



SISTEMAS CYBER-FÍSICOS NA ÁREA DA SAÚDE (2016-2020): UM MAPEAMENTO DE LITERATURA DO TEMA NA BASE DE DADOS SCOPUS

CYBER-PHYSICAL SYSTEMS IN THE HEALTH AREA (2016-2020): A LITERATURE MAPPING ON THE THEME IN SCOPUS DATA BASE

PEDRO DE OLIVEIRA LEIVAS

UNISC - UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

ANA CLARA HACKENHAAR KELLERMANN

UNISC - UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

EDUARDO BALDO MORAES

UNISC - UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

LIANE MAHLMANN KIPPER

UNIVERSIDADE DE SANTA CRUZ DO SUL

Nota de esclarecimento:

Comunicamos que devido à pandemia do Coronavírus (COVID 19), o IX SINGEP e a 9ª Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) foram realizados de forma remota, nos dias **20, 21 e 22 de outubro de 2021**.

Agradecimento à órgão de fomento:

Este estudo foi financiado pela Universidade de Santa Cruz do Sul, Brasil e parcialmente financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, Brasil durante o processo 303934 / 2019-0 e realizado por meio do projeto científico bolsa de iniciação.

SISTEMAS CYBER-FÍSICOS NA ÁREA DA SAÚDE (2016-2020): UM MAPEAMENTO DE LITERATURA DO TEMA NA BASE DE DADOS SCOPUS

Objetivo do estudo

Apresentar um mapeamento científico do período de 2016 até 2020 em artigos publicados na base de dados Scopus (Elsevier), que utilizam CPS em sistemas de saúde

Relevância/originalidade

Estuda o uso de tecnologia em um segmento de importância, apontando métodos e descrevendo estudos para melhor aplicabilidade do mesmo

Metodologia/abordagem

O método de pesquisa utilizado neste estudo foi uma revisão sistemática de literatura na base de dados Scopus utilizando o software SciMAT e a ferramenta de comparação da Scopus para análises dos dados obtidos, além de leitura integral dos artigos.

Principais resultados

Observou-se que a maioria dos artigos são de cunho teórico. As conclusões indicam que as principais finalidades dos artigos publicados foram o desenvolvimento de novos sistemas e dispositivos baseados em CPS para auxiliar os sistemas de saúde, criando o Sistema Cyber-Físico Médico

Contribuições teóricas/metodológicas

A principal contribuição teórica deste trabalho é o mapeamento científico, pois ele elabora um estado da arte das pesquisas sobre Cyber-Physical Systems na área da saúde, o que auxiliará em futuras pesquisas sobre este tema.

Contribuições sociais/para a gestão

O estudo contribuirá para a sociedade ajudando no desenvolvimento e aperfeiçoamento do campo tecnológico com o campo da saúde.

Palavras-chave: Sistemas Cyber-Físicos, Sistema Cyber-Físico Médico, Saúde, Mapeamento científico



CYBER-PHYSICAL SYSTEMS IN THE HEALTH AREA (2016-2020): A LITERATURE MAPPING ON THE THEME IN SCOPUS DATA BASE

Study purpose

This research presents a scientific mapping of the period between 2016 and 2020 in articles published in the Scopus (Elsevier) database, which use CPS in health systems.

Relevance / originality

This article is relevant for studying the use of technology in an important segment, pointing out methods and describing studies for its better application.

Methodology / approach

The research method used in this study was a systematic literature review in the Scopus database using the SciMAT software and the Scopus comparison tool for analysis of the data obtained, in addition to a full reading of the articles.

Main results

It was observed that most articles are of a theoretical nature. The conclusions indicate that the main purposes of the published articles were the development of new systems and devices based on CPS to assist health systems, creating the Medical Cyber-Physical System.

Theoretical / methodological contributions

The main theoretical contribution of this work is the scientific mapping, as it elaborates a state of the art in research on Cyber-Physical Systems in the health area, which will help in future research on this topic

Social / management contributions

The study will contribute to society by helping to develop and improve the technological field with the health field.

Keywords: Cyber-Physical System, Medical Cyber-Physical System, Healthcare , Scientific mapping

1 Introdução

O bem-estar de uma população é responsabilidade de todos. Não se deve crer que manter a boa qualidade da saúde é responsabilidade exclusiva das organizações prestadoras de serviços de saúde. De acordo com Bittar *et al.*, (2018) tanto a saúde das pessoas quanto a prestação de serviço na área podem ser comprometidas por fatores externos e internos. O mesmo autor comenta que fatores externos são os que não têm relação direta com o indivíduo e podem ser caracterizados como: epidemiológicos, geográficos, demográficos, socioeconômicos, culturais e de mercado (Bittar, Biczuk et al. 2018). Já os fatores internos têm relação direta com o indivíduo e são eles: organizacionais, de recursos pessoais, financeiros e informacionais.

Avaliando os possíveis riscos a que a saúde está exposta, é necessário que os sistemas de saúde possuam uma boa organização para atender os pacientes de forma adequada e eficaz. Diferentemente do que muitos pensam os sistemas de saúde não são compostos por apenas médicos e pacientes. De acordo com Fanjiang *et al.* (2005) podemos definir um sistema de saúde em 4 níveis. O primeiro é composto pelos pacientes individuais, que receberão os cuidados profissionais. O segundo, constituído por toda equipe de atendimento, desde os familiares do paciente até os médicos e enfermeiros. O terceiro se trata da organização na qual o serviço de atendimento médico é prestado. E o quarto nível compreende o contexto político e socioeconômico no qual a organização está inserida. A figura 1 apresenta a representação de um sistema de saúde de quatro níveis.

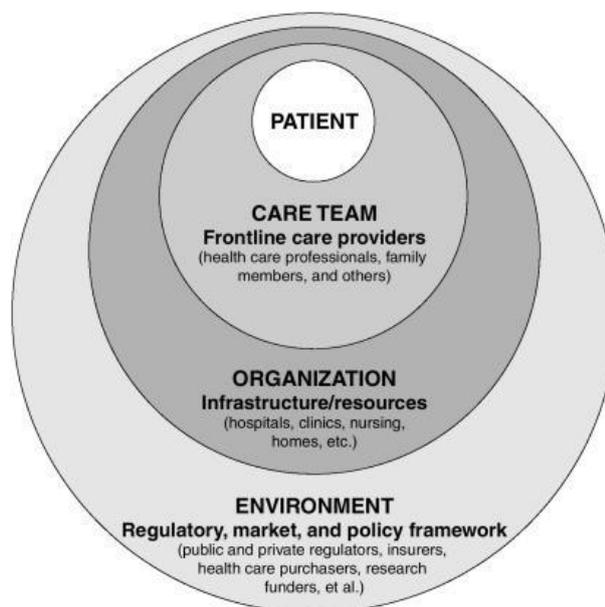


Figura 1 – *System model* (Fanjiang et al., 2005)

