso e envolvimento de todas as partes interessadas, engajamento da alta direção e políticas fortes para suportar a implantação de mudanças nos processos. Uma criteriosa avaliação dos cursos de ação é imprescindível, incentivos aos envolvidos, mudanças organizacionais em práticas clínicas, equipe multidisciplinares capacitadas para utilização das novas tecnologias (Salomi; Maciel, 2016; Sun *et al.* 2018; Rodrigues, 2022).

Salomi e Maciel (2016) relatam os ganhos obtidos com a aplicação da digitalização no ambiente hospitalar, destacam os ganhos de produtividade e de confiabilidade em processos de atendimento ao paciente. Como exemplos de estudo Salomi e Maciel (2016) citam dois, Caso *i*) hospital universitário *Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf*, primeiro hospital europeu que atingiu um estágio superior de maturidade na digitalização ao atingir uma estrutura praticamente livre de papel pela aplicação da interoperação e a integração de serviços. Com a consolidação do projeto em 2012 a instituição hospitalar passou a produzir diariamente 40 a 50GB de informação poupando 2,5 milhões de folhas de papel por ano. Caso *ii*) Hospital Marina Salud de Dénia, o segundo hospital europeu a alcançar o status sem papel e atingir o estágio 7 no *Healthcare Information and Management Systems Society* (HIMSS), marca a conclusão do projeto iniciado em 2007 confirmando que a

digitalização não só é possível como é essencial para o futuro do cuidado em saúde. Pela racionalização de fluxos, o hospital disponibilizou 8 mil horas médicas por ano para outras demandas de atendimento e reduziu o tempo de permanência de pacientes em 10%, um significativo ganho em ocupação de leitos.

3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada nesta pesquisa segue o processo de busca e de descrição do ambiente de estudo. A primeira fase da pesquisa, identificou o estado atual da ciência por meio da produção científica disponível nos bancos de dados Scopus e Google Scholar para elaborar a fundamentação teórica dos princípios e práticas na digitalização das operações de saúde. As buscas foram realizadas em documentos do tipo “artigo” em língua inglesa. A contribuição dos achados é a identificação dos conceitos e princípios da indústria 4.0 e da *Health 4.0* acerca do que se aplica atualmente na administração de organizações que atuam na gestão de serviços de saúde (Miguel; Fleury, 2018).

A segunda fase da pesquisa constituiu no desenvolvimento do estudo empírico que descreveu de forma sucinta os recursos implementados nas rotinas do ambiente de trabalho, na sequência do fluxo do cuidado ao paciente em um hospital da região sul do Brasil. O hospital foi selecionado devido a facilidade de acesso à informação devido ao interesse dos gestores na implementação dos conceitos da *Health 4.0*, presença de iniciativas consolidadas na organização e a disponibilidade dos funcionários para colaborar na execução da pesquisa (Priori; Saurin, 2019). Foram utilizados como instrumentos de coleta de dados, reuniões, documentos disponibilizados pelo hospital e a observação direta dos fluxos nos processos analisados (Regis, 2018). Segundo Hevner e Chatterjee (2010), neste cenário o pesquisador utiliza argumentos aplicados na literatura ou constrói cenários para demonstrar a utilidade dos objetos ou procedimentos referenciados.

Como terceira e última fase da pesquisa foram relacionados os conceitos, princípios e as tecnologias da indústria e da *Health 4.0* aplicadas às práticas, bem como os ganhos obtidos na organização hospitalar estudada. Para tanto, utilizou-se a classificação dos seis princípios da Indústria/*Health 4.0*: i) Interoperabilidade; ii) Virtualização; iii) Descentralização; iv) Capacidade em tempo real; v) Orientação para serviços e vi) Modularidade (Hermann, 2015; Carvalho *et al.*, 2018).

4 RESULTADOS

Segundo Leite, *et al.* (2021) a utilização do software Sistema de Informação Hospitalar (*Hospital Information System - HIS*) em hospitais privados no Brasil é realidade desde a década de 1990, a implantação do HIS a partir do mapeamento de fluxo de valor, análise de processos, incremento de tecnologias auxiliares e *hardwares* aumenta o ganho em integração, agilidade, comunicação, segurança e controle dos processos assistenciais. A organização em estudo é um complexo hospitalar privado localizado na região sul do Brasil. A organização possui 1600 funcionários, dois hospitais dia, 2 pronto-atendimento 24 horas, um hospital de baixa e média complexidade com cerca de 60 leitos, UTIs Adulto e Neonatal, bloco cirúrgico, além de serviços de diagnóstico, raio X, tomografia e ressonância magnética.

O projeto teve como foco avançar no uso das tecnologias atuais, visando otimizar o tempo das equipes nos processos administrativos e agregar valor no cuidado ao paciente.

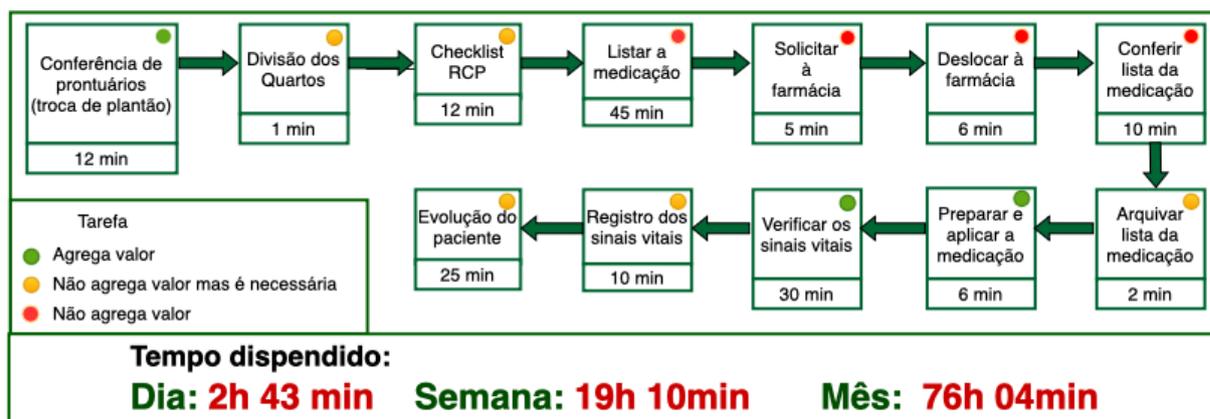
A unidade hospitalar iniciou a implantação do HIS em 2014 com o objetivo de digitalizar os processos do hospital. Durante o período de transição entre o processo físico e a implantação do digital, as equipes julgaram necessária a manutenção da impressão de todos os documentos que compunham o prontuário do paciente, checagem de administração de medicamentos, solicitação de materiais e de todas as atividades assistenciais executadas para assegurar os registros assinados no documento físico. Em 2017 iniciou-se a implantação da certificação digital em substituição de assinaturas em papel. Esta melhoria foi desenvolvida com objetivo de digitalizar e automatizar os processos assistenciais, beneficiando a experiência, a segurança dos pacientes e dos profissionais. A segurança do paciente é mantida ao eliminar duplicatas de prontuários pela adoção de um único prontuário eletrônico rastreável, eliminar erros em diagnósticos, bem como atender critérios de sustentabilidade ao reduzir documentos em papel, mão de obra e espaço físico de arquivamento, com a conseqüente economia de recursos financeiros.

