REVISTA | MAGAZINE

IPH

23

INSTITUTO DE
PESQUISAS
HOSPITALARES
ARQUITETO
JARBAS KARMAN



REVISTA IPH

EDIÇÃO Nº 23 OUTUBRO DE 2026

Revista IPH

Edição Nº23
Outubro de 2026

Conselho Editorial
Fabio Bitencourt
Jorgeny Catarina Gonçalves
Marilena Pacios
Ricardo Karman diretoria@iph.org.br

Editor
Marcio Nascimento de Oliveira marcio@iph.org.br

Expediente IPH
Rita Moraes secretaria@iph.org.br
Terezinha Vendramini karman@karman.com.br

Projeto Gráfico
Nathalia Duran

Tradução
Espanhol Martin y Claudia Cadillo
Inglês Marina Jarouche

Imagem da capa
Hospital de Urgência de São Bernardo do Campo
Arquitetura Angelo Bucci (SPBR Arquitetos)
Fotógrafo Nelson Kon

ISSN 2358-3630
DOI 10.62558/2358-3630/23.01

Endereço para correspondência
IPH - Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman
Rua Piracuama, 21 térreo - sala 02
Sumaré, São Paulo - SP
CEP 05017-040
telefone (11) 989059107
e-mail revista@iph.org.br
endereço eletrônico www.iph.org.br/revista

VERSÃO EM

Revista IPH
outubro de 2026

PORTUGUÊS

Sumário

Editorial 04

Marcio Nascimento de Oliveira

Artigo 07

Manutenção predial hospitalar: Desafios, variáveis críticas e diretrizes para o dimensionamento da força de trabalho

Aline Neves Gomes, Prof. Marcelo J. Meiriño e Prof. Fábio Aquino

Artigo 23

A contribuição de tecnologias digitais para o desenvolvimento de projetos com o objetivo de atender aos requisitos de informações necessárias para a operação e manutenção de ativos hospitalares

Adriana Tonani Mazzieiro

Artigo 43

Economia circular em estabelecimentos assistenciais de saúde

Antonio Pedro Alves de Carvalho e Jair de Jesus Lima

Artigo 74

Iluminação natural e processo projetual de Siegbert Zanettini: Hospital Ermelino Matarazzo

Danielly Marcianny Silva Eulário, Paulo Sergio Scarazzato e Ludmila Cardoso Fagundes Mendes

Artigo 93

Percepção de gestores hospitalares sobre a incorporação de tecnologias emergentes e seus impactos na infraestrutura física dos hospitais de Santa Catarina

João Paulo Lucchetta Pompermaier, Lizandra Garcia Lupi Vergara e Patrícia Biasi Cavalcanti

Artigo 115

Hospital de urgências de São Bernardo do Campo: contexto e projeto

Sérgio Luiz Salles Souza e Ângelo Bucci Curadoria de imagens e diagramas: Gabriela Pedini

Versão em Espanhol 154

Versão em Inglês 312

Editorial

A Revista IPH chega à 23ª edição reafirmando o compromisso histórico do IPH – Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman com a produção e disseminação de conhecimento técnico-científico voltado à arquitetura, à engenharia, à gestão e à operação dos estabelecimentos assistenciais de saúde. Em um cenário marcado pela rápida transformação tecnológica, pelas exigências crescentes de sustentabilidade e pela necessidade permanente de qualificação da infraestrutura hospitalar brasileira, os trabalhos reunidos nesta publicação contribuem de maneira relevante para o aprofundamento das discussões sobre o futuro dos ambientes de saúde.

Os artigos apresentados dialogam entre si ao abordar diferentes dimensões do ciclo de vida dos edifícios hospitalares, desde o planejamento e o projeto até a operação, manutenção e adaptação das estruturas físicas frente às novas demandas assistenciais e tecnológicas. Trata-se, assim, de uma revista que evidencia a importância de integrar conhecimento multidisciplinar, gestão estratégica e inovação para garantir ambientes mais eficientes, resilientes e humanizados.

Abrindo esta edição, o artigo “Manutenção predial hospitalar: desafios, variáveis críticas e diretrizes para o dimensionamento da força de trabalho” discute um dos temas mais sensíveis para a sustentabilidade operacional dos hospitais: a manutenção da infraestrutura física e tecnológica. Em um contexto no qual a complexidade dos sistemas prediais hospitalares cresce continuamente, o estudo destaca a

necessidade de metodologias mais precisas para o dimensionamento das equipes técnicas, considerando variáveis operacionais, criticidade dos sistemas e requisitos de continuidade assistencial.

Na sequência, o trabalho “A contribuição de tecnologias digitais para o desenvolvimento de projetos com o objetivo de atender aos requisitos de informações necessárias para a operação e manutenção de ativos hospitalares” demonstra como ferramentas digitais vêm transformando os processos de projeto e gestão de ativos. A incorporação de metodologias baseadas em informação estruturada, interoperabilidade e modelos digitais representa um avanço significativo para a eficiência da operação hospitalar ao longo do ciclo de vida das edificações.

O debate sobre sustentabilidade ganha destaque no texto “A economia circular em EAS”, de Antonio Pedro Carvalho e Jair de Jesus Lima, que apresenta reflexões importantes sobre o uso racional de recursos, gestão de resíduos e novas estratégias para reduzir impactos ambientais no setor da saúde. A incorporação dos princípios da economia circular aos estabelecimentos assistenciais de saúde aponta para uma mudança de paradigma necessária diante dos desafios ambientais contemporâneos.

Também integra este número da revista o estudo “Iluminação natural e processo projetual de Siegbert Zanettini: Hospital Ermelino Matarazzo”, de Danielly Eulário e colaboradores, que revisita a obra de um dos principais nomes da arquitetura brasileira contemporânea, analisando a relação entre iluminação natural, conforto ambiental e qualidade espacial no projeto hospitalar. O trabalho evidencia como soluções arquitetônicas sensíveis ao clima e ao bem-estar humano permanecem fundamentais mesmo diante do avanço das tecnologias construtivas.

As transformações provocadas pelas tecnologias emergentes no ambiente hospitalar são abordadas no trabalho “Percepção de gestores hospitalares sobre a incorporação de tecnologias emergentes e seus impactos na infraestrutura física dos hospitais de Santa Catarina”, de João Paulo Lucchetta Pompermaier e colaboradores. O estudo revela os desafios enfrentados pelos gestores para adaptar edificações existentes às novas exigências operacionais, digitais e assistenciais, destacando a necessidade de maior flexibilidade e capacidade de atualização dos edifícios de saúde.

Encerrando a revista, o texto “Arquitetura na área da saúde – Hospital Público de Urgência, São Bernardo do Campo”, dos autores convidados Sergio Salles e Ângelo Bucci, apresenta uma reflexão sobre arquitetura hospitalar contemporânea a partir de uma obra pública de grande relevância, enfatizando a relação entre solução arquitetônica, funcionalidade, urbanidade e atendimento humanizado.

Esperamos que os trabalhos aqui publicados contribuam para ampliar o debate técnico e científico sobre os rumos da arquitetura e da infraestrutura hospitalar no Brasil, estimulando novas pesquisas, práticas inovadoras e soluções capazes de responder aos desafios presentes e futuros dos ambientes de saúde.

Agradecemos aos autores, pesquisadores, pareceristas e colaboradores que possibilitaram mais esta edição da Revista IPH. Aos nossos leitores, desejamos uma ótima leitura e os convidamos a seguirem participando ativamente desta rede de conhecimento construída ao longo da trajetória do IPH.

Arq. Marcio Nascimento de Oliveira, MSc.

Editor

Artigo

Manutenção predial hospitalar: Desafios, variáveis críticas e diretrizes para o dimensionamento da força de trabalho

Autores

Aline Neves Gomes Universidade Federal Fluminense.

Prof. Marcelo J. Meiriño, D.Sc Universidade Federal Fluminense.

Prof. Fábio Aquino, D.Sc. Centro Federal de Educação Tecnológica.

DOI: 10.62558/2358-3630/23.01.01

Resumo

A manutenção predial hospitalar é um macroprocesso estratégico essencial para a segurança do paciente e para a continuidade dos serviços de saúde. Apesar de sua relevância, observa-se uma lacuna significativa na literatura científica, especialmente no contexto brasileiro. Este estudo realizou uma revisão sistemática e uma análise bibliométrica de 185 publicações indexadas na base Scopus (1989–2023), utilizando o software R e o pacote Bibliometrix, ferramenta amplamente empregada para mapeamento científico e análise quantitativa de produção acadêmica. Os resultados evidenciaram que a maior parte dos estudos concentra-se em países desenvolvidos, enquanto a literatura nacional permanece limitada. Foram identificadas variáveis críticas para o dimensionamento da força de trabalho em manutenção predial hospitalar, incluindo complexidade dos sistemas, frequência das manutenções, área física, quantidade de ativos e nível de capacitação das equipes. Com base nesses achados, o estudo propõe diretrizes fundamentadas em ordens de serviço, indicadores operacionais e normas técnicas aplicáveis ao setor. O fortalecimento da gestão da manutenção mostra-se indispensável para a promoção de ambientes hospitalares mais seguros, eficientes e sustentáveis.

Palavras-chave:

manutenção predial hospitalar; dimensionamento da força de trabalho; gestão de infraestrutura hospitalar.

1. Introdução

A manutenção predial tem como objetivo que o edifício desempenhe suas funções de forma que não atrapalhe o uso nem a ocupação, garantindo a funcionalidade, a segurança e o bem-estar dos usuários de um edifício. No ambiente hospitalar, as consequências de falhas em manutenção predial podem ser graves e irreparáveis, podendo causar infecção hospitalar, acidente ou o agravamento do estado de um paciente debilitado. Por isso, a responsabilidade, a disciplina e o conhecimento técnico da equipe se tornam elementos vitais. Cada intervenção exige planejamento meticuloso, com a aplicação rigorosa de medidas de proteção e sinalização. A separação entre materiais sujos ou contaminados e limpos é crucial, evitando a disseminação de riscos. O processo de execução deve ser conduzido com a menor interferência possível na rotina hospitalar, minimizando o impacto sobre pacientes, acompanhantes, médicos e colaboradores (EBSERH, 2022).

Planejar a manutenção predial hospitalar desde o início é crucial para garantir a longevidade, a eficiência e a segurança do prédio hospitalar, assegurando que ele continue cumprindo sua missão fundamental: cuidar da vida humana (Karman, Fiorentini e Karman, 1995).

Em países como os Estados Unidos e o Reino Unido, onde os sistemas de saúde são altamente desenvolvidos, o investimento em manutenção predial hospitalar é visto como fundamental. Estudos do National Health Service (NHS), do Reino Unido, demonstram que, para reduzir incidentes e custos de longo prazo, são realizadas manutenções preventivas regulares em áreas críticas como sistemas de ventilação e de fornecimento de energia (Dejaco, Gramigna e Moretti, 2019). O investimento nesses processos tem reduzido o número de ordens de serviço corretivas, ampliando a segurança e a confiabilidade das operações.

O dimensionamento das equipes de manutenção também é uma prática fundamentada para atender às necessidades específicas dos hospitais, considerando as demandas complexas de sistemas hospitalares. Em hospitais de médio e de grande porte em países desenvolvidos, as equipes de manutenção são organizadas com técnicos especializados, alocados em setores críticos, o que facilita a resposta a incidentes de forma ágil e minimiza os riscos de interrupções (Chen *et al*., 2020).

No entanto, a literatura científica brasileira ainda apresenta lacunas importantes em como dimensionar, de forma objetiva e baseada em dados, as equipes de manutenção predial hospitalar. Enquanto países desenvolvidos já aplicam modelos baseados em indicadores de desempenho, no Brasil, predominam práticas reativas e a falta de metodologias aplicáveis à realidade do Sistema Único de Saúde (SUS).

Neste artigo, propõe-se uma análise da produção científica nacional e internacional sobre manutenção predial hospitalar, com ênfase no dimensionamento da força de trabalho. Para isso, são utilizadas técnicas de revisão bibliográfica e análise bibliométrica, a fim de identificar as principais variáveis técnicas, operacionais e normativas que influenciam a composição de equipes de manutenção. Espera-se, com isso, contribuir para o desenvolvimento de práticas mais seguras, eficientes e sustentáveis na gestão da infraestrutura hospitalar.

Uma versão preliminar dos resultados bibliométricos apresentados neste estudo foi publicada nos Anais do X CBDEH (Gomes, 2024). No entanto, o presente artigo inclui análises expandidas, revisão sistemática reexaminada e discussão aprofundada das variáveis críticas.

2. Fundamentação teórica

2.1 Manutenção predial

A partir do instante em que o edifício ganha vida, seu processo de envelhecimento se inicia. É nesse ponto que as atividades de manutenção assumem um papel crucial, transcendendo a mera correção de falhas e se estabelecendo como uma área estratégica para o desempenho duradouro da estrutura. A manutenção eficaz garante que a ocupação do edifício alcance as metas e os objetivos organizacionais, assegurando sua funcionalidade e valorização ao longo do tempo (Cisne e Albuquerque Junior, 2021).

A negligência no planejamento da manutenção predial pode gerar um efeito dominó de consequências negativas. Investimentos significativos em capital podem ser desperdiçados quando equipamentos e estruturas se deterioram prematuramente, levando à perda de garantias e à necessidade de reparos dispendiosos. Além disso, a falta de manutenção adequada pode comprometer a segurança dos usuários, impactar negativamente a produtividade no ambiente e, por fim, desencorajar novos investimentos no sistema, criando um ciclo vicioso de declínio (Lavy e Bilbo, 2009).

A manutenção predial se organiza em três pilares: segurança, funcionalidade e conforto, assegurando que o prédio ofereça condições adequadas aos usuários e que os investimentos sejam preservados a longo prazo (Guimarães, 2012). A manutenção predial hospitalar se entrelaça intimamente com a cadeia de serviços de saúde, assumindo um papel estratégico e multifacetado. Sua missão primordial é zelar pela segurança e pela longevidade das edificações assistenciais, garantindo um ambiente propício à recuperação e ao bem-estar dos pacientes. A manutenção hospitalar se configura como uma atividade essencial,

exigindo expertise técnica, planejamento meticuloso, organização impecável e gestão eficiente (EBSERH, 2022).

Diante desse cenário, torna-se imperativo repensar a gestão da manutenção hospitalar, adotando medidas eficazes para garantir a plena capacidade operacional dos equipamentos e das instalações. Investir em profissionais qualificados, otimizar os processos de aquisição e aprimorar a infraestrutura são ações essenciais para evitar o desperdício de recursos e, acima de tudo, salvar vidas.

A gestão de manutenção predial hospitalar, além de buscar a integridade e eficiência dos sistemas, precisa garantir que a continuidade das operações ocorra sem interferência no atendimento clínico. Karman e Fiorentini (1995) apontam que, em hospitais, as intervenções precisam ser cuidadosamente planejadas e executadas, realizadas preferencialmente em horários e áreas que reduzam ao máximo o impacto no atendimento dos pacientes. A realização de manutenções programadas em horários de menor fluxo de pessoas ou de fechamento de setores é uma prática comum, visando diminuir o risco de interrupção dos serviços e o desconforto dos usuários (Dejaco, Gramigna e Moretti, 2019).

Ademais, a manutenção predial hospitalar envolve desafios específicos, como o manejo de materiais potencialmente contaminantes e a garantia de que não haverá contaminação cruzada entre áreas limpas e eivadas. Estudos mostram que, quando bem realizada, a manutenção predial hospitalar contribui para a melhoria dos indicadores de segurança e saúde hospitalar, além de gerar economia ao evitar custos de reparos emergenciais e aumentar a longevidade dos equipamentos (Wong, Olanrewaju e Lim, 2021).

Portanto, a manutenção predial hospitalar é um processo complexo e altamente especializado, que envolve o planejamento detalhado, a capacitação contínua dos profissionais envolvidos e o acompanhamento constante dos indicadores de desempenho. Dessa forma, uma gestão eficaz da manutenção predial hospitalar não apenas protege o patrimônio, mas também promove a segurança e o bem-estar dos usuários, contribuindo para a sustentabilidade e eficiência dos serviços de saúde.

2.2 Bibliometria

A bibliometria é uma técnica essencial para organizar, catalogar e analisar produções acadêmicas de forma sistemática e estatisticamente embasada. Esse método permite mapear a evolução de um tema ao longo do tempo, identificando mudanças, tendências e conexões relevantes na literatura existente (Aria e Cuccurullo, 2017). É amplamente utilizada para estruturar informações em áreas que demandam compreensão aprofundada,

como a manutenção predial hospitalar, um campo essencial para o funcionamento de instituições de saúde, mas ainda carente de pesquisas detalhadas.

Conforme Aria e Cuccurullo (2017), o mapeamento científico não apenas contribui para a pesquisa, mas também desempenha um papel estratégico na formulação de políticas e práticas eficazes. Para tal, a bibliometria se baseia em três leis clássicas: a Lei de Bradford, que investiga a produtividade dos periódicos; a Lei de Lotka, focada na produtividade dos autores; e a Lei de Zipf, que examina a frequência de termos em textos científicos (Guedes e Borschiver, 2005).

3. Metodologia

Este estudo adota uma abordagem metodológica composta por uma análise bibliométrica, de natureza quantitativa, e uma revisão bibliográfica de caráter descritivo, com o objetivo de mapear a produção científica sobre manutenção predial hospitalar e identificar as principais variáveis que influenciam o dimensionamento da força de trabalho nesse contexto.

Para a análise bibliométrica, foram utilizados os indicadores clássicos disponíveis no pacote Bibliometrix, incluindo produtividade de autores, periódicos e países; análise de redes de coautoria; acoplamento bibliográfico; ocorrência e coocorrência de palavras-chave; além da evolução temporal das publicações. A base de dados foi padronizada com remoção de duplicidades, harmonização de nomes de autores e unificação de palavras-chave. Também foram aplicadas métricas de Bradford, Lotka e Zipf para identificar periódicos centrais, produtividade de autores e frequência de termos. Os resultados foram gerados pelo Biblioshiny, interface gráfica do Bibliometrix, que permitiu a construção de mapas científicos, gráficos de tendência e *clusters* temáticos.