Outro recurso importante para organização dos sistemas de saúde é a comunicação entre os profissionais. A comunicação eficaz e o trabalho em equipe são essenciais para a prestação de atendimento seguro e de alta qualidade ao paciente (Leonard, Graham et al. 2004). Além

disso, a comunicação com os pacientes também é muito importante. Simples ações como mostrar a eles uma prótese antes de fazer uma cirurgia ou deixá-los tocar modelos anatômicos os tranquilizam e aumentam sua confiança nos profissionais (Smith and Ross 2007). Porém isso não funciona corretamente quando o profissional encarregado de se comunicar com o paciente encontra-se sobrecarregado com o serviço hospitalar. (Leonard, Graham et al. 2004, Redeker, Kessler et al. 2019). Considerando essa alta necessidade de comunicação entre os profissionais e os dados dos pacientes, usar tecnologia avançada que pode ajudar na gestão de recursos, pessoas e profissionais das organizações é de extrema relevância. Uma das tendências tecnológicas que se mostram muito promissoras a serem usadas nos sistemas de saúde, são os Sistemas Cyber-Físicos (*Cyber-Physical System - CPS*). Os estudos relacionando Sistemas Cyber-Físicos e os sistemas de saúde começaram a atrair o olhar dos pesquisadores por volta de 2008, conforme indicam Haque, Aziz e Rahman (2014), e desde então os artigos publicados sobre o tema seguem em uma constante crescente. A figura 2 mostra um gráfico que comprova essa evolução.

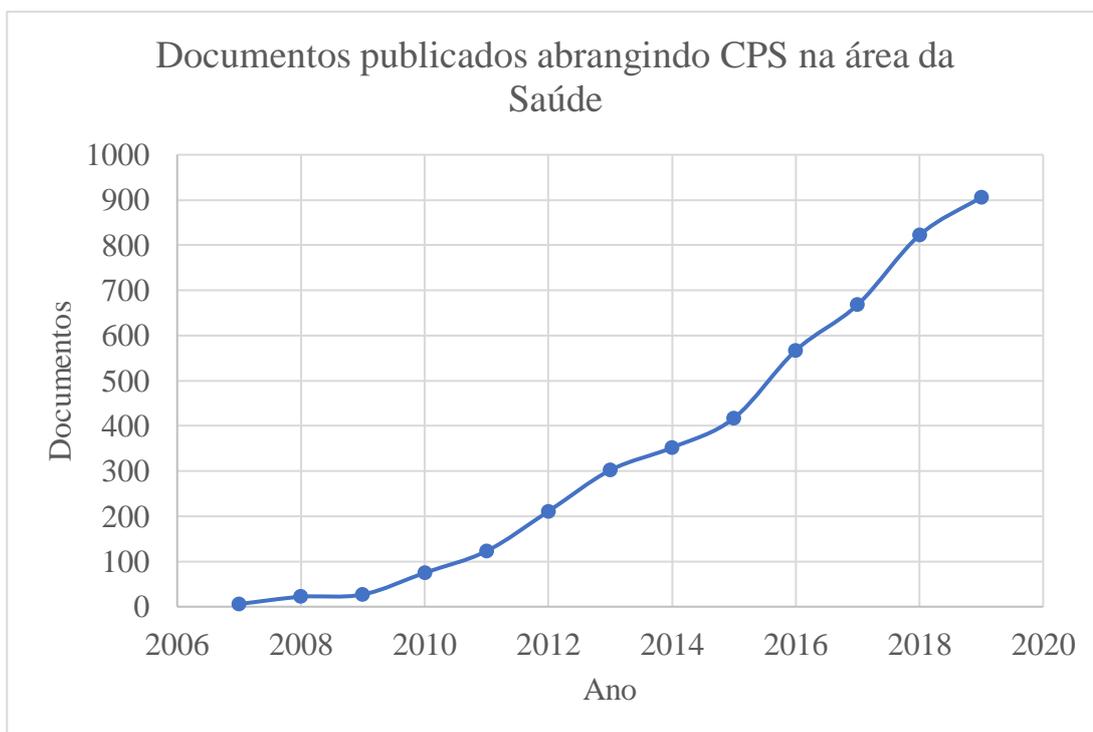


Figura 2 - Evolução dos Documentos publicados sobre CPS in Healthcare na base de dados Scopus. Data 14/10/2020 (Elaborada pelos autores).

De acordo com Schranz et al. (2021), a US National Science Foundation precisamente define CPSs como “sistemas projetados que são construídos a partir de, e dependem, da integração perfeita de computação e componentes físicos.” Eles integram detecção, computação, controle e rede em objetos físicos e infraestrutura, e os deixam interagir. Os Sistemas Cyber-Físicos são dispositivos físicos, cuja operação requer conectividade com a

internet e computação avançada para que possam processar os dados e agir sobre algum parâmetro previamente proposto (Altawy and Youssef 2016).

O uso destes sistemas tecnológicos avançados é de grande valor para a sociedade como um todo, tendo em vista suas capacidades de processamento de dados que podem vir de vários dispositivos e sensores interligados. Isso facilitará muito o cotidiano não só nas áreas de atuação de diversos profissionais, como também na vida civil. Partindo do princípio de que tarefas de coleta e análise de informações até a tomada de decisões podem ser feitas por Cyber-Physical Systems, ideias futuristas como a utilização de carros autônomos nas ruas e robôs em cirurgias tornam-se cada vez mais factíveis na atualidade. Dessa forma, as pessoas que atuarem em ambientes com CPSs, poderão focar sua energia e atenção em incumbências que não necessitam de uma capacidade multitarefa. Isso possibilitará com que haja melhor qualidade de vida para profissionais que atualmente se encontram sobrecarregados em sistemas com falhas de gestão, e também com que haja melhor atendimento e maior segurança aos indivíduos que serão atendidos por sistemas inteligentes e profissionais mais dispostos (Altawy and Youssef 2016).

Quando essa tecnologia é aplicada na área da saúde, ela é chamada de *Medical Cyber-Physical Systems* (MCPS) ou seja, existem combinações entre os sistemas Cyber-físicos tradicionais com uma ampla base de dados dos sistemas de saúde (Qiu, Qiu et al. 2020). Visando ao funcionamento correto do MCPS, é crucial a utilização de um sistema que possa coletar, armazenar, processar e fornecer os dados dos pacientes para os médicos, enfermeiros, cuidadores e demais envolvidos nos sistemas de saúde. MCPSs são dispositivos que integram sensores e *softwares* visando melhorar a segurança dos pacientes e a qualidade do sistema de saúde (Chen, Sokolsky et al. 2016). Para que isso possa ser feito remotamente, a tecnologia sugerida é a *Cloud Computing*. Essa tecnologia é definida como uma estrutura com grande quantidade de informações armazenada que pode ser acessada em qualquer lugar no mundo, por qualquer pessoa que tenha permissão para fazê-lo (Haque, Aziz et al. 2014). O sistema é atualizado em tempo real, conforme os dados dos pacientes vão sendo gerados.