O fluxo dos processos foi analisado objetivando torná-lo ágil por meio dos conceitos do *Lean Healthcare* (Regis, 2018; Cavalcante *et al.*, 2020; Turati; Pinto, 2022). O projeto foi iniciado com a identificação das necessidades e dos requisitos das partes interessadas realizando reuniões semanais com as áreas administrativas,

assistenciais e de faturamento. Em sequência, ocorreram visitas às unidades assistenciais e de apoio para a identificação do fluxo de trabalho, tempos das atividades, movimentos internos, trabalhos manuais e etapas de agregação de valor.

A Figura 3 ilustra o fluxo no mapeamento do estado atual, nele são vistos os respectivos tempos de atividade dos técnicos de enfermagem e define as etapas que agregam, as que não agregam, bem como as etapas que não agregam valor, mas são necessárias.

Figura 3 – Mapa do Fluxo de Valor (VSM) atual - IoT no ambiente hospitalar



Fonte: Elaborada pelos autores – dados da entidade hospitalar.

Com base na análise da situação atual e pelos requisitos necessários, foi definido o escopo do projeto de melhoria envolvendo as áreas de Tecnologia da Informação, Estratégia, Qualidade, Processos, Enfermagem, Farmácia, Higienização, Nutrição, Recepção e Gestão Médica. Na sequência ocorreu a análise do sistema informatizado para entender o que poderia ser atendido por meio da otimização do sistema já utilizado. Para implementar a retirada do prontuário em papel e orientar as equipes, foi necessário desenvolver painéis com os dados do paciente em tempo real disponíveis em *Smart TVs*. Esses painéis representaram elementos importantes para a otimização dos processos. A Figura 4 ilustra o estágio de implementação da gestão a vista das informações essenciais sobre o paciente. Resumindo as informações, destacam-se a identificação do leito, o paciente e o médico responsável, a classificação de risco, as anotações da enfermagem digitalizadas, exames de imagem e laboratoriais previstos e realizados, em

sequência de hora a hora, aparecem ilustrações do que deve ser administrado ao paciente e o status de controle clínico.

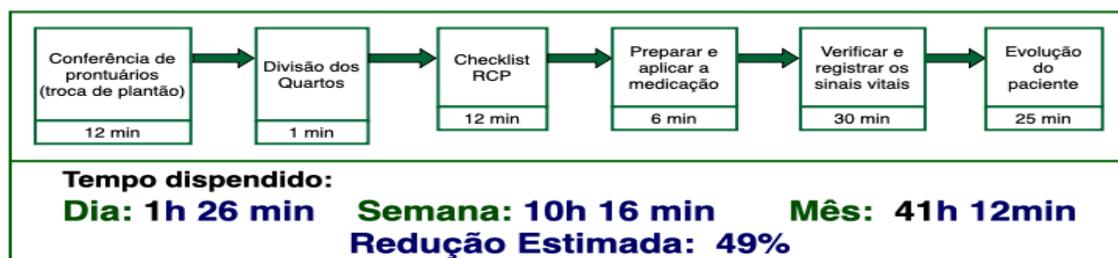
Figura 4 – Gestão a Vista - IoT - Painel eletrônico, dados de pacientes



Fonte: Elaborada pelos autores – dados da entidade hospitalar.

Neste estágio, oportunidades de melhoria foram identificadas e para reduzir as perdas ocasionadas pelas etapas que não agregam valor aos processos assistenciais, foram realizadas alterações no processo e o investimento em tecnologia. Para definir quais tecnologias seriam utilizadas neste projeto, foram estudadas diferentes alternativas com a realização de análises dos processos assistenciais, visitas de *benchmarking* e trocas de experiência com outros hospitais. Uma vez que o processo foi modificado foi idealizado o Fluxo de Valor futuro para o processo. A Figura 5 destaca o novo fluxo de valor, nele identifica-se redução significativa de atividades que não agregam valor.

Figura 5 – Mapa do Fluxo de Valor - Situação ideal



Fonte: Elaborado pelos autores – dados da entidade hospitalar.

Optou-se por uma solução que envolveu mudança de processos e o uso de tecnologias como *smartphones* com leitores infravermelho, *Smart TVs*, *notebooks* e uma forte cobertura *wi-fi* em toda a unidade hospitalar. Os processos alterados foram:

a) Acolhimento e recepção: o paciente recebe uma senha, que por meio dela é chamado para a triagem, onde o enfermeiro alimenta o sistema com informações básicas e avalia o paciente, preenche o resultado da avaliação no HIS e coloca uma pulseira com código de barras no braço do paciente. A área de Recepção conclui o cadastro com a criação do atendimento no sistema HIS e a partir desse momento o paciente possui um número de atendimento e os dados armazenados em um banco de dados que permite o acesso ao histórico de todos os registros de atendimentos passados, inclusive a exames anteriores realizados no hospital.

b) Atendimento médico: todos os atendimentos médicos, solicitações de exames, de condutas e prescrição de medicamentos é realizado pelo HIS e assinado eletronicamente a partir do certificado digital.

c) Dispensação de medicamentos: as prescrições médicas são recebidas digitalmente em tempo real na farmácia do hospital pelo HIS. As solicitações aparecem em um painel de *Smart TV* em ordem cronológica e pela prioridade de risco. *Smartphones* são utilizados pela equipe da farmácia como *Personal Digital Assistant* (PDA) dotados de leitor infravermelho para a realização da checagem da dispensação para o controle da equipe de enfermagem, em registro individual para cada paciente. A equipe de enfermagem também confirma o recebimento, realizando a leitura do código de barras do medicamento no momento da retirada na farmácia.

d) Administração de medicamentos: a equipe de enfermagem visualiza por meio do painel de pacientes em uma *Smart TV*, o horário e qual atividade deve ser realizada com o paciente, o profissional se desloca até o leito com um carro de medicação e o PDA. À beira do leito o profissional realiza a dupla checagem, lê o código de barras na pulseira do paciente e administra a medicação, a rastreabilidade e a segurança da administração do medicamento ao paciente é mantida. O sistema

emite um alerta caso não seja o medicamento, horário ou dose corretos administrados.

e) Realização de exames: os exames de raio X e ecografia já são visualizados por meio de um painel de *Smart TV*. O exame é realizado de forma digital e o laudo fica anexado ao prontuário no HIS logo após a sua realização.

f) Avaliação do paciente: os profissionais médicos, enfermeiros, nutricionistas e farmacêuticos realizam a avaliação do cuidado ao paciente à beira do leito com apoio de um notebook e leitor infravermelho. Toda a evolução é descrita no sistema durante o atendimento do paciente, agilizando o processo e mantendo a informação em tempo real disponíveis para os demais profissionais. A troca de leito ou alta do paciente são executadas a partir de um *smartphone*, para isso, o profissional executa a leitura da pulseira do paciente e de um QR Code instalado no leito, após esta etapa o aplicativo questiona se é movimentação ou alta, se for movimentação, o profissional realiza a leitura do código do novo leito para alocação do paciente, se é alta o profissional realiza a evolução de alta hospitalar.

