

ENEI2025 fortaleza IX ENCONTRO NACIONAL DE ECONOMIA INDUSTRIAL

"Financiamento e Desenvolvimento Brasileiro:
oportunidades e desafios"



20-23
MAIO DE 2025



LOCAL: sede do BNB, Avenida
Dr. Silas Munguba, 5.700 –
Centro de Treinamento,
Passaré, Fortaleza (CE)

Realização:  Banco do
Nordeste

ABEIN

Associação Brasileira de
Economia Industrial e Inovação

Health 4.0: Evolução, Tendências e o Papel dos Países em Desenvolvimento na Transformação Digital na Saúde

Renata Martins Predo¹;
Camila Veneo C. Fonseca².

Resumo: A Indústria 4.0 vem revolucionando diversos setores e esferas da vida, incluindo a saúde. O termo Health 4.0 refere-se à adoção de tecnologias 4.0 para melhorar a eficiência, reduzir custos e personalizar os cuidados em saúde. Sendo este um setor estratégico, tanto em relação ao bem-estar de uma sociedade quanto em relação ao desenvolvimento socioeconômico de um país, é essencial entender as mudanças decorrentes da incorporação dessas tecnologias na saúde. Neste sentido, este artigo tem como objetivo analisar a evolução e o estado da arte da literatura sobre Health 4.0, identificando clusters temáticos que caracterizam o campo, e identificar tendências futuras de pesquisa. Através da análise cienciométrica, análise de redes e Structural Topic Model (STM), este estudo busca responder às seguintes perguntas: Há uma consolidação do campo de pesquisa sobre Health 4.0? Quais são as principais temáticas abordadas por essa literatura? Quais são as tendências futuras da pesquisa na área? Qual é o papel dos países em desenvolvimento nesse novo paradigma de saúde? Os principais temas incluem segurança de dados, uso de tecnologias 4.0 em crises sanitárias e tecnologias como IoT, *machine learning* e computação em nuvem e em névoa. As tendências futuras apontam para a crescente importância da inteligência artificial na saúde. Países em desenvolvimento, como Índia, China e Brasil, desempenham um papel central na produção científica, destacando-se em áreas como medicina a distância, segurança dos dados e aplicações de tecnologias 4.0 em crises sanitárias, evidenciando o protagonismo de economias emergentes e o elevado potencial do setor em promover o desenvolvimento socioeconômico.

Palavras-chave: Health 4.0; Cienciométrica; Análise de redes; Structural topic model.

Código JEL: I15; O33.

Área Temática: 1.6 Novos temas - Indústria 4.0, Internet das coisas, outros.

¹ Instituto de Economia (IE) – UNICAMP. E-mail: renatapredo5@hotmail.com

² Instituto de Economia (IE) – UNICAMP. E-mail: cveneo@unicamp.br

Health 4.0: Evolution, Future Trends, and the role of developing countries in the digital transformation of healthcare

Abstract: Industry 4.0 has revolutionized various sectors and aspects of life, including healthcare. The term Health 4.0 refers to the adoption of 4.0 technologies to enhance efficiency, reduce costs, and personalize healthcare. As a strategic sector, both in terms of societal well-being and the socioeconomic development of a country, it is essential to understand the changes brought about by incorporating these technologies in healthcare. Thus, this paper aims to analyze the evolution and limitations of the literature on Health 4.0, and to identify thematic clusters that characterize the field as well as future research trends. Through scientometric analysis, network analysis, and Structural Topic Model (STM), this study aims to answer the following questions: Is the research field on Health 4.0 consolidated? What are the main themes addressed by the literature? What are the future research trends in this area? What role do developing countries play in this new healthcare paradigm? The main topics include data security, the use of 4.0 technologies in health crises, and technologies such as IoT, machine learning, and cloud and fog computing. Future trends point to the increasing importance of artificial intelligence in healthcare. Developing countries, such as India, China, and Brazil, play a central role in scientific production, excelling in areas such as telemedicine, data security, and applications of 4.0 technologies in health crises, highlighting the importance of emerging economies and the sector's high potential to promote socioeconomic development.

Keywords: Health 4.0; Scientometrics; Network analysis; Structural topic model.

1. Introdução

Ao final da primeira década do século XXI, o mundo testemunhou o surgimento da Quarta Revolução Industrial e, com ela, uma intensa transformação digital. Tais mudanças afetaram quase todas as esferas da vida humana, incluindo indústrias e modelos de negócios, e delimitaram o que ficou comumente conhecido como Indústria 4.0 (PHILBECK; DAVIS, 2019). Originada em 2011 e derivada de um projeto estratégico do governo alemão (XU *et al.*, 2021), a Indústria 4.0 envolve a digitalização dos processos – etapa necessária para uma maior agilidade na troca de informações em tempo real, o que permite uma maior integração e interoperação de processos estruturados em rede. Algumas das tecnologias que permitiram tal digitalização dos processos, também conhecidas como tecnologias 4.0, são: *Internet of Things* (IoT), *big data*, *cloud computing*, *Cyber Physical System* (CPS), manufatura aditiva e blockchain (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2020).

A versatilidade dessas tecnologias e seus benefícios levaram a sua adoção em diversos setores, como o alimentício (ALI *et al.*, 2024), o de logística (HOFMANN; RÜSCH, 2017), o de segurança (WANG, 2020) e o de construção (SHAFEI *et al.*, 2022). Da mesma forma, essas tecnologias têm sido amplamente utilizadas na saúde (SISODIA, 2021), cunhando o termo Health 4.0, ou Healthcare 4.0. Health 4.0, conforme apontado por Aceto *et al.* (2020), envolve a adoção de três pilares principais: IoT, *Big Data* e *Cloud Computing*. Yang *et al.* (2020) vão além e definem Health 4.0 como um processo contínuo, mas disruptivo, de transformação de toda a cadeia de valor da saúde, desde a produção de medicamentos e equipamentos médicos, cuidados hospitalares e extra-hospitalares, logística de cuidados de saúde, gerenciamento da cadeia de suprimentos, até os sistemas financeiros e sociais. Além disso, conforme apontado por Tanwar *et al.* (2020), o principal objetivo do Health 4.0 é aprimorar a virtualização, permitindo cuidados de saúde mais preditivos e personalizados em tempo real.

Sendo a saúde um setor estratégico tanto para o bem-estar de uma sociedade quanto para o desenvolvimento socioeconômico de um país, é crucial entender melhor como a Indústria 4.0 está operando nesse setor. As tecnologias 4.0 aplicadas à saúde podem reduzir custos (tanto por fornecerem soluções mais baratas de diagnósticos quanto por focarem na prevenção de doenças, o que, por sua vez, reduz os custos de tratamentos futuros) (TORTORELLA *et al.*, 2022). Além disso, essas tecnologias podem melhorar a qualidade do atendimento médico (MOHAMED; AL-JAROODI, 2019), reduzir filas em hospitais (KISHOR; CHAKRABORTY, 2022), atuar de forma mais eficiente em crises sanitárias (ABDEL-BASSET; CHANG; NABEEH, 2021), contribuir para a cura de doenças e condições médicas ainda sem tratamento (ACETO; PERSICO; PESCAPÉ, 2020) e melhor organizar a cadeia de suprimentos (HOSSAIN; THAKUR, 2024). Não obstante, a incorporação de tais tecnologias também figura como uma estratégia de desenvolvimento socioeconômico, principalmente em países em desenvolvimento, pois envolve tecnologias de ponta em um setor que movimenta recursos importantes, sejam eles humanos, tecnológicos ou financeiros (SOLANO-ROJAS; VILLALÓN-FONSECA; MARÍN-RAVENTÓS, 2020). Conforme aponta Gadelha (2012, 2021), mais do que um fator para o crescimento econômico, a saúde deve ser considerada um direito social e uma condição fundamental para a cidadania, elementos essenciais para o desenvolvimento sustentável de um país.

O objetivo deste trabalho é dialogar com Tortorella *et al.* (2020), partindo da hipótese de que o campo de Health 4.0 apresenta uma maior consolidação em suas áreas temáticas. Validada essa hipótese, o estudo busca não apenas organizar e descrever essas áreas, mas também identificar temas emergentes, contribuindo para uma agenda de pesquisa mais precisa e estruturada. As perguntas de pesquisa que orientam esse estudo são: (i) Há uma consolidação do campo de pesquisa sobre Health 4.0?; (ii) Quais são as principais temáticas abordadas por essa literatura; (iii) Quais são as tendências futuras da pesquisa na área; e (iv) Qual é o papel dos países em desenvolvimento nesse novo paradigma da saúde?

Para responder essas perguntas, o presente trabalho está dividido em três seções, além desta introdução. A segunda seção apresenta a metodologia utilizada, a saber: análise cienciométrica, análise de redes e STM. A terceira seção apresenta e discute os resultados obtidos em todas as etapas metodológicas. E, por fim, a última seção dá conta dos comentários finais.

2. Metodologia

Com o objetivo de analisar a literatura sobre Health 4.0, assim como sua organização temática, e

identificar as tendências futuras da pesquisa na área, o presente trabalho utiliza um desenho metodológico que incorpora diferentes técnicas. Além da cientometria, são utilizadas técnicas de análise de redes e o STM para avaliar a robustez dos achados. A Figura 1 descreve as etapas metodológicas, enquanto as próximas seções apresentam em mais detalhes cada uma das metodologias utilizadas.

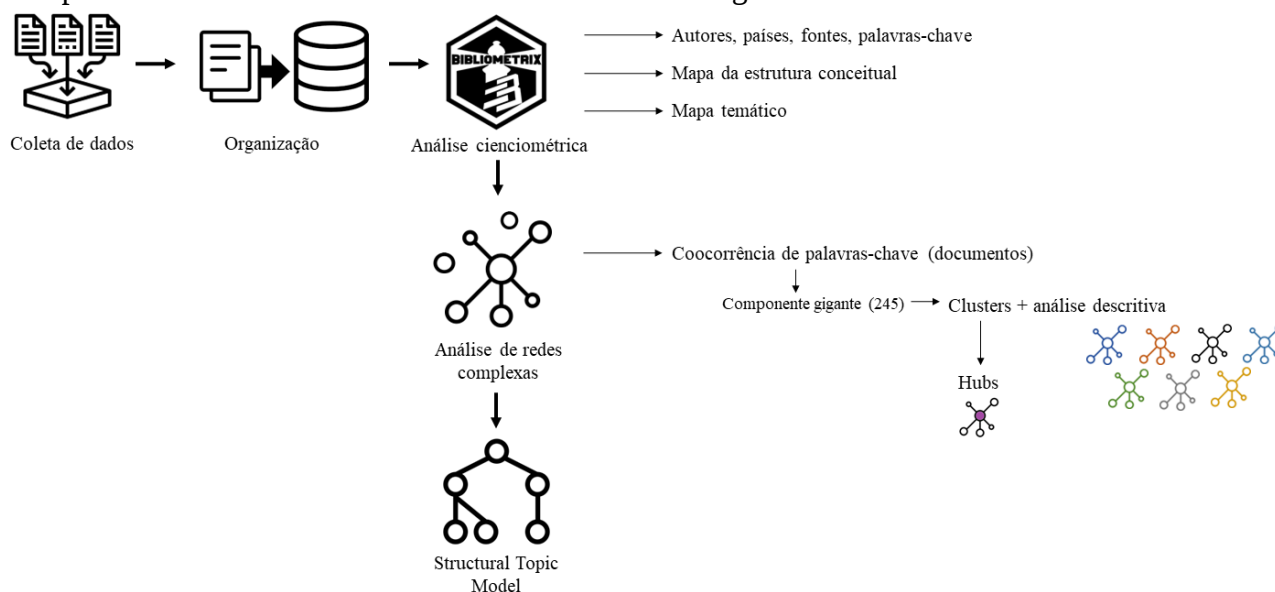


Figura 1. Etapas metodológicas. Fonte: Elaboração própria.