Como exemplo da utilidade destes dispositivos na área da saúde, tem-se a cirurgia robótica, que requer processamento em tempo real, imagens em alta resolução e processamento háptico (Lee and Sokolsky 2010). Outro exemplo é a Protonterapia, que requer um sistema médico tecnológico de larga escala, pois é utilizada para entregar doses precisas de radiação aos pacientes de câncer, precisando adaptar-se às mínimas mudanças de posição do paciente (Lee and Sokolsky 2010). Também, há os sistemas de circuito fechado fisiologicamente, que são uma classe especial desses sistemas que aplicam conceitos de controle de feedback para atingir a regulação automática de variáveis fisiológicas, como pressão arterial, profundidade da anestesia, concentrações de glicose no sangue e outros (Khodaei et al. 2020). Também são citados por Lee e SoKolsky (2010) os sistemas de monitoramento de saúde móveis, como aplicativos de celular e medidores de atividade física e batimentos cardíacos embutidos em relógios, que estão se tornando cada vez mais populares.

Com tais conceitos estabelecidos, este artigo realizou a análise de estudos publicados na base Scopus (Elsevier) sobre CPS em *Healthcare*, expondo os principais métodos utilizados, os resultados obtidos e as perspectivas para o futuro dessa promissora área, que ainda se encontra em estágios iniciais de desenvolvimento. Assim, será possível entender as vantagens e os desafios deste campo de estudo que, como discorrido anteriormente, vem atraindo atenções de importantes organizações internacionais.

2 Referencial teórico

Com o passar dos anos, estudos científicos sobre CPS vêm apresentando crescimento, (figura 2). Esta crescente no número de publicações mostra que o tema ainda possui relevância no mundo acadêmico e merece atenção dos pesquisadores. Até outubro de 2020 já são mais de 1100 documentos publicados sobre o tema na base Scopus. O autor que mais participa de publicações nesse período no campo de CPS é Lichen Zhang, que projeta seus esforços em estudos de aplicação do sistema. A área com maior quantidade de documentos é a de ciência da computação, que conta com mais de 40% do que já foi publicado.

Diversos autores concentraram seus esforços em estudos relacionados com a aplicação de CPSs. Padilla *et al.* (2020) propôs o uso de um sistema cyber físico para controlar o acesso de veículos às vias exclusivas. O método utilizado consiste em um sistema de verificação de placas e condição de autorização do veículo. Levsun *et al.* (2020) apresentaram um novo modelo para CPSs. O modelo se diferencia dos demais pelo forte esquema de segurança, possibilidade de transformação e na arquitetura, que representa o sistema como um conjunto de blocos de uma construção. Outro tema relevante relacionado com os CPSs são os estudos que envolvem a segurança do sistema. Junejo (2020) propôs uma avaliação de segurança preditiva baseada em *Machine Learning*, capaz de calcular o tempo em que um CPS levaria para se tornar inseguro. Liu *et al.* (2020) investigaram um esquema de detecção de invasão distribuída hierarquicamente visando garantir maior segurança de ICPS (*Industrial Cyber Physical System* – Sistema Cyber Físico Industrial).

Além dos estudos relacionados com a segurança e aplicações de CPS, alguns autores ainda concentram seus esforços em estudos teóricos, definindo conceitos e explorando possíveis integrações de outras tecnologias com CPS. Giaimo, Andrade e Berger (2020) fizeram um estudo teórico relacionando os sistemas cyber físicos com a experimentação contínua. O objetivo dos autores era fornecer uma visão geral dessa integração através de uma RSL (Revisão Sistemática de Literatura) e um estudo de caso dessa aplicação. Geismann e Bodden (2020) também conduziram uma RSL para descobrir quais eram as relações entre segurança orientada por modelo e CPS. Graja *et al.* (2020) desenvolveram uma pesquisa nas principais abordagens existentes para modelar um CPS.

Analisando os estudos publicados que abordam os sistemas de saúde, é possível chegar à conclusão de que o estudo do gerenciamento de sistemas de saúde é de grande importância em todas as áreas que eles abrangem. Isso é visível analisando os estudos de Perner *et al.* (2017),

Mirza e Singh (2019) e de Joy *et al.* (2020). Todos estes documentos dissertam sobre mudanças significativas na organização e gerenciamento de áreas incluídas nos sistemas de saúde, seja no tratamento de sepse, no atendimento de pacientes com COVID-19 ou em políticas para a implementação de maior atenção à saúde mental na Índia.

Além do ponto de vista particular da administração dos sistemas de saúde, foi estudado também o gerenciamento das organizações de saúde. Kakemam *et al.* (2020) buscam sintetizar as evidências relacionadas às competências de liderança e gestão em organizações de saúde por meio do modelo best-fit. Já Vishnu *et al.* (2019) procuram enfatizar os fatores de risco gerenciais e da cadeia de suprimentos vivenciados pelos hospitais públicos indianos. Visto isso, é indiscutível que a discussão e pesquisa sobre o gerenciamento e organização dos sistemas de saúde é imprescindível para que a sociedade atual possa evoluir da mesma forma com que está crescendo atualmente.

Por fim, pesquisas também abordam a complexidade dos sistemas de saúde. Todas elas discutem a importância do estudo da ciência da complexidade nos sistemas de saúde, pois os mesmos estão em constante crescimento. É o que Braithwaite *et al.* (2017) discutem em seu relatório, que tem por objetivo analisar a complexidade e suas características e aplicá-las à saúde. Churruca *et al.* (2019) possui o mesmo escopo, analisando em seu artigo as tendências na literatura acadêmica aplicando a ciência da complexidade à saúde. Em suma, pode-se dizer que o estudo do gerenciamento e complexidade dos sistemas de saúde em sua totalidade e parcialidade está sendo bem explorado atualmente. Isso se deve não só à necessidade de um melhor padrão de atendimento devido ao aumento da população, como também devido ao surgimento de novas tecnologias que têm por objetivo auxiliar os profissionais dessa área a obterem melhores resultados em suas atuações.

Levando em conta os estudos sobre MCPS, percebe-se que algumas temáticas são bastante frequentes. O principal assunto tratado é a segurança e a privacidade dos dados dos pacientes. Embora com focos diferentes, diversos artigos pesquisam maneiras de dificultar o acesso a informações confidenciais e fortalecer o sistema. A criptografia é frequentemente citada, em artigos como “Secure Health Data sharing for medical cyber-physical systems for the healthcare 4.0” (Qiu, Qiu et al. 2020), entre outros.