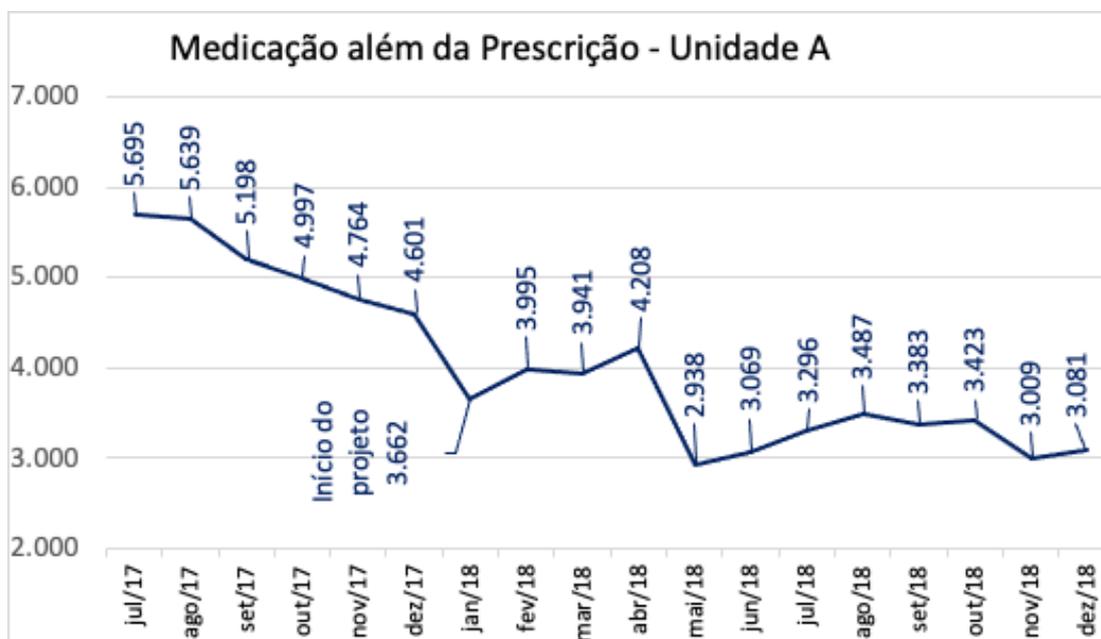
g) Gestão à vista: as unidades contam com monitores de *Smart TV* nos postos de atendimento, onde são visualizadas as etapas a serem realizadas pela equipe e as prioridades de cada atendimento. Dotados de atualização dinâmica a cada 40 segundos, as informações destes equipamentos guardam o histórico dos procedimentos no banco de dados e podem ser acessados em qualquer local na unidade. Os administradores contam com painéis de gestão à vista em suas salas, onde acompanham os indicadores e o andamento das unidades em tempo real. Os acompanhantes e familiares de pacientes cirúrgicos podem visualizar as etapas e a evolução clínica que do paciente durante o processo. Todos os dados ficam armazenados em servidores locais e na nuvem, redundantes e com *backups* diários.

h) Faturamento: foi desenvolvido um programa computacional para a consolidação das contas *online*, deste modo confere precisão e agilidade ao processo de faturamento. Os resultados desta melhoria foram observados imediatamente após sua implementação.

Desde o início do projeto em dezembro de 2017, vários indicadores já demonstraram melhoria nos resultados, principalmente nas áreas de Enfermagem, Farmácia e Faturamento. Os gráficos 1, 2 e 3 referentes aos pedidos de medicação adicionais (pedidos além da prescrição médica) apontam redução significativa

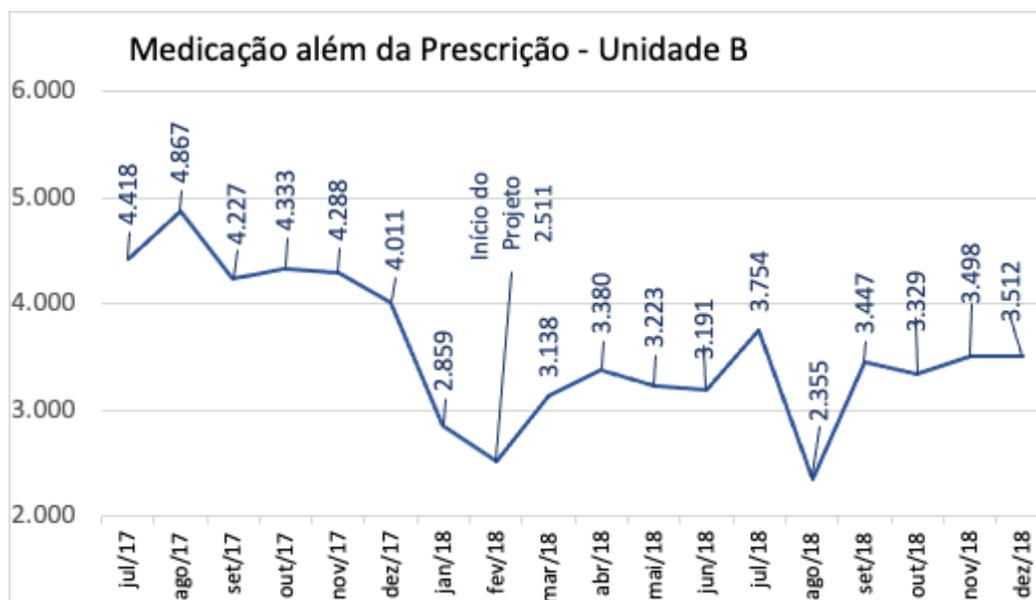
destes eventos nas unidades A e C e a unidade B destaca certa dificuldade na melhoria deste indicador.