2.1 Seleção de artigos e filtros

A primeira etapa da metodologia foi a coleta sistemática das informações. Para tanto, foi necessário definir as palavras-chave utilizadas. A primeira combinação de palavras-chave selecionada incluiu as expressões “Health* 4.0” e “Pharma* 4.0”. A inclusão de “Pharma* 4.0” na pesquisa baseou-se no trabalho editado por Thuemmler e Bai (2017), no qual Pharma 4.0 foi considerado parte importante da Health 4.0, especialmente no que diz respeito à indústria de *smart pharmaceuticals*. Essa indústria foca principalmente no monitoramento, na melhoria do controle clínico e no uso adequado da medicação, visando maximizar o potencial de benefício e minimizar o risco de danos à saúde.

Uma análise exploratória preliminar dos artigos da área indicou que trabalhos importantes, como Aceto *et al.* (2018), não utilizavam termos como “Heath 4.0”, “Healthcare 4.0” ou “Pharma 4.0” em suas palavras-chave, resumo ou título. Esse resultado pode ser justificado pela contemporaneidade do campo, argumento corroborado pelo fato de serem principalmente os trabalhos mais antigos (2018-2019) os que ainda não utilizavam os termos selecionados para busca. Por isso, julgou-se importante incluir entre os termos de busca “Industry 4.0” na combinação tanto com derivados de Pharma quanto com derivados de Health. Aventou-se, ainda, a possibilidade de realizar buscas adicionais incorporando o termo “Smart”, também em conjunto com derivados de Pharma e Health. Entretanto, observou-se uma grande sobreposição entre os resultados das duas últimas estratégias, além da seleção de uma grande quantidade de artigos que não faziam parte do escopo do Health 4.0, corroborando com o que foi apontado por Aceto *et al.* (2020), isto é, que esses termos realmente não são intercambiáveis na literatura. Por isso, a última estratégia de busca foi desconsiderada.

Em resumo, duas estratégias de busca foram consideradas (Busca I e Busca II), conforme indicado na Figura 2. As buscas foram realizadas na Web of Science, considerada uma base de dados mais robusta, i.e. mais padronizada, e interdisciplinar para pesquisas acadêmicas de alto impacto (FALAGAS *et al.*, 2008). Se, por um lado, a inclusão da Busca I garante a seleção de artigos importantes para o objetivo de pesquisa, por outro, a contrapartida dessa escolha é que muitos artigos não diretamente relacionados a Health ou Pharma 4.0 seriam incluídos. Por isso, depois da remoção de duplicatas e de artigos publicados em 2024,³ passou-se para a etapa de leitura dos resumos dos 755 documentos restantes.

³ Os artigos publicados no ano da busca foram removidos, pois não representam um ano completo de publicações e, portanto, poderiam distorcer as análises temporais de publicações.

A leitura dos resumos e escolha de inclusão ou exclusão do documento foi feita independentemente por dois pesquisadores e posteriormente compatibilizada. Os critérios de exclusão foram: (i) artigos sobre Indústria 4.0 que apenas citam a possibilidade de aplicação de tecnologias 4.0 na saúde, mas não exploram a questão; (ii) artigos que tratam da saúde de sistemas industriais ou de equipamentos industriais; (iii) artigos sobre a introdução de tecnologias 4.0 nas cadeias alimentares, ou seja, que têm relação com a saúde humana, mas não com o Health 4.0 conforme abordado nesta pesquisa; (iv) artigos que discutem a ideia de *safety*, isto é, a melhora na segurança, especialmente do trabalho em fábricas inteligentes, onde humanos e máquinas convivem com grande proximidade (não caracterizando Health 4.0, mas sim *Safety 4.0*); e (v) artigos que envolvem redução da criação de lixo ou do desperdício, que, embora envolvam benefícios para a saúde humana, são entendidos como *Waste Management 4.0* (KANNAN *et al.*, 2024). Trabalhos que tratavam de tecnologias 4.0 utilizadas para reduzir e/ou tratar lixo e desperdício hospitalar foram mantidos, por se encontrarem em uma zona de intersecção entre *Waste Management 4.0* e *Health 4.0*.

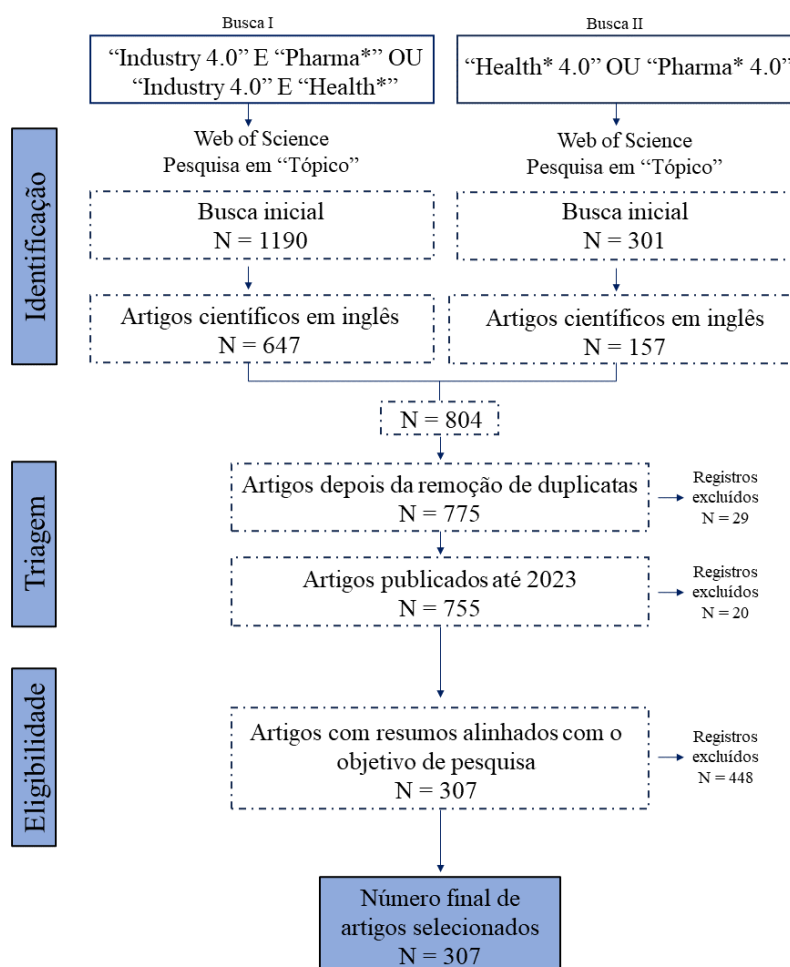


Figura 2. Pesquisa de documentos e filtros. Fonte: Elaboração própria.

2.2 Cienciometria

A cienciometria é o estudo da ciência, da tecnologia e da inovação a partir de uma perspectiva quantitativa (LEYDESDORFF; MILOJEVIC, 2015), focando em textos (documentos) como unidades de análise empírica e dando suporte para análises que vão desde uma descrição de um campo científico em números de artigos, autores e revistas, até análises temáticas e análises de redes (de co-citação, de palavras-chaves etc.). O que torna a cienciometria relevante para decifrar, mapear e compreender a dinâmica de um campo científico, portanto, é a sua capacidade de identificar padrões, tendências e relações entre diferentes elementos do conhecimento científico, facilitando assim ter uma visão mais estruturada e abrangente da evolução de áreas específicas do conhecimento, identificar *gaps*, derivar novas ideias para pesquisas na área e posicionar as contribuições pretendidas do pesquisador para o campo (DONTU *et al.*, 2021).

A análise descritiva dos 307 artigos selecionados foi realizada através do pacote Bibliometrix

implementado no software R (ARIA; CUCCURULLO, 2017). Essa análise fornece informações sobre os principais autores que estão publicando no campo, o avanço do campo ao longo do tempo, não só em termos de números de publicações, mas também de temáticas, países com maior número de publicações e citações, principais revistas também em termos de número de publicações e citações e as principais palavras-chave do campo. Tais informações são apresentadas na seção “Resultados”.

Além das estatísticas descritivas mencionadas, recorreu-se ao mapa da estrutura conceitual e ao mapa temático para análise dos resultados. O primeiro se baseia na coocorrência de palavras-chave, na Análise de Correspondência Múltipla (ACM) e na clusterização dos resultados por *k-means*, tendo como objetivo identificar clusters de documentos que expressam conceitos comuns. Já o mapa temático é um instrumento de agrupamento e visualização que permite reduzir a dimensionalidade para facilitar a visualização das informações com o objetivo de classificar as temáticas do campo sob estudo em: nichadas (baixa relevância, mas alto desenvolvimento), básicas (alta relevância, mas baixo desenvolvimento), motoras (alta relevância e desenvolvimento) e emergentes/em declínio (baixa relevância e desenvolvimento). Para tanto, são calculadas medidas de densidade e centralidade, cada uma delas apresentadas, respectivamente, na ordenada e na abscissa (ARIA; CUCCURULLO, 2017).

2.3 Redes complexas

Além da análise descritiva, foram implementadas técnicas de análise de redes para um estudo mais aprofundado da produção científica acerca das tecnologias 4.0 na saúde, ou seja, do Health 4.0. Para tanto, foi construída uma rede de coocorrência de palavras-chave, usando as palavras-chave indicadas pelos autores. Esse tipo de rede contribui principalmente para a análise das principais temáticas do campo e para um melhor entendimento das tendências futuras da pesquisa (DONTU et al., 2021).

Dessa forma, uma rede foi construída buscando conectar os 307 artigos analisados (nós) por palavras-chave em comum (arestas). Sessenta e dois artigos não se conectaram com os demais, resultando em um componente gigante (*giant component*) de 245 nós. O objetivo foi agrupar a literatura sobre Health 4.0 por conteúdo, identificando as principais linhas de pesquisa no campo. Em outras palavras, enquanto a estratégia de busca gerou um grande conjunto de artigos sob a temática do Health 4.0, a criação da rede de coocorrência de palavras-chave buscou, a partir disso, identificar alinhamentos temáticos internos e possíveis tendências da pesquisa na área.

O próximo passo foi realizar a clusterização, utilizando o algoritmo de Louvain (BLONDEL et al., 2008), devido a sua forte performance em redes estáticas de média escala (ANUAR et al., 2021). A visualização da rede foi realizada através do software Gephi. Dessa forma, os artigos anteriormente conectados pela rede de coocorrência puderam ser clusterizados pelas suas temáticas. Foram obtidos sete clusters temáticos. Por fim, buscou-se identificar os hubs, isto é, os documentos de maior importância em cada cluster. Para a identificação dos hubs, o número total de citações por cluster foi normalizado, tendo sido considerados hubs aqueles artigos cujo resultado foi superior à 2,5 (GUIMERA; NUNES AMARAL, 2005).

2.4 STM

Para garantir a robustez dos resultados obtidos pela análise das redes utilizou-se o STM, técnica de modelagem estatística amplamente empregada em pesquisas nas ciências sociais para analisar o conteúdo temático de dados textuais. O STM aprimora modelos tradicionais, como o *Latent Dirichlet Allocation* (LDA), por permitir a integração de Modelos de Tópicos Correlacionados (CTM) e a incorporação de metadados adicionais sobre a estrutura subjacente dos dados. Logo, o STM revela como diferentes documentos podem abordar o mesmo tema utilizando diferentes escolhas de palavras, auxiliando na identificação dos alinhamentos temáticos presentes no campo do Health 4.0, (BLEI; NG; JORDAN, 2003; ROBERTS; STEWART; TINGLEY, 2019).