Como forma de identificar e classificar ataques malignos, autores como Fernández *et al.*, (2019) sugerem o uso de *machine learning*. Outras abordagens sobre *machine learning* *discorrem* sobre a dificuldade de aprendizado dos MCPSs, pois há diferenças nas fisiologias dos pacientes e no modo como os dispositivos são configurados, dependendo de quem os usa (Samaddar, Rahiminasab et al. 2019). Uma dessas divergências dos pacientes e usuários ocorre já na autenticação. Existem inúmeras maneiras de falsificar uma biometria, e qualquer mudança já pode fazer com que o sistema de segurança tenha que ser redesenhado (Mowla, Doh et al. 2019).

Além do *machine learning* e da criptografia, outras tecnologias típicas da indústria 4.0 são integradas aos MCPSs, como *cloud computing*, inteligência artificial e internet das coisas. O *cloud computing* é extremamente relevante para o funcionamento dos Sistemas Cyber-Físicos Médicos, sendo utilizado, inclusive, o termo *Medical Cyber-Physical Cloud System* (MCPCS), que é caracterizado como uma rede complexa onde cada MCPCS é considerado um nó (Liu, Xie et al. 2019). A internet das coisas (IoT), por sua vez, é sugerida por alguns autores para auxiliar no diagnóstico e tratamento dos pacientes. É interessante notar que a combinação dessas tecnologias é bastante comum para criar outros MCPCSs ou fortalecer sua efetividade. Depari *et al.* (2019) por exemplo, discorre sobre a integração da IoT com a nuvem para aumentar a eficácia no diagnóstico de doenças neurodegenerativas.

Algumas dessas pesquisas foram realizadas em situações reais, mas muitas ocorreram por meio de simulações computacionais. Assim, como sugestões para trabalhos futuros, diversos autores indicam testes em casos verdadeiros. Gessa *et al.*, (2019), por exemplo, desenvolveu uma plataforma virtual para poder testar seu closed-loop assistant (CLA). Hosseini *et al.*, (2017) por sua vez, também avaliou via simulação seu sistema que fornece, dentro das ambulâncias, dados de pacientes moradores da zona rural. Ambos os trabalhos planejam avaliar o comportamento de seus projetos em cenários verídicos.

Dessa forma, percebe-se que há diversos campos de pesquisa sobre MCPCSs sendo explorados. A segurança dos dados é a preocupação mais frequente dos pesquisadores, que estão desenvolvendo diversas maneiras de fortalecê-la. Todas as inovações da indústria 4.0 na área da saúde são muito promissoras e possibilitam melhores diagnósticos e tratamentos. Entretanto, há uma certa dificuldade das pessoas de utilizar essas tecnologias (Alloghani, Al-Jumeily et al. 2019). Assim, nota-se que ainda há muito a ser desenvolvido e pesquisado sobre este tema.

3 Metodologia

Para o desenvolvimento do artigo, foram discutidos alguns temas principais para o propósito do estudo. Após analisados os objetivos da pesquisa foram elaboradas as seguintes questões de pesquisa:

- Qual é o estado da arte de CPS nos sistemas de saúde?
- Quais são os principais usos de CPS nos sistemas de saúde? E qual a perspectiva de novos usos?

A fim de responder a estas questões, foi desenvolvida uma string de pesquisa para utilizar na base de dados.

Tabela 1 – String de pesquisa

Termos	Operadores Booleanos	String
"Cyber Physical System", "Cyber-physical System", "healthcare", "medicine", "biomedicine", "clinic", "hospital", "medical", "patient", "pharma"	OR e AND	"CPS" OR "Cyber Physical System" OR "Cyber-physical System" AND "healthcare" OR "medicine" OR "biomedicine" OR "clinic" OR "hospital" OR "medical" OR "patient" OR "pharma"

Para a primeira etapa da coleta, a Revisão Sistemática de Literatura RSL iniciou com a elaboração do protocolo de pesquisa, no intuito de operacionalizar a estratégia de busca. O modelo de protocolo utilizado para operacionalização da RSL foi elaborado tendo como base o trabalho proposto por Morandi e Camargo (2015) e está disponível no Apêndice A.

A fonte de busca utilizada foi a base Scopus. A escolha ocorreu levando em conta o trabalho de Cobo *et al.* (2011) e também pelo fato de possuir uma fácil interface para o uso e análise de resultados. Como forma de operacionalizar a procura, definiu-se as estratégias de busca, que abrange a definição dos termos e fontes de busca, além dos critérios de inclusão e exclusão de documentos. Os principais critérios de inclusão e exclusão dos documentos foram: artigos publicados entre os anos de 2016 e 2020, a fim de obter estudos mais atuais sobre o tema. Para o tipo de documento, foi limitado apenas para artigos, evitando revisões e trabalhos já analisados. Para área de conhecimento, foi escolhida a área de engenharia. Por fim, com as análises quantitativas feitas foram excluídos documentos por análise qualitativa. Dos 26 documentos encontrados na busca 3 não abordavam o tema CPS, então foram excluídos, os demais foram lidos na íntegra. A figura 3 apresenta um fluxograma de exclusão quantitativa de documentos.

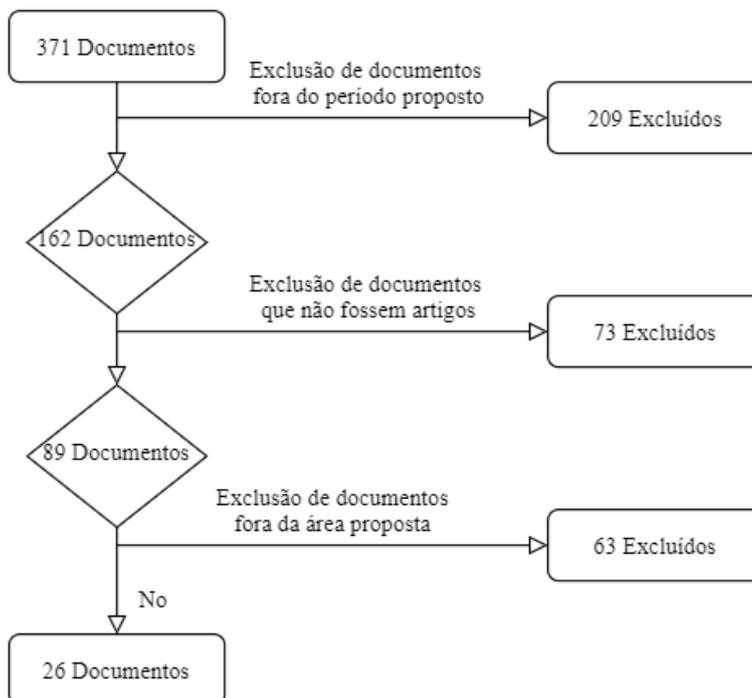


Figura 3 – Fluxograma da exclusão de documentos (elaborada pelos autores).

