

Tecnologias emergentes, planejamento arquitetônico e hospitais do futuro: impacto da Saúde 4.0 nos hospitais do Brasil

Emerging technologies, architectural planning and hospitals of the future: the impact of Healthcare 4.0 on hospitals in Brazil

Tecnologías emergentes, planificación arquitectónica y hospitales del futuro: el impacto de la Salud 4.0 en los hospitales de Brasil

João Paulo Lucchetta Pompermaier* 

Universidade Federal de Santa Catarina;
Departamento de Arquitetura e Urbanismo;
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.
Florianópolis (SC), Brasil.
joaopaulopompermaier@gmail.com

Lizandra Garcia Lupi Vergara 

Universidade Federal de Santa Catarina;
Departamento de Arquitetura e Urbanismo;
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo.
Florianópolis (SC), Brasil.

Patrícia Biasi Cavalcanti 

Universidade Federal de Santa Catarina; Centro de Comunicação e Expressão; Departamento de Design e Expressão Gráfica.
Florianópolis (SC), Brasil.

* Autor correspondente.

CRediT

Contribuição de autoria: Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Redação – rascunho original; Redação – revisão e edição: POMPERMAIER, J. P. L. Metodologia; Supervisão; Validação; Redação – revisão e edição: VERGARA, L. G. L.; CAVALCANTI, P. B.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Estudo realizado com o apoio do Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina mantido pelo Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior (UNIEDU/FUMDES Pós-graduação).

Aprovação de ética: A pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC) (CAAE 68514423.5.0000.0121), sendo aprovada sob o parecer n.º 6.073.893.

Uso de IA: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho.

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe); Luciana Saboia F. Cruz (Editora Associada); Leandro S. Cruz (Editor Associado); Paola C. F. Martins (Editora Associada); Rodrigues de Medeiros (Assistente editorial).

Resumo

Este estudo teve por objetivo identificar as tecnologias emergentes que mais impactam no planejamento arquitetônico dos hospitais, os setores hospitalares mais impactados e as perspectivas para os hospitais do futuro, a partir da percepção de profissionais da saúde, arquitetos e engenheiros que atuam na área hospitalar no Brasil. Realizou-se uma pesquisa através de questionário *on-line* com 66 participantes de diferentes regiões; os dados foram tratados por meio do método de análise de conteúdo. As tecnologias mais citadas foram telessaúde, robótica, inteligência artificial, sensores ambientais e realidade aumentada/virtual. Os setores apontados como mais impactados foram centro cirúrgico e obstétrico, apoio diagnóstico e unidade de terapia intensiva. Para o hospital do futuro emergiram tendências de maior centralidade no paciente, humanização, tecnologias integradas, desospitalização e otimização dos espaços, visando eficiência, segurança e personalização do cuidado. Conclui-se que a adoção dessas tecnologias demanda reconfigurações físicas e organizacionais e apesar de desafios conceituais e de infraestrutura, as oportunidades em qualidade assistencial e eficiência são promissoras.

Palavras-Chave: Tecnologia emergente; Saúde 4.0; Arquitetura hospitalar; Hospital do futuro.

Abstract

This study aimed to identify the emerging technologies that most impact hospital architectural planning, the hospital sectors most impacted, and the outlook for the hospitals of the future, based on the perceptions of healthcare professionals, architects, and engineers working in the hospital sector in Brazil. An online survey was conducted with 66 participants from different regions; the data were processed using content analysis. The most frequently cited technologies were telehealth, robotics, artificial intelligence, environmental sensors, and augmented/virtual reality. The sectors identified as most impacted were the surgical and obstetric center, diagnostic support, and intensive care unit. For the hospital of the future, trends emerged toward greater patient-centricity, humanization, integrated technologies, dehospitalization, and space optimization, aiming for efficiency, safety, and personalized care. It is concluded that the adoption of these technologies demands physical and organizational reconfigurations and, despite conceptual and infrastructure challenges, the opportunities in terms of care quality and efficiency are promising.

Keywords: Emerging technology; Healthcare 4.0; Hospital architecture; Hospital of the future.

Resumen

Este estudio tuvo como objetivo identificar las tecnologías emergentes que más impactan en la planificación arquitectónica hospitalaria, los sectores hospitalarios más impactados y las perspectivas para los hospitales del futuro, con base en las percepciones de profesionales de la salud, arquitectos e ingenieros que trabajan en el sector hospitalario en Brasil. Se realizó una encuesta en línea con 66 participantes de diferentes regiones; los datos se procesaron mediante análisis de contenido. Las tecnologías más citadas fueron la telesalud, la robótica, la inteligencia artificial, los sensores ambientales y la realidad aumentada/virtual. Los sectores identificados como más impactados fueron el centro quirúrgico y obstétrico, el apoyo diagnóstico y la unidad de cuidados intensivos. Para el hospital del futuro, surgieron tendencias hacia una mayor centralización en el paciente, la humanización, las tecnologías integradas, la deshospitalización y la optimización del espacio, buscando la eficiencia, la seguridad y la atención personalizada. Se concluye que la adopción de estas tecnologías exige reconfiguraciones físicas y organizacionales y, a pesar de los desafíos conceptuales y de infraestructura, las oportunidades en términos de calidad y eficiencia de la atención son prometedoras.

Palabras-clave: Tecnología emergente; Salud 4.0; Arquitectura hospitalaria; Hospital del futuro.

1 Introdução

O desenvolvimento tecnológico e o consequente progresso das tecnologias emergentes têm impulsionado transformações significativas, proporcionando avanços sem precedentes em todos os setores, incluindo o setor da saúde (Lopes *et al.*, 2019; Schwab, 2016). No contexto da chamada Saúde 4.0, tecnologias como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), impressão 3D, robótica, entre outras, têm modificado não apenas os processos assistenciais e de gestão, mas também o planejamento arquitetônico das edificações hospitalares. Essas tecnologias estão aprimorando todo o sistema de saúde, melhorando processos, reduzindo erros médicos, contribuindo com a tomada de decisões e aprimorando o cuidado com o paciente (Al-Jaroodi; Mohamed; Abukhousa, 2020).