Gráfico 1 -Medicação Adicional à Receita Prescrita



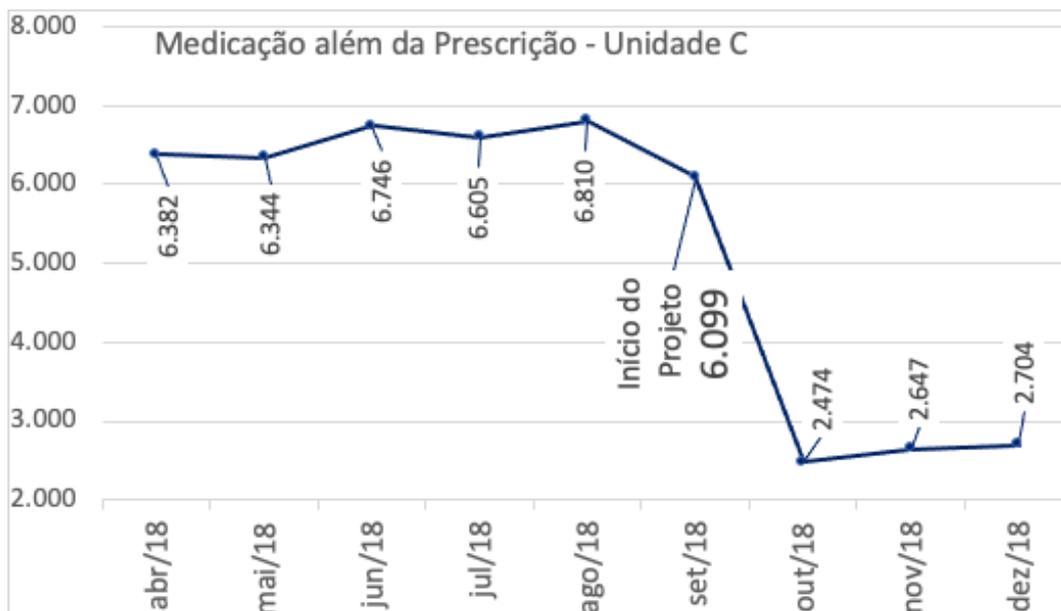
Fonte: Elaborado pelos autores – Dados da entidade hospitalar.

Gráfico 2 – Medicação Adicional à Receita Prescrita



Fonte: Elaborado pelos autores – Dados da entidade hospitalar.

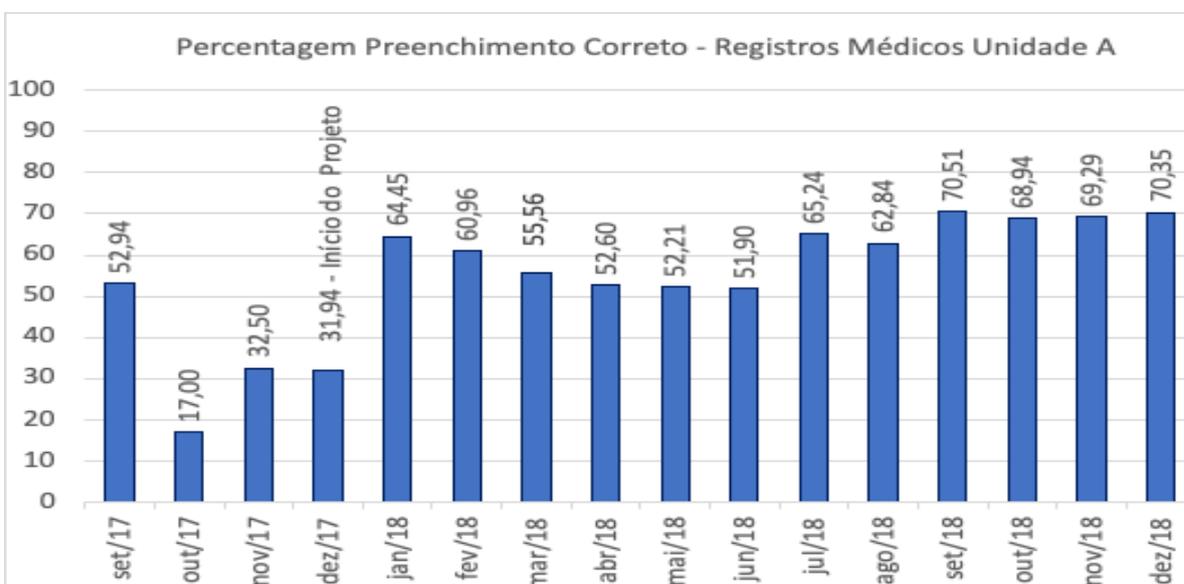
Gráfico 3 – Medicação Adicional à Receita



Fonte: Elaborado pelos autores – Dados da entidade hospitalar.

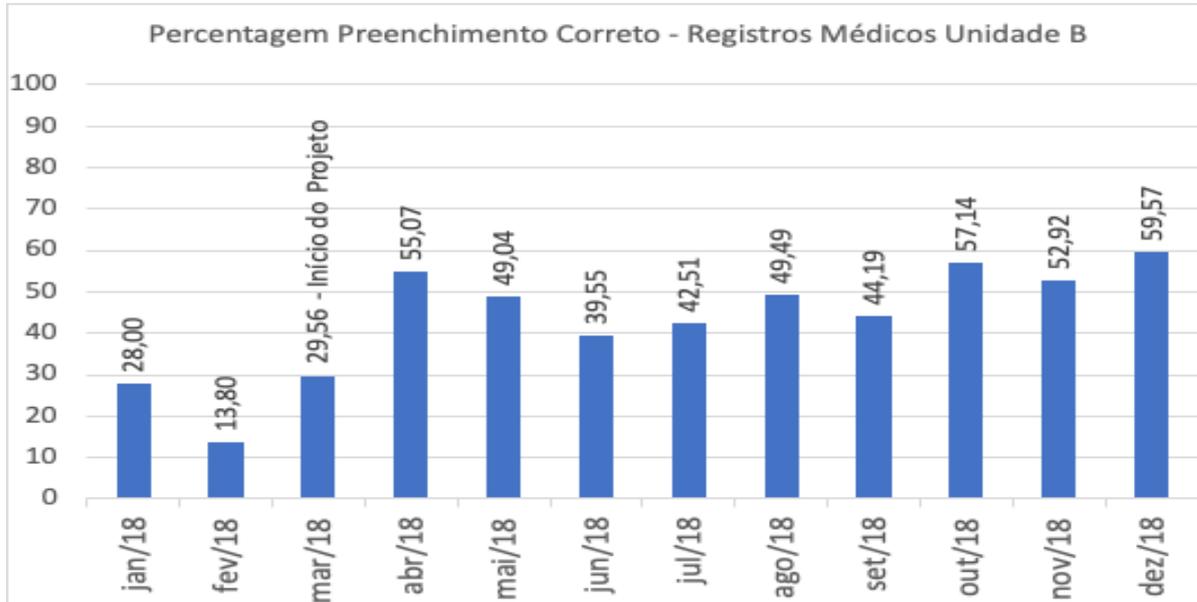
Houve uma melhora de produtividade com a redução do tempo de processo em 50% nas tarefas dos Técnicos de Enfermagem e 22% nas tarefas de dispensação de medicamentos na farmácia. Também foi possível a redução na movimentação do Técnico de Enfermagem em 7km. O percentual do correto preenchimento dos prontuários médicos praticamente dobrou nas unidades A e B conforme demonstrado nos Gráficos 4, 5. Em destaque no Gráfico 6, a unidade C apresentou dificuldade em melhorar este indicador, mantendo certo equilíbrio nos percentuais em relação ao início do projeto.