A análise dos estudos foi dividida em duas etapas. Para a primeira análise dos documentos foram utilizados os recursos de comparação de resultados da Scopus e leitura integral dos estudos obtidos. A ferramenta da Scopus é muito útil para fazer análises rápidas e precisas. Para a segunda análise foi usado o software bibliométrico SciMAT (Cobo, López-Herrera et al. 2012). A escolha do software levou em consideração o trabalho de Gutiérrez *et al.* (2018) que consta que, dentre os softwares livres, o SciMat é o mais completo para se fazer análises bibliométricas. Dessa forma, nosso estudo foi capaz de retirar dos artigos apenas o que de fato era relevante para o propósito deste estudo. A análise do software pode ser explicada da seguinte maneira: a espessura das linhas que ligam cada palavra-chave com o tema representa a correlação entre eles e o volume dos círculos verdes representa a quantidade de artigos publicados associados àquela palavra-chave ou tema (Cobo, López-Herrera et al. 2012).

4 Análise dos resultados

Avaliando os dados obtidos com a ferramenta de comparação de resultados da Scopus, podemos destacar dois temas relevantes para o estudo: autores que mais participaram de publicações e regiões com mais documentos publicados. Dentre os principais autores podemos citar quatro mais influentes por terem duas publicações cada. Rajiv Kumar e Ashutosh Sharma participaram juntos da publicação de dois estudos. Ambos autores concentram seus esforços nas áreas de engenharia, ciência da computação e medicina. Meikang Qiu participou da publicação de 2 estudos e suas áreas de maior atuação são engenharia, ciência da computação, matemática e profissões da saúde. Houbing Song também participou de publicação de outros dois estudos e concentrou seus esforços nas áreas de engenharia, ciência da computação,

matemática e medicina. As regiões que receberam maior destaque foram Estados Unidos, com 8 documentos, China e Índia, com 6 documentos cada.

Com a leitura dos documentos que foram disponibilizados, o estudo foi capaz de destacar os principais objetivos, resultados e perspectivas futuras. Dessa forma os principais usos do CPS na área da saúde puderam ser observados. Dentre os principais objetivos dos artigos, foram divididos em quatro grupos: Desenvolvimento e melhoria de CPS (11 documentos), Propostas de sistemas para melhorar segurança (7 documentos), RSL em CPS (2 documentos) e Desenvolvimento de novos dispositivos CPS (1 documento). Os resultados foram divididos em teóricos (15 documentos) e práticos (6 documentos). As perspectivas futuras abordavam melhorias nos dispositivos e sistemas (11 documentos) e aplicação dos estudos teóricos na prática (5 documentos), o restante dos documentos não trouxeram perspectivas futuras. Analisando esses dados pode-se destacar que o foco dos estudos está em melhorias de sistemas CPS porém ainda em cunho teórico. Isso mostra que há uma tendência no futuro de aplicações práticas dos resultados obtidos nos artigos que abordam CPS na área da saúde.

Partindo para a segunda etapa de análise de dados dos artigos, utilizando o software SciMAT (Cobo, López-Herrera et al. 2012) o estudo foi capaz de avaliar a correlação dos temas motores de cada período com as principais palavras-chave utilizadas nos artigos. O número de palavras-chave aumentou significativamente entre o período de 2016 até 2020, isso indica a crescente atenção nos estudos baseados no tema, apesar da leve diminuição das palavras em 2017 e 2018. Em todos os períodos o índice de estabilidade se mantém sem grandes alterações. Este índice, segundo Cobo et al. (2012), indica o quanto o grupo de palavras-chave evolui, e por consequência, indica se o tema de pesquisa está ativo e como evolui.

O ano de 2016 é considerado um dos mais centrais, com grande número de palavras chave, porém não é um período denso. Isso significa que as palavras que se encontram nesse período estão com poucas relações umas com as outras e não fazem ligações importantes. Pode-se concluir que os estudos sobre o tema no ano de 2016 ainda não estavam focados em um objetivo claro, haviam muitas ideias de pesquisa, porém, muito embrionárias e que irão ser incrementadas no futuro.

Em 2017, a palavra-chave *Cyber-Physical System* já assume o protagonismo. Nota-se que sua principal ligação é com *Embedded Systems* (Sistemas embarcados), como mostrado na figura 4. Os sistemas embarcados são a base para a construção de um Sistema Cyber Físico pois de acordo com Suh, Carbone e Eroglu (2014) e Hancu *et al.* (2007) os sistemas embarcados conseguem muito bem controlar o processo dos elementos computacionais conectados a outros dispositivos físicos. A conectividade entre os elementos físicos e os computacionais é de extrema importância em qualquer CPS. As outras ligações feitas são justificadas pelo tema da pesquisa, que relaciona os temas, porém nota-se que todos os clusters fazem ligação com os sistemas embarcados, o que indica a necessidade do mesmo para uma base CPS forte.

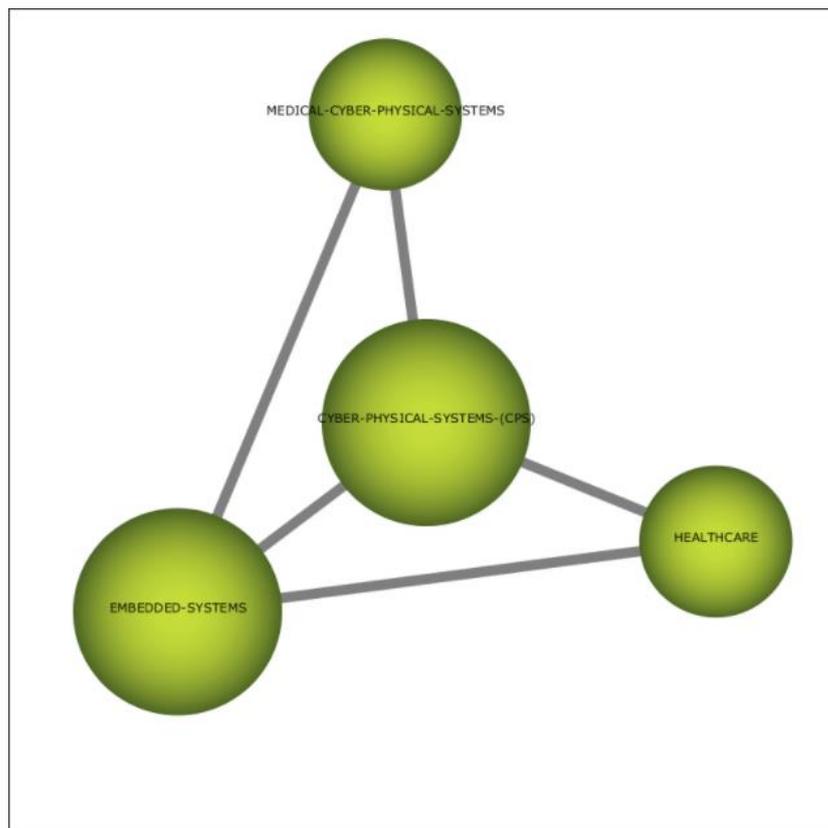


Figura 4 – Correlação de palavras-chave do período de 2018

No período de 2018 as palavras-chave se mantêm as mesmas, porém, nesse ano, todas as palavras fazem relação umas com as outras. A forte relação entre o tema e as palavras pode ser resumida pelos sistemas cyber-físico médicos. De acordo com Lee e Sokolsky (2010) a combinação dos temas promove uma classe distinta e necessária de sistemas cyber-físico para o atendimento dos pacientes em tempo real. A combinação promove uma classe distinta e necessária de sistemas cyber-físico para o atendimento dos pacientes em tempo real. Os autores acrescentam ainda que, os CPS médicos possuem em suas composições os sistemas ou softwares embarcados (*embedded systems*) e, por serem dispositivos que combinam elementos físicos e cibernéticos no seu funcionamento, são uma classe de Cyber-Physical System que atua na área da saúde com maior eficácia (Lee e Sokolsky, 2010). Dessa forma, há o entendimento de que a associação entre estas quatro palavras pelo Scimat fazem sentido, pois as mesmas estão intrinsecamente e contextualmente interligadas no desenvolvimento tecnológico desta área de conhecimento.