A Saúde 4.0 busca aplicar os princípios da Indústria 4.0 nos sistemas de saúde, tendo como principal característica a inteligência integrada às tecnologias atuais e futuras, o que permite a prestação de cuidados interconectados e uma abordagem efetivamente centrada no paciente. Essa inteligência se manifesta na capacidade dos sistemas de processar dados, adaptar-se a contextos diversos e apoiar decisões em tempo real, promovendo maior eficiência, personalização e coordenação no cuidado à saúde (Ahmad *et al.*, 2022; Gupta; Singh, 2022; Sony; Antony; McDermott, 2022).

O avanço tecnológico e do próprio conhecimento médico tem impulsionado de forma significativa toda a cadeia do setor de saúde. Contudo, observa-se que nem todos os sistemas de saúde ao redor do mundo alcançaram o estágio correspondente à Saúde 4.0. Muitos ainda permanecem nos níveis 2.0 ou 3.0, ou encontram-se em processo de transição entre esses estágios. A implementação da Saúde 4.0 depende de uma série de fatores interligados, sendo fortemente influenciada pelas condições específicas de cada país, região e instituição. Assim, enquanto algumas organizações já se destacam pela adoção de soluções tecnológicas de ponta, outras ainda operam sob paradigmas mais tradicionais de atenção à saúde, cenário especialmente evidente no contexto brasileiro (Pompermaier; Vergara; Cavalcanti, 2024a).

Nesse sentido, apesar do avanço global das tecnologias emergentes e do potencial transformador da Saúde 4.0, o conceito ainda é relativamente recente e pouco difundido no Brasil (Tortorella *et al.*, 2020). Essa lacuna de disseminação e entendimento reflete o estágio inicial de adoção das tecnologias emergentes associadas e pode dificultar a compreensão de seu impacto nas práticas profissionais e no ambiente construído. Como resultado, muitos profissionais e instituições ainda têm dificuldade em compreender o real impacto dessas inovações nas práticas assistenciais, nos modelos de gestão e no próprio ambiente construído, que precisa acompanhar as transformações decorrentes da digitalização na área da saúde.

Torna-se relevante compreender como essas inovações estão sendo percebidas e assimiladas por profissionais que atuam diretamente no setor de saúde, uma vez que sua adesão, capacitação e entendimento sobre os impactos da Saúde 4.0 são fatores determinantes para o sucesso das iniciativas de inovação nos ambientes hospitalares.

Diante da acelerada e inevitável evolução tecnológica, é importante também revisar os métodos e técnicas de projeto de arquitetura para atender às novas demandas. Os desafios apresentados pela sociedade requerem que arquitetos e engenheiros envolvidos

no planejamento arquitetônico mantenham-se em constante atualização e desenvolvam habilidades para lidar com as tecnologias avançadas que estão promovendo transformações globais (Góes, 2010). Nesse sentido, o presente estudo tem como objetivo identificar as tecnologias emergentes que mais impactam no planejamento arquitetônico dos hospitais, os setores hospitalares mais impactados e as perspectivas para os hospitais do futuro, a partir da percepção de profissionais da saúde, arquitetos e engenheiros que atuam na área hospitalar no Brasil.

Os edifícios de saúde são mutáveis e o arquiteto tem papel fundamental para minimizar e prever problemas e maximizar a vida útil desses espaços. O hospital deve manter-se vivo durante décadas e estar preparado para os constantes avanços do conhecimento médico e da tecnologia hospitalar por meio de projetos que atendam todas as demandas (Karman, 2011). Além disso, o arquiteto deve ainda “superar limites profissionais rigorosos e estar ciente do impacto que as escolhas de design hospitalar têm no pessoal, nos fluxos de pacientes e visitantes, na resiliência de emergência e na própria evolução tecnológica” (WHO, 2023, p. 26, tradução nossa).

2 Método

A pesquisa foi realizada por meio de um questionário desenvolvido no aplicativo *Google Forms* e elaborado de modo que os participantes pudessem receber todas as informações necessárias para sua participação. Na primeira seção os participantes eram recepcionados e informados sobre os objetivos do estudo, a estrutura do questionário e o tempo estimado de resposta. Na segunda seção constavam os procedimentos éticos e legais e o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) que deveria ser aceito para prosseguimento. Na terceira seção estavam os dados sociodemográficos e duas perguntas que definiam os critérios de inclusão e exclusão. Na quarta seção foram alocadas seis perguntas específicas sobre as tecnologias emergentes e, por fim, na quinta seção, o agradecimento e o contato de *e-mail* para outras informações. As perguntas foram divididas em abertas e de múltiplas escolhas, considerando suas peculiaridades, sendo todas de resposta obrigatória.

A elaboração do questionário partiu das informações levantadas por meio de uma Revisão de Escopo realizada previamente (Pompermaier; Vergara; Cavalcanti, 2024b). As tecnologias emergentes responsáveis por impulsionar a Saúde 4.0 mapeadas na revisão foram expostas aos participantes de modo que estes pudessem selecionar as cinco que mais impactam, direta ou indiretamente, no planejamento arquitetônico dos hospitais conforme as suas percepções. Para responder essa pergunta foi disponibilizado um glossário, inserido no próprio formulário do *Google Forms*, com a definição das tecnologias, auxiliando os participantes em eventuais dúvidas ou desconhecimento. Em seguida, considerando estas tecnologias, apresentou-se uma lista de setores hospitalares selecionados a partir da RDC n.º 50 (Brasil, 2002), solicitando que os participantes selecionassem os três setores que serão mais impactados em termos de planejamento arquitetônico. As demais perguntas, todas abertas, solicitaram: as principais mudanças que irão acontecer nas edificações hospitalares a partir da incorporação das tecnologias emergentes; exemplos práticos para ilustrar o impacto da incorporação de novas tecnologias no planejamento arquitetônico; perspectivas para os hospitais do futuro e; exemplos de hospitais, no Brasil ou exterior, que sejam uma referência muito importante na incorporação de novas tecnologias na área da saúde ou

que materializem o que seriam tendências para o planejamento arquitetônico do hospital do futuro. O roteiro do questionário é apresentado no Quadro 1.