A coleta de dados foi realizada na base Scopus, amplamente reconhecida pela qualidade e abrangência de suas publicações científicas. Utilizou-se uma combinação dos descritores "*building maintenance*" e "*health*", aplicando o operador lógico "*AND*" para identificar documentos que abordassem ambos os temas de forma correlacionada. Os dados coletados foram processados utilizando o software R e o pacote Bibliometrix, proporcionando uma análise quantitativa robusta e visualmente compreensível (Aria e Cuccurullo, 2017).

Também foi realizada uma síntese qualitativa das publicações mais relevantes, identificando os métodos, os indicadores e as práticas recomendadas para o dimensionamento da força de trabalho na manutenção hospitalar. Foram extraídas variáveis como complexidade técnica dos sistemas, frequência de manutenções preventivas e corretivas,

área física dos hospitais, localização dos equipamentos críticos, tempo médio de resposta a falhas e indicadores de desempenho (KPIs). A triangulação entre dados quantitativos e qualitativos permitiu uma compreensão mais abrangente e fundamentada das práticas e lacunas existentes no campo.

4. Resultados

4.1 Análise bibliométrica

A coleta de dados abrangeu o período de 1989 a 2023, totalizando 185 publicações distribuídas em 120 fontes distintas (Figura 1). Esse volume de estudos, ao longo de três décadas, evidencia uma carência significativa de pesquisas na área, sobretudo diante do rápido avanço tecnológico e de suas implicações diretas para a gestão hospitalar.



Figura 1 . Informações gerais. Fonte: produção da autora com utilização do software "R" e "Bibliometrix".

A produção científica anual apresentou um crescimento moderado e irregular (Figura 2), atingindo seu pico em 2012, com 17 artigos publicados. Entretanto, o aumento médio de 5,41% ao ano permanece insuficiente diante da complexidade e importância do tema. Em 20 dos 34 anos analisados, foram registradas três publicações ou menos, evidenciando a ausência de uma evolução contínua e consistente.

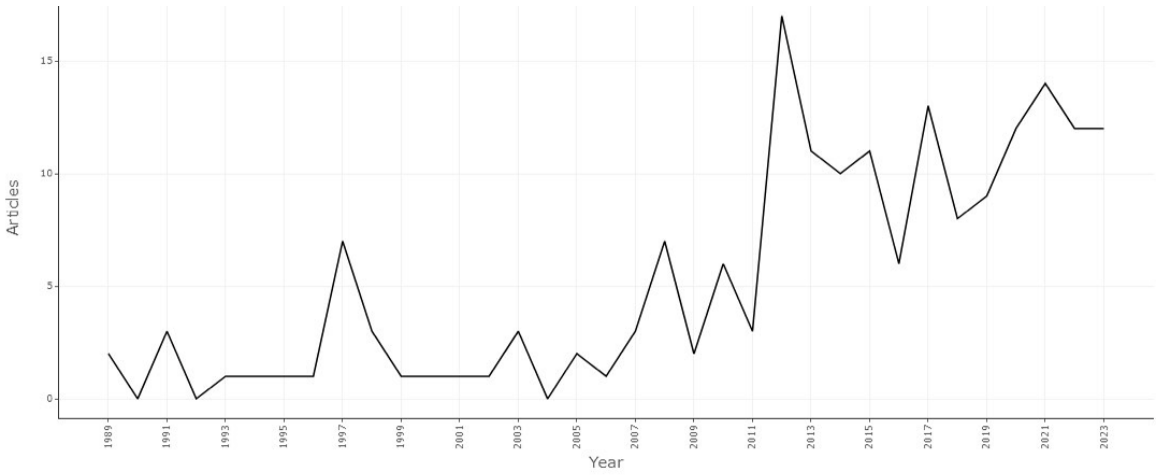


Figura 2 . Produção científica anual. Fonte: produção da autora com utilização do software "R" e "Bibliometrix".

As fontes mais influentes identificadas foram, em sua maioria, institutos de saúde, com maior concentração de publicações a partir de 2010 (Figura 3). Autores como Igal Shohet e Sarel Lavy, embora reconhecidos por trabalhos de alta qualidade e impacto, não têm publicado ativamente na área desde 2010, o que pode sugerir uma estagnação nas contribuições de maior relevância no período mais recente (Figura 4).

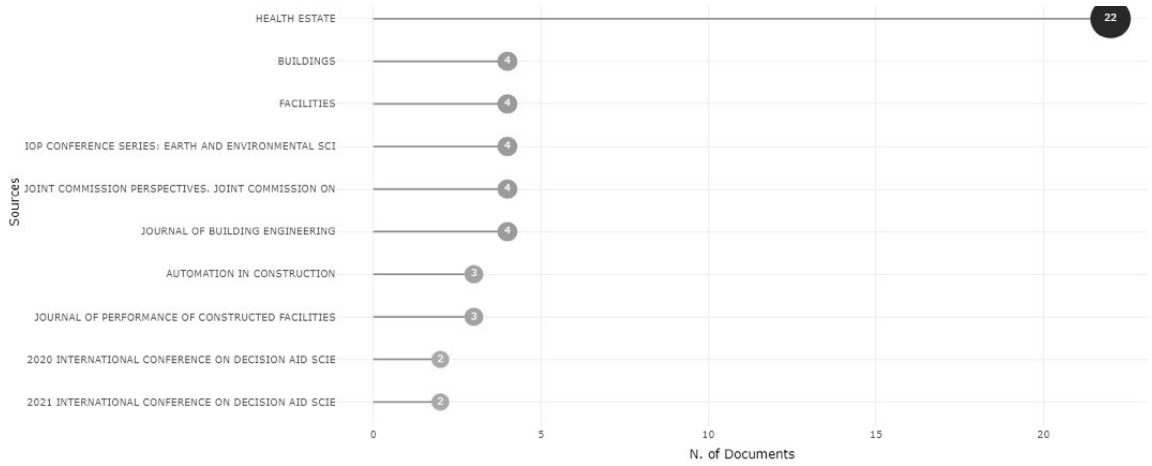


Figura 3 . Fontes relevantes . Fonte: produção da autora com utilização do software "R" e "Bibliometrix".

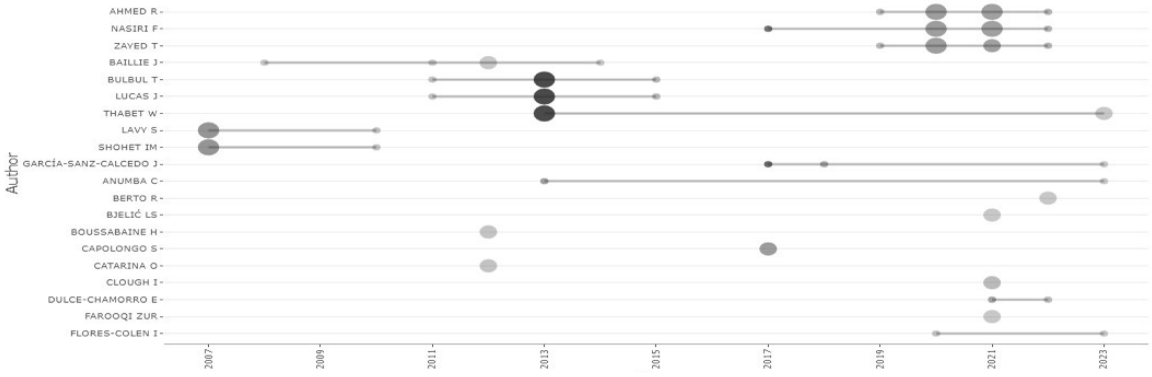


Figura 4 . Produção ao longo dos anos. Fonte: produção da autora com utilização do software "R" e "Bibliometrix".



Figura 5 . Produção científica por países. Fonte: produção da autora com utilização do software "R" e "Bibliometrix".

O estudo demonstra a falta de pesquisas atualizadas e aprofundadas sobre manutenção predial hospitalar, área fundamental para a segurança e a eficiência das operações. A concentração de publicações em poucos autores e regiões reforça a necessidade urgente de novos estudos que contemplem as especificidades de diferentes realidades e contextos.

4.2 Variáveis a serem consideradas para uma metodologia de dimensionamento

De acordo com a revisão bibliográfica referente à manutenção predial hospitalar, o dimensionamento de equipes é um elemento-chave para garantir a operacionalidade, a eficiência e a segurança das instalações hospitalares. Essa necessidade torna-se ainda mais evidente devido à importância da manutenção preventiva e à urgência no atendimento de demandas corretivas, que, se não forem tratadas de forma

oportuna, podem impactar diretamente a segurança dos pacientes e a continuidade do atendimento (Chen *et al*., 2020; Guimarães, 2012). Para o dimensionamento adequado dessas equipes, foram identificadas na literatura algumas variáveis críticas que precisam ser consideradas.

Assim, a primeira variável crítica que influencia o dimensionamento da equipe de manutenção predial é a complexidade dos sistemas instalados. Nos hospitais, além dos sistemas convencionais de infraestrutura predial, como iluminação, energia elétrica e hidráulica, há um conjunto de sistemas especializados que exigem atenção contínua e altamente qualificada, tais como sistemas de ar condicionado, sistemas de controle de infecções, sistemas de gás medicinal, sistemas de ventilação pressurizada em salas cirúrgicas, além de redes elétricas redundantes e sistemas de geração de energia para emergência hidráulica (Karman, Fiorentini e Karman, 1995; Lavy e Bilbo, 2009).

A presença desses sistemas demanda profissionais com capacitações específicas para cada área técnica, o que significa que o dimensionamento da equipe não deve se basear apenas na quantidade de profissionais, mas também no seu nível de qualificação técnica. Em um ambiente hospitalar, sistemas como ventilação, gases medicinais e redes elétricas demandam técnicos especializados em cada área. Falhas nesses sistemas podem ter consequências graves, como a interrupção de procedimentos críticos ou riscos à saúde de pacientes e funcionários, o que reforça a necessidade de uma equipe de manutenção predial altamente especializada e treinada (Dejaco, Gramigna e Moretti, 2019; Jesumoroti, Olanrewaju e Khor, 2022).

Assim, um aspecto adicional relevante no dimensionamento da equipe é a especialização necessária dos profissionais. Dessa forma, o dimensionamento da equipe deve também priorizar a qualificação técnica e o treinamento contínuo dos profissionais envolvidos, em conformidade com as regulamentações nacionais, como as normas NR-4, NR-10, NR-12 e NR-33 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2018; 2019; 2020; 2021).

Outro fator fundamental destacado por Xenos (1998) é a frequência das manutenções preventivas e corretivas. Para manter um hospital operando de maneira eficiente e segura, é crucial adotar uma abordagem proativa por meio de manutenções preventivas regulares. No que tange às equipes de manutenção predial hospitalar, deve considerar fatores-chave, como a carga de trabalho associada às manutenções preventivas e corretivas, o tempo médio de resposta a falhas e a qualificação técnica necessária para lidar com os diversos sistemas presentes no hospital (Fotovatfard e Heravi, 2021). Além disso, em hospitais, o tempo de resposta para a correção de falhas imprevistas é crítico, especialmente quando envolvem sistemas que impactam diretamente a vida dos pacientes, como sistemas de suporte

à vida ou fornecimento de energia elétrica. Assim, o número de técnicos disponíveis deve ser suficiente para lidar não apenas com as atividades preventivas, mas também para responder rapidamente a qualquer emergência ou falha operacional que exija intervenção imediata.

A dimensão da área construída e a dispersão dos equipamentos críticos nos diferentes setores do hospital são variáveis fundamentais no dimensionamento de equipes de manutenção hospitalar, especialmente em hospitais de grande porte. A complexidade e a extensão física das instalações, que incluem unidades de terapia intensiva, centros cirúrgicos, laboratórios e áreas de apoio, exigem um planejamento estratégico para garantir que a equipe de manutenção esteja dimensionada e posicionada de forma a atender a todas essas áreas com eficiência (Guimarães, 2012; Dejaco, Gramigna e Moretti, 2019). Segundo Xenos (1998), a distribuição da equipe de manutenção deve considerar tanto a criticidade dos equipamentos quanto a localização física dos ativos, o que pode reduzir significativamente o tempo de resposta em casos de falha. Essa abordagem é corroborada por estudos que indicam que a criação de subequipes especializadas, alocadas conforme a importância dos sistemas e a proximidade dos setores hospitalares críticos, permite maior rapidez e efetividade nas intervenções (Fotovatfard e Heravi, 2021). Além disso, a dispersão de equipes com base em zonas geográficas dentro do hospital, como sugerido por Wong, Olanrewaju e Lim (2021), facilita a execução de manutenções de modo ágil e minimiza o impacto de interrupções nos serviços essenciais, reforçando a importância de uma gestão de manutenção estruturada para otimizar recursos e melhorar a segurança operacional dos ambientes hospitalares.

O uso de indicadores de desempenho (KPIs) é amplamente recomendado como ferramenta para a avaliação contínua da eficácia das equipes de manutenção. Indicadores como **tempo médio de resposta a ordens de serviço corretivas, frequência de manutenções preventivas e taxa de reincidência de falhas** permitem ajustes no dimensionamento e na alocação da equipe conforme as necessidades operacionais (Fotovatfard e Heravi, 2021). Segundo estudos conduzidos por Xenos (1998), a análise desses indicadores é crucial para assegurar que a equipe de manutenção atenda às demandas do hospital de forma eficiente e que esteja preparada para intervenções rápidas em sistemas críticos. Adicionalmente, estudos recentes têm mostrado que hospitais que adotam sistemas automatizados de monitoramento conseguem identificar e resolver problemas de forma mais ágil, aumentando a eficiência da equipe e reduzindo o número de ordens de serviço corretivas (Ebiloma, Aigbavboa e Anumba, 2023).

O estudo de Enshassi e El Shorafa (2015), realizado na Faixa de Gaza, destaca que o dimensionamento de mão de obra para manutenção predial hospitalar deve ser baseado em indicadores de desempenho,

como o **Maintenance Efficiency Indicator (MEI)**, que mede a eficiência dos recursos alocados em relação à condição física dos edifícios. Segundo os autores, "o MEI fornece uma indicação quantitativa da eficiência com que as atividades de manutenção são implementadas, permitindo ajustes na alocação de recursos e priorização de estratégias preventivas" (Enshassi e El Shorafa, 2015, p. 222). Essa abordagem é essencial para garantir o equilíbrio entre demandas corretivas e preventivas, evitando sobrecargas e otimizando o desempenho das equipes de manutenção. A abordagem considera a variabilidade nas condições dos edifícios e a complexidade dos sistemas hospitalares, demonstrando que o planejamento inadequado pode sobrecarregar os profissionais com demandas emergenciais, comprometendo a eficiência e a funcionalidade das instalações. O uso de KPIs permite otimizar o desempenho das equipes, ajustando recursos humanos de acordo com as necessidades específicas das instituições de saúde, promovendo uma manutenção mais eficaz e econômica.

Uma metodologia de dimensionamento deve estar em conformidade com normas regulamentadoras nacionais e internacionais aplicáveis, como a NR-4, NR-12 e NR-33, que estabelecem padrões de segurança e procedimentos específicos para instalações e atividades de manutenção predial. As regulamentações específicas para ambientes hospitalares, como as da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), também orientam o planejamento e a execução das manutenções (ABNT, 2018; ABNT, 2019; ABNT, 2020; ABNT, 2021).

A literatura sugere, ainda, que o dimensionamento da equipe de manutenção hospitalar deve ser um processo dinâmico, revisado regularmente para adaptar-se a mudanças no ambiente hospitalar, como a introdução de novos equipamentos e a expansão de áreas de atendimento (Chen *et al*., 2020). Nesse sentido, é essencial que o dimensionamento inclua uma margem de segurança, dado o caráter imprevisível de muitas intervenções hospitalares, além da possibilidade de crises sanitárias e emergenciais, as quais podem demandar respostas rápidas e precisas (Xenos, 1998; Karman, 1994).

De acordo com Picchiai (2009), pesquisador do Programa de Estudos Avançados em Administração Hospitalar e de Sistemas de Saúde (PROAHSA), Coelho (2006) enfatiza a importância estratégica do dimensionamento da manutenção predial para garantir o funcionamento contínuo das infraestruturas hospitalares. Nesse contexto, a terceirização é apontada como uma prática eficiente, sendo recomendada a presença de profissionais, como engenheiros civis, eletricistas e pedreiros, na proporção de um grupo para cada 200 leitos hospitalares, com o objetivo de atender tanto às demandas rotineiras quanto às emergenciais (Picchiai, 2009, p. 142). Picchiai (2009) também relata que Coelho (2006)

destaca a necessidade de planejar o setor de manutenção considerando as especificidades das infraestruturas hospitalares, como o parque tecnológico instalado e a qualificação dos profissionais envolvidos. Adicionalmente, a supervisão técnica, muitas vezes realizada por engenheiros, é considerada essencial para coordenar as atividades de manutenção predial e de equipamentos, evitando impactos nos serviços hospitalares (Picchiai, 2009, p. 142).

A RDC nº 2/2010 da Anvisa (BRASIL, 2010) estabelece requisitos essenciais para a infraestrutura física nos serviços de saúde, com o objetivo de garantir a segurança, a funcionalidade e as condições higiênico-sanitárias adequadas. Apesar de tratar de aspectos relacionados à manutenção predial, a resolução não oferece diretrizes específicas voltadas ao dimensionamento de equipes de manutenção. Essa lacuna reforça a necessidade de metodologias específicas que considerem as particularidades do ambiente hospitalar.

Por sua vez, a ABNT NBR 5462:1994, que aborda confiabilidade e manutenção, apresenta definições de termos e conceitos fundamentais para a gestão e análise de sistemas, equipamentos e instalações. Embora essa norma não trate diretamente do dimensionamento de equipes, ela fornece uma base teórica valiosa para a tomada de decisões nesse campo. No entanto, sua aplicabilidade é frequentemente mais alinhada a contextos industriais do que ao ambiente hospitalar.

5. Considerações finais

A manutenção predial hospitalar é uma atividade essencial para garantir a segurança dos pacientes, a continuidade dos serviços e a eficiência da infraestrutura em saúde. Este estudo evidenciou uma lacuna significativa na produção científica nacional sobre o dimensionamento da força de trabalho nesse setor, especialmente em instituições públicas de grande porte. A análise bibliométrica demonstrou a concentração da literatura em países desenvolvidos, o que dificulta a aplicação direta de seus modelos ao contexto brasileiro, marcado por desafios específicos de ordem técnica, operacional e normativa.