Em 2019 os temas motores passam a ser tornar, além de densos com suas correlações, bem mais centrais que nos últimos anos. Isso quer dizer que os principais temas estão fazendo mais ligações com outras palavras-chave. A figura 5 mostra que o tema mais central se tornou “*service level agreement*” que significa acordo de nível de serviço. De acordo com Leão (2002) um acordo de nível de serviço é um conjunto de combinações de maneira formal que se estabelece entre duas partes, em um determinado nível de serviço a ser fornecido por ambas as

empresas, por exemplo. Dentro desse escopo, o alto número de relações entre diversas palavras-chave faz muito sentido, pois ao final da cadeia para o bom funcionamento de um sistema, todas as partes devem estar funcionando bem e se beneficiando do que as outras tecnologias ou técnicas tem a oferecer.

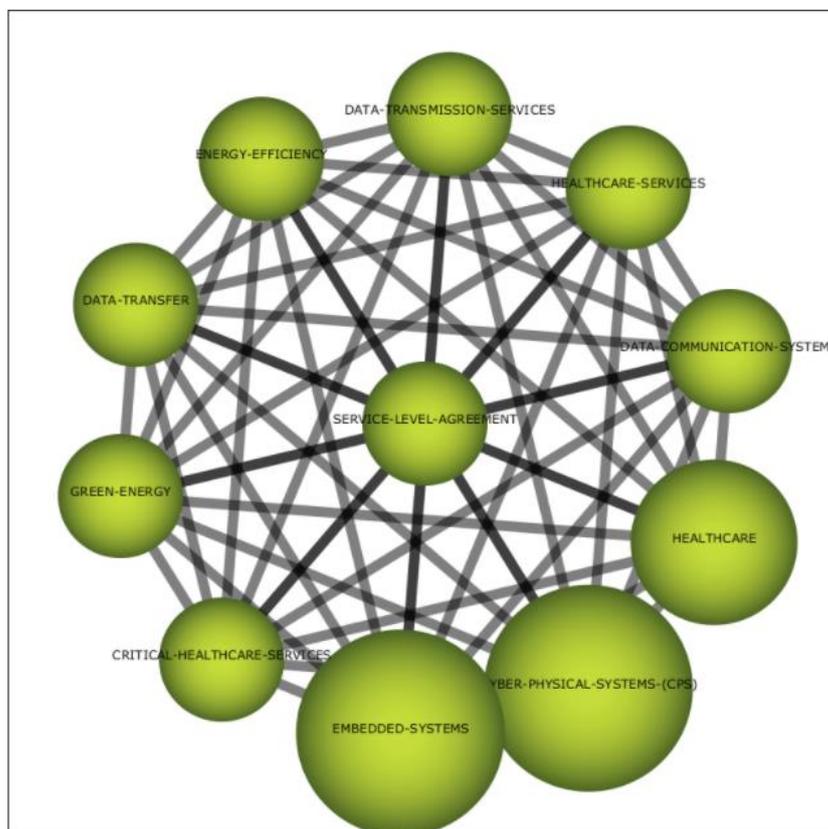


Figura 5 – Correlação de palavras-chave do período de 2019.

Por fim no ano de 2020 a palavra-chave de mais destaque se torna “*Digital storage*” que significa armazenamento digital. Armazenagem digital de dados sigilosos e que precisa de acesso rápido como os dos pacientes de um hospital é de extrema relevância. O atendimento rápido e direto muitas vezes salva a vida das pessoas. Esse tipo de acessibilidade dentro de um ambiente de tão alta pressão só é possível através do uso de tecnologia avançada. Além disso, como mostrado na figura 6 e notado pela quantidade de conexões e tamanho dos clusters, as ligações com as primeiras palavras chave do ano de 2017 permaneceram.

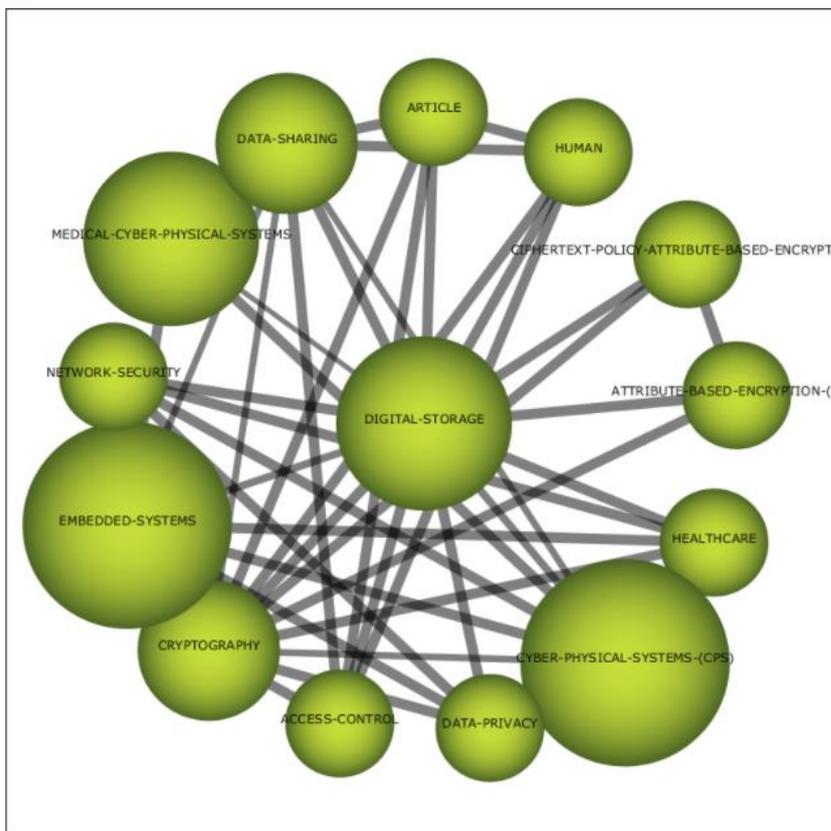


Figura 6 – Correlação de palavras-chave do período de 2020.