O STM identifica de forma exploratória tópicos latentes nos documentos analisados baseado na frequência de palavras que coocorrem (JACKSON et al., 2022). Por ser uma técnica de aprendizado de máquina não supervisionada, os tópicos não são conhecidos *a priori*, ou seja, identifica-se e interpreta-se tópicos emergentes a partir dos documentos textuais. O STM classifica os documentos a partir da

distribuição de tópicos e os tópicos pela distribuição de palavras. Cada tópico é construído com palavras que possuem maior probabilidade de aparecer nos documentos atribuídos a esse tópico. Palavras mais frequentes dentro de um conjunto de documentos atribuídos a um tópico têm uma probabilidade maior de serem incluídas na descrição desse tópico (ROBERTS; STEWART; TINGLEY, 2019).

Os tópicos do modelo dependem da combinação de duas medidas baseadas na maximização das semelhanças e das diferenças. A primeira medida, a semelhança semântica, é maximizada quando os termos que mais ocorrem em um determinado tópico tendem a aparecer juntos nos documentos. Já a segunda medida, a exclusividade dos termos do tópico, é maximizada quando termos com alta probabilidade de aparecer em um tópico não se sobrepõem com termos com alta probabilidade de aparecer em outro tópico. Em outras palavras, essa última medida avalia quão exclusivos são os termos em um determinado tópico em comparação com os demais. A escolha do número de tópicos é crucial para evitar uma granularidade excessiva (tópicos pequenos e específicos) ou uma agregação excessiva (tópicos amplos e genéricos). O objetivo é encontrar um número que forneça uma representação útil da estrutura temática subjacente aos dados.

Nesta pesquisa, o número de tópicos foi decidido utilizando o passo-a-passo proposto por Weston *et al.* (2023), que indica a análise das estatísticas de ajuste das soluções possíveis (menor resíduo, maior exclusividade, maior limite inferior variacional e maior coerência semântica), a restrição dessas soluções a um número tratável de modelos candidatos e a seleção de um pequeno número de modelos para avaliação adicional. Feito isso, foram encontrados seis tópicos, que serão analisados na seção de resultados.

3. Resultados

3.1 Estatísticas descritivas (amostra completa)

As pesquisas envolvendo Health 4.0 além de muito recentes, demonstraram uma taxa de crescimento expressiva: os 307 artigos analisados foram publicados entre 2018 e 2023. Como o campo do Health 4.0 é derivado da literatura sobre Indústria 4.0, que também começou a crescer mais fortemente a partir de 2015 (MUHURI; SHUKLA; ABRAHAM, 2019), é compreensível que os primeiros artigos sobre Health 4.0 tenham surgido em 2018. Mais do que isso, a taxa anual de crescimento do campo é de 66,29%. Como é possível observar na Figura 3, a taxa de crescimento do campo seguia um comportamento exponencial até o ano de 2022, chegando a 95 publicações por ano, quando sofreu uma redução no crescimento, ao apresentar 89 artigos publicados em 2023.

Os países com maior representação no número de publicações sobre Health 4.0 foram Índia (240 artigos), China (173), Itália (102), Brasil (81) e Austrália (69). Em relação ao número de citações, os países que se destacam são Índia (1788 citações), Reino Unido (829), China (506), Brasil (486) e Itália (441), conforme indicado na Figura 3.

Embora o conceito de Indústria 4.0 tenha surgido na Alemanha, levando a uma expectativa de destaque dos países europeus em publicações relacionadas tanto à Indústria 4.0 (conforme apontado por Muhuri *et al.*, 2019) quanto a seus derivados, como Health 4.0, o que se observou foi um protagonismo significativo dos países em desenvolvimento, como Índia, China e Brasil. Estes países não apenas lideram em número de artigos publicados, mas também em citações, demonstrando a relevância e o impacto de suas pesquisas na área.

Países como Índia, Itália, China e Austrália já haviam se mostrado relevantes no trabalho de Tortorella *et al.* (2020). Entretanto, nesses últimos anos o Brasil obteve destaque nas publicações do campo, com principal ênfase em duas instituições: a Universidade Federal de Santa Catarina, com 22 publicações (a afiliação com maior número de artigos da amostra), e a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, com 15 publicações (a quarta afiliação com o maior número de artigos na amostra).

Em relação às principais fontes, isto é, as revistas com maior número de publicações na área, destacam-se a *IEEE Access* (15 artigos), *IEEE Transactions on Industrial Informatics* (12), *Sensors* (10), *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics* (8) e *Sustainability* (7), conforme indicado na Figura 3. Em relação às revistas mais citadas entre os artigos analisados, temos *IEEE Access* (citado 415 vezes), *International Journal of Production Research* (216), *Future Generation Computer Systems* (198), *Sensors-Basel* (176) e *IEEE Transactions on Industrial Informatics* (165).

No que diz respeito às áreas, observa-se a predominância das ciências computacionais e sistemas de informação (34%), da engenharia e eletroeletrônica (32%), da gestão e da economia (13%) e das telecomunicações (12%), ficando bem a frente da área médica (4%) e da informática médica (5%). Isso mostra não apenas a forte interdisciplinaridade do campo, que conecta o conhecimento médico com aspectos das ciências computacionais e da gestão, mas também as áreas em que essas tecnologias estão sendo aplicadas. O Health 4.0 é estudado não apenas na área da saúde, computação e engenharia, mas também na economia, pois essas tecnologias são cruciais para a geração de valor. Em outras palavras, além da aplicação direta e prática dessas tecnologias e inovações, o Health 4.0 é importante como estratégia de desenvolvimento e geração de valor econômico, financeiro e social.

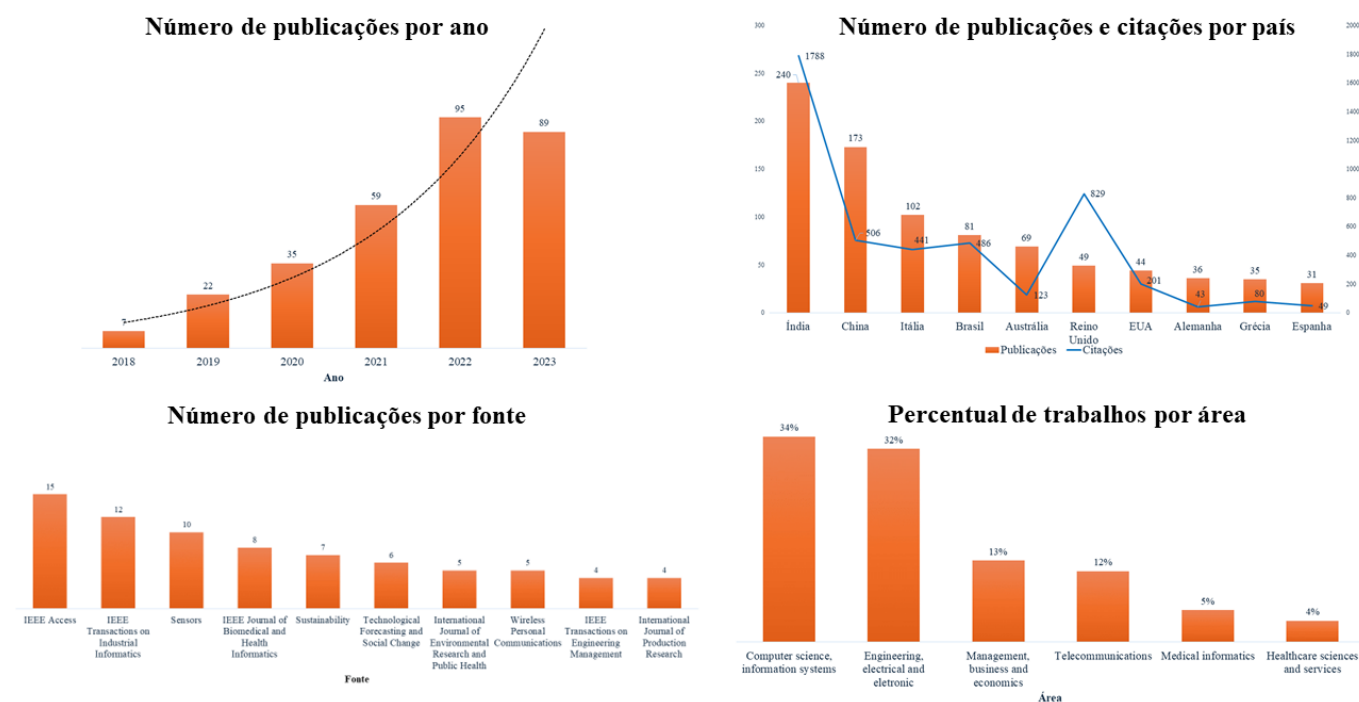


Figura 3. Análise descritiva. Elaboração própria.

O mapa da estrutura conceitual evidencia três clusters. O verde se mostra focado em indústria, inovação, tecnologias, performance e gestão, envolvendo *big data analytics* e sistemas de informação; já o cluster vermelho tem foco em segurança, computação em nuvem e *design*; por fim, o cluster azul apresenta um foco mais restrito, sendo direcionado a IoT e ao *big data*. Assim, pode-se destacar três principais clusters de conceitos tratados na amostra: de inovação e tecnologias, passando por preocupações com performance e gestão; de segurança de dados; e de IoT.

Já no mapa temático observa-se que os temas emergentes ou declinantes são sensores, gestão de risco e sistemas de monitoramento. Praticamente não há temas nichados, sendo o diagnóstico de falhas o único nicho identificado. Entre os temas motores se destacam inteligência artificial, serviços, computação em nuvem, segurança, privacidade e *records* (que se relaciona com a discussão de segurança e privacidade por tratar dos registros dos pacientes, como será visto com mais detalhes na próxima seção). Por fim, entre os temas básicos se destacam algoritmos, logística, gestão, performance, big data e IoT (em linha com o que foi observado na estrutura conceitual). Tanto o mapa da estrutura conceitual quanto o mapa temático podem ser observados na Figura 4.

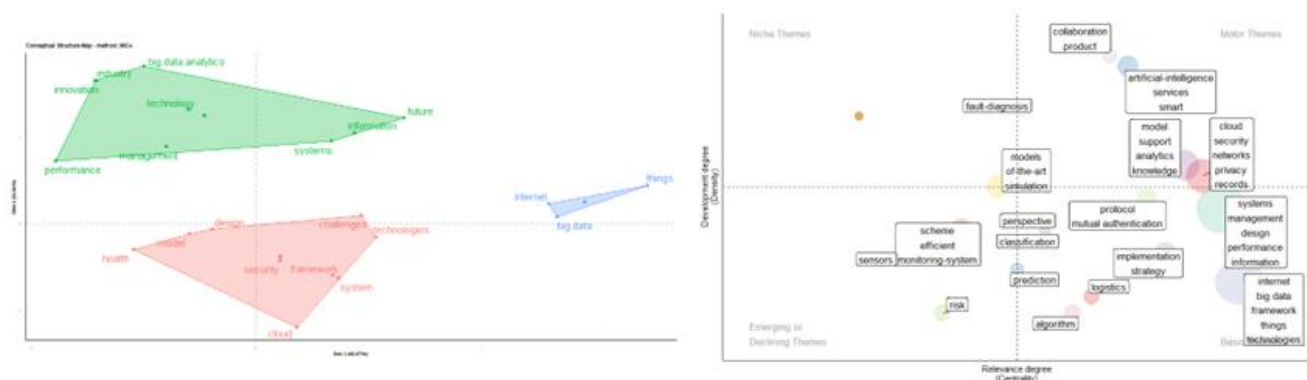


Figura 4. (a) Mapa da estrutura conceitual e (b) Mapa temático. Elaboração própria.