Gráfico 4 – Percentagem de Preenchimento Correto - Prontuários Médicos



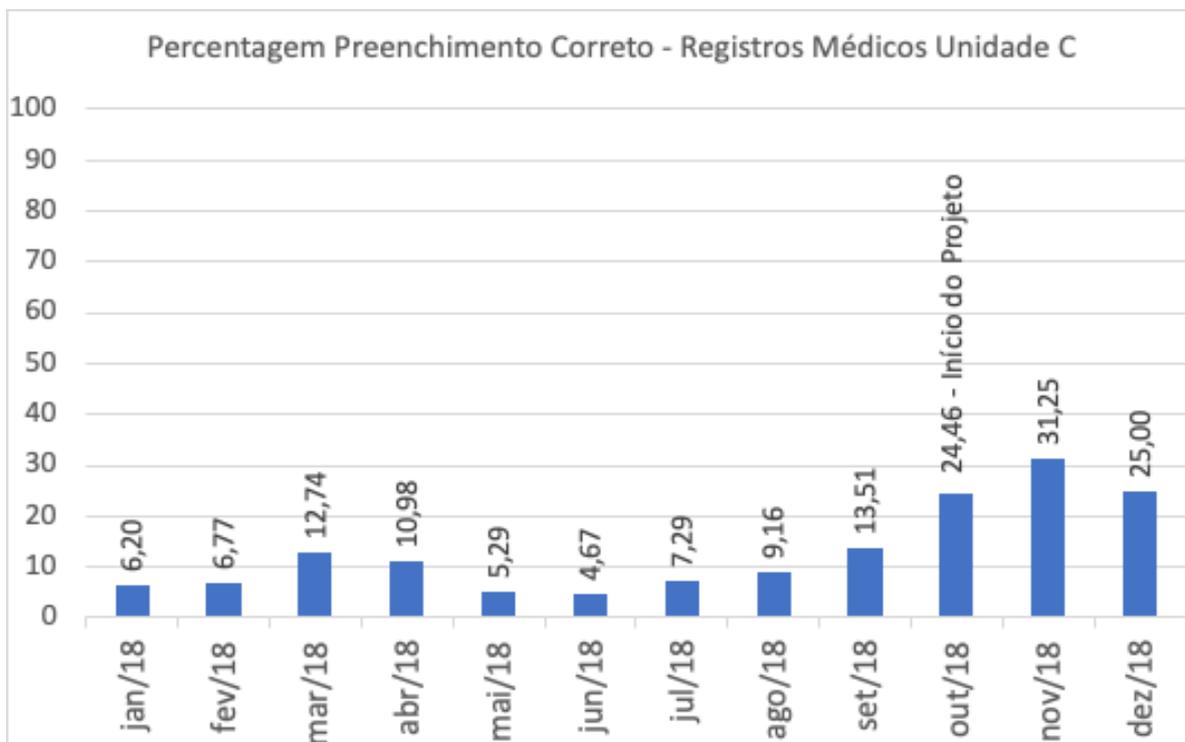
Fonte: Elaborado pelos autores – Dados da entidade hospitalar.

Gráfico 5 – Percentagem de Preenchimento Correto - Prontuários Médicos



Fonte: Elaborado pelos autores – Dados da entidade hospitalar

Gráfico 6 – Percentagem de Preenchimento Correto - Prontuários Médicos



Fonte: Elaborado pelos autores – Dados da entidade hospitalar.

Sendo um dos motivos iniciais do projeto, a impressão dos prontuários médicos teve uma redução de mais de 860.500 folhas de papel, significando uma redução anual de 41% no consumo de folhas de papel no formato A4. Outra melhoria significativa foi a redução na microfilmagem de documentos antes escaneados que passaram a ser armazenados diretamente no HIS em formato digital. Além destas melhorias, a automação dos processos assistenciais resultou na sensível melhora na segurança do paciente devido a rastreabilidade da medicação até a beira do leito. Houve ganho significativo no indicador de qualidade percebida no atendimento, visto que os profissionais dispõem de mais tempo para o atendimento ao paciente a beira do leito, acrescenta-se a melhora na comunicação entre as equipes com as informações centralizadas disponíveis no sistema e nos painéis de gestão a vista.

5 DISCUSSÃO

Ao analisar os conceitos, princípios e as tecnologias habilitadoras da indústria 4.0 e da *Health 4.0* é possível fazer uma relação com as práticas aplicadas no ambiente de estudo. No complexo hospitalar estudado observa-se o princípio de interoperabilidade a partir da integração dos sistemas Ciber-físicos. O paciente é identificado no HIS por uma pulseira com código de barras desde o início de sua jornada no hospital, todas as ações realizadas com os pacientes são registradas no HIS com o apoio de dispositivos que utilizam a IoT como *smartphones*, PDA, *Smart TVs*, *notebooks* com comunicação direta por meio de wi-fi com o HIS.

Há a integração dos dados numa conexão direta com todas as entradas e saídas do processo da cadeia de valor por meio da interoperabilidade. A interoperação assegura a rastreabilidade e segurança do paciente, assim como integra verticalmente os sistemas de gestão, permite o gerenciamento do tempo de lotação de pacientes em cada setor, intervalos de tempo e gargalos no atendimento a pacientes. Percebe-se, portanto, a presença do princípio de capacidade em tempo real quanto ao princípio de virtualização dos processos, entretanto, neste estágio, o sistema ainda não permite a criação de uma cópia virtual para a realização de simulações.

Esta integração com o sistema permite a coordenação do cuidado. O *software* utilizado identifica sinais vitais do paciente e outros direcionadores que sugerem a

utilização de protocolos que podem ser incorporados e aplicados pelo próprio HIS. Os dados do paciente são armazenados em servidores que permitem o acesso a informação em qualquer unidade da instituição, diretamente do consultório médico ou por meio de um aplicativo *mobile* evidenciando dessa forma, o princípio de descentralização.