5 Conclusões/Considerações finais

Com a realização do presente estudo, observa-se informações relevantes sobre o que está sendo publicado sobre CPS na área da saúde. Destacamos os principais objetivos do estudo que foram analisar e destacar qual é o estado da arte do tema Sistemas Cyber-Físicos na área da saúde. Além disso, ressaltou qual é a perspectiva futura dos estudos na área.

A leitura integral dos documentos selecionados conclui-se que o foco dos autores está no desenvolvimento e melhorias dos Sistemas Cyber-Físicos. Apesar de muitos artigos apresentarem um estudo teórico dos dados, quando se trata da área da saúde é importante que tenhamos certeza de como aplicar uma técnica para melhoria do sistema. Também vale ressaltar a indicação dos estudos práticos a partir desse estudo. A segunda análise mostrou que apesar de evolutivo os temas principais dos artigos não se alteram. Mesmo com o acréscimo de outras palavras a base formada por Sistemas Embarcados unidos ao CPS não se desfaz

6 Referências

- Alloghani, M., Al-Jumeily, D., Hussain, A., Aljaaf, A. J., Mustafina, J., & Petrov, E. (2019). Healthcare Services Innovations Based on the State of the Art Technology Trend Industry 4.0. 11th International Conference on Developments in eSystems Engineering, DeSE 2018,

- Altawy, R., & Youssef, A. M. (2016). Security Tradeoffs in Cyber Physical Systems: A Case Study Survey on Implantable Medical Devices [Article]. *IEEE Access*, 4, 959-979, Article 7393449. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2016.2521727>
- Banos, O., Garcia, R., Holgado-Terriza, J. A., Damas, M., Pomares, H., Rojas, I., Saez, A., & Villalonga, C. (2014). mHealthDroid: a novel framework for agile development of mobile health applications.
- Bittar, O. J. N., Biczysk, M., Serinolli, M. I., Novaretti, M. C. Z., & de Moura, M. M. N. (2018). Sistemas de informação em saúde e sua complexidade. *Revista de Administração em Saúde*, 18(70).
- Braithwaite, J., Churruca, K., Ellis, L. A., Long, J., Clay-Williams, R., Damen, N., Herkes, J., Pomare, C., & Ludlow, K. (2017). Complexity science in healthcare. *Aspirations, approaches, applications and accomplishments. A white paper. Sydney, Aust: Australian Institute of Health Innovation, Macquarie University.*
- Chen, S., Sokolsky, O., Weimer, J., & Lee, I. (2016). Data-driven adaptive safety monitoring using virtual subjects in medical cyber-physical systems: A glucose control case study [Article]. *Journal of Computing Science and Engineering*, 10(3), 75-84. <https://doi.org/10.5626/JCSE.2016.10.3.75>
- Churruca, K., Pomare, C., Ellis, L. A., Long, J. C., & Braithwaite, J. (2019). The influence of complexity: A bibliometric analysis of complexity science in healthcare [Article]. *BMJ Open*, 9(3), Article 027308. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2018-027308>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2011). An approach for detecting, quantifying, and visualizing the evolution of a research field: A practical application to the Fuzzy Sets Theory field [Article]. *Journal of Informetrics*, 5(1), 146-166. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2010.10.002>
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609-1630.
- Depari, A., Carvalho, D. F., Bellagente, P., Ferrari, P., Sisinni, E., Flammini, A., & Padovani, A. (2019). An IoT based architecture for enhancing the effectiveness of prototype medical instruments applied to neurodegenerative disease diagnosis [Article]. *Sensors (Switzerland)*, 19(7), Article 1564. <https://doi.org/10.3390/s19071564>
- Fanjiang, G., Grossman, J. H., Compton, W. D., & Reid, P. P. (2005). *Building a better delivery system: a new engineering/health care partnership*. National Academies Press.
- Fernández Maimó, L., Huertas Celdrán, A., Perales Gómez, Á., García Clemente, F. J., Weimer, J., & Lee, I. (2019). Intelligent and Dynamic Ransomware Spread Detection and Mitigation in Integrated Clinical Environments [Article]. *Sensors (Basel, Switzerland)*, 19(5). <https://doi.org/10.3390/s19051114>
- Geismann, J., & Bodden, E. (2020). A systematic literature review of model-driven security engineering for cyber-physical systems [Article]. *Journal of Systems and Software*, 169, Article 110697. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110697>
- Gessa, F., Asare, P., Bray, A., Clipp, R., & Mark Poler, S. (2019). Towards a test and validation framework for closed-loop physiology management systems for critical and perioperative care [Conference Paper]. *ACM SIGBED Review*, 16(2), 31-40. <https://doi.org/10.1145/3357495.3357499>
- Giaimo, F., Andrade, H., & Berger, C. (2020). Continuous experimentation and the cyber-physical systems challenge: An overview of the literature and the industrial

- perspective [Article]. *Journal of Systems and Software*, 170, Article 110781.
<https://doi.org/10.1016/j.jss.2020.110781>
- Graja, I., Kallel, S., Guermouche, N., Cheikhrouhou, S., & Hadj Kacem, A. (2020). A comprehensive survey on modeling of cyber-physical systems [Conference Paper]. *Concurrency Computation*, 32(15), Article e4850. <https://doi.org/10.1002/cpe.4850>
- Gutiérrez-Salcedo, M., Martínez, M. Á., Moral-Muñoz, J. A., Herrera-Viedma, E., & Cobo, M. J. (2018). Some bibliometric procedures for analyzing and evaluating research fields. *Applied intelligence*, 48(5), 1275-1287.
- Haque, S. A., Aziz, S. M., & Rahman, M. (2014). Review of cyber-physical system in healthcare [Review]. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2014, Article 217415. <https://doi.org/10.1155/2014/217415>
- Hosseini, M., Jiang, Y., Berlin, R. R., Sha, L., & Song, H. (2017). Toward physiology-aware DASH: Bandwidth-compliant prioritized clinical multimedia communication in ambulances [Article]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 19(10), 2307-2321, Article 7995124. <https://doi.org/10.1109/TMM.2017.2733298>
- Jency, J., & Jagadeesh, P. (2016). Embedded management system for out patient department [Article]. *International Journal of Pharmacy and Technology*, 8(4), 20297-20302.
- Jiang, Y., Song, H., Wang, R., Gu, M., Sun, J., & Sha, L. (2017). Data-centered runtime verification of wireless medical cyber-physical system [Article]. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 13(4), 1900-1909, Article 7480373.
<https://doi.org/10.1109/TII.2016.2573762>
- Joy, M., McGagh, D., Jones, N., Liyanage, H., Sherlock, J., Parimalanathan, V., Akinyemi, O., van Vlymen, J., Howsam, G., Marshall, M., Hobbs, F. R., & de Lusignan, S. (2020). Reorganisation of primary care for older adults during COVID-19: a cross-sectional database study in the UK [Article]. *The British journal of general practice : the journal of the Royal College of General Practitioners*, 70(697), e540-e547.
<https://doi.org/10.3399/bjgp20X710933>
- Junejo, K. N. (2020). Predictive safety assessment for storage tanks of water cyber physical systems using machine learning [Article]. *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, 45(1), Article 61. <https://doi.org/10.1007/s12046-020-1290-y>
- Kakemam, E., Liang, Z., Janati, A., Arab-Zozani, M., Mohaghegh, B., & Gholizadeh, M. (2020). Leadership and management competencies for hospital managers: A systematic review and best-fit framework synthesis [Review]. *Journal of Healthcare Leadership*, 12, 59-68. <https://doi.org/10.2147/JHL.S265825>
- Khodaei, M. J., Candelino, N., Mehrvarz, A., & Jalili, N. (2020). Physiological Closed-Loop Control (PCLC) Systems: Review of a Modern Frontier in Automation [Article]. *IEEE Access*, 8, 23965-24005, Article 8964302.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2968440>
- Lee, I., & Sokolsky, O. (2010). Medical cyber physical systems. 47th Design Automation Conference, DAC '10, Anaheim, CA.
- Leonard, M., Graham, S., & Bonacum, D. (2004). The human factor: The critical importance of effective teamwork and communication in providing safe care [Review]. *Quality and Safety in Health Care*, 13(SUPPL. 1), i85-i90.
<https://doi.org/10.1136/qshc.2004.010033>
- Levshun, D., Chevalier, Y., Kotenko, I., & Chechulin, A. (2020). Design and verification of a mobile robot based on the integrated model of cyber-Physical systems [Article]. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 105, Article 102151.
<https://doi.org/10.1016/j.simpat.2020.102151>