3.2 Estatística descritivas dos clusters e análise dos hubs

Os artigos foram então conectados por palavras-chave em comum e clusterizados de acordo com a semelhança das temáticas abordadas. A clusterização dos artigos a partir da rede de coocorrência de palavras-chave identificou sete clusters temáticos. A Figura 5 identifica os clusters na rede e, na sequência, cada um dos clusters é analisado, tanto em relação às suas estatísticas descritivas quanto em relação aos temas e hubs.

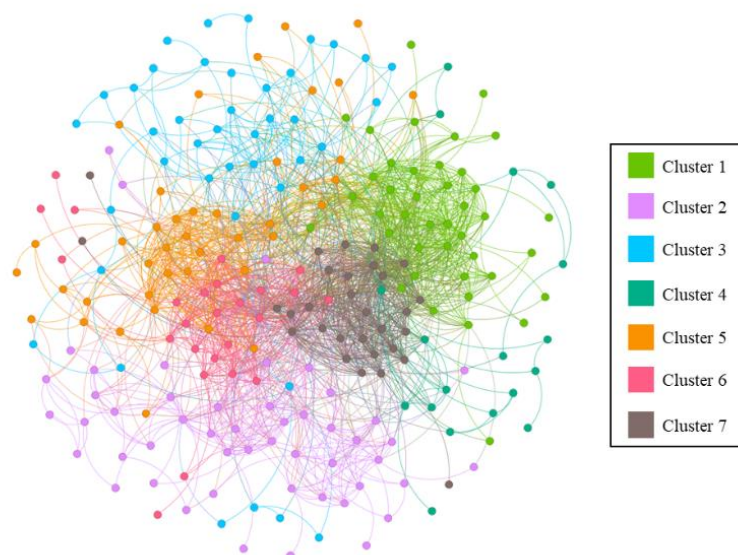


Figura 5. Rede de coocorrência de palavras-chave com a identificação dos clusters. Elaboração própria.

3.2.1 Cluster 1 – Segurança de dados

O Cluster 1, formado por 41 artigos, foca principalmente na segurança de dados. Blockchain se destaca como a principal palavra-chave utilizada, seguida por *security*, *privacy*, *medical services* e *authentication*. Ainda aparecem como palavras-chave tanto *Electronic Health Records* quanto sua sigla EHR (Tabela 1). Este é um tópico que cresceu principalmente a partir de 2021, tendo 32 dos seus 41 artigos publicados nesse período. Isso é reforçado pelo trabalho de Tortorella *et al.* (2020), que indica que, em 2020, esse era um dos principais campos que apresentava barreiras e desafios ao desenvolvimento do Health 4.0 e que ainda precisava avançar. O que foi observado é que essa área se desenvolveu, se mostrando uma das principais temáticas no escopo do Health 4.0, como observado no mapa da estrutura conceitual (Figura 4a) e no mapa temático (Figura 4b).

No contexto de Health 4.0, onde dados podem ser coletados de forma remota, em *smartphones* e *smartwatches*, é necessária uma maior preocupação com a segurança e privacidade dessas informações (ROY *et al.*, 2019). A tecnologia do blockchain foi introduzida inicialmente para fornecer registros distribuídos de transações financeiras que não dependiam de autoridades centralizadas ou instituições

financeiras. Entretanto, avanços nessa tecnologia possibilitaram sua utilização em diversos campos, inclusive na saúde. O blockchain levou a melhorias nas transações de registros médicos eletrônicos, na segurança de dados de saúde privados (BHATTACHARYA *et al.*, 2021) e principalmente na interoperabilidade dos bancos de dados de saúde, proporcionando maior acesso aos registros médicos dos pacientes, rastreamento de dispositivos, bancos de dados de prescrições e de ativos hospitalares (TANWAR; PAREKH; EVANS, 2020).

Tabela 1 - Principais palavras-chave e artigos mais citados com indicação do hub (hachurado) – Cluster 1

Principais palavras-chave dos autores (DE)	Número de ocorrências	Artigo	Número de citações
<i>Blockchain</i>	21	Tanwar <i>et al.</i> (2020)	320
<i>Security</i>	13	Abdel-Basset <i>et al.</i> (2021)	128
<i>Medical Services</i>	6	Bhattacharya <i>et al.</i> (2021)	101
<i>Privacy</i>	6	Roy <i>et al.</i> (2019)	98
<i>Authentication</i>	5	Hathaliya <i>et al.</i> (2019)	88
<i>Cloud servisse provider</i>	3	Wan <i>et al.</i> (2019)	80
<i>Cyber-Physical System</i>	3	Qahtan <i>et al.</i> (2022)	50
<i>EHR</i>	3	Mahajan <i>et al.</i> (2023)	47
<i>Electronic Health Records</i>	3	Larrucea <i>et al.</i> (2020)	42
<i>Ethereum</i>	3	Krishnamoorthy <i>et al.</i> (2023)	32

Fonte: Elaboração própria.

Em termos da localização geográfica, os países em desenvolvimento são protagonistas na discussão de segurança de dados na saúde. Os países com o maior número de artigos nesse cluster são Índia (16), China (3), Brasil (2) e Malásia (2). Em relação ao total de citações, novamente os países em desenvolvimento se destacam, sendo o Reino Unido a única exceção: Índia (638), Reino Unido (134), China (102) e Brasil (98).

3.2.2 Cluster 2 – Tecnologias do Health 4.0

O Cluster 2 é formado por 49 artigos e foca principalmente nas tecnologias que compõem o Health 4.0, tendo como principais palavras-chave: *machine learning*, *digital twin*, *aditive manufacturing* e *deep learning*. Esse cluster também se destaca pela presença de artigos relacionados à área farmacológica, contando com *pharmaceutical* entre as suas palavras-chave. Cabe ainda ressaltar que além da presença da manufatura aditiva (ou *3D printing*), o cluster também apresentou como palavra-chave a *4D printing*, isto é, o mesmo processo de impressão do *3D printing*, mas que utiliza materiais inteligentes, capazes de mudar seu formato com o tempo ou com mudanças na temperatura do ambiente – área de grande potencial no Health 4.0 (JAVAID; HALEEM, 2020) (Tabela 2). Esse cluster é o que possui os artigos mais antigos da amostra, indicando como o campo do Health 4.0 se iniciou através da discussão de aplicações de tecnologias inicialmente associadas à Indústria 4.0 na área da saúde.

Tanto o *machine learning* quanto o *deep learning* têm encontrado importantes aplicações no campo do Health 4.0. Um exemplo é o processamento de texto advindo dos registros médicos. Devido à diversidade de estilos e estruturas desses documentos, a extração automática de texto é tarefa árdua e demorada (TENG *et al.*, 2020). Por isso, essas ferramentas se mostram extremamente úteis, podendo transformar anos de registros médicos em arquivos digitais de fácil acesso e consulta. Outro exemplo é o processamento de dados coletados por sensores. Com o avanço na tecnologia da coleta de dados, estes se tornam mais complexos e mais difíceis de processar. É nesse contexto que ferramentas como *machine learning* se tornam cruciais (COFRE-MARTEL; LOPEZ DROGUETT; MODARRES, 2021). Em relação às possibilidades para a tecnologia do *digital twin* na saúde, sua grande vantagem é enfrentar o desafio da integração perfeita entre IoT e análise de dados através da criação de um gêmeo digital conectado ao seu correspondente físico. Por enquanto, suas aplicações centram-se em simular o efeito de medicamentos no corpo, planejar e performar procedimentos cirúrgicos, assistir a manutenção preventiva de equipamentos médicos, entre outros (HASSANI; HUANG; MACFEELY, 2022; FULLER *et al.*, 2020).

Tabela 2 - Principais palavras-chave e artigos mais citados com indicação do hub (hachurado) – Cluster 2

Principais palavras-chave dos autores (DE)	Número de ocorrências
<i>Machine Learning</i>	12
<i>Digital Twin</i>	11
<i>Additive Manufacturing</i>	9
<i>Deep Learning</i>	5
<i>E-Health</i>	4
<i>Principal Component Analysis</i>	4
<i>Automation</i>	3
<i>Design</i>	3
<i>Pharmaceutical</i>	3
<i>4D Printing</i>	2

Fonte: Elaboração própria.

Novamente, os países em desenvolvimento se destacam. Em relação ao número de artigos, a Índia aparece com 12 artigos, seguida por China (4), EUA (4) e Brasil (3). Em termos de número de citações, o Brasil lidera com 87 citações, seguido por Índia (53), Japão (35) e EUA (32).

3.2.3 Cluster 3 – Medicina a Distância

O Cluster 3, formado por 41 artigos, tem como foco a medicina a distância, sendo *telemedicine* a terceira palavra-chave mais utilizada. As duas palavras-chave que mais aparecem no cluster são *monitoring* e *IoT*, a primeira um dos princípios da medicina a distância e a segunda uma das suas principais tecnologias habilitadoras. Aparecem ainda como palavras-chave relevantes *sensors*, outra importante tecnologia habilitadora da medicina a distância, e *decision support system*, isto é, sistemas de apoio à decisão, uma classe de sistemas de informação que apresenta um modelo de tomada de decisão capaz de analisar um grande número de variáveis para a tomada de decisão.

Entre os principais tópicos tratados dentro da discussão de medicina a distância estão a telecirurgia (GUPTA *et al.*, 2019) e o monitoramento para o cuidado de idosos (CHEN *et al.*, 2018), em particular, e de pessoas, em geral. Além disso, há a discussão sobre sistemas de apoio à tomada de decisão, que envolve o monitoramento de sintomas e tendências para a realização de diagnóstico, tratamentos e administração de medicamentos (BHATTI *et al.*, 2019). Ambas as frentes potencializam a ação da medicina à distância por corroborar com um paradigma mais centrado no paciente e menos nos hospitais (CHUTE; FRENCH, 2019).

Tabela 3. Principais palavras-chave e artigos mais citados com indicação do hub (hachurado) – Cluster 3

Principais palavras-chave dos autores (DE)	Número de ocorrências	Artigo	Número de citações
<i>Monitoring</i>	7	Bhatti <i>et al.</i> (2019)	114
<i>Internet of Thing</i>	6	Reinhardt <i>et al.</i> (2020)	84
<i>Telemedicine</i>	5	Kumar <i>et al.</i> (2020)	81
<i>Healthcare</i>	4	Gupta <i>et al.</i> (2019)	80
<i>Survey</i>	4	Dau <i>et al.</i> (2019)	70
<i>Barriers</i>	3	Muñiz Castro <i>et al.</i> (2021)	66
<i>Decision support System</i>	3	Tortorella <i>et al.</i> (2021)	45
<i>Digital</i>	3	Chute <i>et al.</i> (2019)	42
<i>Sensors</i>	3	Tortorella <i>et al.</i> (2020b)	39
<i>Systems</i>	3	Barenji <i>et al.</i> (2019)	31

Fonte: Elaboração própria.

Em termos geográficos, China (7), Brasil (6) e Índia (3) se destacam como países com o maior número de artigos no cluster. Em termos de número de citações, China (224), Brasil (194) e Reino Unido (113) apresentam a liderança. Novamente, observa-se o protagonismo de países em desenvolvimento, tanto em número de publicações, quanto na relevância científica desses trabalhos.