Quadro 1: Roteiro do questionário.

Parte I: Dados sociodemográficos	
01	Estado em que reside (Acre, Alagoas, Amapá, Amazonas, Bahia, Ceará, Distrito Federal, Espírito Santo, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraíba, Paraná, Pernambuco, Piauí, Rio de Janeiro, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rondônia, Roraima, Santa Catarina, São Paulo, Sergipe, Tocantins)
02	Gênero (masculino, feminino, outro)
03	Idade (20 anos ou menos, 21 a 30 anos, 31 a 40 anos, 41 a 50 anos, 51 anos ou mais)
04	Formação (Administrador(a), Arquiteto(a) e Urbanista, Engenheiro(a) Biomédico(a), Engenheiro(a) Civil, Enfermeiro(a), Médico(a), outra)
05	Tempo de experiência profissional (até 5 anos, entre 5 e 10 anos, entre 10 e 20 anos, entre 20 e 30 anos, mais de 30 anos)
06	Atua direta ou indiretamente em alguma atividade relacionada ao setor de saúde, seja no desenvolvimento de projetos, assistência, atendimento, gestão, entre outros? (sim ou não)
07	Qual o seu nível de conhecimento sobre tecnologias em saúde? (nenhum, básico, moderado, avançado)
Parte II: Dados específicos	
01	Considerando o seu conhecimento sobre tecnologias em saúde e sua experiência profissional, selecione 5 (cinco) tecnologias listadas abaixo que você acredita que mais impactam, direta ou indiretamente, no planejamento arquitetônico dos hospitais? Caso necessário, use o glossário como suporte. (<i>big data, data analytics e data science; biologia sintética; biossensores e rastreadores; blockchain e cibersegurança; cloud computing e fog computing; computação quântica; drones; gêmeo digital; genômica; Inteligência Artificial (IA), machine learning e deep learning; Internet das Coisas (IoT), Internet de Serviços (IoS) e Internet of Everything (IoE); manufatura aditiva (impressão 3D); nanotecnologia; realidade aumentada (RA), realidade virtual (RV) e realidade mista (RM); robótica; sensores ambientais; sistemas ciber-físicos (CPS); tecnologia 5G; telessaúde (telemedicina, teleconsultas e telediagnósticos); wearables</i>)
02	Quais as principais mudanças que você acredita que irão acontecer no edifício hospitalar a partir da incorporação das tecnologias acima descritas?
03	Considerando as tecnologias acima descritas, selecione 3 (três) setores hospitalares que você acredita que serão os mais impactados em termos de planejamento arquitetônico. (<i>ambulatório, apoio diagnóstico (patologia clínica, imagenologia, medicina nuclear), apoio logístico (rouparia, limpeza, conforto, manutenção), apoio técnico (nutrição e dietética, farmácia, CME), apoio terapêutico (reabilitação, radioterapia, quimioterapia, diálise), centro cirúrgico e obstétrico, internação, pronto-socorro (urgência e emergência), Unidade de Terapia Intensiva (UTI) ou Centro de Terapia Intensiva (CTI), outro</i>)
04	Em poucas palavras, como você imagina que será o hospital do futuro?
05	Gostaria de fazer algum comentário adicional que não foi contemplado nas questões acima?
06	Tem interesse em participar de outras etapas desta pesquisa? Se sim, deixe seu e-mail para podermos entrar em contato.

A revisão de escopo realizada aponta que o conceito de “Saúde 4.0” é relativamente recente e ainda pouco difundido (Pompermaier; Vergara; Cavalcanti, 2024b), com isso procurou-se evitar a utilização explícita do termo, evitando interpretações incorretas dos participantes. Para tanto, adotou-se uma linguagem fazendo referência a tecnologias emergentes em saúde.

Após a elaboração do questionário, visando identificar falhas na redação e eliminar potenciais problemas, foi realizado um pré-teste com três participantes que representaram parte da diversidade da população-alvo, incluindo um arquiteto e urbanista, um engenheiro biomédico e um médico. Profissionais de outras áreas da saúde foram contemplados apenas na aplicação final do questionário. Para o pré-teste, o questionário foi personalizado de forma que após cada pergunta os participantes convidados tivessem a disposição um espaço para *feedbacks* onde pudessem expor sugestões, assegurando a precisão do questionário e sua validação. A aplicação do pré-teste ocorreu de forma *on-line* no período de 18 de maio a 05 de julho de 2023. Após a aplicação deste, o questionário foi adequado para sua versão final, adicionando duas perguntas abertas conforme sugestões propostas: um campo para comentários

adicionais e um campo para demonstração de interesse em participar de outras etapas da pesquisa.

A população-alvo, com abrangência nacional, foi definida em arquitetos(as) e urbanistas, enfermeiros(as), engenheiros(as) biomédicos(as)/clínicos(as), engenheiros(as) civis, médicos(as), entre outros. Os seguintes critérios de inclusão foram definidos: (I) atuar direta ou indiretamente em alguma atividade relacionada ao setor de saúde, seja no desenvolvimento de projetos, assistência, atendimento, gestão, entre outros; (II) possuir minimamente conhecimentos básicos sobre tecnologias em saúde.

O recrutamento dos participantes foi realizado por amostragem não probabilística por conveniência, visando atingir profissionais da população-alvo (Gil, 2002). Para isso, o convite para participar da pesquisa foi publicado e amplamente divulgado em redes sociais como *WhatsApp*, *Instagram*, *LinkedIn* e por *e-mail*, permitindo que qualquer profissional interessado e elegível pudesse acessar e responder ao questionário.

Além da divulgação aberta, o questionário também foi enviado diretamente a profissionais conhecidos e que fazem parte da rede de contatos dos pesquisadores, garantindo a participação de indivíduos com experiência relevante. Adicionalmente, a pesquisa foi divulgada por *e-mail* por meio da Associação Brasileira para o Desenvolvimento do Edifício Hospitalar (ABDEH) e em alguns grupos de pesquisa de relevância nacional na área de arquitetura e engenharia hospitalar, ampliando ainda mais o alcance do estudo. A aplicação do questionário ocorreu de forma *on-line* no período de 6 de junho a 15 de julho de 2023.