Frente a esse cenário, propõe-se o desenvolvimento de metodologias próprias, baseadas em dados históricos, indicadores de desempenho e regulamentações aplicáveis, com vistas a orientar o planejamento eficiente das equipes de manutenção. Recomenda-se que pesquisas futuras aprofundem a análise empírica em hospitais brasileiros, contribuindo para a formulação de diretrizes mais adaptadas à realidade local. A gestão eficaz da manutenção hospitalar deve ser reconhecida como uma estratégia estruturante para a qualidade assistencial e a sustentabilidade dos serviços de saúde.

Referências

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. **Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis**. Journal of Informetrics, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007. Acesso em: 05 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462: Confiabilidade e manutenção**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5674: Manutenção de edificações** – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **RDC nº 2, de 25 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os requisitos mínimos para a infraestrutura física de serviços de saúde**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 jan. 2010. Disponível em: https://www.in.gov.br. Acesso em: 5 jul. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-4 – Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho**. Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-33 – Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados**. Brasília, 2020.

CHEN, Dan *et al*. **An indicator system for evaluating operation and maintenance management of mega infrastructure projects in China**. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 17, n. 24, p. 9589, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph17249589. Acesso em: 5 jul. 2025.

CISNE, Vandeilson do Nascimento; ALBUQUERQUE JUNIOR, Carlos Roberto Falcão. **Planejamento estratégico para implantação de uma gestão de excelência de manutenção predial e facilities com o aporte do PPCGM**. In: XLI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2021, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu, 2021. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_354_1822_41893.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

DEJACO, M. C.; GRAMIGNA, M.; MORETTI, N. **Plant maintenance in hospitals facilities**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 296, p. 012030, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012030. Acesso em: 5 jul. 2025.

EBSERH – Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares. **Gestão de manutenção predial hospitalar para os hospitais da rede Ebserh**. 1. ed. Brasília: EBSERH, 2022.

ENSHASSI, Adnan Ali; EL SHORAFA, Farida. **Key performance indicators for the maintenance of public hospitals buildings in the Gaza Strip**. Facilities, v. 33, n. 3/4, p. 206-228, 2015.

FOTOVATFARD, Armaghan; HERAVI, Gholamreza. **Identifying key performance indicators for healthcare facilities maintenance**. Journal of Building Engineering, v. 42, p. 102838, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102838. Acesso em: 5 jul. 2025.

GOMES, Aline Neves. **Gestão na manutenção predial hospitalar: uma análise bibliométrica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO DO EDIFÍCIO HOSPITALAR – CBDEH, 10., 2024, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABDEH, 2024. p. 74-82.

GUEDES, Vânia L. S.; BORSCHIVER, Suzana. **Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento em sistemas de informação, comunicação e avaliação científica**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 6., 2005, Salvador. Anais [...]. Salvador: ICI/UFBA, 2005. Disponível em: https://cinform-nteriores.ufba.br/vi_anais/docs/VaniaLSGuedes.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

GUIMARÃES, José Mauro Carrilho. **A problemática da manutenção predial e de equipamentos em estabelecimentos de saúde pública do município do Rio de Janeiro**. 2012. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Profissional em Saúde) – Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/8811. Acesso em: 5 jul. 2025.

JESUMOROTI, Christtestimony; OLANREWAJU, AbdulLateef; KHOR, Soo Cheen. **Defects in Malaysian hospital buildings**. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 2022. DOI: 10.1108/IJBPA-12-2021-0166.

KARMAN, Jarbas. **Manual de manutenção hospitalar – Manutenção Preditiva**. São Paulo: Pini, 1994.

KARMAN, Jarbas; FIORENTINI, Domingos; KARMAN, Jarbas N. M. **Manutenção incorporada à arquitetura hospitalar**. Brasília: Ministério da Saúde/SAS, 1995. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manut_hospit.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

LAVY, Sarel; BILBO, David L. **Facilities maintenance management practices in large public schools.** Facilities, v. 27, n. 1/2, p. 5-20, 2009.

LI, Yongkui *et al*. **Automated analysis and assignment of maintenance work orders using natural language processing**. Automation in Construction, v. 165, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105501. Acesso em: 5 jul. 2025.

PICCHIAI, Djair. **Parâmetros e indicadores de dimensionamento de pessoas em hospitais**. Relatório de pesquisa. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2009.

PRITCHARD, Alan. **Statistical bibliography or bibliometrics?** Journal of Documentation, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.

WONG, Wai Fang; OLANREWAJU, AbdulLateef; LIM, Poh Im. **Value-Based Building Maintenance Practices for Public Hospitals in Malaysia**. Sustainability, v. 13, n. 11, p. 6200, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su13116200. Acesso em: 5 jul. 2025.

XENOS, Harilaus G. P. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

Autores

Aline Neves Gomes Chefe do Serviço de Obras e Instalações do Instituto Nacional de Câncer (INCA) e mestra em Sistemas de Gestão pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Atua há dez anos no INCA, com foco na gestão integrada da manutenção predial hospitalar. Trabalhou por seis anos na Beneficente Portuguesa do Pará, também na área de arquitetura hospitalar. É graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal do Pará (UFPA) e possui Licenciatura Plena em Matemática pela Universidade do Estado do Pará (UEPA).

E-mail: ang@alprojetos.com

Marcelo J. Meiriño Arquiteto e Urbanista pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com mestrado e doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Engenheiro de Segurança do Trabalho e especialista em Eficiência Energética, atua no desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis. É professor da UFF nos programas de mestrado e doutorado em Sistemas de Gestão e coordena o Núcleo de Inovação e Tecnologia para a Sustentabilidade (NITS/UFF). Coordenador do Grupo de Pesquisa em Inovações e Sustentabilidade (CNPq/UFF) e do Congresso Nacional de Excelência em Gestão. Foi intercambista do IVLP, do Departamento de Estado dos EUA. Atua como consultor em projetos de P&D (ANEEL) e em periódicos científicos indexados.

E-mail: marcelojm@id.uff.br

Fábio Aquino Administrador formado pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), com mestrado e doutorado em Sistemas de Gestão pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Atuou por 12 anos na iniciativa privada, nos setores financeiro e imobiliário. Foi chefe da Seção de Compras e da Divisão de Pesquisa na Pró-reitoria da UFF, onde atualmente também exerce a chefia. Atuou como gestor público de contratos no legado olímpico (2021–2023). Lecionou na Faculdade Paraíso e atualmente é professor 40h do CEFET/RJ. Possui publicações em congressos e periódicos científicos e experiência na organização de eventos acadêmicos.

E-mail: faquin98@gmail.com

Artigo

A contribuição de tecnologias digitais para o desenvolvimento de projetos com o objetivo de atender aos requisitos de informações necessárias para a operação e manutenção de ativos hospitalares

Autora
Adriana Tonani Mazzieiro Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG

DOI: 10.62558/2358-3630/23.01.02

Resumo

Os hospitais são edificações complexas que exigem uma gestão de operação e manutenção sistematizada e com alto grau de assertividade. Esta pesquisa visa discorrer sobre as especificidades destas unidades assistenciais e entender como as tecnologias digitais podem contribuir para o desenvolvimento de projetos que tenham, como objetivo, atender aos requisitos de informações necessárias para esta fase de seu ciclo de vida. A metodologia é exploratória e parte da revisão bibliográfica, seguida de um estudo de dois casos que consideram diferentes tecnologias digitais para o desenvolvimento de projetos, e o registro das informações necessárias à gestão de facilities. Embora os exemplos apliquem tecnologias digitais diversas, eles se aproximam quanto ao entendimento de que as informações a serem preservadas e registradas para o uso futuro estão presentes desde a fase de projeto no início do ciclo de vida do ativo, passando pela fase de construção até que serão entregues para a fase de operação e manutenção.

Palavras-chave:

tecnologias digitais, hospitais, gestão de facilities, operação e manutenção.

1. Introdução

Os hospitais apresentam estruturas funcionais complexas que demandam grande atenção dos agentes envolvidos em sua administração quanto aos sistemas de infraestruturas físicas e de equipamentos médicos. Com o desenvolvimento e a especialização crescente das diversas áreas da medicina, as edificações hospitalares precisam atender, cada vez mais, a uma espacialização arquitetônica diversificada, que supra todas as exigências de uma alta qualidade de atendimento assistencial.

Essa especificidade das edificações hospitalares exige dos arquitetos e urbanistas uma visão sistêmica do objeto arquitetônico, capaz de responder às complexidades físico-funcionais da edificação hospitalar, não prescindindo das qualidades de humanização e do conforto ambiental necessários ao bem-estar dos pacientes, levando-se em consideração o paradigma contemporâneo dos hospitais como lugares de recuperação da saúde.

O número de informações a serem armazenadas, tanto em relação às infraestruturas físicas quanto dos equipamentos médicos hospitalares, tem crescido exponencialmente, e a necessidade de organizar essas informações de maneira objetiva e sistematizada é um imperativo para que a operação e a manutenção hospitalares ocorram de maneira eficaz.

O avanço das tecnologias digitais para projeto, registro e armazenamento de informações sobre os ativos construídos, já facilitado com o aparecimento das plataformas CAD – *Computer-Aided Design* – foi modificado e incrementado, de forma significativa, com o surgimento das plataformas BIM – *Building Information Modeling*, na medida que, não somente os dados geométricos dos edifícios ficam registrados, mas também as informações pertinentes e selecionadas para utilização futura, que podem estar disponibilizadas no modelo tridimensional.

Assim, a possibilidade de assertividade nas ações de operação e manutenção das edificações hospitalares tornou-se mais efetiva, uma vez que as informações necessárias para sanar qualquer intercorrência que possa ocorrer estarão disponíveis de maneira mais direta para o usuário, garantindo um aumento de velocidade e qualidade de resposta nos serviços prestados aos pacientes.

2. Justificativa

A escolha do tema baseou-se na identificação da importância da fase de operação e manutenção dos ativos hospitalares, compreendida na observação direta de seus processos, vivenciada em diversas unidades assistenciais onde pude atuar como profissional com equipes de

manutenção e operação e na revisão bibliográfica atualizada sobre o assunto, onde demonstra-se sua relevância e como as tecnologias digitais podem contribuir para a melhoria dessa gestão.

Nesta pesquisa, parte-se do entendimento de que o ciclo de vida de um ativo hospitalar inicia-se com o estudo de viabilidade do empreendimento e se desenvolve segundo as fases seguintes de projeto arquitetônico e demais projetos de engenharia, a construção, o comissionamento, a operação e manutenção, até que um dia, se houver um esgotamento de suas características construtivas para corresponder aos seus usos, ele poderá ser reabilitado com reformas, desmontado ou demolido.

Dada a sua alta complexidade físico-funcional, os hospitais são edificações onde a gestão do ativo construído precisa estar alinhada com os processos mais avançados de operação e manutenção, no intuito de não só desempenhar um bom resultado operacional, mas, principalmente, atender à demanda da urgência apresentada em algumas das situações de manutenção. Como citado pelo professor Jarbas Karman, em seu livro *Manutenção e Segurança Hospitalar Preditivas*:

> O hospital é considerado um dos empreendimentos mais complexos sob o ponto de vista arquitetônico, de engenharia, de instalações, de equipamentos, de segurança, bem como de tecnologia e de administração. Seus equipamentos, aparelhos, instalações e suprimentos são de uso contínuo e constante (Karman, 2011, p.41).

Portanto, os arquitetos e urbanistas devem se preocupar em, desde o projeto conceitual dos hospitais, estabelecer premissas que possam auxiliar, no futuro, as equipes de operação e manutenção nos processos de gestão dos ativos hospitalares. Além disso, essas premissas devem ser consideradas no desenvolvimento dos projetos executivos de todas as disciplinas e, posteriormente, na fase de construção, fazendo-se necessário o registro *as-built* das modificações ocorridas durante a obra, para que os dados resultantes estejam atualizados, oferecendo uma fonte de informação segura para a fase de operação e manutenção.

Nos últimos anos, assistiu-se a cenas impressionantes de incêndio em hospitais brasileiros, tais como as de setembro de 2019, no Hospital Badim, causando a morte de 25 pacientes. Outras ocorrências foram notificadas: uma em outubro de 2020, no Hospital Municipal Lourenço Jorge, por causa de um curto-circuito no quadro de disjuntores que, felizmente, conseguiu ser controlado; e outra no prédio 1, do Hospital Federal de Bonsucesso, na zona norte do Rio de Janeiro, em que 200 pacientes foram retirados do edifício e, infelizmente, duas pessoas foram a óbito por causa desse evento. Em Belo Horizonte, na Santa Casa de Misericórdia, maior hospital do estado com 1.200 leitos, o CTI do 10º pavimento pegou fogo por causa de um vazamento de oxigênio atrelado

a um equipamento; os pacientes foram levados para a rua em macas e cadeiras de rodas, resultando no falecimento de três pacientes e na internação de 25 funcionários que ajudaram a evacuar as pessoas, por inalação de fumaça[1].

Dada a gravidade dos episódios e a recorrência de emergências operacionais nos hospitais brasileiros, é imperativo que os projetos considerem a importância de se compreender os requisitos de informações necessárias para a fase de operação e manutenção de edifícios assistenciais de saúde, assim como o estabelecimento de premissas e estratégias de projeto, com a adoção de uma metodologia que garanta a integridade de dados necessários ao atendimento de situações cotidianas de manutenção, bem como de situações de risco, minimizando ao máximo as perdas delas decorrentes.

3. Objetivo

O objetivo deste artigo é demonstrar como as tecnologias digitais podem auxiliar na fase de operação e manutenção de hospitais, seja em edificações que passam por reformas para sua requalificação física, seja em edificações novas.

4. Metodologia

A metodologia de pesquisa adotada para este trabalho foi a exploratória (Gil, 2002, p. 41), partindo-se de uma revisão bibliográfica qualitativa a respeito da importância da fase de operação e manutenção no ciclo de vida dos ativos hospitalares e de como as tecnologias digitais podem auxiliar no atendimento dos requisitos necessários aos processos decorrentes dessa fase. Em seguida, utilizou-se uma análise de exemplos que estimulam a compreensão da relevância da consideração dos requisitos de informação para gestão dos ativos ainda na fase inicial de desenvolvimento de projetos arquitetônicos.

5. Revisão bibliográfica

Os edifícios hospitalares demandam processos constantes de operação e manutenção, dada a sua complexidade e a intensidade de utilização de suas estruturas físico-funcionais. Muitas edificações hospitalares existentes necessitam de ações constantes de requalificação de seus espaços, dado o seu sucateamento físico ou a sua inadequação às novas demandas funcionais, e não possuem ou contam com registros mínimos de informações suficientes para dar suporte adequado à fase de operação e manutenção.

1 Todas as ocorrências citadas atestam a necessidade de se considerar a importância do acesso imediato a informações a respeito das instalações de infraestruturas físicas e um sistema de monitoramento integrado de manutenção e operação, aumentando a qualidade e a eficiência das operações.

> Cada vez mais o hospital se revela *um permanente canteiro de obras e instituição à espera de conclusão* - alterações, inovações, avanços tecnológicos, mudanças, reformas e obras novas se sucedem; equipamentos e instalações são mais frequentemente substituídos; a vida útil dos produtos e a luta contra a obsolescência física e funcional tornam-se mais presentes -, gerando a necessidade de respostas, planejamento, ações e investimentos sempre mais ágeis (Karman, 2011, p.45).

Fornecer as informações necessárias à gestão de ativos deve ser uma preocupação da alta administração[2] das instituições hospitalares, que deve determinar, dentro de sua estrutura organizacional, quais são os requisitos de informações necessárias para que os processos de operação e manutenção ocorram de forma eficaz (ABNT NBR ISO 19650-1:2025).

No registro dessas informações, os projetos devem, necessariamente, quando ainda desenvolvidos em CAD[3], ser compatibilizados com todas as demais disciplinas e documentar, mesmo que em formatos de desenhos 2D, planilhas ou tabelas, as localizações e as informações das principais infraestruturas a serem geridas na fase de operação e manutenção, para que o acesso aos dados essenciais a essa fase seja favorecido pelo registro completo das redes e equipamentos existentes na edificação.

Esse cenário de utilização de tecnologias digitais em CAD – *Computer-Aided Design* ainda é uma realidade no Brasil, na maioria dos hospitais, pois a migração das tecnologias digitais de projetos para o BIM – *Building Information Modeling* exige um grande investimento em *hardware, software* e treinamentos de equipes para sua utilização, o que demanda um planejamento e orçamento de longo prazo para sua implementação. Uma vez adotado o BIM, o modelo poderá ser utilizado, desde que desenvolvido e preparado para tal, para atender aos requisitos de informação necessários ao uso de gestão de ativos integrado ao sistema de manutenção e operação, o que significará um salto qualitativo nesse processo.

A fase de gestão de ativos construídos é a de maior duração do ciclo de vida de uma edificação e, por consequência, a de seu maior custo.

> Focando na fase de uso e operação do ciclo de vida de um empreendimento, entende-se que ela é a mais onerosa por ser a mais longa em relação às demais. Consequentemente, é a etapa que mais se beneficia com o histórico de informações de forma estruturada, pois acumula dados sobre a evolução do empreendimento desde o estágio de concepção. Nessa fase, são geradas as informações específicas, que podem ser usadas para aprimorar o desempenho dos empreendimentos, como: solicitações de serviços, programações de manutenções, relatórios de inspeções, tempo de inatividade e custos de operações. (Mota; Moreira, 2025)

Dada a longevidade característica das edificações construídas e, principalmente, dos altos custos dos investimentos globais de construção

2 Segundo a norma ABNT NBR ISO19650, a alta administração deve determinar o AIR – *Asset Information Requeriment*, para que sejam atendidos os requisitos de informação do ativo no modelo AIM – *Asset Information Model*, na fase de operação e manutenção, quando utilizada a metodologia BIM.

3 Embora a indústria da construção civil esteja evoluindo para a implementação do BIM em todos os setores da economia, o setor assistencial ainda possui diversas dificuldades em sua adoção, o que não pode comprometer o registro das informações necessárias para a fase de operação e manutenção dos hospitais, por isso a abordagem ainda em tecnologias CAD faz-se também necessária.

e de instalações de equipamentos nas edificações hospitalares, potencializar uma gestão eficiente de seu patrimônio físico e de equipamentos médicos torna-se imprescindível, não somente para preservar seu resultado operacional, mas, principalmente, responder ao atendimento seguro e de qualidade de seus usuários.