3.2.4 Cluster 4 – Digitalização e tratamento dados

O Cluster 4, o menor entre eles, possui 18 artigos e foca principalmente no tratamento de dados, pilar importante do Health 4.0, e nos processos digitais aplicados à saúde. Aparecem como palavras-chave: *big data analytics*, *data and knowledge driven*, *knowledge management*, *digital transformation* e *digitalization*.

Conforme apontado por Abbate *et al.* (2023), a transição digital está transformando como os profissionais da área da saúde estão acessando dados, lidando com as informações e gerenciando o conhecimento ao adotar tecnologias 4.0. Com isso, o setor de saúde tem investido principalmente em métodos de diagnóstico auxiliados por computador. O processo de mineração de dados aliado ao processo de gerenciamento e análise de grandes bancos de dados (*big data analytics*) tornou-se uma ferramenta robusta para a análise de informações e extração de conhecimento na saúde. Esse conhecimento é principalmente útil para práticas de diagnóstico melhores e mais rápidas (JOLOUDARI *et al.*, 2020).

Na discussão de digitalização e tratamento de dados, os países que se destacam em número de artigos são China (4), Itália (4) e Índia (2). Em relação ao número total de citações, Vietnam (77), Itália (52), China (32) e Índia (20) se destacam. Cabe ressaltar que o Vietnam possui apenas um artigo nesta temática, porém este é o artigo com o mais número de citações do cluster.

Tabela 4. Principais palavras-chave e artigos mais citados com indicação do hub (hachurado) – Cluster 4

Principais palavras-chave dos autores (DE)	Número de ocorrências	Artigo	Número de citações
<i>Big Data Analytics</i>	5	Joloudari <i>et al.</i> (2020)	114
<i>Innovation</i>	4	Murmura <i>et al.</i> (2021)	84
<i>Digital Transformation</i>	3	Abbate <i>et al.</i> (2023)	81
<i>Digitalization</i>	3	Sun <i>et al.</i> (2022)	80
<i>Uncertainty</i>	3	Cui <i>et al.</i> (2020)	70
<i>Critical Factors</i>	2	Krishankumar <i>et al.</i> (2022)	66
<i>Data- and knowledge- driven</i>	2	Angioni <i>et al.</i> (2020)	45
<i>Enabling Technologies</i>	2	Sisodia <i>et al.</i> (2021)	42
<i>Knowledge Management</i>	2		
<i>Model</i>	2		

Fonte: Elaboração própria.

3.2.5 Cluster 5 – Tecnologias 4.0 em crises sanitárias

O Cluster 5, composto por 41 artigos, está relacionado principalmente à utilidade que as tecnologias 4.0 podem ter em crises sanitárias, como foi o caso da Covid-19. A grande contribuição dessas tecnologias nesse contexto é o melhor controle e gerenciamento da cadeia de suprimentos, com a rápida e eficiente distribuição de recursos e matérias-primas para os locais de maior necessidade (BAG *et al.*, 2021; JAVAID; HALEEM, 2020; ZAHEDI *et al.*, 2021). Além disso, faz parte da literatura sobre o tema o tratamento e os serviços médicos à distância, que são potencializados pelas tecnologias 4.0. Estas últimas permitem a rápida transferência de dados em tempo real (o que implica a necessidade de um avançado sistema de privacidade de dados (SINGH *et al.*, 2020)), bem como garantem a possibilidade de menor contato entre pacientes infectados e equipe médica (devido a utilização de robôs) e, consequentemente, menor contágio (JAVAID; HALEEM, 2020). Dessa forma, aparecem como principais palavras-chave: *COVID-19*, *coronavirus*, *healthcare supply chain*, *supply chain management*, *reliability*, *resilience*, *safety* e *data privacy*.

Tabela 5. Principais palavras-chave e artigos mais citados com indicação do hub (hachurado) – Cluster 5

Principais palavras-chave dos autores (DE)	Número de ocorrências	Artigo	Número de citações
<i>COVID-19</i>	20	Javaid <i>et al.</i> (2020)	306
<i>Medical Services</i>	7	Budhiraja <i>et al.</i> (2019)	81
<i>Healthcare supply chain</i>	5	Qiu <i>et al.</i> (2020)	76

<i>Safety</i>	5	Zahedi <i>et al.</i> (2021)	54
<i>Reliability</i>	4	Bag <i>et al.</i> (2021)	49
<i>Resilience</i>	4	Al-Jaroodi <i>et al.</i> (2020)	47
<i>Supply Chain Management</i>	4	Benis <i>et al.</i> (2021)	41
<i>Coronavirus</i>	3	Singh <i>et al.</i> (2020)	41
<i>Data Privacy</i>	3	Kaiser <i>et al.</i> (2021)	36
<i>Diseases</i>	3	Sarfraz <i>et al.</i> (2021)	35

Fonte: Elaboração própria.

Como era de se esperar de artigos que tratam das possibilidades existentes num contexto de pandemia, a maior parte dos artigos que compõem esse cluster são datados de 2020 em diante, sendo o único artigo anterior o de Budhiraja *et al.* (2019). Em relação à distribuição geográfica dessa literatura, os países que mais se destacam são Austrália, China e Índia, todos com quatro artigos cada. Em termos contagem de citações, a Índia soma 349 citações, seguida pelos EUA (130) e Brasil (81).

3.2.6 Cluster 6 – Inteligência artificial (IA)

O Cluster 6, composto por 25 artigos, é o segundo menor entre os clusters formados. Esse cluster tem foco especialmente em IA, sendo essa a palavra-chave de maior destaque. Outras palavras-chave referem-se a tecnologias como *machine learning*, computação em nuvem e metaheurística para otimizações (que aparece como *metaheuristics optimization* e *firefly algorithm*, sendo este último uma metaheurística utilizada principalmente em otimização multiobjetiva).

A inteligência artificial no contexto do Health 4.0 opera em conjunto com outras tecnologias 4.0. Por exemplo, sensores de IoT são utilizados para a coleta de dados que serão, então, classificados por *machine learning*, processados por *fog computing* e, finalmente, armazenados através do *cloud computing* (KISHOR; CHAKRABORTY, 2022). Além disso, a IA tem papel central na gestão da cadeia de suprimentos da saúde, possibilitando a previsão de demanda, seleção de fornecedores, gestão de riscos, reposição de estoques e aumento da sustentabilidade da cadeia de suprimentos (KUMAR *et al.*, 2023).

Tabela 6. Principais palavras-chave e artigos mais citados com indicação do hub (hachurado) – Cluster 6

Principais palavras-chave dos autores (DE)	Número de ocorrências	Artigo	Número de citações
<i>Artificial Intelligence</i>	20	Kishor <i>et al.</i> (2022)	71
<i>Machine Learning</i>	3	Yang <i>et al.</i> (2020)	58
<i>Performance</i>	3	Alhayani <i>et al.</i> (2022)	39
<i>Cloud Computing</i>	2	Barone <i>et al.</i> (2021)	25
<i>COVID-19</i>	2	Verma <i>et al.</i> (2022)	23
<i>Feature Selection</i>	2	Joseph Jerome <i>et al.</i> (2022)	21
<i>Firefly Algorithm</i>	2	Saraswat <i>et al.</i> (2022)	21
<i>Learning</i>	2	Ouranidis <i>et al.</i> (2021)	19
<i>Metaheuristics Optimization</i>	2	Kumar <i>et al.</i> (2023)	16
<i>Real-Time</i>	2	Tortorella <i>et al.</i> (2022c)	7

Fonte: Elaboração própria.

Dos clusters analisados, esse é o que apresenta os artigos mais recentes, com dois artigos de 2020, apenas um de 2021 e os outros 22 publicados em 2022 e 2023. Isso é condizente com o observado no mapa temático, que destacou a IA como um tema motor da área, com alto grau de relevância e desenvolvimento. Em relação à distribuição geográfica, Índia (6), Itália (4) e Sérvia (2) se destacam no número de artigos no cluster. Em termos de citação, Índia (137), Suécia (58) e Turquia (39) têm protagonismo. Cabe ressaltar que o número de citações tanto da Suécia quanto da Turquia é advindo de apenas um artigo. Embora a Índia se mostre importante tanto em termos de número de artigos quanto de citações, observa-se um menor protagonismo dos países em desenvolvimento na temática da IA na saúde.

3.2.7 Cluster 7 – Internet of Things (IoT)

O Cluster 7, com 30 artigos, foca em IoT, com essa palavra-chave aparecendo em todos os documentos que o compõem. Outras palavras-chave de destaque incluem *security*, *big data analytics*, *cloud computing*, *fog computing* e *sensors*. Embora IoT seja o tema central que conecta todos os artigos, e uma das tecnologias fundamentais da Indústria 4.0, os artigos do cluster não se concentram exclusivamente nesta tecnologia. Em vez disso, eles abordam outras tecnologias utilizadas em conjunto com a IoT no contexto da Health 4.0. Por exemplo, a computação em nuvem (e suas vantagens e desvantagens em relação ao *edge computing* e ao *fog computing* (KUMARI *et al.*, 2018; PACE *et al.*, 2019)), a relação entre a computação em nuvem ou névoa e a análise de grandes bases de dados (ELHOSENY *et al.*, 2018), a necessidade de segurança de dados (AGGARWAL *et al.*, 2021), o desenvolvimento de sensores capazes de coletar dados de saúde humana e conectar-se a instrumentos de processamento de dados em tempo real (DONATI *et al.*, 2019) e também a possibilidade de explorar gêmeos digitais em um contexto de saúde humana (FULLER *et al.*, 2020).

Tabela 7. Principais palavras-chave e artigos mais citados com indicação do hub (hachurado) – Cluster 7

Principais palavras-chave dos autores (DE)	Número de ocorrências	Artigo	Número de citações
<i>Internet of Things</i>	30	Fuller <i>et al.</i> (2020)	513
<i>Security</i>	5	Pace <i>et al.</i> (2019)	208
<i>Big Data Analytics</i>	3	Kumari <i>et al.</i> (2018)	26
<i>Cloud Computing</i>	3	Elhoseny <i>et al.</i> (2018)	156
<i>Fog Computing</i>	3	Chauhan <i>et al.</i> (2021)	103
<i>Sensors</i>	3	Dautov <i>et al.</i> (2019)	58
<i>Applications</i>	2	Ahleroff <i>et al.</i> (2021)	46
<i>Blockchain</i>	2	Aggarwal <i>et al.</i> (2021)	30
<i>Cloud</i>	2	Popov <i>et al.</i> (2022)	28
<i>Data Fusion</i>	2	Donati <i>et al.</i> (2019)	16

Fonte: Elaboração própria.

Assim como o Cluster 2, o Cluster 7 apresenta os artigos mais antigos da amostra, indicando novamente como o campo do Health 4.0 se iniciou pela exploração de tecnologias associadas à Indústria 4.0 na área da saúde. Os principais países em número de publicações são Índia (6), China (4) e Itália (3) e em número de citações o Reino Unido (525), a Índia (321) e a Itália (224). Principalmente em relação ao número de citações, observa-se um menor protagonismo dos países em desenvolvimento nas publicações envolvendo IoT na saúde. Os clusters identificados, juntamente com seu tamanho relativo na amostra e sua distribuição temporal, estão representados na Figura 6.