Após a coleta, os dados foram organizados e analisados utilizando o método de análise de conteúdo conforme proposto por Bardin (2016). Os dados obtidos por meio do *Google Forms* foram exportados para uma planilha do *Excel*, permitindo o tratamento sistemático das informações. A análise de conteúdo foi conduzida em três etapas: (I) Pré-análise: os dados foram cuidadosamente organizados e transcritos, e o corpus de análise foi definido. Em seguida, foram elaborados indicadores específicos para orientar a interpretação final; (II) Exploração do material: os dados foram explorados e categorizados em eixos temáticos, a fim de identificar os assuntos predominantes. Para isso, realizou-se codificação e contagem manual das respostas, seguindo regras previamente estabelecidas; (III) Tratamento dos resultados, inferência e interpretação: nesta fase, os dados categorizados foram tratados estatisticamente, com cálculo de frequências, porcentagens e tendências, quando aplicável. A partir desses resultados, foram realizadas inferências, ou seja, deduções lógicas fundamentadas nas informações coletadas (Bardin, 2016).

Esta pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisas com Seres Humanos da Universidade Federal de Santa Catarina (CEPSH-UFSC) (CAAE 68514423.5.0000.0121), sendo aprovada sob o parecer n.º 6.073.893. Os participantes assinaram o TCLE, concordando em participar da pesquisa de forma voluntária, anônima e confidencial.

3 Resultados e discussões

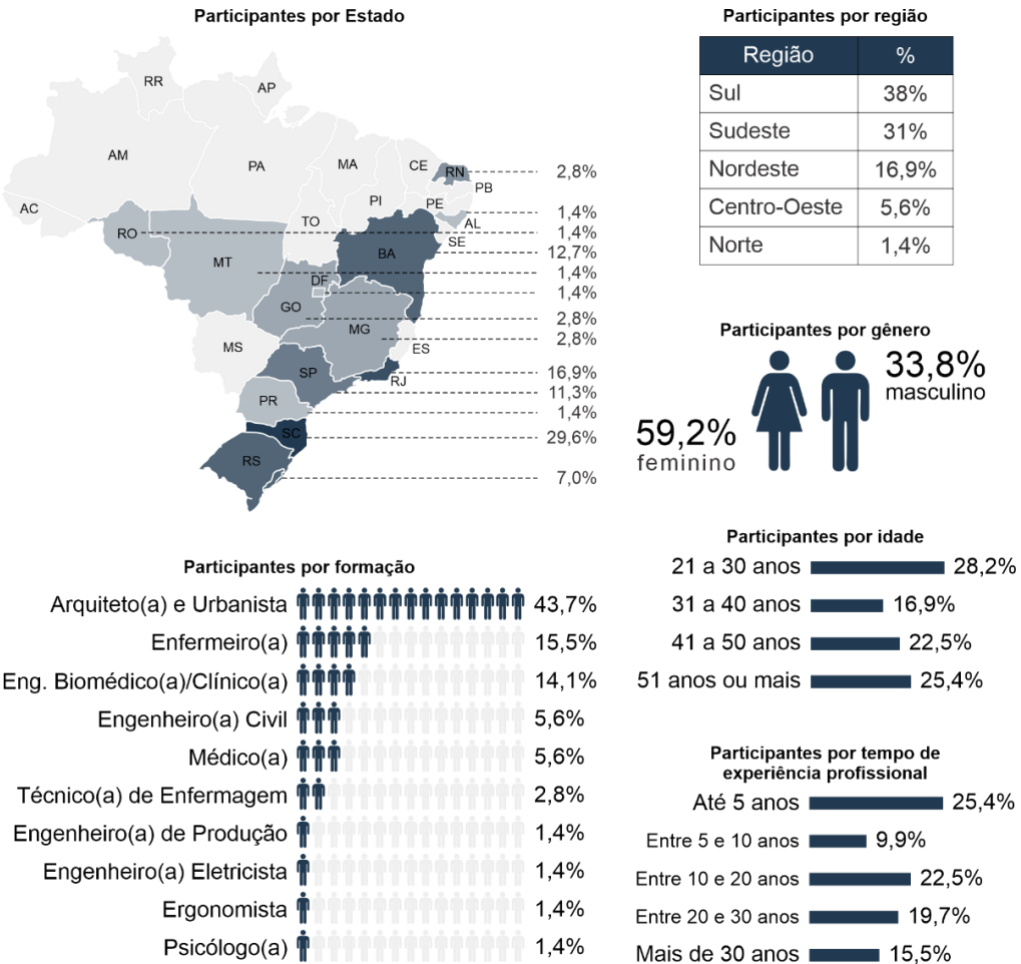
A aplicação do questionário em abrangência nacional contou com 71 participantes. Para responderem às perguntas específicas sobre as tecnologias emergentes, estes deveriam cumprir os critérios de inclusão definidos: (I) atuar direta ou indiretamente em alguma atividade relacionada ao setor de saúde, seja no desenvolvimento de projetos,

assistência, atendimento, gestão, entre outros; (II) possuir minimamente conhecimentos básicos sobre tecnologias em saúde. Assim, cinco participantes foram eliminados por não cumprirem com os critérios definidos. Em suma, quatro participantes não cumpriram o critério “I” e um participante não cumpriu o critério “II”.

Após esse filtro, 66 participantes, das cinco regiões geográficas do Brasil, responderam às perguntas específicas sobre as tecnologias emergentes em ambientes de saúde. Os Estados com maior participação foram, respectivamente: Santa Catarina, Rio de Janeiro, Bahia, São Paulo, Rio Grande do Sul, Rio Grande do Norte, Goiás, Minas Gerais, Alagoas, Distrito Federal, Mato Grosso do Sul, Paraná e Rondônia.