A gestão de ativos no Brasil é tratada por uma série de normas técnicas traduzidas da série internacional ISO 55000X. Os ativos podem incluir algo que tenha valor real ou potencial, tangível ou intangível, financeiro ou não[4]. A norma brasileira ABNT NBR ISO 55000 define terminologia, visão geral e princípios visando aos resultados esperados para um efetivo processo de gestão de ativos (ABNT NBR ISO 55000, 2024).

> A gestão de ativos pode ser compreendida como uma gestão de inventários, plantas e equipamentos por meio de registros que listam informações. [...] Esses ativos, que consistem no edifício físico, sistemas, ambiente do entorno e equipamentos, devem ser mantidos, atualizados e operados com uma eficiência que satisfaça tanto o proprietário quanto os usuários de maneira mais econômica possível. (Mota; Moreira, 2025)

Na gestão de ativos hospitalares, a administração de *facilities* e a de engenharia clínica são, estrategicamente, as mais importantes para a fase de operação e manutenção, uma vez que afetam diretamente a segurança, a integridade física dos usuários e a qualidade do desempenho assistencial. Os processos de registros das informações a respeito das infraestruturas físicas e dos equipamentos médicos podem variar de acordo com a tecnologia digital aplicada, mas os tipos de informação a serem armazenados podem ser sistematizados e padronizados em qualquer que seja a metodologia adotada.

De acordo com a IFMA – *International Facility Management Association*, a gestão de *facilities* "é uma área do conhecimento cuja função organizacional é de integrar pessoas, lugares e processos dentro do ambiente construído com o propósito de melhorar a qualidade de vida das pessoas e a produtividade do negócio principal" (IFMA, 2025, tradução nossa).

Na Norma Brasileira ABNT NBR ISO 41018:2023, o conceito de gestão de *facilities* é "aquela que integra múltiplas disciplinas para ter uma influência sobre a eficiência e a produtividade das economias de organizações, sociedades e comunidades, bem como a maneira pela qual os indivíduos interagem com o ambiente construído".

No nível operacional, a gestão de *facilities* é responsável por gerir todas as infraestruturas físicas necessárias para uma edificação funcionar com sua máxima eficiência e segurança.

4 No caso desse trabalho, destacam-se os ativos com valores reais e tangíveis como os mais importantes para o registro em projetos, tanto em 2D como em modelos BIM, uma vez que o foco principal da operação e manutenção hospitalares, nessa pesquisa, está centrado nas infraestruturas físicas das edificações e nos equipamentos médicos necessários aos atendimentos assistenciais de qualidade nas instituições de saúde.

Já a gestão de engenharia clínica, segundo a Abeclin – Associação Brasileira de Engenharia Clínica,

> "é a área de conhecimento que deve se ocupar das técnicas de engenharia no gerenciamento de equipamentos de saúde com o objetivo de garantir a rastreabilidade, usabilidade, qualidade, eficácia, efetividade, segurança e desempenho destes equipamentos, no intuito de promover a segurança dos pacientes" (ABECLIN, 2025).

No nível operacional, a engenharia clínica garante o perfeito funcionamento dos equipamentos médicos.

Com relação às informações dos ativos que devem ser gerenciados na fase de operação e manutenção, a Norma Britânica BS 8210:2012 estabelece uma listagem dos principais registros a serem gerenciados. Segundo a norma, os dados dos ativos devem incluir informações, tais como: a catalogação do número de identificação, a localização, a expectativa de vida útil, a discriminação, o modelo e o fabricante, a data de fabricação, o fornecedor, a data de aquisição e de instalação, o custo, as peças e o s ciclo para substituição, o consumo de energia, a depreciação e o valor final pós-depreciação, o ciclo de manutenção e o custo e o tipo de capacitação necessária para o operador de manutenção (BS 8210:2012 *apud* Mota; Moreira, 2025, p.188).

Essas informações podem estar registradas em sistemas de gestão de manutenção hospitalar, CAFM – *Computer Aided Facility Management*/ CMMS – *Computerized Maintenance Management Systems*, que gerenciam as infraestruturas e as ordens de serviços de manutenção de forma ordinária, ou integrados em sistemas mais avançados, que criam a conexão entre os sistemas FM – *Facility Management* e a modelagem BIM para gestão de ativos. A vantagem de haver um modelo AIM – *Asset Information Model* da edificação, definido na Norma Brasileira ABNT NBR ISO 19650-1:2025 como o modelo de informação relacionado à fase de operação de um ativo é que ele associa dados geométricos com dados não geométricos, além de vir carregado com as informações necessárias a uma gestão mais sistemática dos processos envolvidos (ABNT NBR ISO 19650-1:2025).

Os sistemas FM – *Facility Management*, que possibilitam a integração com modelos AIM – *Asset Information Model*, podem viabilizar essa conexão de maneiras diferentes: diretamente, em que os modelos BIM, em formatos nativos ou em abertos ".ifc" – *Industry Foundation Classes*, conseguem ser inseridos nos sistemas; por meio de uma conexão pelo desenvolvimento de uma API – *Application Programming Interface*, uma interface que facilita a troca de informações e a integração de funcionalidades; ou de maneira indireta, utilizando-se do COBie – *Construction Operations Building Information Exchange*, um MVD – *Model View Definition*, subconjunto do

".ifc" que seleciona do modelo somente as informações necessárias para a fase de operação e manutenção, fornecendo os dados não geométricos intercambiáveis entre o modelo AIM e os sistemas FM – *Facility Management*.

> COBie – *Construction Operations Building Information Exchange* é uma especificação para a captura e entrega de informações de projeto/construção para gestores de facilities. As especificações COBie podem ser compiladas usando uma planilha ou um software compatível com COBie. (BIM Dictionary, 2025, tradução nossa)

Nos exemplos apresentados a seguir será possível entender as premissas que podem ser adotadas desde a fase inicial do projeto arquitetônico para o atendimento dos requisitos de informação necessárias para a fase de operação e manutenção de ativos e as diferentes contribuições das tecnologias digitais que podem auxiliar nessa fase do ciclo de vida dos empreendimentos hospitalares.

6. Estratégias de projeto para atendimento dos requisitos de informação visando à fase de operação e manutenção de ativos hospitalares

6.1 Caso A – Requalificação do edifício do antigo Hospital Hilton Rocha – tecnologia digital adotada: CAD – Computer-Aided Design

O Hospital Hilton Rocha, em Belo Horizonte, foi projetado pelo arquiteto e professor Jarbas Karman na década dos anos 70. O edifício funcionou como Instituto Hilton Rocha, hospital dedicado a tratamentos oftalmológicos e encerrou suas atividades no ano de 2002, anos após o falecimento do Dr. Hilton Rocha em 1993, por motivos econômicos. Em 2009, foi arrematado em leilão público por um grupo de médicos e, a partir de 2017, passou por um processo de construção do projeto aprovado de reforma e ampliação para sua reestruturação física. Na Figura 1, vê-se o hospital existente antes da sua reforma e ampliação.



Figura 1 . Hospital Hilton Rocha antes da reforma e ampliação. Fonte: acervo dos arquitetos responsáveis pela reforma e ampliação do hospital, 2011.

Embora, na indústria da construção civil, a transformação digital com a utilização do BIM já ocorresse quando iniciados os planos de reforma e ampliação do hospital, por decisão dos proprietários, os projetos foram desenvolvidos em CAD. Mesmo utilizando-se de uma tecnologia digital, sem o uso de modelos geométricos, algumas premissas de projeto foram adotadas para atender aos requisitos de planejamento do hospital, visando à fase de operação e à de manutenção da edificação, distribuídas nas seguintes fases:

a. Levantamento topográfico e arquitetônico do hospital existente: visando ao registro do potencial construtivo prévio para definir a capacidade do antigo edifício em receber as infraestruturas necessárias para atendimento dos ambientes e equipamentos do novo hospital, bem como da viabilidade estrutural para a construção das ampliações requeridas. A análise proporcionada por esses levantamentos visou investigar as qualidades preexistentes da edificação e sua correspondência à nova configuração operacional, aproveitando ao máximo suas características físicas. O registro da estrutura original, com as informações de dimensões e alturas dos elementos construídos existentes, serviu de base para o estabelecimento de localizações de furações para *shafts* de instalações e distribuições horizontais de infraestruturas, de tal maneira que seus posicionamentos fossem regidos por uma organização estruturada, visando ao registro *as built* para a futura operação.

Assim, os projetos resultantes dos levantamentos puderam ser superpostos em plantas e cortes da nova proposta, para entendimento das viabilidades técnicas dessa estratégia (Figura 2).

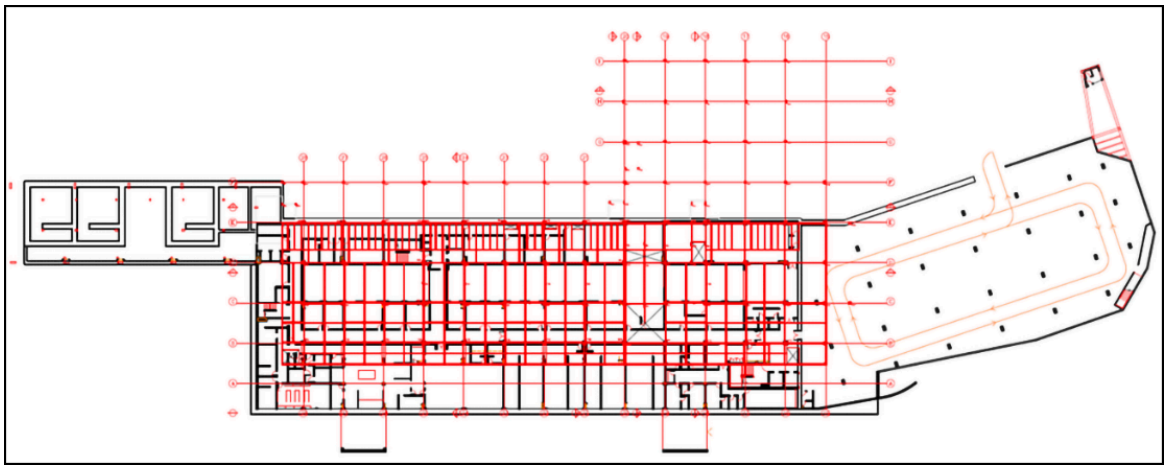


Figura 2 . Superposição da estrutura de concreto existente e as áreas de expansão no segundo pavimento. Fonte: acervo técnico dos arquitetos responsáveis pela reforma e ampliação do hospital, 2017.

b. Plano diretor: a partir do levantamento e registro das condições existentes, e dos requisitos funcionais estabelecidos pelos proprietários, foi iniciado o planejamento da localização dos setores assistenciais do hospital, estabelecendo-se uma lógica de correspondências espaciais entre as áreas construídas pré-existentes e as novas áreas programadas para a ampliação dos serviços ofertados, considerando-se as proximidades entre áreas de funções afins, e de privacidade para unidades a serem mais preservadas de público.

Com a localização dos novos setores do hospital, foi possível determinar, desde a fase inicial do projeto, a localização das áreas estratégicas de infraestruturas prediais e dos principais equipamentos médicos, demandantes de processos intensos de operação e manutenção. Assim, os novos setores já foram pensados para facilitar os acessos de manutenção, posicionamento e dimensionamentos de áreas técnicas, bem como proximidades das áreas servidas e escolha de sistemas de infraestruturas adequados à nova configuração do hospital (Figura 3).

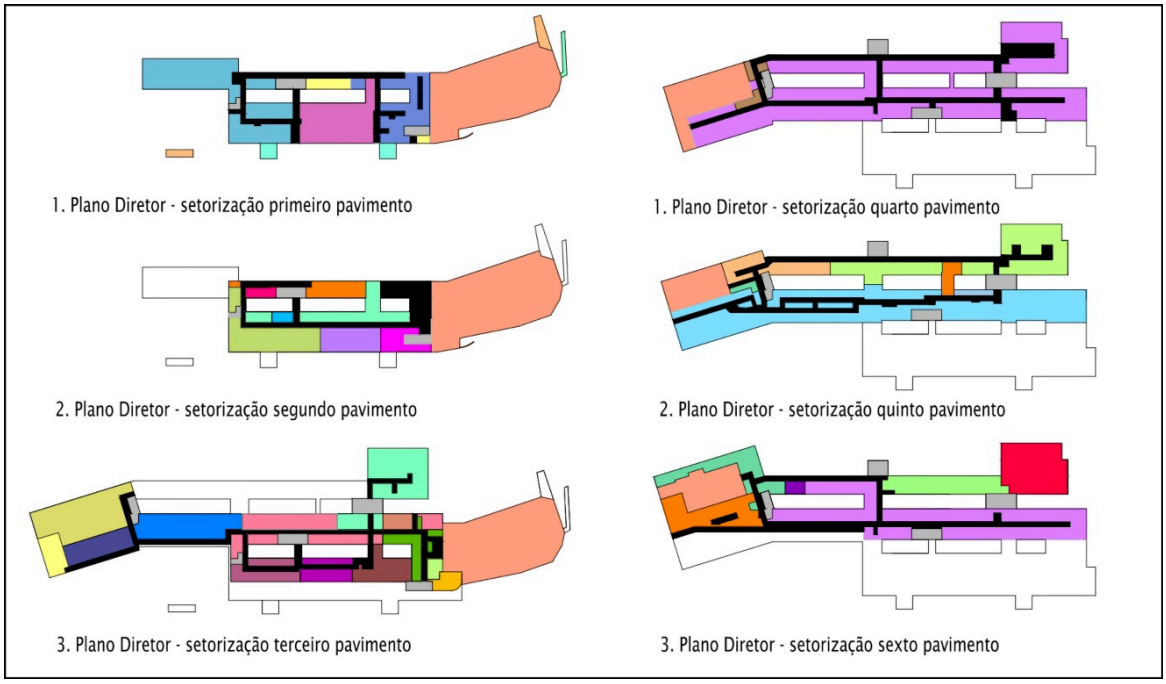


Figura 3 . Plano diretor com a previsão da localização de todos os setores funcionais e circulações. Fonte: acervo técnico dos arquitetos responsáveis pela reforma e ampliação do hospital, 2017.

c. Desenvolvimento do anteprojeto de arquitetura e processo de compatibilização simultânea com as demais disciplinas: embora desenvolvidos em CAD, utilizou-se para os processos de trocas de informação a plataforma Autodoc de gestão de projetos, de forma a gerenciar todos os entregáveis e comunicações entre a equipe de arquitetura, o coordenador de projetos e os demais projetistas, evitando-se perder dados relevantes e permitindo uma troca de informações ágil e eficiente. Os arquivos disponibilizados no Autodoc seguiram uma padronização de nomenclatura e possuíam estados de desenvolvimento, mesmo que anteriores à norma, como preconizado para um ambiente comum de dados ABNT NBR ISO 19650:1-2025: trabalho em andamento, compartilhado, publicado e arquivado.

Os processos de compatibilização, devidamente gerenciados pelo arquiteto responsável pela coordenação, foram registrados em arquivos superpostos de plantas e cortes de diversas disciplinas envolvidas nos setores funcionais, além de documentados no repositório compartilhado de arquivos no Autodoc, de tal maneira que todos os responsáveis pelas disciplinas possuíssem as informações necessárias para solucionar as interferências entre elas e comunicar as alterações, simultaneamente, através do sistema (Figura 4).

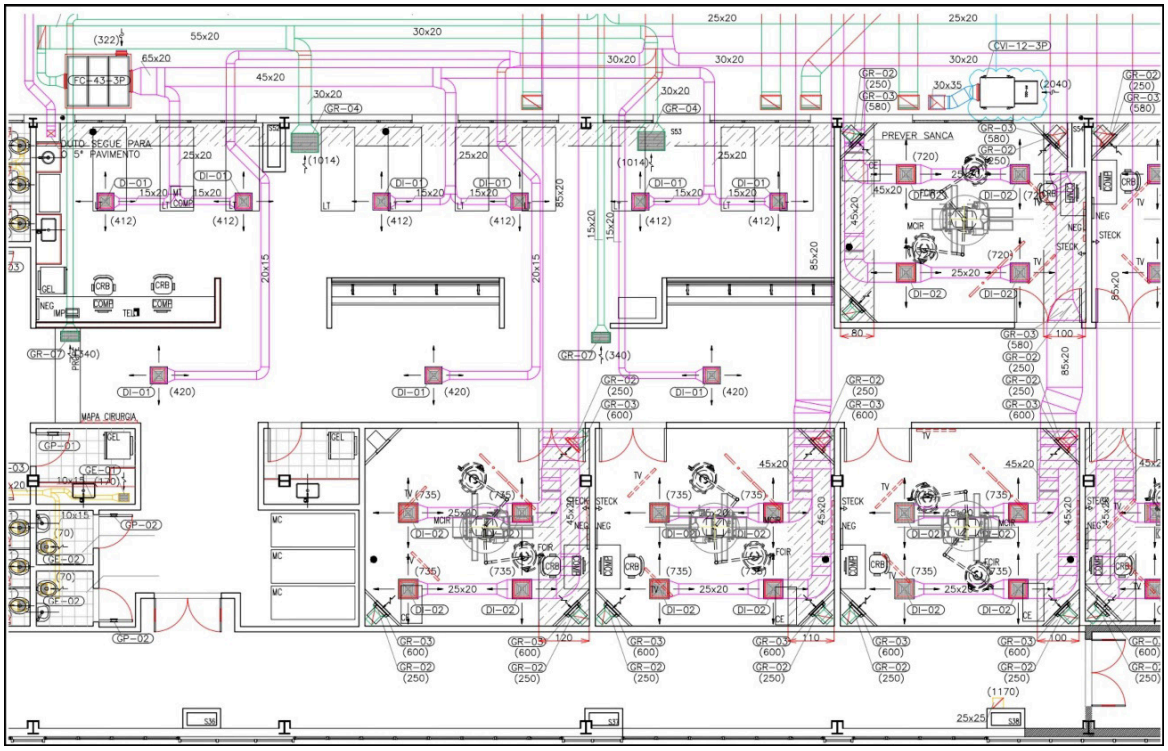


Figura 4 . Exemplo da compatibilização de parte do setor do Centro Cirúrgico Ambulatorial: arquitetura x estrutura x sistema de ar condicionado. Fonte: acervo técnico dos arquitetos responsáveis pela reforma e ampliação do hospital, 2018.

d. Já na fase do anteprojeto, a interação da equipe de arquitetura com os demais projetistas garantiu a determinação de vias verticais de distribuição das infraestruturas, os *shafts*, por toda a edificação, prevendo a sua caracterização futura com o registro de todas as tubulações nomeadas por localização na estrutura construída, de forma a facilitar a identificação dos ativos a serem geridos na fase de operação e manutenção. Outra premissa dada desde o princípio pela equipe de arquitetura para os demais projetistas foi a determinação de planos horizontais de distribuição de redes de alimentação das infraestruturas, através da passagem de tubulações relevantes pelos tetos das circulações principais e, quando possível, não limitado pelos pés-direitos existentes, em alturas diferentes, evitando-se ao máximo as colisões entre as diversas disciplinas (Figura 5).