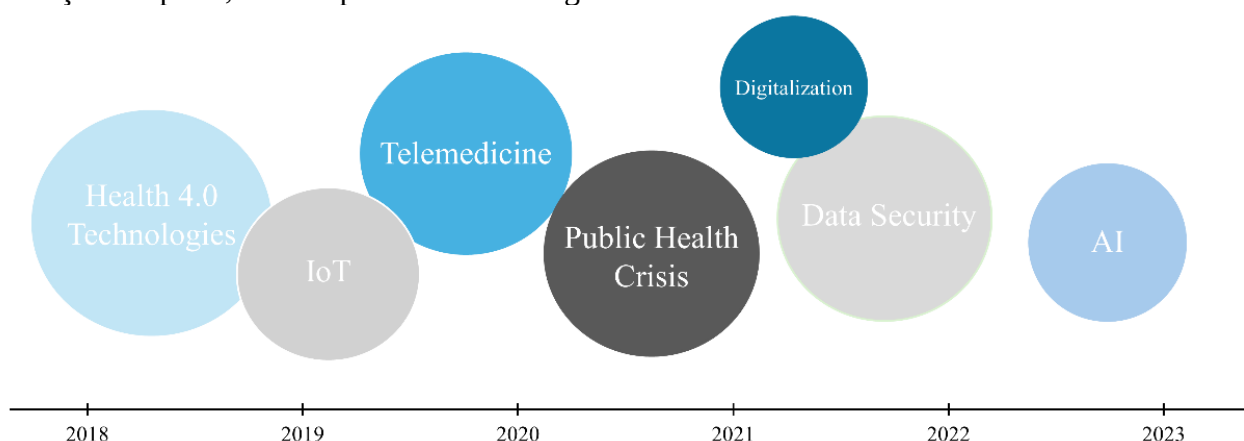


Figura 6. Representação visual dos Clusters, por tamanho relativo e distribuição temporal. Elaboração própria.

3.3 STM e análise de robustez

O STM foi utilizado como forma de validar a robustez dos resultados obtidos pela análise cienciométrica e de redes no que diz respeito à identificação das principais temáticas que emergem da literatura sobre Health 4.0. O modelo resultou em seis tópicos. Para cada tópico é apresentada uma lista de palavras-chave que o melhor caracteriza (Figura 6).

Os tópicos encontrados podem ser rotulados da seguinte forma: (i) Tópico 1: tecnologias focadas em coleta e processamento de dados, é o menor tópico e não se mostrou relevante para a análise das principais temáticas do campo; (ii) Tópico 2: tecnologias práticas, compatível com o cluster verde do mapa da estrutura conceitual; (iii) Tópico 3: tecnologias 4.0 em crises sanitárias, compatível com o Cluster 5; (iv) Tópico 4: segurança dos dados, compatível com o Cluster 1, (v) Tópico 5: IoT, compatível com o Cluster 7; (vi) Tópico 6: tecnologias 4.0, compatível com o Cluster 2. Nota-se ainda que o Tópico 6 engloba também a temática da IA, parte do Cluster 6.

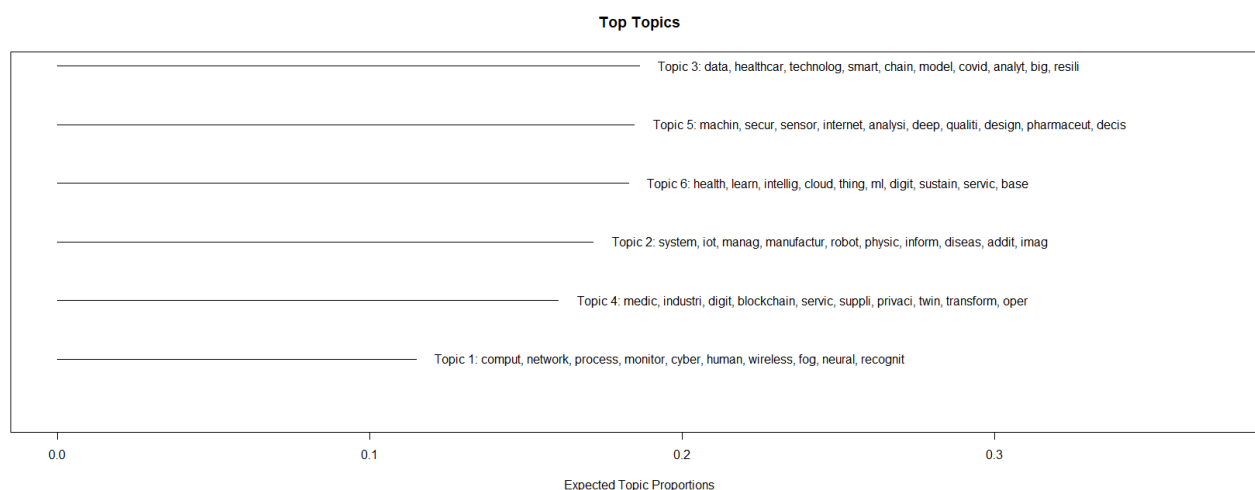


Figura 7. Resultado do STM baseado nas palavras-chave dos autores. Elaboração própria.

As temáticas de medicina a distância e digitalização, identificadas pelos clusters, não configuraram em tópicos apontados pelo STM, embora estejam contidas de forma diluída nos tópicos. Dessa forma, o STM reforçou as seguintes temáticas relativas ao campo do Health 4.0: tecnologias 4.0 em crises sanitárias, segurança dos dados na saúde, IoT e tecnologias 4.0 (principalmente *machine learning*, *artificial intelligence* e *cloud computing*). Como são metodologias diferentes, não se espera resultados idênticos, mas sim um diálogo entre eles. A identificação pelo STM de cinco dos sete clusters temáticos identificados pela análise de redes reforça a hipótese de pesquisa de que, atualmente, a literatura sobre Health 4.0 está bem estruturada e tem as suas temáticas bem definidas.

4. Discussão dos resultados

A discussão detalhada dos clusters apresentada nas seções anteriores revelou que, diferente do sugerido por Tortorella *et al.* (2020a), o campo de pesquisa sobre Health 4.0, embora ainda em evolução, demonstra sinais claros de consolidação. Logo, respondendo a primeira pergunta de pesquisa, os clusters identificados abrangem temáticas bem definidas, refletindo um campo cada vez mais estruturado. No entanto, essa consolidação não implica estagnação do campo, pelo contrário, sugerindo um amadurecimento da temática, onde algumas áreas (como segurança de dados e IoT) já estão bem estabelecidas, enquanto outras (como inteligência artificial e medicina à distância) ainda estão em expansão acelerada.

Em relação à segunda pergunta, as temáticas abordadas pelos clusters concentram-se nas principais tecnologias 4.0 e suas aplicações no setor da saúde. As temáticas identificadas são altamente inter-relacionadas, evidenciando uma característica das tecnologias 4.0: a sua codependência. Isto é, essas tecnologias são utilizadas de forma conjunta em diferentes aplicações. A segurança de dados (Cluster 1) e a IoT (Cluster 7), por exemplo, formam a espinha dorsal do Health 4.0, garantindo não apenas conectividade, mas também integridade e proteção das informações médicas.

A IA (Cluster 6) aparece como um elemento transversal que aprimora diversas aplicações. Seu papel na otimização da cadeia de suprimentos da saúde (Cluster 5) e na personalização da medicina à distância (Cluster 3) demonstra como essa tecnologia não opera isoladamente, mas potencializa outras áreas do Health 4.0. A digitalização e tratamento de dados (Cluster 4) desempenham um papel fundamental na integração dessas tecnologias, viabilizando o armazenamento e a análise em larga escala dos registros de pacientes e outros dados clínicos. A Figura 8 apresenta um resumo do Health 4.0 conforme discutido nessa seção.

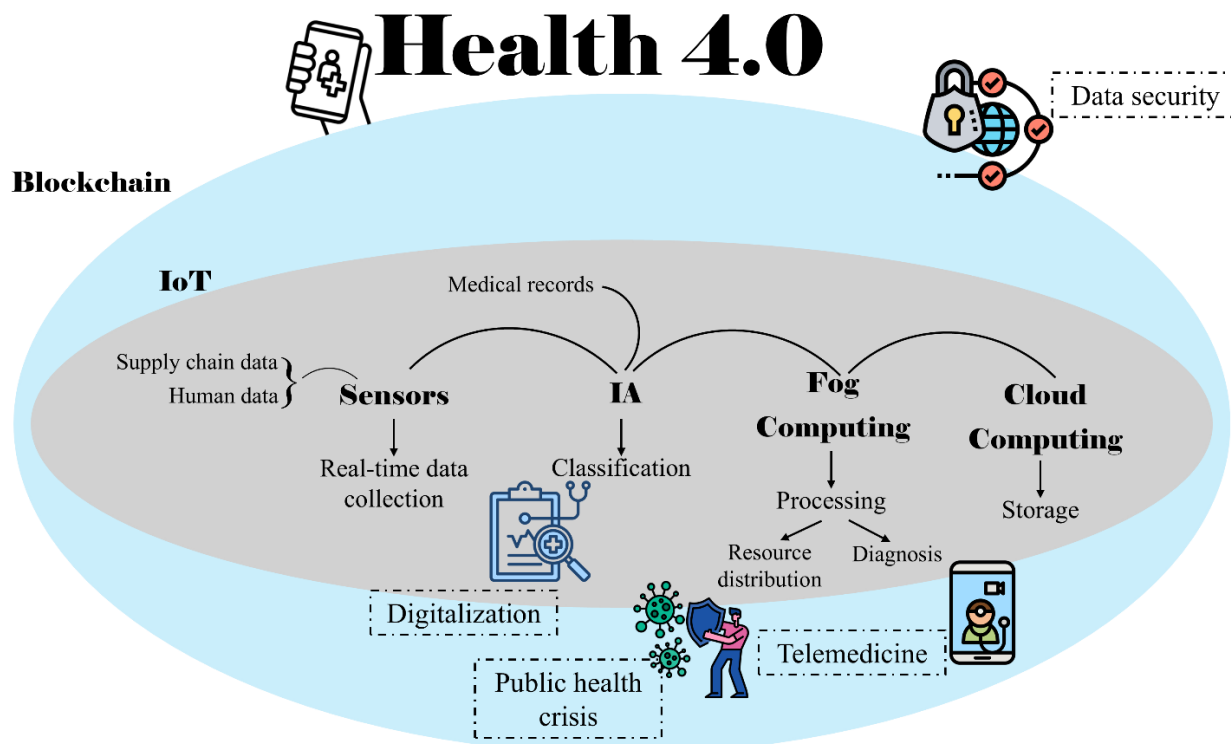


Figura 8. Health 4.0 – Principais temáticas, aplicações e tecnologias. Elaboração própria.

Essas inter-relações apontam para novas frentes de pesquisa, contribuindo para responder a terceira pergunta norteadora deste trabalho. Uma parte significativa da literatura destaca um novo paradigma centrado no paciente, diferente do atual centrado no hospital. Neste novo paradigma, a coleta de dados a partir de sensores IoT e a análise de dados para diagnóstico e tratamento, assim como a segurança dessas informações, são temas de particular interesse. O papel transversal da IA sugere que o desenvolvimento contínuo dessa tecnologia será essencial para o avanço do Health 4.0. Assim, uma frente de pesquisa que se mostrará crucial nos próximos anos é entender os desafios regulatórios para a expansão do uso de dados de pacientes e da IA na saúde. Outra frente de pesquisa envolve o aprofundamento dos estudos relacionado à proteção desses dados sensíveis. Indo além, o desenvolvimento de políticas para controlar a possibilidade da monopolização de dados de pacientes por parte de grandes corporações precisará receber destaque nos próximos anos.

Outra questão relevante é o elevado potencial de inserção dos países em desenvolvimento no novo paradigma da saúde. Embora esses países não tenham liderado o desenvolvimento inicial dessas tecnologias, eles têm desempenhado um papel importante na pesquisa aplicada ao setor. Este é um ponto que merece maior exploração: esses países estão apenas publicando mais nessa área ou também estão inovando e implementando soluções 4.0 efetivas no setor de saúde?