A capacidade em tempo real a exemplo do acesso de forma digital aos exames de imagem *online*, facilita a tomada de decisão e a obtenção de um diagnóstico de forma mais ágil. A alta ou transferência do paciente a partir da leitura de um QR Code no leito, a evolução dos cuidados em um *notebook* ou PDA a beira do leito e a checagem no momento da administração da medicação ao paciente garantem a informação em tempo real, melhora a comunicação e reduz a movimentação das equipes.

A capacidade de armazenamento, rastreabilidade e histórico dos dados permite a análise de dados a partir do *Big Data*. Deste modo o perfil epidemiológico de cada unidade é definido, permitindo adequar a equipe assistencial conforme as patologias de maior prevalência. Neste sentido, pode-se desenvolver ações de medicina preventiva, criação de novos protocolos clínicos e de novos serviços para o negócio representando o princípio de orientação para serviços.

Todas essas melhorias no hospital foram possíveis a partir da implantação de um *software* HIS modular e integrado em cada unidade. O projeto de automação do hospital ainda está em andamento. Os módulos do sistema de higienização, nutrição, avaliação farmacêutica, controle de infecção entre outros estão em estágio de preparação para integração no sistema.

Para implantar o projeto, foi necessário primeiramente analisar os processos da cadeia de valor e os processos de apoio atuais para que fosse possível desenhar os processos ideais com a eliminação de desperdícios, conforme os princípios do *Lean healthcare* e na sequência a aptidão à aplicação de tecnologia. A digitalização dos prontuários, documentos e processos foi primordial para o conceito de “hospital sem papel” utilizado. No entanto, ao realizar o projeto de implantação da digitalização os gestores encontraram desafios, dentre eles, destaca-se o impacto cultural, principalmente entre médicos e enfermeiros em conflitos de relacionamento no processo de migração do ambiente físico para o digital. Para acalmar os ânimos e manter o projeto em curso, foram necessárias ações *top-down* por parte da

diretoria. Outro fator importante a ser considerado são os altos custos envolvidos no projeto, alguns difíceis de mensurar como o retorno do investimento diretamente, pois envolve o custo da não qualidade.

Ao conduzir um projeto desta complexidade é essencial uma equipe multidisciplinar que trabalhe de forma integrada, o corpo clínico e a equipe de tecnologia necessitam desenvolver soluções que atendam os objetivos esperados pela organização, sem impactar negativamente na qualidade do serviço e na segurança do paciente.

6 CONCLUSÃO

Os avanços tecnológicos transformaram os processos, as relações e a comunicação. Atualmente a comunicação de dados é facilitada por diversos meios, desde processadores de grande capacidade e de dispositivos de uso pessoal como computadores, celulares e *smartphones*. O CPS tem na IoT a concretização da comunicação entre máquinas e seres humanos de forma cooperativa, suportados pela possibilidade de gestão de grande massa de dados (*big data analytics*) e por computação em nuvem.

Em razão dos avanços tecnológicos, os serviços de saúde evoluem em grande escala, a exemplo da unidade hospitalar estudada. Nela, foram possíveis ganhos de capacidade de atendimento e de produtividade, maior confiabilidade nos dados pela digitalização de prontuários, interoperabilidade entre dispositivos, redução de erros na administração de medicamentos, eficiência no acompanhamento do fluxo do cuidado, maior satisfação dos pacientes e dos profissionais da saúde. O complexo hospitalar estudado está inserido em um processo de melhoria contínua na gestão organizacional, em razão disto, sugere-se novas pesquisas na organização para oportunizar o estudo e registro do processo evolutivo na operação e no seu modelo de gestão.

A contribuição prática desta pesquisa consiste em mostrar a aplicação da automação dos processos assistenciais e a redução das etapas que não agregam valor envolvendo várias áreas da unidade hospitalar estudada. As melhorias relatadas neste artigo correspondem a primeira fase do projeto desta unidade hospitalar, onde o foco esteve nas áreas de Enfermagem, Farmácia e Faturamento. Portanto, deve-se dar continuidade ao projeto nas demais áreas e processos não

cobertos neste estudo. Tão importante quanto os resultados financeiros obtidos com o projeto é a satisfação dos colaboradores e dos pacientes, isto tornou a rotina de trabalho mais fácil e produtiva, conferindo aos profissionais mais tempo dedicado aos pacientes.

Em estudos futuros sugere-se a identificação de um *framework* de implantação dos princípios da *Health 4.0* em um complexo hospitalar privado. Recomenda-se também pesquisas nos serviços de saúde envolvendo a utilização da virtualização como recurso de simulação e tomada de decisão em melhoria de processos operacionais e na alocação de recursos. Estudos para detalhar e explorar as dificuldades, barreiras e oportunidades na utilização dos princípios da *Health 4.0* nos diferentes tipos de instituição de saúde, trariam conhecimento e expertise aos gestores e à comunidade acadêmica. Como limitação, optou-se por utilizar a classificação dos seis princípios da Indústria/*Health 4.0*: i) Interoperabilidade; ii) Virtualização; iii) Descentralização; iv) Capacidade em tempo real; v) Orientação para serviços e vi) Modularidade. Além disso, foi considerado o estudo de apenas um complexo hospitalar privado brasileiro, não sendo possível generalizar os achados a hospitais públicos brasileiros que apresentem uma realidade idêntica a este estudo. Dentre as oportunidades de estudo, também é relevante avaliar o retorno sobre o investimento em projetos de digitalização em saúde, considerando o investimento versus o custo da não qualidade.

REFERÊNCIAS

ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The internet of things: A survey. **Computer networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.

CARVALHO, N.; CHAIM, O.; CAZARINI, E.; GEROLAMO, M. Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in sustainable manufacturing. **Procedia Manufacturing**, v. 21, p. 671–678, 2018.

CAVALCANTE, N. G. L.; GOHR, C. F.; MORIOKA, S. N.; SANTOS, L. C. Implementação da produção enxuta em saúde: uma revisão sistemática de redes. **Revista Produção Online**, v. 20, n. 1, p. 172-201, 2020.

CHIAVEGATTO FILHO, A. D. P. Uso de big data em saúde no brasil: perspectivas para um futuro próximo. **Epidemiologia e Serviços de Saúde**, v. 24, p. 325–332, 2015.

COLLINS, F. S.; VARMUS, H. A new initiative on precision medicine. **New England Journal of Medicine**, v. 372, n. 9, p. 793–795, 2015.

COSTA, R. A. V. **Aplicação de conceitos da indústria 4.0 em serviços hospitalares**: um estudo de caso no ambiente hospitalar. 2022.