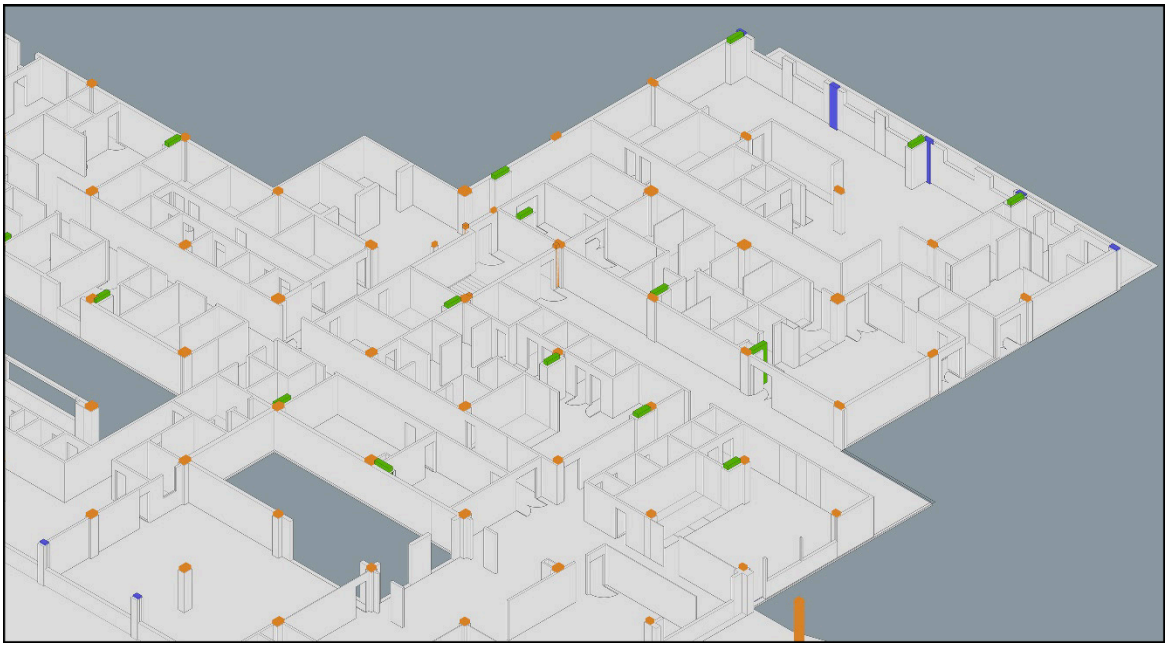


Figura 5 . Ilustração do posicionamento dos shafts em verde e pilares em laranja determinando as passagens verticais de infraestruturas. Fonte: acervo técnico dos arquitetos responsáveis pela reforma e ampliação do hospital, 2017.

e. Com o desenvolvimento dos projetos executivos, a equipe de arquitetura criou um arquivo em formato Excel com todas as infraestruturas existentes em cada um dos *shafts*, já identificados por sua localização na edificação, de forma a registrar o tipo de infraestrutura existente, as dimensões das tubulações correspondentes e os tamanhos finais dos *shafts* (Tabela 1).

TAG SHAFT	PAVIMENTOS	ESTRUTURA	EIXO	MAPEAMENTO E TAG DOS SHAFTS - PRUMADAS HIDRÁULICAS / GASES													
				AF	AFV	AQ	RT	IRR	TQ	TV	TG	TS	END	AS	AP	APA	API
S1	3º	2	12-B	1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ40	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ28	1XØ22	1XØ40	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2						1XØ25	-		1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S2	3º	2	11-B	1XØ40	-	1XØ40	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ75	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ28	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2						1XØ25	-		1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S3	3º	2	10-B	1XØ40	1XØ25	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2		1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S4	3º	2	9-B	1XØ40	1XØ40			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1x Ø100	-
	2º	2		1XØ40	1XØ40			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2		1XØ32	1XØ25			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-

Tabela 1 . Exemplo de parte da planilha de identificação dos 140 shafts criados na edificação, desde a fase do anteprojeto de arquitetura, e preenchida com as localizações e as instalações neles contidas. Fonte: acervo técnico dos arquitetos responsáveis pela reforma e ampliação do hospital, 2018.

Embora os projetos tenham sido desenvolvidos em CAD, as premissas de indicação inicial das vias de passagem das infraestruturas em *shafts*

e em planos horizontais pré-determinados e localizados com nomeação sistematizada garantiram que os dados não fossem perdidos ao longo do processo de construção e posterior operação do hospital.

O hospital encontra-se operando desde outubro de 2020.

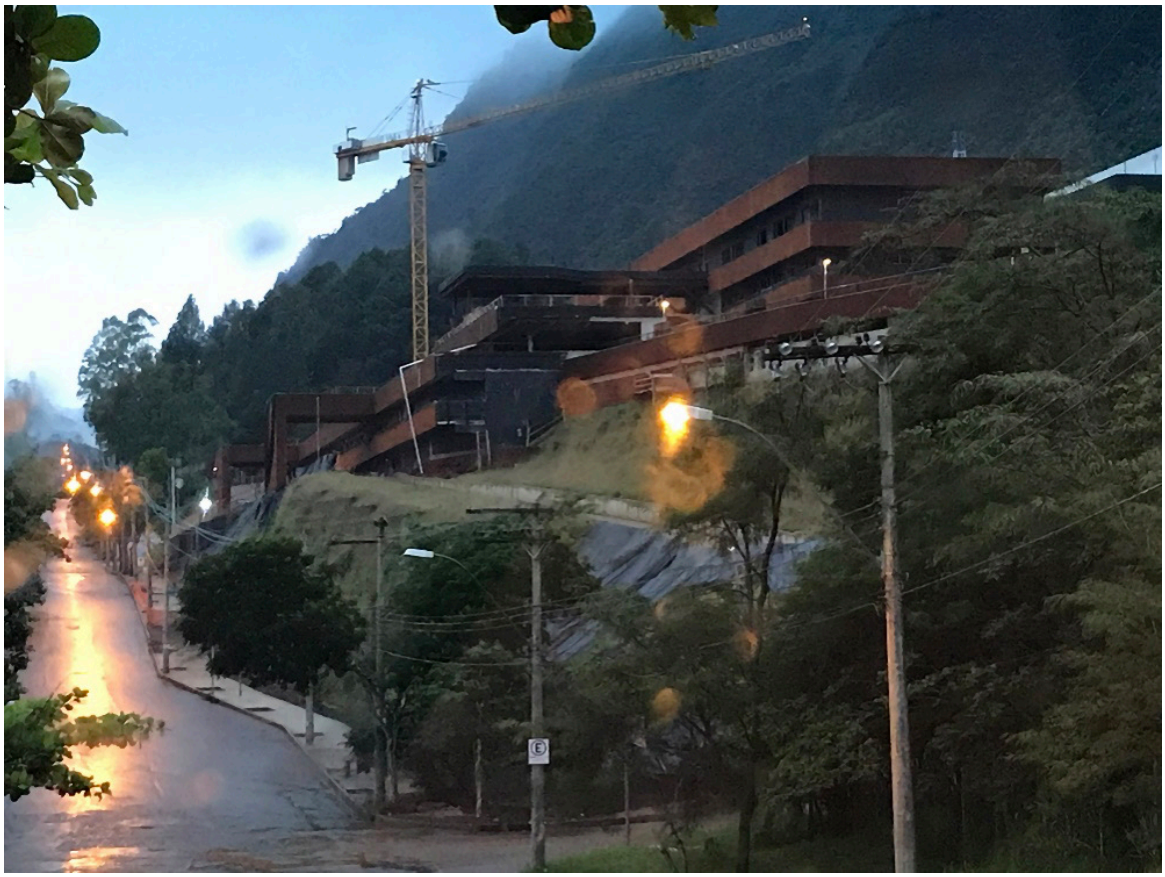


Figura 6 . Fotografia da fase final de obra. Fonte: autoria própria, 2019.

6.2 Caso B – Identificação de requisitos de informação para gestão de ativos em um hospital - tecnologia digital adotada: BIM – Building Information Modeling

O uso de BIM para FM – *Facility Management* tem sido incorporado nos empreendimentos de grande complexidade de forma cada vez mais frequente, a partir do entendimento de que o modelo AIM – *Asset Information Model* torna-se um grande aliado da gestão operacional eficiente da edificação.

O caso apresentado nesta pesquisa está em desenvolvimento e trata-se da construção conjunta de pesquisadores, usuários, proprietários e engenheiros que estão estudando uma forma de fazer com que os dados de infraestruturas físicas e dos equipamentos médicos de um hospital

possam ser identificados e armazenados no modelo para sua futura utilização na sua fase de operação e manutenção em um sistema FM – *Facility Management* a ser implementado.

A metodologia adotada, até agora, está composta das seguintes etapas:

1. Identificação dos ativos dos sistemas mais relevantes da edificação a serem considerados nos modelos de infraestruturas físicas e engenharia clínica: a partir dos projetos de infraestruturas físicas de sistemas elétrico, climatização e hidrossanitário e equipamentos médicos, os ativos correspondentes foram extraídos em tabelas Excel, dos modelos de cada disciplina, para identificar a criticidade e a importância de cada um deles para a fase de operação e manutenção.

2. Seleção dos ativos pelas equipes responsáveis pela operação e manutenção do hospital: com as tabelas elaboradas para cada sistema, elas foram submetidas aos responsáveis pela operação e manutenção da edificação para que, a partir do entendimento deles, os ativos estratégicos fossem selecionados, com o objetivo de delimitar exatamente o número de ativos a serem geridos[5].

Além da submissão das tabelas dos ativos, submeteu-se a listagem de informações a serem preenchidas sobre cada ativo, que foi desenvolvida conforme descrita por Mota *et al*. (2023), tendo por base a Norma Britânica BS 8210:2012, em conjunto com uma outra listagem, contendo as informações identificadas pela equipe responsável pela gestão dos processos na realidade da operação e manutenção, e julgadas importantes de serem registradas nos modelos.

Inicialmente, entre as informações importantes resultantes da análise da equipe foram eleitas as seguintes: identificação do ativo, código, descrição, condição, localização, criticidade, data de aquisição, modelo, fabricante, custo inicial, dimensões, fotografia, número de série e POP – Procedimento Operacional Padrão. Esses requisitos deverão ser aplicados nos parâmetros dos ativos em seus modelos geométricos de cada disciplina de origem, como exemplificado na Figura 7, na disciplina de engenharia clínica.

5 Uma das prerrogativas da utilização da metodologia BIM é a escolha assertiva das informações necessárias para que os modelos sejam carregados somente com aquelas informações estratégicas e imprescindíveis, evitando-se os excessos de informações e, por outro lado, a ausência delas. Por isso, a necessidade de um trabalho colaborativo, com a presença, principalmente, da alta gestão e dos gerentes de FM – *Facility Management* na escolha das informações a serem inseridas no modelo.

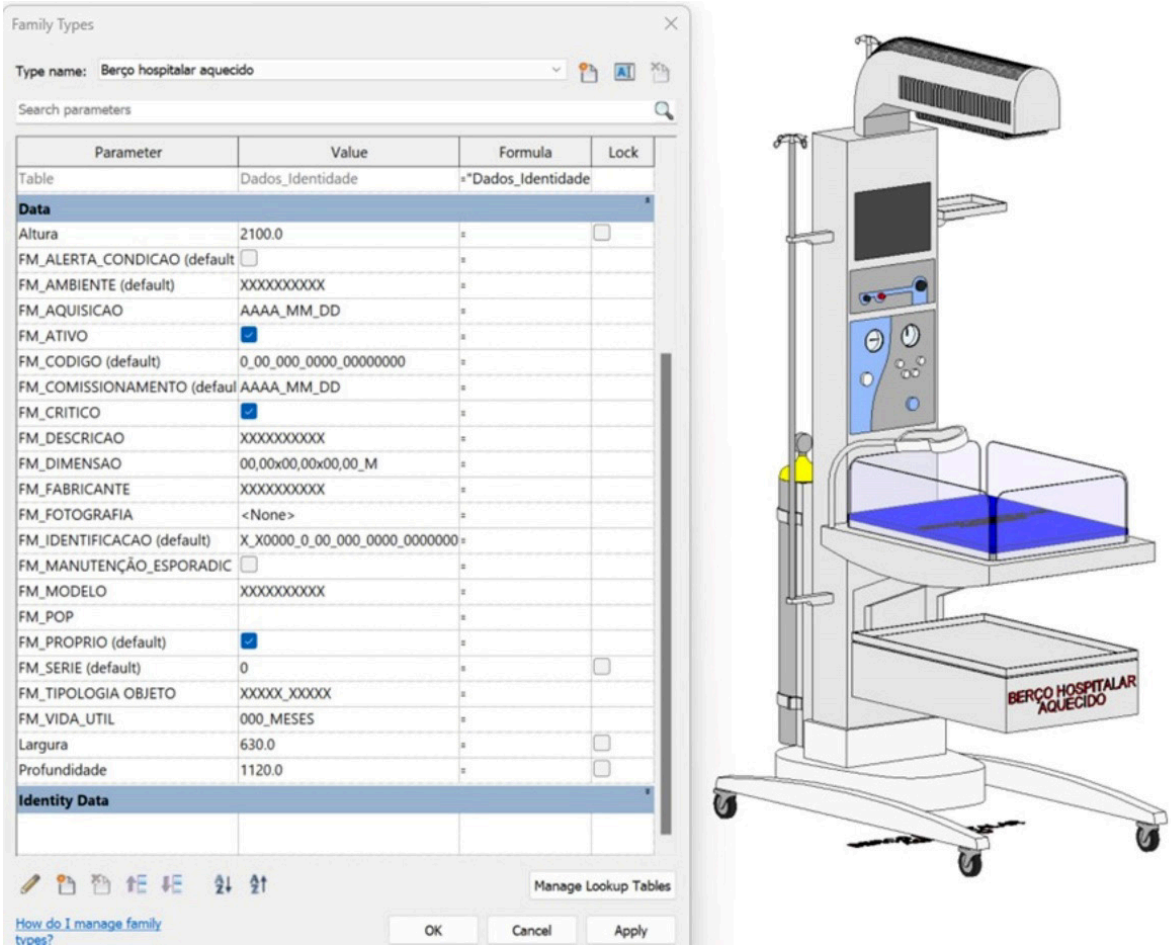


Figura 7 . Exemplo de introdução de parâmetros no modelo de engenharia clínica em um equipamento hospitalar, a partir da seleção das informações necessárias feita em conjunto com a equipe do hospital. Fonte: imagem cedida pela SIPPRO Engenharia, 2023.

3. Desenvolvimento do AIR – *Asset Information Requeriment*

Com as informações necessárias selecionadas, construiu-se um documento com a padronização da codificação para identificação de cada um dos ativos a serem gerenciados em tabela para preenchimento a partir do início da obra, que deverá ser atualizada na medida em que os ativos sejam comprados, instalados, comissionados e inseridos no modelo que acompanha a fase da construção, até que o modelo as built seja concluído e entregue para a fase de operação, transformando-se no modelo AIM – *Asset Information Model*. A partir dessa entrega, no futuro, esse modelo deverá estar sempre atualizado, para que as possíveis modificações em processos de reformas e substituições de ativos sejam registradas e o modelo continue a dar as informações necessárias ao contínuo processo do ciclo de vida da edificação.

4. Em paralelo à determinação das informações sobre os ativos, iniciou-se uma pesquisa sobre os sistemas FM – *Facility Management* capazes

de viabilizar a integração com o modelo BIM, como descrito no artigo de Mota *et al* (2023). Dos sistemas FM existentes selecionados e disponíveis no mercado brasileiro, oito foram exaustivamente pesquisados sobre os requisitos de atendimento das demandas da equipe de operação e manutenção do hospital quanto a: suporte de implementação e uso, capacidade de visualização 2D e 3D, acesso à documentação do ativo, acesso móvel e *off-line* ao sistema, plataforma e limite de armazenamento em nuvem, idioma, tipo de integração com o modelo BIM, tipo de colaboração e comunicação entre usuários, possibilidades de exportação de dados, leitor de QR Code, conexão com sensores, controle de estoque, registro de homens-hora, geração de relatórios e *dashboards* e gestão de ambientes. A esses requisitos gerais, somaram-se requisitos específicos para edificações hospitalares: gestão de engenharia clínica, centro de custos, integração com sistemas de gestão de assistência hospitalar, de estoque de materiais e medicamentos e de compras.

Os sistemas estão sendo testados pelos usuários do hospital e, após a eleição do sistema a ser adotado, a próxima fase será a integração do modelo de ativos à plataforma de gestão de *facilities*.

Espera-se que, a partir da integração, as informações carregadas no modelo sejam compartilhadas com o sistema de gestão de operação e manutenção do hospital, consistindo-se em uma ferramenta poderosa de melhoria dos processos e da qualidade dos serviços prestados pela instituição a todos os setores e usuários do hospital.

7. Conclusões

As lições aprendidas com as duas experiências citadas têm pontos de convergência e de distanciamentos metodológicos e de resultados.