Em países como Brasil, China e Índia o tamanho da população e a presença de sistemas públicos de saúde podem ser fatores significativos para a adoção e evolução dessas novas tecnologias, pela possibilidade da concentração de dados. Explorar como essas nações podem adaptar e implementar essas inovações, assim como formular políticas e garantir a infraestrutura necessária para sustentar e expandir o uso dessas tecnologias, será crucial para maximizar seu impacto, não apenas em termos de avanços tecnológicos, mas também no fortalecimento da saúde pública e no desenvolvimento socioeconômico.

A convergência dos resultados entre os métodos utilizados neste estudo reforça a robustez dos achados. A análise de redes identificou sete clusters, enquanto o STM confirmou cinco dessas categorias,

sugerindo que essas são as principais áreas temáticas emergentes no Health 4.0. Indo além, a convergência indica como esse é realmente um campo já bem estruturado. No entanto, a ausência de tópicos específicos para medicina à distância e digitalização no STM pode indicar que essas áreas ainda estão em fase inicial de desenvolvimento, ou que suas temáticas estão distribuídas entre diferentes clusters maiores.

5. Comentários finais

Este estudo realizou uma revisão cienciométrica alinhada à análise de redes e ao STM com o objetivo de avaliar a evolução e a fronteira da literatura sobre Health 4.0. A análise da literatura mostrou que este é um tópico recente: as publicações tiveram início em 2018 e apresentaram crescimento significativo nos últimos anos, principalmente depois de 2020. As primeiras temáticas abordadas pelo campo se referem às tecnologias associadas à Indústria 4.0 aplicadas à saúde. Isto é, a literatura sobre Health 4.0 começou como uma transposição das tecnologias 4.0 para o contexto da saúde, avançando para melhor definir como essas tecnologias poderiam ser úteis nesse contexto. Isso inclui sua aplicação em crises sanitárias, como observado na pandemia de Covid-19; a segurança de dados, principalmente no âmbito de uma medicina centrada no paciente; e mais recentemente, o potencial da IA na saúde, que se destaca em conjunto com outras tecnologias como a IoT e o *cloud computing*.

As análises indicaram áreas bem definidas no campo do Health 4.0: segurança de dados, utilização de tecnologias 4.0 em crises sanitárias, centralidade da IoT nos processos e aplicação de tecnologias específicas no âmbito da saúde, como *artificial intelligence*, *machine learning*, *digital twin*, *additive manufacturing*, *deep learning*, *cloud* e *fog computing* e CPS. Essas áreas apareceram de forma robusta nos resultados obtidos com as metodologias utilizadas, demonstrando que a literatura sobre Health 4.0, diferentemente do observado por Tortorella *et al.* (2020a), já se encontra bem estabelecida. Não obstante, destacaram-se como tópicos emergentes a digitalização, a medicina a distância e o tratamento de dados na saúde.

Dado o papel estratégico do setor de saúde, tanto em termos de bem-estar social quanto de desenvolvimento socioeconômico, a inserção dos países em desenvolvimento nessa área é particularmente importante. A análise revelou que os países em desenvolvimento têm papel central na produção científica da área, superando muitas nações centrais. Países como Índia, China e Brasil se destacam tanto em número de publicações quanto em número de citações. Mais do que isso, existem tópicos específicos no Health 4.0 em que países em desenvolvimento se sobressaem, especialmente a segurança de dados, a medicina a distância (tópico em que o Brasil se destaca) e a aplicação de tecnologias 4.0 em crises sanitárias.

É importante destacar que este estudo consiste em uma revisão da literatura sobre Health 4.0, baseando-se na produção científica que utiliza esse termo, ou termos correlatos, no título, resumo e/ou palavras-chave. Dessa forma, a revisão da literatura aqui apresentada não abrange todas as pesquisas relacionadas à saúde na era 4.0, como, por exemplo, aplicações de IA em diagnósticos por imagem, mas sim a literatura que explicitamente se identifica com o campo do Health 4.0.

Para futuras pesquisas, é crucial explorar como os países em desenvolvimento podem continuar a inovar no campo do Health 4.0. Estudos podem se concentrar em como adaptar e implementar essas tecnologias em contextos locais para maximizar seu impacto. Além disso, a investigação sobre as políticas e a infraestrutura necessárias para haver suporte para essas tecnologias será vital. Com a continuidade desse protagonismo, há um grande potencial para que essas nações contribuam significativamente para a evolução do setor de saúde global, promovendo não apenas avanços tecnológicos, mas também melhorias substanciais na saúde pública e no desenvolvimento socioeconômico, na construção de um desenvolvimento sustentável.

Os resultados deste estudo oferecem insights tanto para pesquisadores quanto para formuladores de políticas. Do ponto de vista acadêmico, o estudo reforça a necessidade de aprofundar as interseções entre as tecnologias 4.0 e suas aplicações práticas, indo além da análise individual de cada tecnologia, principalmente em setores tão importantes em termos de desenvolvimento sustentável, como é o caso da saúde. Para os formuladores de políticas, a evidência de que países em desenvolvimento estão liderando algumas frentes sugere oportunidades para investimentos em infraestrutura digital e regulação adaptada ao avanço tecnológico. Além disso, a segurança de dados continua sendo um desafio, e estratégias para regulamentar o uso de Blockchain e IA na saúde são essenciais para garantir a proteção das informações

dos pacientes. Assim, regulação é especialmente importante, dada a natureza sensível desses dados e do seu grande potencial de valoração.

Referências bibliográficas

- ABBATE, S. et al. Investigating Healthcare 4.0 Transition Through a Knowledge Management Perspective. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 70, n. 9, p. 3297–3310, 2023.
- ABDEL-BASSET, M.; CHANG, V.; NABEEH, N. A. An intelligent framework using disruptive technologies for COVID-19 analysis. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 163, p. 120431, fev. 2021.
- ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. The role of Information and Communication Technologies in healthcare: taxonomies, perspectives, and challenges. **Journal of Network and Computer Applications**, v. 107, p. 125–154, 2018.
- ACETO, G.; PERSICO, V.; PESCAPÉ, A. Industry 4.0 and Health: Internet of Things, Big Data, and Cloud Computing for Healthcare 4.0. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 18, p. 100129, 2020.
- AGGARWAL, S. et al. Blockchain-Based UAV Path Planning for Healthcare 4.0: Current Challenges and the Way Ahead. **IEEE Network**, v. 35, n. 1, p. 20–29, 2021.
- AHELEROFF, S. et al. Mass Personalisation as a Service in Industry 4.0: A Resilient Response Case Study. **Advanced Engineering Informatics**, v. 50, p. 101438, 2021.
- ALHAYANI, B. et al. RETRACTED ARTICLE: 5G standards for the Industry 4.0 enabled communication systems using artificial intelligence: perspective of smart healthcare system. **Applied Nanoscience**, v. 13, n. 3, p. 1807–1817, 2022.
- ALI, I. et al. The Role of Industry 4.0 Technologies in Mitigating Supply Chain Disruption: Empirical Evidence From the Australian Food Processing Industry. **IEEE Transactions on Engineering Management**, v. 71, p. 10600–10610, 2024.
- AL-JAROUDI, J.; MOHAMED, N.; ABUKHOUSA, E. Health 4.0: On the Way to Realizing the Healthcare of the Future. **IEEE Access**, v. 8, p. 211189–211210, 2020.
- ANGIONI, M.; MUSSO, F. New perspectives from technology adoption in senior cohousing facilities. **The TQM Journal**, v. 32, n. 4, p. 761–777, 21 jul. 2020.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix : An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- BAG, S. et al. Roles of Innovation Leadership on Using Big Data Analytics to Establish Resilient Healthcare Supply Chains to Combat the COVID-19 Pandemic: A Multimethodological Study. **IEEE Transactions on Engineering Management**, p. 1–14, 2021.
- BARENJI, R. V. et al. Cyber-physical-based PAT (CPbPAT) framework for Pharma 4.0. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 567, p. 118445, 2019.
- BARONE, S. et al. Hybrid descriptive-inferential method for key feature selection in prostate cancer radiomics. **Applied Stochastic Models in Business and Industry**, v. 37, n. 5, p. 961–972, 2021.
- BARTOLONI, S. et al. Towards designing society 5.0 solutions: The new Quintuple Helix - Design Thinking approach to technology. **Technovation**, v. 113, p. 102413, maio 2022.
- BAUZA, M. B. et al. Realization of Industry 4.0 with high speed CT in high volume production. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 22, p. 121–125, ago. 2018.
- BENIS, A. et al. One Digital Health: A Unified Framework for Future Health Ecosystems. **Journal of Medical Internet Research**, v. 23, n. 2, p. e22189, 2021.
- BHATTACHARYA, P. et al. BinDaaS: Blockchain-Based Deep-Learning as-a-Service in Healthcare 4.0 Applications. **IEEE Transactions on Network Science and Engineering**, v. 8, n. 2, p. 1242–1255, 2021.
- BHATTI, U. A. et al. Recommendation system using feature extraction and pattern recognition in clinical care systems. **Enterprise Information Systems**, v. 13, n. 3, p. 329–351, 2019.
- BLEI, D. M.; NG, A.; JORDAN, M. Latent Dirichlet Allocation. **Journal of machine learning research**, v. 3, n. jan, p. 993–1022, 2003.
- BLONDEL, V. D. et al. Fast unfolding of communities in large networks. **Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment**, v. 2008, n. 10, p. P10008, 2008.
- BUDHIRAJA, I. et al. Tactile Internet for Smart Communities in 5G: An Insight for NOMA-Based Solutions. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 5, p. 3104–3112, 2019.

CHAUHAN, A.; JAKHAR, S. K.; CHAUHAN, C. The interplay of circular economy with industry 4.0 enabled smart city drivers of healthcare waste disposal. **Journal of Cleaner Production**, v. 279, p. 123854, 2021.

CHEN, Y. et al. Robust Activity Recognition for Aging Society. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 22, n. 6, p. 1754–1764, nov. 2018.

CHUTE, C.; FRENCH, T. Introducing Care 4.0: An Integrated Care Paradigm Built on Industry 4.0 Capabilities. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 12, p. 2247, 2019.

COFRE-MARTEL, S.; LOPEZ DROGUETT, E.; MODARRES, M. Big Machinery Data Preprocessing Methodology for Data-Driven Models in Prognostics and Health Management. **Sensors**, v. 21, n. 20, p. 6841, 14 out. 2021.

CUI, F. et al. Development of smart nursing homes using systems engineering methodologies in industry 4.0. **Enterprise Information Systems**, v. 14, n. 4, p. 463–479, 2020.

DAÚ, G. et al. The Healthcare Sustainable Supply Chain 4.0: The Circular Economy Transition Conceptual Framework with the Corporate Social Responsibility Mirror. **Sustainability**, v. 11, n. 12, p. 3259, 2019.

DAUTOV, R.; DISTEFANO, S.; BUYYA, R. Hierarchical data fusion for Smart Healthcare. **Journal of Big Data**, v. 6, n. 1, p. 19, 2019.

DONATI, M. et al. A Telemedicine Service System Exploiting BT/BLE Wireless Sensors for Remote Management of Chronic Patients. **Technologies**, v. 7, n. 1, p. 13, 2019.

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285–296, set. 2021.

ELHOSENY, M. et al. 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.

FALAGAS, M. E. et al. Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses. **The FASEB Journal**, v. 22, n. 2, p. 338–342, 2008.