COSTA, V. C. A.; GALO, N. R. Logística reversa de medicamentos na cidade de Goiânia: um estudo sobre o descarte de resíduos farmacêuticos. **Revista Produção Online**, v. 22, n. 2, p. 2859-2885, 2022.

DALENOGARE, L. S.; BENITEZ, G. B.; AYALA, N. F.; FRANK, A. G. The expected contribution of industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, 2018.

Santos, J. L. A.; AZAMBUJA, M. S. Manutenção preventiva em ambientes hospitalares. **Revista Produção Online**, v. 22, n. 1, p. 2594-2615, 2022.

ELHOSENY, M.; ABDELAZIZ, A.; SALAMA, A. S.; RIAD, A. M.; MUHAMMAD, K.; SANGAIAH, A. K. A hybrid model of internet of things and cloud computing to manage big data in health services applications. **Future generation computer systems**, v. 86, p. 1383–1394, 2018.

ELIAS, J. **In 2016, users will trust health apps more than their doctors**. 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **Ehealth action plan 2012-2020** - innovative healthcare for the 21st century. 2012.

EUROPEAN COMMISSION. **Ehealth network**: Refined ehealth european interoperability framework. 2015.

EUROPEAN COMMISSION. **Interoperability standardization**: connecting ehealth services. 2019.

HEIDERSCHEIDT, F. G.; FORCELLINI, F. A.; NETO, R. A. Proposta de melhoria em um pronto atendimento integrando a abordagem lean e a dinâmica de sistemas. **Revista Produção Online**, v. 19, n. 4, p. 1231-1261, 2019.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. *In: Hawaii International Conference*, 49., 2016, p. 3928–3937, 2016.

HERMANN, M. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review Working Paper. **A Literature Review**, 2015.

HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. **Design research in information systems**: theory and practice, v. 22. Springer Science & Business Media, 2010.

JEELANI, S.; REDDY, R. C. J.; MAHESWARAN, T.; ASOKAN, G. S.; DANY, A.; ANAND, B. Theragnostic: A treasured tailor for tomorrow. **Journal of pharmacy & bio allied sciences**, 6(Suppl 1):S6, 2014.

JIANG, Shan *et al.* Blochie: a blockchain-based platform for healthcare information exchange. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART COMPUTING (SMARTCOMP)*, IEEE, 2018, p. 49-56.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; GAWANKAR, S. A. Sustainable industry4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408–425, 2018.

KUMARI, Aparna *et al.* Fog computing for Healthcare 4.0 environment: Opportunities and challenges. **Computers & Electrical Engineering**, v. 72, p. 1-13, 2018.

LASI, H.; FETTKE, P.; KEMPER, H.; FELD, T.; HOFFMANN, M. Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239–242, 2014.

LEE, E. A. Cyber physical systems: Design challenges. *In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OBJECT AND COMPONENT ORIENTED REAL TIME DISTRIBUTED COMPUTING (ISORC)*, 11., p. 363–369. IEEE, 2008.

LEITE, SAMUEL HENRIQUE FRANÇA; TAVARES, DALTON MATSUO; BACHEGA, STELLA JACYSZYN. Utilização de um health information system (HIS) para criação de base de dados. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 1, p. 2794-2815, 2021.

MIERONKOSKI, R.; AZIMI, I.; RAHMANI, A. M.; AANTAA, R.; TERÄVÄ, V.; LILJEBERG, P.; SALANTERÄ, S. The internet of things for basic nursing care a scoping review. **International journal of nursing studies**, v. 69, p. 78–90, 2017.

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A. C. C. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Elsevier, 2018.

MONOSTORI, L.; KÁDÁR, B.; BAUERNHANSL, T.; KONDOH, S.; KUMARA, S.; REINHART, G.; SAUER, O.; SCHUH, G.; SIHN, W.; UEDA, K. Cyber-physical systems in manufacturing. **CIRP Annals**, v. 65, n. 2, p. 621–641, 2016.

OECD Statistics. **Health care resources: Hospital beds**. 2016.

Patwardhan, A.; Patwardhan, D. Business process re-engineering saviour or just another fad? One uk health care perspective. *In: INTERNATIONAL JOURNAL OF HEALTH CARE QUALITY ASSURANCE*, v. 21, n. 3, p. 289-296, 2008.

POSADA, J.; TORO, C.; BARANDIARAN, I.; OYARZUN, D.; STRICKER, D.; AMICIS, R.; PINTO, E. B.; EISERT, P.; DÖLLNER, J.; VALLARINO, I. Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. *In: IEEE COMPUTER GRAPHICS AND APPLICATIONS*, v. 35, n. 2, p. 26–40, 2015.

PRIORI, F. R.; SAURIN, T. A. Aplicação do fram para solução de problemas em sistemas sócio-técnicos complexos: estudo de caso em uma unidade hospitalar. **Revista Produção Online**, v. 19, n. 1, p. 102-128, 2019.

PRIORI, F. R.; SAURIN, T. A. Solução de problemas em uma emergência hospitalar: avaliação dos métodos A3 e análise de causa raiz. **Revista Produção Online**, v. 20, n. 1, p. 63-94, 2020.

QIN, J.; LIU, Y.; GROSVENOR, R. A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. **Procedia Cirp**, v. 52, n. 173-178, 2016.

REGIS, T. K. O. Implementação da produção enxuta em operações hospitalares: caso do Instituto Oncológico Doutor Arnaldo Vieira de Carvalho. **Revista Produção Online**, v. 18, n. 2, p. 593-619, 2018.

RODRIGUES, Patrícia Isabel Pinto. **A transformação digital no desempenho das organizações do setor da saúde**. 2022.

SALOMI, M. J. A.; MACIEL, R. F. Gestão de documentos e automação de processos em uma instituição de saúde sem papel. **Journal of Health Informatics**, v. 8, n. 1, 2016.

SANDERS, A.; ELANGESWARAN, C.; WULFSBERG, J. Industry 4.0 implies lean manufacturing: research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 3, p. 811–833, 2016.

SILVA, F.; RESENDE, D.; AMORIM, M. Um estudo sobre a aplicação dos conceitos e elementos da indústria 4.0 na produção de biomedicamentos. **Revista Produção Online**, v. 20, n. 2, p. 493-520, 2020.

STOCHER, F. M.; SILVA, M. L.; CAPPELLARI, G.; JUNIOR, P. V. C. A logística reversa no setor farmacêutico. **Revista Produção Online**, v. 19, n. 3, p. 1069-1093, 2019.

SULTAN, N. Making use of cloud computing for healthcare provision: Opportunities and challenges. **International Journal of Information Management**, v. 34, n. 2, p. 177–184, 2014.

SUN, You *et al.* A decentralizing attribute-based signature for healthcare blockchain. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTER COMMUNICATION AND NETWORKS (ICCCN)*, 27., IEEE, 2018.