- Liu, J., Zhang, W., Ma, T., Tang, Z., Xie, Y., Gui, W., & Niyoyita, J. P. (2020). Toward security monitoring of industrial Cyber-Physical systems via hierarchically distributed intrusion detection [Article]. *Expert Systems with Applications*, 158, Article 113578. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113578>
- Liu, L., Xie, G., & Li, R. (2019). Synchronization Stability Analysis of Medical Cyber-Physical Cloud System Considering Multi-Closed-Loops [Article]. *Journal of Circuits, Systems and Computers*, 28(12), Article 1950198. <https://doi.org/10.1142/S0218126619501986>
- Marwat, S. N. K., Mehmood, Y., Ullah, F., Khan, A., Khan, S., Ahmed, S., Kwak, D., & Nazir, A. (2020). Mobile Wi-Fi based scheduling of cyber-physical systems in healthcare [Article]. *Electronics (Switzerland)*, 9(2), Article 247. <https://doi.org/10.3390/electronics9020247>
- Mirza, A., & Singh, N. (2019). Mental health policy in India: Seven sets of questions and some answers [Review]. *Journal of Mental Health Policy and Economics*, 22(1), 25-37.
- Morandi, M., & Camargo, L. F. R. (2015). Revisão sistemática da literatura. *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Porto Alegre: Bookman, 141-175.
- Mowla, N. I., Doh, I., & Chae, K. (2019). SEFL: Selective Ensemble Fuzzy Learner for Cognitive Detection of Bio-Modality Spoofing in MCPS. 21st International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT 2019,
- Padilla, V. S., Ponguillo, R. A., Abad, A. A., & Salas, L. E. (2020). Cyber-physical system based on image recognition to improve traffic flow: A case study [Article]. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 10(5), 5217-5226. <https://doi.org/10.11591/IJECE.V10I5.PP5217-5226>
- Patan, R., Pradeep Ghantasala, G. S., Sekaran, R., Gupta, D., & Ramachandran, M. (2020). Smart healthcare and quality of service in IoT using grey filter convolutional based cyber physical system [Article]. *Sustainable Cities and Society*, 59, Article 102141. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102141>
- Perner, A., Rhodes, A., Venkatesh, B., Angus, D. C., Martin-loeches, I., Preiser, J. C., Vincent, J. L., Marshall, J., Reinhart, K., Joannidis, M., & Opal, S. M. (2017). Sepsis: frontiers in supportive care, organisation and research [Review]. *Intensive Care Medicine*, 43(4), 496-508. <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4677-4>
- Qiu, H., Qiu, M., Liu, M., & Memmi, G. (2020). Secure Health Data Sharing for Medical Cyber-Physical Systems for the Healthcare 4.0 [Article]. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, 24(9), 2499-2505, Article 8995537. <https://doi.org/10.1109/JBHI.2020.2973467>
- Redeker, G. A., Kessler, G. Z., & Kipper, L. M. (2019). Lean information for lean communication: Analysis of concepts, tools, references, and terms [Review]. *International Journal of Information Management*, 47, 31-43. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.12.018>
- Samaddar, A., Rahiminasab, Z., Easwaran, A., Banerjee, A., & Bai, X. (2019). Linearization based safety verification of a glucose control protocol. 22nd IEEE International Symposium on Real-Time Distributed Computing, ISORC 2019,
- Schranz, M., Di Caro, G. A., Schmickl, T., Elmenreich, W., Arvin, F., Şekercioğlu, A., & Sende, M. (2021). Swarm Intelligence and cyber-physical systems: Concepts, challenges and future trends [Article]. *Swarm and Evolutionary Computation*, 60, Article 100762. <https://doi.org/10.1016/j.swevo.2020.100762>

- Sharma, A., Rathee, G., Kumar, R., Saini, H., Vijaykumar, V., Nam, Y., & Chilamkurti, N. (2019). A secure, energy-and SLA-efficient (SESE) E-healthcare framework for quickest data transmission using cyber-physical system [Article]. *Sensors (Switzerland)*, 19(9), Article 2119. <https://doi.org/10.3390/s19092119>
- Smith, E., & Ross, F. M. (2007). Service user involvement and integrated care pathways. *International Journal of Health Care Quality Assurance*.
- Vishnu, C. R., Sridharan, R., Ram Kumar, P. N., & Regi Kumar, V. (2019). Analysis of the operational risk factors in public hospitals in an Indian state: A hybrid DEMATEL–ISM–PROMETHEE approach [Article]. *International Journal of Health Care Quality Assurance*, 33(1), 67-88. <https://doi.org/10.1108/IJHCQA-06-2018-0156>
- Zhang, Y., Qiu, M., Tsai, C. W., Hassan, M. M., & Alamri, A. (2017). Health-CPS: Healthcare cyber-physical system assisted by cloud and big data [Article]. *IEEE Systems Journal*, 11(1), 88-95. <https://doi.org/10.1109/JSYST.2015.2460747>
- Leão, M. M. (2002). Um estudo sobre a concepção e desenvolvimento do acordo de nível de serviço para ambientes de redes de computadores.