No caso de utilização de tecnologia digital em CAD, é possível uma organização de dados, desde a elaboração dos projetos, tal que as informações essenciais sejam preservadas e a fase de operação e manutenção se beneficie dessa sistematização. Entretanto, as informações não estarão integradas com a geometria da edificação, o que distancia essa metodologia do BIM, não propiciando a visualização imediata do ativo dentro do modelo da edificação. Embora todo o processo de seleção de informações relevantes seja possível, o sistema de gestão de *facilities* terá que absorver as informações através da inserção direta dos dados dos ativos, advindos dos projetos da edificação, de forma manual, duplicando o processo de registro e de controle dos dados. E no curso da operação e manutenção, a possibilidade de perda de dados é exponencialmente maior, já que as informações deverão ser registradas, no mínimo duas vezes, em tabelas dos projetos, caso os ativos sejam modificados, e no sistema de gestão de *facilities* utilizado no setor responsável.

Quando utilizado o modelo BIM integrado ao sistema de gestão de FM, desde as fases de projetos e construção, é possível alimentar o modelo com as informações necessárias à fase de operação e manutenção da edificação, de acordo com os requisitos apontados no AIR. O passo seguinte a esse é a determinação do sistema de gestão de FM, que poderá absorver o modelo diretamente, integrando-o através de formatos nativos, ou em ".ifc", ou integrá-lo de formas indiretas, através de uma API, ou utilizando o COBie para a transferência de dados. Claro que a integração direta é a que mais diminui o número de procedimentos necessários à gestão eficiente de *facilities* e a possibilidade de intercâmbio bidirecional de dados. Nas outras duas formas de trocas de informação entre o modelo e o sistema FM adotado, pode ser que a integração seja unidirecional, ou até que nova importação massiva de dados tenha que ser refeita no sistema FM, como por exemplo, a exportação de outra versão do COBie advinda do modelo BIM, com o registro de modificações ou substituições de ativos pré-existentes no modelo, por outros ativos, e a sua reinserção no sistema FM. Uma das potencialidades que avança na gestão de *facilities*, com a introdução do uso do modelo BIM para FM, é a integração de dados geométricos aos dados não geométricos, criando um ambiente robusto de informações fáceis de serem acessadas pelos usuários, aumentando a agilidade no atendimento das demandas de operação e manutenção dos ativos e, por consequência, um aumento da qualidade dos serviços prestados.

De qualquer maneira, o entendimento da importância de que nas edificações complexas, como são os hospitais, a identificação dos requisitos de informação a serem preservados, desde a fase de concepção de projetos até a fase de entrega para as suas operações e manutenções, é uma necessidade compartilhada entre as equipes de projetistas, usuários e da alta gestão dos empreendimentos.

O avanço proporcionado pelo uso do modelo BIM para FM representa uma melhoria na gestão das unidades assistenciais de saúde, e sua adoção está em desenvolvimento no Brasil. Espera-se que, em um lapso temporal de curto prazo, possamos ter exemplos de aplicações cada vez mais recorrentes nos hospitais do país, garantindo-se o incremento qualitativo da excelência da gestão das unidades assistenciais de saúde.

8. Referências

ABECLIN – Associação Brasileira de Engenharia Clínica. Disponível em: https://abeclin.org.br/. Acesso em: 15 outubro 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 19650-1: Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção – Parte 1: Conceito e princípios. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 41018:2023: Facility management – Desenvolvimento de uma política para facility management. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 55000: Gestão de ativos – Terminologia, visão geral e princípio. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BIM Dictionary (2019), COBie, version 1. Disponível em: https://bimdictionary.com/en/cobie/1. Acesso em: 3 nov. 2025.

BOECKEL, C.; ROUVENAT, F.; Incêndio no Hospital Badim: vítimas morreram por asfixia e desligamento de aparelhos. **G1 Rio**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de janeiro/noticia/2020/10/27/bombeiros-sao-chamados-para-incendio-no-hospital-federal-de-bonsucesso.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

CAETANO, C.; MANSUR, R., Incêndio na Santa Casa de Belo Horizonte: o que se sabe até agora. **G1 Minas**, Belo Horizonte. Disponível em: https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2022/06/28/incendio-na-santa-casa-de-belo-horizonte-o-que-se-sabe-ate-agora.ghtml

COELHO, R. C. H., Incêndio atinge o Hospital Federal de Bonsucesso. **G1 Rio**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/10/27/bombeiros-sao-chamados-para-incendio-no-hospital-federal-de-bonsucesso.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

G1 Rio. Princípio de incêndio é controlado no Hospital Lourenço Jorge, na Barra da Tijuca. **G1**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/10/01/principio-de-incendio-e-controlado-no-hospital-lourenco-jorge-na-barra-da-tijuca.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. (ISBN 85-224-3169-8).

IFMA - International Facility Management Association. Disponível em: https://www.ifma.org/. Acesso em: 2025.

KARMAN, J. **Manutenção e Segurança Hospitalar Preditivas**. São Paulo: Estação Liberdade, IPH - Instituto de Pesquisas Hospitalares 2011, p.41 e p.45. (ISBN 978-85-7448-189-0).

MOTA, P.; MOREIRA, L. Modelagem da Informação na Gestão de Ativos. In: RUSCHEL, R. C.; LIMA, M. M. X.; BÖES, J.S.; (org.). **Bim**: concepção, construção e operação: ensino e prática. Rio de Janeiro: LTC, 2025, p.188. (ISBN 978-85-216-3901-5).

MOTA, P. P.; MAZZIEIRO, A.T; JOKO, C.; MOREIRA, L. C. S. Identificação das potencialidades de sistemas FM integrados ao BIM para uso em ambientes hospitalares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–8. DOI: 10.46421/sbtic.v4i00.2624. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/2624. Acesso em: 15 out. 2025.

Autora

Adriana Tonani Mazzieiro é graduada em Arquitetura e Urbanismo, mestre em Arquitetura e Urbanismo, com a pesquisa **Metodologia para reestruturação de hospitais gerais existentes**, em 1998, e doutoranda na Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), no Programa NPGAU de Arquitetura e Urbanismo, com pesquisa na área de tecnologias digitais, principalmente focada em BIM. Integrante da célula BIM-UFMG, da Rede da ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Professora adjunta I do curso de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Fumec, de 2002 a 2022, e professora substituta do curso de Arquitetura e Urbanismo da UFMG, de 2024 a 2025. Professora do master em BIM Management da Zigurat Institute of Techonology, na disciplina **BIM para Facility Management**, desde 2025. Arquiteta e urbanista responsável técnica pela Santa Casa de Misericórdia de Belo Horizonte, de 1991 a 1995, pelas reformas e ampliações do Hospital da Polícia Militar de Minas Gerais, de 2000 a 2010, e pelo projeto de reforma e ampliação do antigo Hospital Hilton Rocha, de 2011 a 2019, onde assumiu, de 2017 a 2019, a coordenação e compatibilização de projetos executivos de 38.000 m2 de obra. Sócia fundadora da Quattromani Arquitetos Associados, desde 2000, e BIM Coordinator na SIPPRO Engenharia, desde 2022.

Agradecimento especial: O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Instituição: Universidade Federal de Minas Gerais

E-mail: adtonani@gmail.com

Artigo

Economia circular em estabelecimentos assistenciais de saúde

Autores
Antonio Pedro Alves de Carvalho Universidade Federal da Bahia
Jair de Jesus Lima Universidade Federal da Bahia

DOI: 10.62558/2358-3630/23.01.03

Resumo

O modelo de economia linear, baseado nos princípios de extrair-produzir-descartar, impulsionou os avanços tecnológicos, mas gerou graves problemas ambientais e sociais, com ênfase na extração excessiva dos recursos naturais, aumento da poluição e acúmulo de resíduos. O setor da saúde, com alta demanda de energia, água e fortemente dependente de materiais descartáveis, é considerado um dos grandes contribuintes para a geração desses impactos. Nesse contexto, a economia circular (EC) surge como uma alternativa para promover a sustentabilidade no setor da saúde, propondo a mitigação da extração de recursos naturais, a reutilização e a reciclagem. Este estudo apresenta uma revisão de literatura acerca do modelo circular aplicado aos estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS), abordando questões como *design* sustentável, eficiência energética, uso da água e gestão de resíduos, além de exemplos bem-sucedidos no Brasil e no mundo. Constatou-se que a introdução da EC no setor da saúde pode minimizar os custos operacionais, reduzir a geração de resíduos, conter as emissões de gases de efeito estufa (GEE) e contribuir para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Portanto, conclui-se que a adoção de estratégias de economia circular em EAS é fundamental para aliar prestação de serviços essenciais com sustentabilidade ambiental.

Palavras-chave:

economia circular, estabelecimentos de saúde, meio ambiente.

Introdução

A partir da Revolução Industrial, a sociedade adotou o modelo de economia linear, fortemente dependente da extração de recursos naturais, produção de bens, distribuição, consumo e descarte de resíduos (Fernandes, 2024). Embora esse modelo tenha impulsionado os avanços tecnológicos e o crescimento econômico, também contribuiu significativamente para a geração de impactos ambientais negativos, como a extração excessiva dos recursos naturais, o aumento da poluição e o acúmulo de resíduos, que nos dias atuais são desafios enfrentados pela humanidade como resultado desse modelo (Barcelos, 2024) (Figura 1).

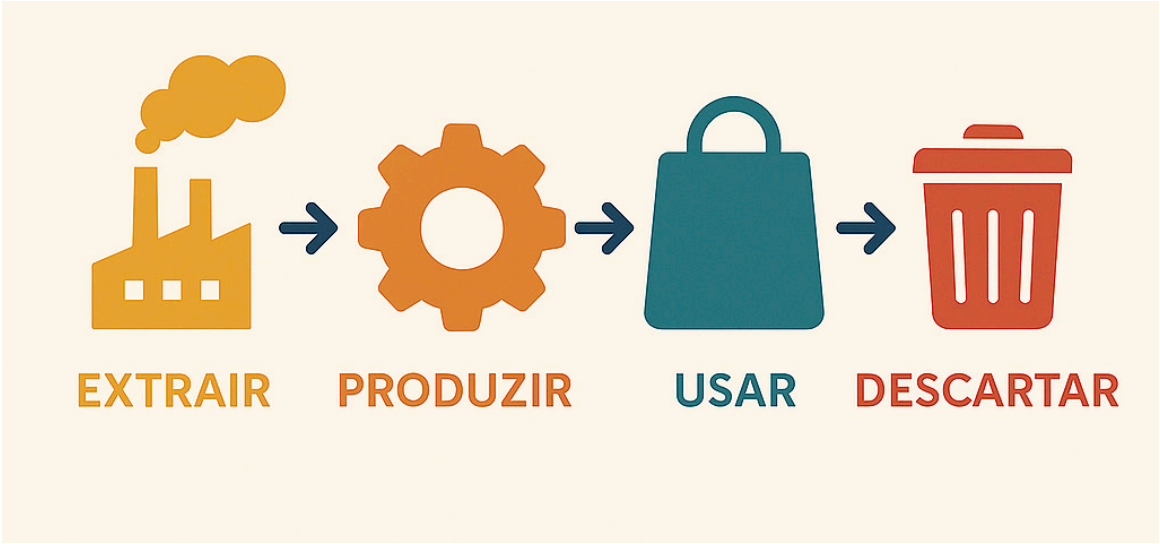


Figura 1 . Esquema da economia linear. Fonte: gerado por IA.

Entre as principais consequências desse sistema, estão o esgotamento dos recursos naturais, a geração excessiva de resíduos, a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e outros produtos prejudiciais ao meio ambiente, colocando em risco a saúde humana devido à poluição do ar e à contaminação do solo e da água, além de provocar fenômenos como redução da camada de ozônio, perda da biodiversidade e mudanças climáticas catastróficas (MacNeill *et al*., 2020).

Esses efeitos estão diretamente ligados às diferentes etapas do processo de "extrair, produzir, consumir e descartar". A exploração desenfreada de matérias-primas, como minérios, água e combustíveis fósseis, com a consequente geração de resíduos, contribui para o esgotamento de recursos naturais e poluição do ambiente. A poluição está ligada ao processo de produção, pois, para garantir a fabricação de bens em uma sociedade consumista, é emitida uma elevada quantidade de subprodutos que contaminam o ar, a água e o solo. O descarte precoce e inadequado de produtos intensifica a geração de resíduos, agravando a poluição ambiental (Barcelos, 2024).

O setor de saúde, inserido nesse modelo de economia linear, é um agente responsável por parte significativa da emissão de GEE. Os estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) e os dispositivos médicos neles utilizados baseiam-se nesse modelo, sendo dependentes de equipamentos descartáveis de uso único (MacNeill *et al*., 2020). De acordo com o relatório da Health Care Without Harm, feito em colaboração com a Arup Consultoria (2019), o setor de saúde, em 2019, foi responsável por cerca de 4,4% do total de GEE gerado no mundo, o que corresponde a duas gigatoneladas de dióxido de carbono. Essa contribuição é semelhante às emissões anuais de GEE de 514 usinas elétricas a carvão de porte médio. Além disso, caso fosse considerado um país, o sistema de saúde seria o quinto maior emissor do planeta (Karliner *et al*., 2019).

As emissões de GEE resultantes dos cuidados de saúde ocorrem por diversos meios, destacando-se o consumo de energia, o transporte e a fabricação, uso e descarte de produtos em geral. As emissões ocorridas diretamente de unidades de saúde e veículos pertencentes ao setor correspondem a cerca de 17% da pegada mundial da área. Aproximadamente 12% estão relacionados às emissões indiretas associadas à energia adquirida, como eletricidade, vapor, refrigeração e aquecimento. A maior parte das emissões – cerca de 71% – está relacionada à cadeia de suprimentos, englobando produção, transporte e descarte de insumos, como medicamentos, produtos químicos, alimentos, dispositivos médicos e equipamentos hospitalares (Karliner *et al*., 2019).

O conceito de economia circular (EC) surge como uma solução inovadora, que busca a implementação de um novo sistema produtivo, estabelecendo modificações estruturais significativas e assumindo um maior protagonismo ao ir contra o modelo tradicional da economia linear, conhecido por suas práticas definidas pelo paradigma de "ciclo aberto": extrair-produzir-descartar (Abdalla; Sampaio, 2018).

A EC visa reduzir o uso de matérias-primas e seus impactos ambientais associados, com estratégias que prolonguem a vida útil dos recursos. De acordo com Viet (2012), isso é possibilitado pelo princípio do 3R, que consiste em práticas a serem adotadas com o objetivo de aumentar a vida útil de materiais já processados, contribuindo para a diminuição da extração de recursos naturais para uso como matérias-primas:

> **. Reduzir** – aplicar técnicas de gerenciamento para minimizar a quantidade de materiais consumidos para um determinado fim, como água, energia e minerais.
>
> **. Reutilizar** – empregar novamente um material, seja para o mesmo fim para o qual foi desenvolvido, seja para outro semelhante, prolongando sua vida útil, antes de ser descartado ou direcionado para a reciclagem.

. Reciclar – consiste no conjunto de técnicas destinadas ao reaproveitamento de resíduos, reinserindo-os novamente no ciclo de produção. Este processo inclui uma série de atividades, como coleta, separação e processamento de materiais, a fim de transformá-los em matéria-prima para a fabricação de novos produtos (ver Figura 2).



Figura 2 . Esquema da economia circular. Fonte: SMAS-Sintra (2025).

A adoção de um modelo circular no setor da saúde tem potencial de promover reduções significativas dos custos operacionais, diminuir a quantidade de resíduos gerados e os impactos ambientais, além de contribuir para a melhoria da qualidade dos serviços e da saúde pública (Fernandes, 2024). Ao mesmo tempo, a adoção de práticas circulares contribui diretamente ou indiretamente para o avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) até 2030, como o ODS 3 (Saúde e Bem-Estar); ODS 6 (Água Limpa e Saneamento); ODS 7 (Energia Acessível e Limpa); ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico); ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis); ODS 12 (Consumo e Produção Sustentáveis); ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima); e ODS 15 (Vida Terrestre) (Azizuddin; Shamsuzzoha; Piya, 2021; Schroeder; Anggraeni; Weber, 2019).

Os ODS, juntamente com as finanças sustentáveis, desempenham um papel importante para o setor da saúde. Para as administrações governamentais e de estabelecimentos de saúde, é fundamental que o seu financiamento considere como prioridade a inclusão de fatores ambientais, sociais e de governança (ESG) nas decisões de investimento (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022).

A infraestrutura de EAS pode desempenhar um papel importante para tornar o setor de saúde menos poluente e reduzir seus impactos nas mudanças climáticas. Entretanto, devido à alta demanda, alcançar as metas de sustentabilidade a partir da neutralidade de carbono até 2030 exigirá uma mudança significativa dos prestadores de serviços de saúde. As emissões de GEE geradas por esse setor estão fortemente relacionadas ao seu desempenho, ao tipo de serviços e ao local onde são fornecidos, além de políticas voltadas ao fortalecimento de melhores práticas que contenham a demanda de serviços (Or; Seppänen, 2024).

Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2009), ao reduzir a pegada de carbono e caminhar em direção à neutralidade, o setor da saúde pode se tornar exemplo na resposta às mudanças climáticas, desempenhando um papel de liderança na defesa de um futuro saudável e sustentável. Nesse sentido, é primordial adotar uma abordagem abrangente baseada no princípio da EC. Isso inclui iniciativas como estratégias de *design* sustentáveis, procedimentos de eficiência energética, economia de água, tratamento de esgoto e gerenciamento de resíduos, reduzindo a pegada ambiental do setor, que possui importância crescente na sociedade moderna.

Metodologia

O presente artigo consiste em uma revisão de literatura com o objetivo de reunir, analisar e sintetizar o conhecimento já existente sobre o tema da economia circular em estabelecimentos de saúde. O propósito é apresentar uma revisão sobre como a transição para um modelo circular pode ser aplicada nos EAS, abordando questões como *design* sustentável, eficiência energética, uso da água e gestão de resíduos.

Para isso, foram pesquisadas bases de dados de livre acesso do Google Acadêmico, Periódicos CAPES, Scielo, Scopus e SciSpace, usando palavras-chave relacionadas ao tema, como *Circular Economy; Circular Economy and Healthcare Establishment; Circular Economy Strategies in Hospitals; Energy Efficiency in Hospitals; Sustainable architecture in hospitals; Water Saving Strategies in Hospitals; Hospital Wastewater; Circular Economy in Hospital Sewage Treatment; Hospital Waste Management* e suas correspondentes em português.