A amostra foi composta por profissionais de diferentes formações e níveis de experiência, permitindo uma visão abrangente sobre o tema investigado. As principais características sociodemográficas, incluindo gênero, idade, formação e tempo de experiência profissional, estão sintetizadas no infográfico apresentado na Figura 1.

Figura 1: Infográfico sociodemográfico dos participantes.

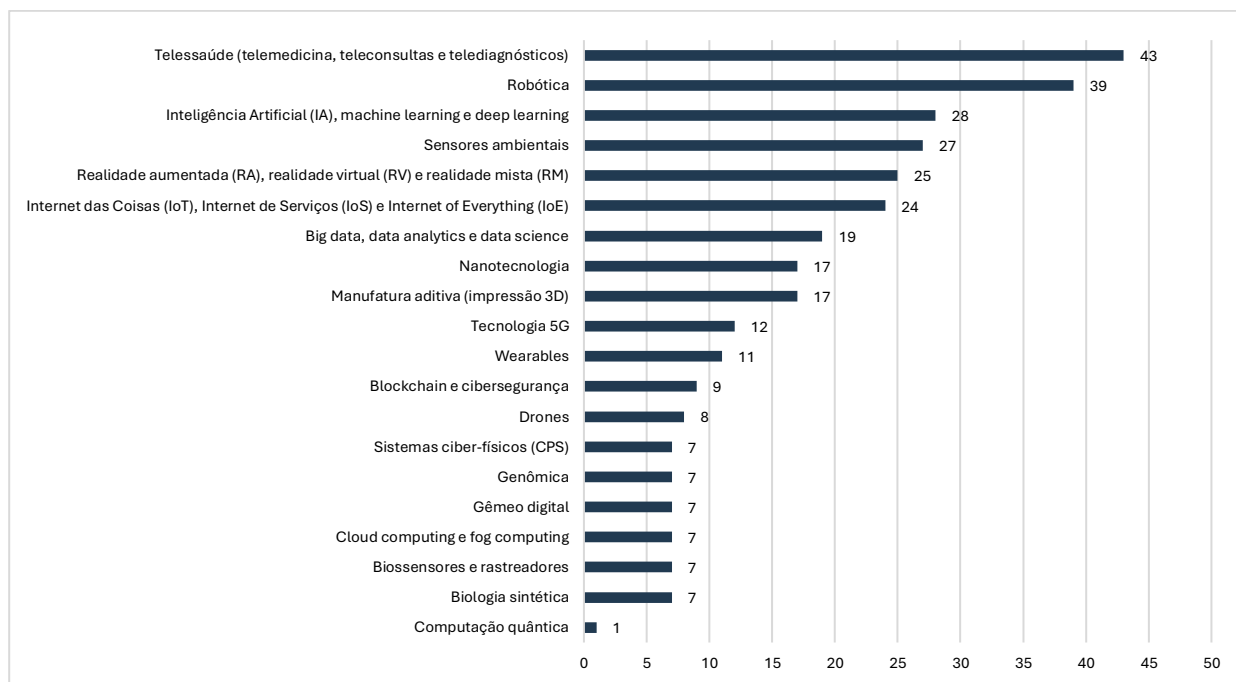


Fonte: Pompermaier (2024c).

A partir das tecnologias emergentes mapeadas na revisão de escopo, os participantes da pesquisa foram questionados com a seguinte pergunta: “Considerando o seu conhecimento sobre tecnologias em saúde e sua experiência profissional, selecione 5 (cinco) tecnologias listadas abaixo que você acredita que mais impactam, direta ou indiretamente, no planejamento arquitetônico dos hospitais?”. Foram apontados como principais tecnologias com potencial de impacto: telessaúde; robótica; IA, *machine*

learning e *deep learning*; sensores ambientais; e realidade aumentada, realidade virtual e realidade mista. Todas as tecnologias em ordem decrescente são apresentadas na Figura 2.

Figura 2: Tecnologias com potencial de impacto no planejamento arquitetônico.



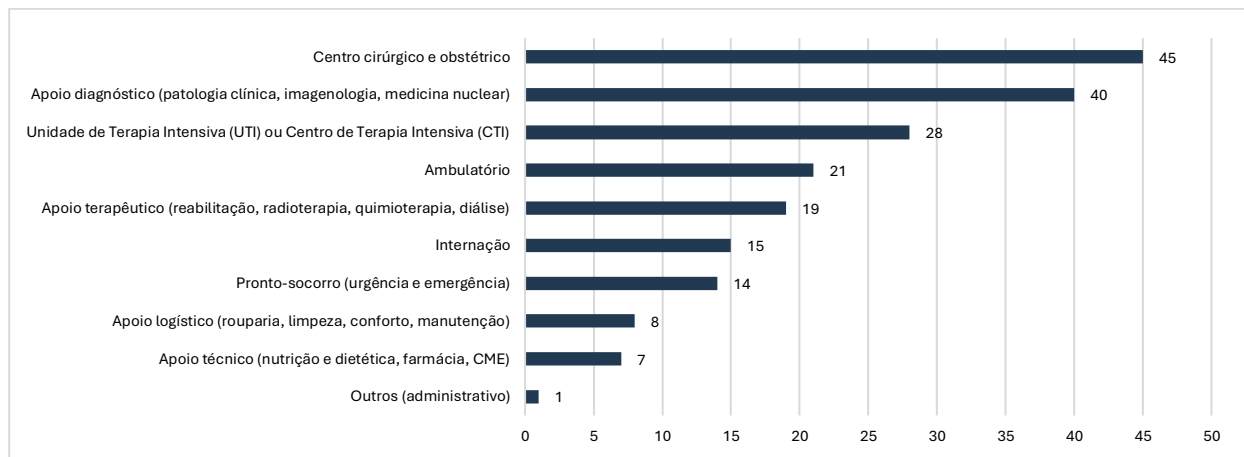
Fonte: Pompermaier (2024c).