TAYLOR, L. J.; NAYAK, S. Goldratt's theory applied to the problems associated with an emergency department at a hospital. **Administrative Sciences**, v. 2, n. 4, p. 235–249, 2012.

TESSARINI, G; SALTORATO, P. Impactos da indústria 4.0 na organização do trabalho: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Produção Online**, v. 18, n. 2, p. 743-769, 2018.

THUEMMLER, C.; BAI, C. **Health 4.0: How virtualization and big data are revolutionizing healthcare**. Springer, 2017.

THUEMMLER, C.; MIVAL, O.; BENYON, D.; BUCHANAN, W.; PAULIN, A.; FRICKER, S.; FIEDLER, M.; GROTTLAND, A.; JELL, T.; MAGEDANZ, T. Norms and standards in modular medical architectures. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-HEALTH NETWORKING, APPLICATIONS AND SERVICES (Healthcom 2013)*, 15, p. 382–387, 2013.

TORTORELLA, Guilherme Luz *et al.* Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 15, p. 1245-1260, 2020.

TURATI, R. C.; PINTO, D. P. A padronização do trabalho na higienização de leitos hospitalares: uma aplicação no contexto Lean Healthcare. **Revista Produção Online**, v. 22, n. 3, p. 3390-3417, 2022.

UDDIN, Md Ashraf *et al.* Continuous patient monitoring with a patient centric agent: A block architecture. **IEEE Access**, v. 6, p. 32700-32726, 2018.

VÄHÄTALO, M.; KALLIO, T. J. Organizing health services through modularity. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 35, n. 6, p. 925–945, 2015.

VERMEULEN, M. J.; STUKEL, T. A.; GUTTMANN, A.; ROWE, B. H.; ZWARENSTEIN, M.; GOLDEN, B.; NIGAM, A.; ANDERSON, G.; BELL, R. S.; SCHULL, M. J. Evaluation of an emergency department lean process improvement program to reduce length of stay. **Annals of emergency medicine**, v. 64, n. 5, p. 427–438, 2014.

VOSE, C.; REICHARD, C.; POOL, S.; SNYDER, M.; BURMEISTER, D. Using lean to improve a segment of emergency department flow. **Journal of Nursing Administration**, v. 44, n. 11, p. 558–563, 2014.

WANG, Y.; KUNG, L. A.; BYRD, T. A. Big data analytics: Understanding its capabilities and potential benefits for healthcare organizations. **Technological Forecasting and Social Change**, p. 126, p. 3–13, 2018.

YANG, Geng *et al.* Homecare robotic systems for healthcare 4.0: visions and enabling technologies. *In: IEEE JOURNAL OF BIOMEDICAL AND HEALTH INFORMATICS*, v. 24, n. 9, p. 2535-2549, 2020.

ZHANG, Jie; XUE, Nian; HUANG, Xin. A secure system for pervasive social network-based healthcare. **IEEE Access**, v. 4, p. 9239-9250, 2016.

Davenilcio Luiz de Souza

Pesquisador independente em gestão de operações na saúde e na indústria com foco nos processos dos sistemas empresariais para o planejamento e inovação na gestão das dimensões competitivas. Graduado em Administração de Empresas e Engenharia de Produção pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Possui Doutorado e Mestrado acadêmico em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). É membro do Grupo de

Pesquisa em Gestão, Sustentabilidade e Inovação em Saúde (GSIS). É Engenheiro Especialista em Manufatura com experiência desenvolvida nos ramos metal mecânico e automotivo por mais de 40 anos. Atuação em Consultoria e Assessoria em Sistemas da Qualidade - Gestão de Equipes nas funções Qualidade e otimização de Processos de Manufatura - Desenvolvimento de fornecedores - Estatística Aplicada à Manufatura - Metrologia dimensional e Qualificação de Sistemas de Medição - Processos de auditoria de certificação e de requisitos de clientes: ISO 9000, ISO TS16949, ISO 14000 e VDA. Líder em projetos de Melhoria Contínua: Lean, eventos Kaizen para ganhos de qualidade e redução de desperdícios em processos produtivos. Desenvolve capacitação de equipes no Planejamento e Controle de Produção e da Manutenção, Estatística aplicada, Preparação para auditorias internas e de Certificação de 2ª e 3ª partes, Metrologia, Desenho Técnico, Tecnologia Mecânica, Ferramentas da Qualidade e Padrões de Trabalho.

Andres Eberhard Friedl Ackermann

Doutorando e Mestre (2020) em Engenharia de Produção e Sistemas pela UNISINOS, Master Business in Administration - MBA Nacional em Gestão Empresarial pela Fundação Getúlio Vargas (2018), pós-graduado em Lean Manufacturing pela FADERGS (2013), graduação em Engenharia de Produção pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (2010) e Técnico em Eletrônica pelo Colégio Santo Inácio (2002). Experiência nos segmentos químico, metalmecânica, eletromecânica, eletrônica, médico-hospitalar e automotiva nas Áreas de Manufatura, Processos, Produção, Qualidade, Planejamento e Controle da Produção (PCP), Manutenção e Engenharia de Testes/Confiabilidade. Atuação no Planejamento Estratégico, na normalização e certificação para a Qualidade (ISO9001, ISO14001, BPF, ANVISA, CE), treinamentos corporativos, gestão da manutenção e seus indicadores, implantação do Lean Manufacturing (Sistema Toyota de Produção) e melhoria contínua de processos. Atualmente é consultor empresarial, professor de Pós-Graduação, Graduação, Cursos de Extensão e Profissionalizantes, bem como instrutor em treinamentos corporativos.

André Luis Korzenowski

Proprietário da Screening Serviços de Consultoria e Professor Pesquisador (PQ2) na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (Brasil). Graduado Bacharel em Estatística, possui doutorado acadêmico em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul com estágio sanduíche na Texas A&M University (USA). É líder do Grupo de Pesquisa em Gestão, Sustentabilidade e Inovação em Saúde (GSIS). Atua em consultorias e projetos de pesquisa que envolvem compliance, gestão de riscos e desenvolvimento de equipes, controles internos, indicadores e análise de dados (Analytics e Data Science).

Joao Henrique Sperafico

Administrador da Frutana Alimentos – Atacadista de Hortifrutigranjeiros desde 2022. Atuou como Especialista em Gestão de Estratégia, Qualidade, Processos e Projetos na Unimed Vale do Sinos (RS) por mais de 10 anos. É Graduado em Administração de Empresas (2015) pela Universidade Feevale e formado no MBA em gestão de projetos (2016) pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Possui Mestrado (2020) em Engenharia de Produção e Sistemas pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).



Artigo recebido em: 13/05/2023 e aceito para publicação em: 11/07/2023
DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i1.4904>