Foram incluídos na revisão os materiais que abordaram diretamente a aplicação da economia circular em ambientes de saúde publicados nos últimos cinco anos, com texto completo disponível em português ou inglês. Em alguns casos, foram considerados estudos de maior relevância, ainda que não atendesse ao critério de período de publicação. Por outro lado, foram excluídos trabalhos que não estivessem diretamente ligados à temática central, bem como documentos de domínios fechados.

Foram identificados inicialmente 91 estudos relevantes para a temática. Para a seleção das referências, foram aplicados os critérios de inclusão e exclusão, sendo selecionadas 76 para compor a revisão.

Estratégias de design

A arquitetura dos EAS é caracterizada pela alta complexidade e pelas exigências funcionais vinculadas aos procedimentos e práticas médicas, que sofrem constantes mudanças e atualizações (Lopes, 2014). Segundo Biro (2024), o setor de construção, juntamente com o *design*, é responsável por mais de 30% das extrações dos recursos naturais do planeta, tornando-se fundamental que todas as construções busquem maior sustentabilidade.

A sustentabilidade nas edificações voltadas à saúde deixou de ser uma tendência ou um diferencial para tornar-se uma importante necessidade desde a etapa de planejamento. A introdução da sustentabilidade ambiental nas unidades de saúde pode ocorrer por meio da inclusão de princípios de construção sustentável em novos projetos, assim como na modernização de hospitais já existentes (OMS, 2009).

Para a elaboração de projetos de EAS sustentáveis é fundamental considerar os aspectos:

- **Ambientais** – como a adequação ao meio ambiente com uso de recursos naturais presentes nos locais.
- **Econômicos** – como a utilização de sistemas construtivos racionais, padronizados, flexíveis, modulares e com reutilização de materiais, para evitar desperdícios e geração de resíduos, a qualificação de mão de obra e a adoção de tecnologias que contribuam para a redução do consumo de água e energia.
- **Sociais** – como a preocupação com a satisfação dos usuários envolvidos em todas as etapas da construção, sem desprezar as questões estéticas (Lopes, 2014).

Existem diversas estratégias para edificações de saúde que ocasionam o mínimo de impacto ambiental, sendo essencial que sejam aplicadas em todas as etapas do ciclo de vida do edifício, como planejamento,

concepção, execução, ocupação, manutenção, reabilitação e eventual demolição (Vilas-Boas, 2011). Nesse sentido, pode-se considerar a aplicação de estratégias de *design* sustentável como uma abordagem eficaz, pois colabora para o aumento do ciclo de vida útil e a redução dos custos de manutenção da edificação (Alsawaf; Albadry, 2022). Esses métodos reduzem o impacto ambiental, ao mesmo tempo que melhoram a equidade social, o conforto do paciente e a produtividade dos profissionais de saúde (Biro, 2024).

Um exemplo de estratégia de sustentabilidade é o *Design para Adaptabilidade e Desmontagem* (DfAD). O DfAD, quando aplicado no planejamento da vida útil de edifícios de saúde, pode favorecer positivamente o desenvolvimento sustentável (ISO, 2020). A desmontagem, seguindo o princípio dos 3R – reduzir, reutilizar e reciclar –, é importante para recuperação de materiais de construção, principalmente durante as etapas de manutenção, renovação, realocação e remontagem, possibilitando a recuperação não destrutiva desses materiais e sua reintrodução na cadeia produtiva, seja para desempenhar a mesma função, seja para originar novos produtos (Davis, 2024). Já a introdução de princípios de adaptabilidade pode reduzir demolições e construções de novos edifícios ao possibilitar o reaproveitamento ou a modificação de estruturas já existentes, prolongando sua vida útil e permitindo que acomodem maior variedade de usos, garantindo o emprego eficaz dos recursos e a implementação de princípios da EC em edifícios (ISO, 2020).

Como princípio básico para a abordagem DfAD, a construção modular de edifícios desempenha um papel fundamental na promoção da sustentabilidade, ao reduzir os impactos ambientais relacionados à edificação (Paliwal, 2019). Esse princípio é particularmente útil nas edificações para a saúde, que tradicionalmente exige frequentes mudanças de uso. Esse modelo de construção oferece uma alternativa potencialmente sustentável de construir, fundamentada no uso de peças pré-fabricadas instaladas e conectadas no local para a formação de edificações com alta flexibilidade funcional (Lawson; Ogden; Goodier, 2014). O uso de módulos na construção permite o desenvolvimento de edifícios com estruturas que reduzem o desperdício, otimizam o uso de materiais e adotam uma abordagem eficiente para enfrentar os desafios da industrialização e manutenção (Morales, 2023).

Segundo Morales (2023), a implementação da construção modular permite mais eficiência dos materiais utilizados e redução da geração de resíduos – aproximadamente 90%, quando comparada com o modelo de construção tradicional –, uma vez que aproximadamente 70% do processo de construção pode ocorrer em ambiente controlado. Usar materiais com selos ecológicos, assim como reciclar e reutilizar componentes modulares no fim do ciclo de vida, intensifica a redução de perdas.

A construção modular proporciona maior flexibilidade no *design* dos projetos, facilitando a adaptabilidade e desmontagem, permitindo que atendam a diferentes finalidades durante sua utilização ou recuperação de produtos, peças e materiais, quando um edifício necessita ser reformado. Após a desativação de edificações modulares, seus componentes podem ser reciclados ou reaproveitados em novas unidades com mais facilidade, contribuindo para a redução do descarte de materiais de construção (Sajid *et al.*, 2024).

Um exemplo bem-sucedido da aplicabilidade do sistema de construção modular em edificações voltadas para a área da saúde são os hospitais da Rede SARAH, planejados pelo arquiteto João Filgueiras Lima, o Lelé. Os sistemas pré-fabricados em argamassa armada e estrutura metálica são amplamente empregados em todas as etapas dos edifícios (Figura 3), desde a superestrutura até objetos hospitalares, o que proporciona mais flexibilidade e facilita as etapas de construção, montagem e, principalmente, a manutenção e as futuras ampliações dos hospitais (Lukiantchuki *et al*., 2011).



Figura 3 . Vista externa do Centro de Tecnologia da Rede SARAH (CTRS)
Fonte: Lukiantchuki *et al*. (2011).

A integração de *design* biofílico na arquitetura dos EAS representa outra medida eficiente para promover a sustentabilidade no setor de saúde (Zhao; Zhan; Xu, 2022). Essa abordagem busca integrar elementos naturais à configuração dos ambientes construídos, com potencial tanto para favorecer o bem-estar dos usuários quanto para promover uma maior sustentabilidade no edifício, por meio da redução do consumo energético e do incentivo a práticas de construções ambientalmente responsáveis (Santos; Torres, 2024).

No cenário brasileiro, o Hospital Albert Einstein, localizado em São Paulo, é um exemplo da aplicabilidade do *design* biofílico. Foi adotado em seu projeto o sistema de teto verde (Figura 4), cujo objetivo é colaborar para a redução do aquecimento da edificação, além de viabilizar a captação de água de chuva para a reutilização na irrigação de jardins. Entre os principais resultados obtidos pelo uso de teto verde, destacam-se: diminuição das ilhas de calor, responsáveis pelo aumento da temperatura em locais altamente edificados; economia de energia elétrica, decorrente da redução da utilização de sistemas de ar-condicionado; e auxílio no controle do fluxo de água pluvial, que, consequentemente, reduz enchentes nas áreas urbanas (Vilas-Boas, 2011).



Figura 4 . Teto verde no Hospital Albert Einstein, SP. Fonte: Vilas-Boas (2011).

O uso de princípios bioclimáticos, como ventilação, iluminação natural, vegetação e paisagismo, pode contribuir de forma significativa para reduzir o efeito de ilhas de calor, melhorar a biodiversidade, mitigar a poluição atmosférica, otimizar a qualidade do ar, melhorar o conforto térmico e incentivar a utilização de materiais certificados, promovendo ambientes internos que favorecem a recuperação da saúde. Essa prática apoia diretamente o avanço do ODS 3 (Saúde e Bem-estar) e do ODS 13 (Mudanças Climáticas), os mais apoiados pelo *design* biofílico (Zhong; Schröder; Bekkering, 2022).

A captação da ventilação e luz natural em EAS pode ocorrer de forma indireta por meio de diferentes métodos. Podem ser adotados elementos como esquadrias convenientemente colocadas, *brises* e janelas que direcionem ventos e sol. Já para a iluminação, destacam-se métodos como aberturas na cobertura, *sheds*, janelas com *brises* e recepções com grandes vãos sombreados. Em situações mais complexas, em que não é possível incorporar grandes panos de esquadria ou abrir o ambiente para áreas externas, podem ser utilizados recursos como claraboias ou tubulações refletoras (Vilas-Boas, 2011).

Eficiência energética

Os EAS demandam uma grande variedade de formas de consumo da energia, como a térmica, utilizada para aquecimento, água quente e geração de vapor, e no resfriamento, para sistemas de condicionamento de ar, além dos gastos em energia elétrica para operar equipamentos médicos, sistemas de iluminação, exaustão e ventilação (Suszanowicz; Ratuszny, 2019). Essa demanda se intensifica devido ao contínuo crescimento do consumo de energia nessas instalações, pois, diferentemente dos demais tipos de edifícios, os EAS frequentemente funcionam de forma contínua, durante as 24 horas, e abrigam pessoas portadoras de males de saúde, sendo extremamente vulneráveis a pequenas variações nas condições ambientais. Nos locais de tratamento, é necessário manter parâmetros específicos de temperatura e qualidade do ar interno, principalmente em espaços altamente especializados, como em salas de cirurgia, UTIs e laboratórios (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022).

Essa alta demanda energética contribui para que aproximadamente 40% da pegada climática do setor de saúde seja proveniente do uso de eletricidade e energia térmica. Esse consumo inclui tanto a energia adquirida por unidades de saúde quanto por fabricantes e fornecedores de bens e serviços para o setor (Karliner *et al*., 2019). Os sistemas de aquecimento, ventilação e ar-condicionado são a parte mais importante do consumo de eletricidade em hospitais, por serem considerados fundamentais para a saúde dos pacientes, para o aumento da produtividade dos funcionários e para o funcionamento adequado dos equipamentos médicos, consumindo, em média, 50% da energia elétrica total desses edifícios (Oliveira, 2021).

Segundo um estudo realizado pelo *Kigali Cooling Efficiency Program* (UNEP, 2019), ligado às Nações Unidas, que em 2018 analisou as emissões globais relacionadas à climatização dos EAS, aproximadamente 365 milhões de toneladas de CO_2 são lançadas anualmente na atmosfera devido ao resfriamento, à ventilação e à refrigeração de edificações, equivalendo às emissões geradas por mais de 75 milhões de carros ou por 110

usinas termelétricas a carvão durante um ano. A introdução de sistemas gerenciados por Inteligência Artificial (IA) em climatização de EAS podem ocasionar economias significativas de consumo energético.

Os sistemas de ar-condicionado e de refrigeração, em geral, além de serem fabricados consumindo combustíveis fósseis, usam hidrofluorcarbonetos (HFCs) e outros gases refrigerantes que, ao serem liberados na atmosfera, intensificam o efeito estufa (Oliveira, 2021). Além das demandas por climatização, os EAS desenvolvem muitas atividades que necessitam de alto consumo de energia, como o uso de equipamentos médicos e de laboratórios especializados, esterilização, lavanderias e serviços de alimentação (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022). Devido a essas características, os EAS enfrentam dois desafios contraditórios: atender à crescente demanda energética e, ao mesmo tempo, reduzir a pegada de carbono no setor (Tomanek, 2024).

Grande parte dos impactos ambientais sobre a saúde pública produzidos pelo consumo de energia resulta da queima de combustíveis fósseis, como petróleo, carvão e gás, gerando emissões de GEE e poluição atmosférica, influenciando tanto as mudanças climáticas quanto problemas de saúde. Nesse sentido, com a melhoria da eficiência energética e a transição para fontes de energias limpas e renováveis, o setor de saúde pode desempenhar um papel importante na mitigação das emissões de GEE e na redução dos danos à saúde pública causados pelas mudanças climáticas e pela poluição da atmosfera (Corvalan *et al*., 2020).

Diversas fontes de energias renováveis podem ser introduzidas em edifícios hospitalares para a geração de eletricidade, calor e resfriamento, como energia solar, eólica, biomassa e geotérmica. Tecnologias de baixa emissão de carbono, como sistemas de cogeração e bombas de calor, também podem ser utilizadas com a mesma finalidade (Vourdoubas, 2022). Essas fontes alternativas de energia podem ser utilizadas em sistemas de iluminação, bombeamento e aquecimento de água, usos que correspondem a uma parte considerável do consumo energético dos edifícios de saúde, tanto em países desenvolvidos quanto em desenvolvimento (OMS, 2009), contribuindo para a redução da pegada climática e para o aumento da resiliência energética, além de cumprir as regulamentações atuais e metas globais relacionadas à mitigação de desastres ambientais (Vourdoubas, 2022).

A energia solar é considerada uma das melhores opções para garantir a sustentabilidade energética de longo prazo, pois apresenta diversas vantagens, como a de ser uma fonte abundante, ter perdas reduzidas de transmissão e distribuição, baixo custo operacional e ser uma fonte limpa, reduzindo a intensidade das emissões de combustíveis em geral (Duraivelu; Elumalai, 2021). Esse sistema pode ser usado para a produção de eletricidade tanto por meio de tecnologia solar fotovoltaica ou solar

térmica, sendo empregada em sistemas de geração de energia de pequeno, médio e grande porte (Vourdoubas, 2022).

Um estudo realizado por Al-Rawi, Bicer e Al-Ghamdi (2023), em um hospital situado na região do Conselho de Cooperação do Golfo (GCC), que emprega um sistema de aquecimento de água por meio de energia solar, ressaltou o potencial da integração combinada de tecnologias solares térmicas e fotovoltaicas em EAS na região, destacando benefícios como redução de custos de energia, aumento da segurança energética e promoção de sustentabilidade. Os resultados demonstraram que o sistema solar térmico utilizado no hospital contribui com cerca de 12% dos gastos energéticos dos sistemas de água quente, com uma eficiência em torno de 46%; já o sistema fotovoltaico colaborou com aproximadamente 29,6% da carga total de HVAC, evidenciando o potencial de ambos os sistemas para promover eficiência energética e reduzir a dependência de fontes de energia tradicionais em EAS.

Em um estudo realizado em dois hospitais localizados na Romênia, Prada *et al*. (2020) mostram que a implementação de energia solar fotovoltaica pode atender de 62,68% a 75,51% do consumo de energia necessária para aquecimento, ar-condicionado e produção de água quente. Além disso, o exemplo demonstrou a redução de 77% a 67% das emissões de CO_2, impactando diretamente o aquecimento global, a poluição e a redução de emissões de GEE.

No contexto global, Vourdoubas (2021), em uma revisão sobre várias aplicações bem-sucedidas de energias renováveis em hospitais em todo o mundo, destacou que a utilização de energia solar pode apresentar uma eficiência energética de 40% a 80%, ao contribuir para o sistema de resfriamento, e 30% a 40% para o aquecimento do ambiente hospitalar. Em relação à energia geotérmica, evidenciou que sua aplicação pode obter uma eficiência de 70% a 90%, principalmente na utilização de fluidos geotérmicos para o aquecimento dos edifícios.

A energia solar pode ser também aplicada em conjunto com outras tecnologias de geração com baixa ou nenhuma emissão de carbono, como em sistemas de cogeração. Nesse caso, ao mesmo tempo que a energia solar é convertida em energia elétrica em uma usina central, para ser usada para operar refrigeradores de compressão de vapor para a produção de resfriamento, o calor residual rejeitado pelo motor térmico pode ser usado para acionar um refrigerador de absorção, desempenhando um importante papel tanto na economia de energia quanto na redução da poluição ambiental (Çakir; Çomakli; Yüksel, 2012).

Os sistemas de cogeração representam uma solução promissora para diminuir as emissões de GEE e seus custos operacionais. As centrais de cogeração operam à base de uma única fonte de energia ou combustível,

sendo o principal o gás natural (Franco *et al*., 2017). Eles também podem utilizar biomassa, como resíduos agrícolas e florestais, subprodutos e resíduos, bioetanol, biodiesel ou biogás produzido a partir de resíduos orgânicos (Vourdoubas, 2022). A sua implementação tem como objetivo a produção simultânea e integrada de energia elétrica e térmica, mitigando as perdas de energia. A cogeração pode ser classificada em dois tipos: sistemas combinados de calor e energia (*Combined Heat and Power* – CHP), que produz eletricidade e calor; e trigeração, conhecida como sistema combinado de arrefecimento, aquecimento e produção de energia (*Combined Heat, Ice, and Power* – CHIP), que gera energia elétrica e térmica na forma de calor e frio (Chen-Xu *et al*., 2024).

Os sistemas de CHP e CHIP apresentam maior eficiência em comparação aos métodos tradicionais de geração. Enquanto os meios convencionais possuem uma eficiência de aproximadamente 60%, os sistemas CHP podem apresentar índices entre 87% e 92%; já os sistemas CHIP alcançam valores entre 85% e 90%. Esses percentuais podem variar a depender do porte do projeto (Teke; Timur, 2014).

No âmbito do uso da cogeração em EAS, Alexis e Liakos (2013) defendem, por meio de um estudo realizado em um hospital localizado na Grécia, que a implementação de um sistema de cogeração pode levar à redução dos custos operacionais anuais em 32%, além da redução do consumo anual de energia primária em 28%. Ademais, atestam uma redução anual significativa de emissões de poluentes, com diminuições estimadas entre 46,5% e 48,6% para CO_2, entre 75,9% e 82,8% para SO_2, entre 2,3% e 7,5% para NOx e entre 75,9% e 82,9% para partículas suspensas.

A utilização de sistemas de iluminação gerenciados por IA é outra inovação tecnológica que desempenha um papel importante na promoção da eficiência energética em EAS (Tomanek, 2024). Esses sistemas utilizam mecanismos avançados para a iluminação, como sensores para detectar ocupação, automação e conectividade para controlar a iluminação de forma mais eficiente. Diferentemente dos modelo tradicionais, que funcionam manualmente, esses sistemas possibilitam a redução significativa do consumo de energia a partir da redução ou desligamento automático das luzes em áreas desocupadas ou pouco ocupadas, ajustando o brilho, a temperatura da cor e até mesmo a direção da luz em função de vários fatores, como a presença de iluminação natural, o horário, a presença de pessoas e as atividades executadas no local, além da utilização de lâmpadas de alta eficiência energética (Wipro Lighting, 2024).