Essas tecnologias estão moldando o futuro dos hospitais e, a partir das respostas obtidas, emerge a importância de considerar sua incorporação no planejamento arquitetônico. Além disso, as tecnologias apontadas trarão desafios para além do espaço físico, implicando em aspectos organizacionais, financeiros, tecnológicos e éticos. Sob essa ótica, Oliveira (2014) corrobora afirmando que os avanços científicos e tecnológicos trazem soluções ao mesmo tempo, em que impõem novos desafios para o setor de saúde.

Outro aspecto relevante a ser considerado é que muitas dessas tecnologias estão integradas aos próprios equipamentos hospitalares, como, por exemplo, tomógrafos, aparelhos de ressonância magnética, ultrassons e raio-x, que devido ao seu porte e complexidade, geram impactos diretos e significativos nas edificações hospitalares, influenciando o planejamento, a infraestrutura e as exigências técnicas dos espaços. Essa constatação conduz à reflexão sobre a próxima questão do questionário.

Fez-se o seguinte questionamento aos participantes: “Considerando as tecnologias acima descritas, selecione 3 (três) setores hospitalares que você acredita que serão os mais impactados em termos de planejamento arquitetônico”. Os principais setores apontados foram respectivamente: centro cirúrgico e obstétrico; apoio diagnóstico (patologia clínica, imagenologia, medicina nuclear); e Unidade de Terapia Intensiva (UTI) ou Centro de Terapia Intensiva (CTI). Vale ressaltar que esses resultados refletem as percepções individuais dos participantes e podem variar conforme a formação e área de atuação de cada profissional. Os demais setores, bem como a quantidade de indicações, estão apresentados na Figura 3.

Figura 3: Setores hospitalares impactados pelas tecnologias emergentes.



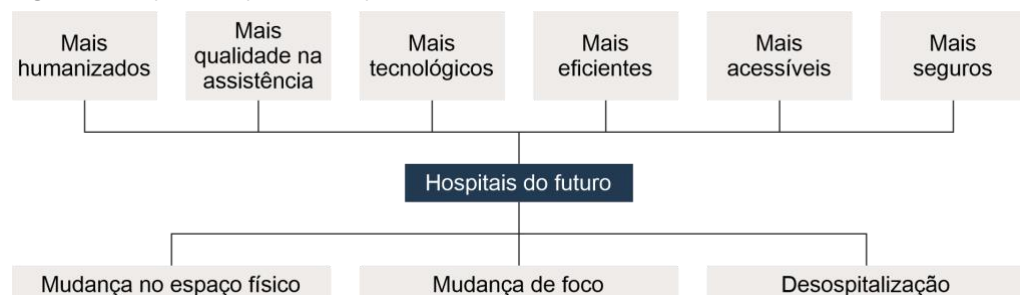
Fonte: Pompermaier (2024c).

Os apontamentos indicam que os setores mais impactados pelas tecnologias emergentes tendem a ser aqueles tradicionalmente associados à precisão médica, aos cuidados intensivos e ao diagnóstico e tratamento. Também são setores onde já há uma significativa incorporação de tecnologias biomédicas, isto é, onde os equipamentos, novas tecnologias e formas de tratamento são imprescindíveis para a prestação do atendimento à saúde. Conforme Toledo (2008, p. 105) desde o século XIX, as unidades de apoio diagnóstico “[...] vem crescendo de forma acelerada para atender à incorporação das novas tecnologias de diagnóstico por imagem, métodos gráficos e laboratoriais”. Esse é apenas um dos exemplos. Os setores indicados concentram a maioria das “tecnologias duras” do hospital, ou seja, equipamentos e instrumentos complexos e de alto custo associado (Merhy *et al.*, 2006).

Isso se reflete nas práticas projetuais, uma vez que, como mencionado anteriormente, esses equipamentos influenciam diretamente o planejamento, a infraestrutura e as exigências técnicas dos espaços. Tal influência reforça a necessidade de soluções arquitetônicas que prezem pela flexibilidade e expansibilidade dos setores, de modo a permitir constantes atualizações tecnológicas e a incorporação de novos requisitos assistenciais e operacionais.

Na sequência os participantes foram questionados sobre os hospitais do futuro através da seguinte pergunta: “Em poucas palavras, como você imagina que será o hospital do futuro?”. A partir da análise de conteúdo realizada, os dados foram categorizados de acordo com o eixo temático apresentado nas respostas, conforme representado na Figura 4. Essa categorização possibilitou identificar as perspectivas para os hospitais do futuro.

Figura 4: Perspectivas para os hospitais do futuro.



Fonte: Pompermaier (2024c).

No Quadro 2, a partir da categorização, algumas respostas obtidas foram organizadas para exemplificar as perspectivas para os hospitais do futuro.

Quadro 2: Respostas para a pergunta “Como você imagina que será o hospital do futuro?”.