FULLER, A. et al. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. **IEEE Access**, v. 8, p. 108952–108971, 2020.

GADELHA, C. A. G. Saúde e desenvolvimento: uma nova abordagem para uma nova política. **Revista de Saúde Pública**, v. 46, n. suppl 1, p. 5–8, 2012.

GADELHA, C. G. O Complexo Econômico-Industrial da Saúde 4.0: por uma visão integrada do desenvolvimento econômico, social e ambiental2. **Cadernos do Desenvolvimento**, v. 16, n. 28, p. 25–49, 2021.

GUIMERÀ, R.; NUNES AMARAL, L. A. Functional cartography of complex metabolic networks. **Nature**, v. 433, n. 7028, p. 895–900, 2005.

GUPTA, R. et al. Tactile-Internet-Based Telesurgery System for Healthcare 4.0: An Architecture, Research Challenges, and Future Directions. **IEEE Network**, v. 33, n. 6, p. 22–29, 2019.

HASSANI, H.; HUANG, X.; MACFEELY, S. Impactful Digital Twin in the Healthcare Revolution. **Big Data and Cognitive Computing**, v. 6, n. 3, p. 83, 8 ago. 2022.

HATHALIYA, J. J. et al. Securing electronics healthcare records in Healthcare 4.0 : A biometric-based approach. **Computers & Electrical Engineering**, v. 76, p. 398–410, 2019.

HOFMANN, E.; RÜSCH, M. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23–34, ago. 2017.

HOSSAIN, M. S.; THAKUR, V. A performance management framework for smart health-care supply chain based on industry 4.0 technologies. **Journal of Global Operations and Strategic Sourcing**, 2024.

JACKSON, J. C. et al. From Text to Thought: How Analyzing Language Can Advance Psychological Science. 2022.

JASPERS, M. et al. Impact of excipients on batch and continuous powder blending. **Powder Technology**, v. 384, p. 195–199, maio 2021.

JAVAID, M. et al. Industry 4.0 technologies and their applications in fighting COVID-19 pandemic. **Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews**, v. 14, n. 4, p. 419–422, 2020.

JAVAID, M.; HALEEM, A. Exploring Smart Material Applications for COVID-19 Pandemic Using 4D Printing Technology. **Journal of Industrial Integration and Management**, v. 05, n. 04, p. 481–494, 2020.

JOLOUDARI, J. H. et al. Coronary Artery Disease Diagnosis; Ranking the Significant Features Using a Random Trees Model. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 3, p. 731, 2020.

JOSEPH JEROME, J. J. et al. Procurement 4.0 to the rescue: catalysing its adoption by modelling the challenges. **Benchmarking: An International Journal**, v. 29, n. 1, p. 217–254, 2022.

KAISER, M. S. et al. *i* Worksafe: Towards Healthy Workplaces During COVID-19 With an Intelligent Phealth App for Industrial Settings. **IEEE Access**, v. 9, p. 13814–13828, 2021.

KANNAN, D. et al. Smart waste management 4.0: The transition from a systematic review to an integrated framework. **Waste Management**, v. 174, p. 1–14, 2024.

KISHOR, A.; CHAKRABORTY, C. Artificial Intelligence and Internet of Things Based Healthcare 4.0 Monitoring System. **Wireless Personal Communications**, v. 127, n. 2, p. 1615–1631, 2022.

KRISHANKUMAR, R. et al. Cloud vendor selection for the healthcare industry using a big data-driven decision model with probabilistic linguistic information. **Applied Intelligence**, v. 52, n. 12, p. 13497–13519, 2022.

KRISHNAMOORTHY, S.; DUA, A.; GUPTA, S. Role of emerging technologies in future IoT-driven Healthcare 4.0 technologies: a survey, current challenges and future directions. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 14, n. 1, p. 361–407, 2023.

KUMAR, A. et al. A Novel Smart Healthcare Design, Simulation, and Implementation Using Healthcare 4.0 Processes. **IEEE Access**, v. 8, p. 118433–118471, 2020.

KUMAR, A. et al. Managing healthcare supply chain through artificial intelligence (AI): A study of critical success factors. **Computers & Industrial Engineering**, v. 175, p. 108815, 2023.

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

LARRUCEA, X. et al. Towards a GDPR compliant way to secure European cross border Healthcare Industry 4.0. **Computer Standards & Interfaces**, v. 69, p. 103408, 2020.

LEYDESDORFF, L.; MILOJEVIC, S. Science and Technology Studies. Em: **International Encyclopedia of Social and Behavioral Sciences**. 2. ed. [s.l.] James D. Wright, 2015.

MAHAJAN, H. B. et al. RETRACTED ARTICLE: Integration of Healthcare 4.0 and blockchain into secure cloud-based electronic health records systems. **Applied Nanoscience**, v. 13, n. 3, p. 2329–2342, 2023.

MOHAMED, N.; AL-JAROODI, J. **The Impact of Industry 4.0 on Healthcare System Engineering**. 2019 IEEE International Systems Conference (SysCon). **Anais...** Em: 2019 IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE (SYSCON). Orlando, FL, USA: IEEE, 2019. Disponível em: <<https://ieeexplore.ieee.org/document/8836715/>>. Acesso em: 24 jul. 2024

MUHURI, P. K.; SHUKLA, A. K.; ABRAHAM, A. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 78, p. 218–235, 2019.

MUÑIZ CASTRO, B. et al. Machine learning predicts 3D printing performance of over 900 drug delivery systems. **Journal of Controlled Release**, v. 337, p. 530–545, 2021.

MURMURA, F.; BRAVI, L.; SANTOS, G. Sustainable Process and Product Innovation in the Eyewear Sector: The Role of Industry 4.0 Enabling Technologies. **Sustainability**, v. 13, n. 1, p. 365, 2021.

OURANIDIS, A. et al. mRNA Therapeutic Modalities Design, Formulation and Manufacturing under Pharma 4.0 Principles. **Biomedicines**, v. 10, n. 1, p. 50, 2021.

PACE, P. et al. An Edge-Based Architecture to Support Efficient Applications for Healthcare Industry 4.0. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 1, p. 481–489, 2019.

PHILBECK, T.; DAVIS, N. THE FOURTH INDUSTRIAL REVOLUTION. **Journal of International Affairs**, v. 72, n. 1, p. 17–22, 2019.

POPOV, V. V. et al. Industry 4.0 and Digitalisation in Healthcare. **Materials**, v. 15, n. 6, p. 2140, 2022.

QAHTAN, S. et al. Novel Multi Security and Privacy Benchmarking Framework for Blockchain-Based IoT Healthcare Industry 4.0 Systems. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 18, n. 9, p. 6415–6423, 2022.

QIU, H. et al. Secure Health Data Sharing for Medical Cyber-Physical Systems for the Healthcare 4.0. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 24, n. 9, p. 2499–2505, 2020.

REINHARDT, I. C.; OLIVEIRA, D. J. C.; RING, D. D. T. Current Perspectives on the Development of Industry 4.0 in the Pharmaceutical Sector. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 18, p. 100131, jun. 2020.

ROBERTS, M. E.; STEWART, B. M.; TINGLEY, D. st: An R Package for Structural Topic Models. **Journal of Statistical Software**, v. 91, n. 2, 2019.

ROY, S. et al. Provably Secure Fine-Grained Data Access Control Over Multiple Cloud Servers in Mobile Cloud Computing Based Healthcare Applications. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 1, p. 457–468, 2019.

SARASWAT, D. et al. Explainable AI for Healthcare 5.0: Opportunities and Challenges. **IEEE Access**, v. 10, p. 84486–84517, 2022.

SARFRAZ, Z. et al. Is COVID-19 pushing us to the Fifth Industrial Revolution (Society 5.0)? **Pakistan Journal of Medical Sciences**, v. 37, n. 2, 2021.

SHAFEL, H. et al. Construction 4.0 Technologies and Decision-Making: A Systematic Review and Gap Analysis. **Buildings**, v. 12, n. 12, p. 2206, 2022.

SINGH, R. P. et al. Significance of Health Information Technology (HIT) in Context to COVID-19 Pandemic: Potential Roles and Challenges. **Journal of Industrial Integration and Management**, v. 05, n. 04, p. 427–440, 2020.

SISODIA, A.; JINDAL, R. A meta-analysis of industry 4.0 design principles applied in the health sector. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v. 104, p. 104377, 2021.

SOLANO-ROJAS, B.; VILLALÓN-FONSECA, R.; MARÍN-RAVENTÓS, G. Alzheimer's Disease Early Detection Using a Low Cost Three-Dimensional Densenet-121 Architecture. Em: **The Impact of Digital Technologies on Public Health in Developed and Developing Countries**. 18th International Conference, ICOST. Cham, Switzerland: [s.n.].

SUN, T. et al. The Digital Twin in Medicine: A Key to the Future of Healthcare? **Frontiers in Medicine**, v. 9, p. 907066, 2022.

TANWAR, S.; PAREKH, K.; EVANS, R. Blockchain-based electronic healthcare record system for healthcare 4.0 applications. **Journal of Information Security and Applications**, v. 50, p. 102407, 2020.

TENG, F. et al. Automatic Medical Code Assignment via Deep Learning Approach for Intelligent Healthcare. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 24, n. 9, p. 2506–2515, set. 2020.

THUEMMLER, C.; BAI, C. (EDS.). **Health 4.0: How Virtualization and Big Data are Revolutionizing Healthcare**. Cham: Springer International Publishing, 2017.

TORTORELLA, G. L. et al. Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 15, p. 1245–1260, 2020a.

TORTORELLA, G. L. et al. Effects of contingencies on healthcare 4.0 technologies adoption and barriers in emerging economies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 156, p. 120048, 2020b.

TORTORELLA, G. L. et al. Impacts of Healthcare 4.0 digital technologies on the resilience of hospitals. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 166, p. 120666, maio 2021.

TORTORELLA, G. L. et al. Healthcare costs' reduction through the integration of Healthcare 4.0 technologies in developing economies. **Total Quality Management & Business Excellence**, v. 33, n. 3–4, p. 467–487, 2022a.

TORTORELLA, G. L. et al. Assessment and prioritisation of Healthcare 4.0 implementation in hospitals using Quality Function Deployment. **International Journal of Production Research**, v. 60, n. 10, p. 3147–3169, 2022b.

TORTORELLA, G. L. et al. Healthcare 4.0 digital applications: An empirical study on measures, bundles and patient-centered performance. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 181, p. 121780, ago. 2022c.

VERMA, P. et al. FCMCPS-COVID: AI propelled fog–cloud inspired scalable medical cyber-physical system, specific to coronavirus disease. **Internet of Things**, v. 23, p. 100828, 2022.

WAN, J. et al. Reconfigurable Smart Factory for Drug Packing in Healthcare Industry 4.0. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 1, p. 507–516, 2019.

WANG, B. Safety intelligence as an essential perspective for safety management in the era of Safety 4.0: From a theoretical to a practical framework. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 148, p. 189–199, 2020.

WESTON, S. J. et al. Selecting the Number and Labels of Topics in Topic Modeling: A Tutorial. **Advances in Methods and Practices in Psychological Science**, v. 6, n. 2, p. 251524592311601, 2023.

XU, X. et al. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 61, p. 530–535, out. 2021.

YANG, G. et al. Homecare Robotic Systems for Healthcare 4.0: Visions and Enabling Technologies. **IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics**, v. 24, n. 9, p. 2535–2549, 2020.

ZAHEDI, A. et al. Utilizing IoT to design a relief supply chain network for the SARS-COV-2 pandemic. **Applied Soft Computing**, v. 104, p. 107210, 2021.