Categoria	Citação
Mais humanizados	“Gosto de pensar que será tecnológico, mas que também haja um tratamento mais humanizado e uma arquitetura mais acolhedora, focada no bem-estar do paciente.” “Ele acompanhará as tendências de bem-estar do paciente, cores, ruídos, acessibilidade, acesso a entretenimento, interação com animais de estimação, serviços personalizados, espaços de desconpressão, paisagismo e conexão com a cidade e serviços no entorno. Claro, muita tecnologia e conforto para o paciente e acompanhantes.” “Ambientes mais humanizados e acolhedores com ênfase na saúde integral.”
Mais qualidade na assistência	“Integrado totalmente aos parâmetros vitais do paciente, esteja ele fisicamente ou não dentro de instalações de assistência à saúde.” “Procedimentos e administração de medicamentos cada vez mais personalizadas visando maior eficiência em todas as etapas do tratamento.” “Dinamismo, diminuição de erros e baixo índice de contaminação.” “[...] os hospitais permitirão que os pacientes recebam maior atenção e empatia dos profissionais.”
Mais tecnológicos	“Imagino que os exames terão os resultados na beira leito, sensores poderão informar falhas de cuidado, como a não mudança de decúbito, inteligência artificial para identificar diagnósticos, agravos do paciente e tratamentos mais seguros.” “Totalmente conectado, rápido, sem filas, com resultados de exames rápidos e ambientes adequados para as necessidades de cada paciente com o auxílio da tecnologia e da própria humanização, as tecnologias leves devem sempre caminhar paralelamente às tecnologias duras.” “O hospital do futuro terá diferentes tipos de tecnologias materiais que irão oferecer suporte no cuidado aos pacientes, bem como se espera que todo o fluxo de dados ocorra de forma digital.” “Bem informatizado, no sentido de que os dados sobre os pacientes e seus tratamentos são passados e tratados de maneira mais rápida e eficiente, diminuindo o ruído entre as partes terapêuticas e, assim, reduzindo erros.” “Cercado de diversas tecnologias ligadas à robótica.”
Mais eficientes	“O hospital do futuro deve impactar na facilidade e na agilidade do atendimento das equipes, onde tudo deve ser planejado para tal.” “[...] manutenção mais ágil e prédios melhor conservados utilizando a tecnologia para prevenir danos antes do caos.”
Mais acessíveis	“Autônomo, acessível a todas as classes sociais, isento de filas.”
Mais seguros	“Ambientes mais seguros e melhoria das condições de trabalho.” “Dinamismo, diminuição de erros e baixo índice de contaminação.” “Cuidado de saúde com segurança e confiança nos dados de prontuários eletrônicos.”
Mudança no espaço físico	“Áreas mais funcionais e mais automação de atividades.” “Aumento das áreas de apoio ao diagnóstico e terapias e de internação intensiva.” “Unidades com menor área construída e menor fluxo de pacientes externos.” “Será mais flexível (a pandemia mostrou essa necessidade), com espaços podendo ser remanejados a depender da necessidade.”
Mudança de foco	“Focado mais na prevenção do que no tratamento.” “Um ambiente híbrido que utiliza a IA como forma de ampliação da qualidade de vida e longevidade.”
Desospitalização	“Dividido em vários edifícios, dito “sem muros”. Sempre seguro, eficiente e confortável.” “Será um hospital onde o paciente só frequentará se realmente for necessário, fazendo a grande parte do seu atendimento em casa.” “[...] com cuidados por meios virtuais apoiados por prescrições digitais.”

Os hospitais do futuro serão transformados pelas tecnologias emergentes, moldando-se para atender às crescentes demandas geradas pelo aumento populacional, maior expectativa de vida e incidência das doenças crônicas. As perspectivas indicam que serão espaços mais complexos, tecnológicos, sustentáveis e centrados no paciente, aprimorando e melhorando a prestação dos cuidados de saúde, por meio de processos mais eficientes, seguros e personalizados, pautando-se em soluções humanizadas, tanto

assistenciais, quanto espaciais, promovendo o bem-estar durante o tempo de permanência no hospital.

As respostas obtidas indicam um cenário de mudança nas estruturas de saúde, no qual o foco se volta cada vez mais para a prevenção, tendência que deve se fortalecer nos próximos anos. O processo de desospitalização, por meio da ampliação dos centros médicos especializados, da telessaúde e do *home care*, possivelmente contribuirá para reforçar os princípios do Sistema Único de Saúde (SUS): universalização, equidade e integralidade (Brasil, 2023). Além disso, o avanço tecnológico deverá contribuir para reduzir a presença física dos pacientes no hospital e estimular o ambiente domiciliar como parte do modelo assistencial.

Em termos de planejamento arquitetônico pode-se esperar uma otimização da estrutura físico-espacial influenciada pela desospitalização, procedimentos cirúrgicos minimamente invasivos, menor tempo de permanência do paciente e aumento da terceirização de serviços, resultando em menores áreas de apoio administrativo, logístico e técnico. Em contrapartida, os setores de apoio diagnóstico e terapia necessitarão de maiores espaços físicos para acomodar tecnologias e prover o suporte assistencial de alta complexidade.

A tecnologia terá um papel fundamental na forma como as informações são coletadas, processadas e armazenadas. Soluções inteligentes e integradas baseadas na conectividade e na interoperabilidade promoverão avanços significativos e permitirão diagnósticos mais ágeis e precisos e tratamento mais personalizados, seguros e eficazes.

4 Conclusões

O presente estudo buscou identificar as tecnologias emergentes que mais impactam no planejamento arquitetônico dos hospitais, os setores hospitalares mais impactados e as perspectivas para os hospitais do futuro. Fundamentando-se na análise do questionário aplicado, os resultados destacaram a centralidade de tecnologias como telessaúde, robótica, IA, *machine learning* e *deep learning*, sensores ambientais, realidade aumentada e virtual, IoT, na transformação das práticas hospitalares e do ambiente construído. Identificou-se que os setores hospitalares mais impactados pelas inovações tecnológicas incluem centro cirúrgico e obstétrico, apoio diagnóstico, e UTI ou CTI. Esses espaços apresentam características críticas relacionadas à segurança do paciente, eficiência operacional e qualidade assistencial, tornando-se pontos estratégicos para a incorporação de soluções tecnológicas e que requerem significativa atenção durante o ato projetual.

Acerca das perspectivas para os hospitais do futuro, as respostas obtidas indicam cenários promissores para a saúde, com mais vantagens do que desvantagens. Embora não seja possível prever o futuro com precisão, estudá-lo nos permite planejar e nos antecipar a possíveis desafios – como criar condições favoráveis para a incorporação de tecnologias e para o desenvolvimento de ambientes de saúde que se adaptem com o tempo, evitando a obsolescência precoce. Além disso, o que são tratadas como tecnologias emergentes e de ponta hoje, talvez daqui a 10 ou 20 anos não sejam mais, ou possam ter sido apenas um meio de se chegar a outras tecnologias ainda mais avançadas. A certeza é a necessidade de fusão entre tecnologias e humanização, provendo um ambiente hospitalar mais humano.

Os arquitetos, engenheiros e outros profissionais envolvidos no projeto, construção e operação dos hospitais deverão estar atentos às tendências para que os hospitais do futuro sejam capazes de atender às necessidades da população, garantindo a saúde integral a todos. A adoção de tecnologias emergentes exige não apenas ajustes nos projetos arquitetônicos, mas também mudanças nos fluxos operacionais e no treinamento das equipes, a fim de garantir uma implementação eficiente e alinhada às necessidades dos pacientes e dos profissionais de saúde.

A transição tecnológica dos hospitais do Brasil ainda enfrenta desafios relacionados à disseminação de conhecimentos sobre a Saúde 4.0 e à adaptação das infraestruturas hospitalares existentes. Contudo, as oportunidades geradas por essas inovações são promissoras, especialmente no que diz respeito à melhoria da qualidade do atendimento e à eficiência dos serviços.

Este estudo contribui para o campo da arquitetura hospitalar ao fornecer subsídios para a compreensão das demandas atuais e futuras do setor, além de reforçar a importância de integrar tecnologia e arquitetura de forma estratégica. Investigações futuras podem aprofundar a análise em áreas específicas de impacto, bem como avaliar a implementação prática dessas tecnologias no contexto brasileiro, de modo a propor diretrizes mais detalhadas para projetos de hospitais inteligentes.

Por fim, uma das principais limitações do estudo foi a amostra limitada dos profissionais que responderam ao questionário em termos de representatividade geográfica. Apesar das respostas obtidas nas cinco regiões geográficas, a desproporção amostral pode não refletir de maneira abrangente a diversidade de contextos hospitalares brasileiros, influenciando os resultados. Nesse sentido, para estudos futuros recomenda-se a expansão da amostra com maior representatividade de regiões como, Norte e Centro-Oeste, garantindo uma análise mais representativa.

Agradecimentos

Estudo realizado com o apoio do Programa de Bolsas Universitárias de Santa Catarina mantido pelo Fundo de Apoio à Manutenção e ao Desenvolvimento da Educação Superior (UNIEDU/FUMDES Pós-graduação).

Referências

- AHMAD, K. A. B.; KHUJAMATOV, H.; AKHMEDOV, N.; BAJURI, M. Y.; AHMAD, M. N.; AHMADIAN, A. Emerging trends and evolutions for smart city healthcare systems. **Sustainable Cities and Society**, v. 80, e103695, maio 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103695>. Acesso em: 8 dez. 2025.
- 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, nov. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3038858>. Acesso em: 8 dez. 2025.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução: Luís Antero Reto, Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC n.º 50, de 21 de fevereiro de 2002. Dispõe sobre o Regulamento Técnico para planejamento,

programação, elaboração e avaliação de projetos físicos de estabelecimentos assistenciais de saúde. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 139, n. 54, p. 39-75, 20 mar. 2002. Of. El. 103/2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Sistema Único de Saúde**. Brasília: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/s/sus>. Acesso em: 17 fev. 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GÓES, R. **Manual prático de arquitetura para clínicas e laboratórios**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

GUPTA, A.; SINGH, A. Healthcare 4.0: recent advancements and futuristic research directions. **Wireless Personal Communications**, v. 129, p. 933-952, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-022-10164-8>. Acesso em: 8 dez. 2025.

KARMAN, J. **Manutenção e segurança hospitalar preditivas**. São Paulo: Estação Liberdade: IPH, 2011.

LOPES J. M.; MARRONE, P.; PEREIRA, S. L.; DIAS, E. M. Health 4.0: challenges for an orderly and inclusive innovation [Commentary]. **IEEE Technology and Society Magazine**, v. 38, n. 3, p. 17-19, set. 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/MTS.2019.2930265>. Acesso em: 8 dez. 2025.

MERHY, E. E.; MAGALHÃES JR., H. M.; RIMOLI, J.; FRANCO, T. B.; BUENO, W. S. **Trabalho em saúde: olhando e experienciando o SUS no cotidiano**. 3. ed. São Paulo: Hucitec, 2006.

OLIVEIRA, E. F. S. **Inovação tecnológica em saúde uma visão nas últimas duas décadas**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <https://repositorio.pucsp.br/jspui/handle/handle/3576>. Acesso em: 8 dez. 2025.

POMPERMAIER, J. P. L.; VERGARA, L. G. L.; CAVALCANTI, P. B. Processo de transformação da saúde e dos hospitais: um olhar para as revoluções industriais e os modelos de saúde. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 10, p. 1099-1118, 2024a. DOI: <https://doi.org/10.51891/rease.v10i10.15956>. Acesso em: 8 dez. 2025.

POMPERMAIER, J. P. L.; VERGARA, L. G. L.; CAVALCANTI, P. B. Saúde 4.0, tecnologias emergentes e cenários disruptivos em ambientes hospitalares: uma revisão de escopo. **Revista Sustinere**, v. 12, n. 2, p. 1113-1136, 2024b. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/sustinere/article/view/84050>. Acesso em: 23 jan. 2025.

POMPERMAIER, J. P. L. **Arquitetura e Saúde 4.0: tecnologias emergentes nas edificações hospitalares do Brasil**. 2024c. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Florianópolis, 2024c. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/254480>. Acesso em: 6 mar. 2026.

SCHWAB, K. **A quarta revolução industrial**. Tradução: Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016.

SONY, M.; ANTONY, J.; McDERMOTT, O. The impact of healthcare 4.0 on the healthcare service quality: a systematic literature review. **Hospital Topics**, p. 288-304, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/00185868.2022.2048220>. Acesso em: 8 dez. 2025.

TOLEDO, L. C. M. **Feitos para cuidar**: a arquitetura como um gesto médico e a humanização do edifício hospitalar. 2008. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://objdig.ufrj.br/21/teses/707407.pdf>. Acesso em: 8 dez. 2025.

TORTORELLA, G. L.; FOGLIATTO, F. S.; ESPÔSTO, K. F.; VERGARA, A. M.; VASSOLO, R.; MENDOZA, D. T.; NARAYANAMURTHY, G. Effects of contingencies on healthcare 4.0 technologies adoption and barriers in emerging economies. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 156, jul. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120048>. Acesso em: 8 dez. 2025.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Hospitals of the future**: a technical brief on re-thinking the architecture of hospitals. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/europe/publications/i/item/WHO-EURO-2023-7525-47292-69380>. Acesso em: 24 ago. 2023.