Segundo, Teke e Timur (2013), em uma revisão de estudos práticos sobre eficiência energética e potenciais de economia de energia em sistemas de iluminação em hospitais, a implementação de sistemas inteligentes em

EAS pode contribuir para a economia de aproximadamente 60% a 80% da energia consumida, especialmente se utilizados em iluminação interna e ar-condicionado, com um tempo de retorno do investimento estimado entre 1,5 e 5 anos, variando conforme os sistemas de controle e porte do estabelecimento.

Economia de água

O setor de saúde apresenta um elevado consumo de água, pois necessita manter ambientes e materiais desinfectados, operar equipamentos médicos e assegurar a higiene dos pacientes. Suas características únicas fazem com que os EAS consumam significativamente mais água por metro quadrado do que outros tipos de edifícios, dificultando a adoção dos princípios da economia circular nesse setor (Teslim, 2024). A quantidade de água utilizada depende de diferentes fatores, como perfil do estabelecimento, número de leitos, tipo de internação, tempo de existência do hospital, fontes de acesso, serviços gerais presentes dentro da estrutura, incluindo cozinha, lavanderia e ar-condicionado, políticas de gestão institucional e conscientização na gestão da infraestrutura em relação à preservação do meio ambiente, clima e fatores culturais e geográficos (Verlicchi *et al*., 2010).

Um estudo realizado pelo Victorian Government Department of Health (2009) relacionado ao consumo de água em EAS, localizados em Vitória, na Austrália, destacou que, dentro dos hospitais, os maiores consumos de água são relacionados a: higiene (limpar e lavar); saneamento (descarga de resíduos no esgoto); ingestão (beber e preparo de alimentos); processos gerais (limpeza, higienização, esterilização, lavagem, aquecimento, resfriamento, filtragem e tratamento de água) e irrigação (jardins ornamentais e gramados). O levantamento aponta ainda que as instalações sanitárias (bacias, chuveiros e pias) representam entre 20% e 40% do consumo total, enquanto as descargas sanitárias (vasos sanitários e higienizadores de panelas) variam de 15% a 30%. Já os processos de esterilização, laboratórios e refrigeração contribuem com cerca de 15% a 40%, e o preparo de alimentos, com 5% a 25% do consumo total de água.

O consumo de água em EAS também varia consideravelmente tanto ao longo do dia quanto ao decorrer do ano. Em relação à demanda média diária, pode ocorrer um aumento de até 20% entre os horários das 8h às 16h e uma diminuição de 30% entre 1h e 8h; além disso, pode ocorrer valores médios mais elevados durante os meses mais quentes (Verlicchi *et al*., 2010). A explicação para esse alto consumo de água durante esses horários da manhã e da tarde é associada ao fato de que, nesses períodos, ocorrem a realização de tratamentos de pacientes e as análises laboratoriais (Altın; Altın, 2017).

Devido à variedade de funções que demandam consumo de água em EAS, o uso eficaz e eficiente do recurso é fundamental nessas instituições. A implementação de rotinas de economia de água em ambiente hospitalar enfrenta grande restrição, já que os procedimentos de higiene e manutenção da qualidade da água obedecem a padrões rígidos e exigentes (Priyalal, 2019). Segundo Oliveira *et al*. (2021), a água utilizada nos hospitais deve ser isenta de microrganismos patogênicos, pois representam um risco significativo de surtos infecciosos graves, tornando-se importante o ato constante de lavagem das mãos com água de qualidade, além da higienização do ambiente, produção e consumo de alimentos. Manter a qualidade da água, portanto, é fundamental, pois sua contaminação pode estar relacionada à transmissão de doenças, afetando principalmente os pacientes, que apresentam graus diferenciados, mas sempre existentes, de baixa resistência a infecções (Ferreira; Caran, 2023).

A eficiência na gestão de água em edifícios hospitalares é alcançada a partir da adoção rigorosa de boas práticas e tecnologias adequadas, como a realização regular de auditorias hídricas, que tenham como objetivo identificar áreas de alto consumo e possíveis vazamentos. Alinhado a isso, o uso de sistemas de detecção de vazamentos é essencial para localizar e corrigir precocemente problemas que poderiam provocar o desperdício significativo de água. A substituição de instrumentos sanitários antigos, como vasos, torneiras e chuveiros, por modelos mais econômicos pode reduzir significativamente o consumo de água. Igualmente, a utilização de lava-louças e máquinas de lavar roupa mais novos, com baixo consumo de água, auxilia na diminuição do desperdício nas áreas de cozinha e lavanderia (Teslim, 2024).

Segundo Silva *et al*. (2024), a introdução de sistemas de reúso de águas cinzas e o aproveitamento de águas pluviais são soluções eficientes para promover economia de recursos hídricos e sustentabilidade ambiental em EAS. Essas medidas ocorrem a partir da coleta, do tratamento e da reutilização de águas provenientes de chuveiros, lavatórios, tanques e máquinas de lavar, além da captação de água da chuva por meio de calhas instaladas em telhados, terraços e áreas abertas. As águas coletadas devem passar por processos específicos de tratamento, que incluem filtragem, em diversos graus, e desinfecção. Essas águas, a depender do tipo de tratamento, podem ser utilizadas até para fins potáveis, encarecendo o processo. O mais comum é a utilização de tratamentos simples, utilizando-se esse tipo de água para irrigação, limpeza, descarga de sanitários e lavagem de superfícies.

Devido à complexibilidade dos processos que se utilizam da água na saúde, é necessário um planejamento técnico adequado para o reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais, como a instalação

de tubulações separadas, sistemas de captação eficientes, além de reservatórios protegidos contra contaminação e sistemas de redistribuição com bombas e encanamentos específicos para esses procedimentos. Deve-se ainda inspecionar a qualidade da água e garantir a eficiência dos sistemas (Silva *et al*., 2024).

A implementação de estratégias de gestão e conservação de água em EAS oferece uma série de benefícios econômicos e ambientais. A diminuição do consumo hídrico contribui diretamente para a redução de gastos nos serviços, resultando em economias significativas ao longo do tempo. A adoção de tecnologias eficientes tende a reduzir despesas relacionadas à manutenção e prolongar o tempo de vida dos equipamentos. Paralelamente, essas iniciativas contribuem significativamente para o cumprimento das metas relacionadas à sustentabilidade ambiental, aliviando a pressão sobre os recursos hídricos locais e diminuindo a pegada ambiental desse tipo de edificação (Teslim, 2024).

Tratamento de esgoto

O acesso ao tratamento de esgoto é importante para o combate de doenças relacionadas à água em EAS (OPS, 2021). Conforme apontado por Lima (2023), os avanços no tratamento de pacientes e desenvolvimento de novos medicamentos têm contribuído para o aumento da geração de resíduos líquidos hospitalares, que acabam dificultando o tratamento da água bruta de mananciais.

A quantidade e as características das águas residuais geradas pelos hospitais podem variar consideravelmente conforme os serviços oferecidos, como a quantidade de leitos, o número de pacientes e a disponibilidade de laboratórios (Hocaoglu *et al*., 2021). Em países desenvolvidos, cada leito, em média, pode gerar mais de 1.000 litros de águas residuais por dia, enquanto para os países em desenvolvimento o volume estimado é de 200 litros a 400 litros por leito por dia (Kumari; Maurya; Tiwari, 2020).

Descargas provenientes de zonas administrativas, banheiros de quartos ou enfermarias normais são consideradas domésticas. Já as águas residuais resultantes de atividades de cuidados diretos com o paciente, análise e pesquisa, contendo substâncias tóxicas, como desinfetantes, detergentes, resíduos de medicamentos, excrementos infecciosos, radioelementos e outros produtos químicos, como ácidos, álcalis, solventes, benzeno, hidrocarbonetos e corantes, são classificadas como descargas específicas e devem ter o destino monitorado (Chartier *et al*., 2014). Tais efluentes, quando manuseados e descartados de forma inadequada, representam um grave risco à saúde humana e ao meio

ambiente, devido à sua capacidade de contaminar bacias hidrográficas, poluir águas superficiais e subterrâneas (Majumder *et al*., 2021).

De acordo com Lima (2023), os esgotos hospitalares contaminados, via de regra, devem ser tratados em Estações de Tratamento de Efluentes (ETR) especializadas. Essas operações são divididas em três tipos: físicas, como triagem, mistura, floculação, sedimentação, flotação e filtração; químicas, que removem ou convertem contaminantes por meio da adição de produtos ou reações químicas, como precipitação, adsorção e desinfecção; e biológicas, que utilizam microrganismos para remover materiais orgânicos e inorgânicos e realizar processos como a carbonácea, a nitrificação e a desnitrificação.

O processo de purificação dos efluentes de EAS geralmente consiste em cinco etapas sucessivas, incluindo o pré-tratamento (físico e mecânico), o tratamento primário (físico e químico), o tratamento secundário (químico e biológico), o tratamento terciário (físico e químico) e o tratamento do lodo formado (despejo supervisionado, reciclagem ou incineração) (Crini; Lichtfouse, 2019). Ao longo dessas etapas, ocorre a remoção de sólidos grosseiros e flutuantes, matéria mineral sedimentável, sólidos inorgânicos, matéria orgânica em suspensão e eliminação de organismos patogênicos (Lima, 2023).

Os métodos comuns de tratamento de esgotos possuem desvantagens, como o consumo exagerado de energia, geração de grande quantidade de lodo e emissão de GEE. Esses processos de tratamento seguem um sistema de economia linear, ou seja, têm como principal objetivo apenas gerar um efluente tratado, mas sem proporcionar a recuperação de energia e recursos (Oliveira *et al*., 2022).

Segundo Oliveira *et al*. (2022), a implementação de estratégias de tratamento de esgoto voltadas para os princípios da EC propõe uma mudança na forma como o esgoto é compreendido. Em vez de ser considerado apenas um passivo ambiental, como ocorre no modelo linear, ele passa a ser um recurso capaz de promover receitas a partir do seu tratamento, com foco na recuperação e no aproveitamento de subprodutos. Os componentes do sistema são interpretados com um novo olhar para a sustentabilidade, alinhando-se aos princípios da EC.

O tratamento eficiente de esgotos é uma forma de atingir os objetivos estabelecidos pela ONU até 2030, especialmente a ODS 6 (Água Potável e o Saneamento), que busca assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos. Dentro desse objetivo, destacam-se as metas 6.2 e 6.3, que visam garantir o acesso equitativo ao saneamento e à higiene para todos, assim como promover melhoria na qualidade da água a partir da redução da poluição, eliminação do despejo

e minimização da liberação de produtos químicos e materiais perigosos. Também se propõe a diminuição significativa de águas residuais não tratadas, aumentando substancialmente a reciclagem e a reutilização segura em escala global (ONU, 2025).

Além do ODS 6, outros objetivos podem ser atingidos de forma direta ou indireta pela promoção da economia circular e o desenvolvimento sustentável de sistemas de tratamento de esgotos. A geração de energia renovável a partir de gases provenientes de sistemas anaeróbios de ETR, a contribuição para o desenvolvimento de cidades sustentáveis, o controle de GEE e resíduos provenientes desses tratamentos são alguns pontos que se associam com as metas voltadas para a energia limpa e acessível (ODS 7), cidades sustentáveis (ODS 11) e mudanças climáticas (ODS 13) (Oliveira *et al*., 2022).

Gerenciamento de resíduos

O setor da saúde é, em escala global, um dos que crescem mais rapidamente, ocasionando uma geração significativa de resíduos, em razão do fornecimento de uma infinidade de serviços para o controle de doenças e tratamento de pacientes (Kenny; Priyadarshini, 2021). Usando os Estados Unidos como exemplo, Voudrias (2018) destacou que esse país produz cerca de 5,9 milhões de toneladas por ano de resíduos de serviços de saúde (RSS). A pandemia de COVID-19 foi outro fator determinante para o aumento da geração de RSS, devido ao uso de expressivas quantidades de máscaras e EPIs, sendo os países em desenvolvimento os mais afetados por esses resíduos perigosos e tóxicos, devido a sistemas de gerenciamento precários (Dihan *et al*., 2023).

De acordo com a RDC nº 222, de 28 março de 2018 (Anvisa, 2018), os RSS são classificados em cinco grupos: A, B, C, D e E. O grupo A corresponde a materiais com possíveis presenças de agentes biológicos que, por suas características, podem apresentar risco de infecção, como materiais laboratoriais, carcaças, peças anatômicas, tecidos, bolsas transfusionais contendo sangue etc. O grupo B inclui substâncias químicas que podem apresentar riscos à saúde pública ou ao meio ambiente, dependendo de suas características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade, a exemplo de medicamentos, desinfetantes, resíduos contendo metais pesados e reagentes para laboratório. O grupo C engloba quaisquer materiais que contenham radionuclídeos acima dos limites permitidos pela Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), incluindo rejeitos radioativos provenientes de laboratórios de pesquisa e ensino na área da saúde, laboratórios de análises clínicas, serviços de medicina nuclear e radioterapia. O grupo D abrange resíduos que não apresentam risco biológico, químico ou radioativo à saúde ou ao meio ambiente,

podendo ser comparados com resíduos domiciliares, como sobras de alimentos, resíduos de áreas administrativas e materiais utilizados para a higiene, entre outros. O grupo E contempla materiais perfurocortantes ou escarificantes, tais como lâminas de barbear, agulhas, ampolas de vidro, brocas, pontas diamantadas, lâminas de bisturi, lancetas, espátulas e outros semelhantes.

Esses resíduos são gerados principalmente em hospitais, laboratórios, centros de pesquisa, bancos de sangue e casas de repouso (OMS, 2024). Do total de resíduos gerados por EAS, cerca de 85% são gerais, não perigosos, semelhantes aos domésticos. Os 15% restantes são considerados perigosos devido à contaminação biológica, química ou radioativa (OMS, 2024). Para um gerenciamento econômico do tratamento, no entanto, é necessária uma rigorosa segregação no momento de produção desses resíduos.

A gestão inadequada dos RSS pode agravar as mudanças climáticas, decorrente principalmente da sua queima a céu aberto, que libera diversos poluentes perigosos, incluindo dioxinas, furanos e metais tóxicos como chumbo, cádmio e mercúrio, além de elevadas quantidades de dióxido de carbono. Além disso, o descarte de resíduos biodegradáveis provoca emissões significativas de GEE, como metano, cuja influência no clima é ainda mais forte do que a de outros gases (Deviyanti; Shahriar, 2022).

O modelo tradicional de extrair-produzir-descartar tem sido predominante na gestão de resíduos, resultando em impactos ambientais e econômicos cada vez mais visíveis, principalmente em setores como a saúde, em que uma significativa parcela dos resíduos gerados é considerada perigosa, tornando o processo insustentável nesses ambientes (Sepetis; Georgantas; Nikolaou, 2025).

Nesse sentido, a adoção de princípios de EC para a gestão de RSS é considerada uma medida que contribui para a sustentabilidade urbana, pois colabora para a redução dos impactos ambientais, aumenta a eficiência dos recursos e fortalece os fluxos circulares de materiais (D'Alessandro *et al*., 2024). A gestão eficaz dos RSS contribui significativamente para cumprimento de diversos ODS, especialmente: ODS 3 (Saúde e Bem-estar); ODS 6 (Água Potável e Saneamento); ODS 8 (Trabalho Decente e Crescimento Econômico); ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis); e ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima) (Sharma *et al*., 2021).

A implementação da EC no sistema de gerenciamento de RSS é mais complexa do que em outros setores, devido à tipologia dos resíduos, especialmente pela presença de substâncias perigosas, representando um

desafio, já que muitos materiais utilizados nos EAS são de uso único, com baixíssima possibilidade de reciclagem ou reaproveitamento, mesmo em outros setores menos exigentes (Dihan *et al*., 2023).

Para empregar um cenário de gestão sustentável para o sistema de gerenciamento de RSS, é necessário adotar estratégias de EC que envolvam o objetivo de minimizar a geração de resíduos, pois quanto menor a produção de resíduos, menores serão os custos para a sua gestão e maior será a eficiência na utilização de materiais. Para isso, é necessário que os EAS formem equipes que desenvolvam procedimentos estratégicos para a gestão de resíduos, como efetuar compras inteligentes com base no ciclo de vida dos produtos, prever seus efeitos ambientais, como toxicidade, o custo de descarte, como também a possibilidade de reutilização e reciclagem de materiais (Dihan *et al*., 2023).

Para a EC, a aquisição sustentável significa, inicialmente, uma estratégia que visa reduzir o consumo de recursos naturais e materiais e minimizar os impactos ambientais dos insumos utilizados, priorizando produtos compostos de materiais renováveis ou matérias-primas com conteúdo reciclado (Sanofi, 2024). Pode-se destacar a compra de produtos de plástico reciclável, como o polietileno ou o polipropileno, em vez de ferramentas compostas por Policloreto de Vinila (PVC), bem como a substituição das máscaras faciais de uso único por outras de materiais duráveis, que permitam a esterilização e o reaproveitamento (Dihan *et al*., 2023).

Para aplicar estratégias de tratamento de RSS, a segregação na produção se torna fundamental para garantir o manuseio, o descarte e a minimização segura de riscos ambientais e de saúde (Aquilina, 2025). A segregação consiste em separar e selecionar os resíduos no local de geração de acordo com a classificação adotada. Seus principais objetivos são: evitar a contaminação de resíduos considerados comuns; possibilitar a implementação de procedimentos de manejo para cada grupo separado; permitir o tratamento específico para cada categoria de resíduo; minimizar os riscos de contaminação das pessoas responsáveis; reduzir os gastos relacionados ao manejo dos resíduos; possibilitar a adoção de reaproveitamento e reciclagem de resíduos não perigosos (Brasil, [s.d]).

Outra estratégia que procura amenizar os efeitos gerais dos RSS no meio ambiente é estender a vida útil de certos materiais, seja por meio da reutilização, seja a partir de outros meios, como conserto, reforma ou reaproveitamento. Para a adoção dessa prática, entretanto, é necessário implementar técnicas de segregação rigorosa, acompanhada de coletas separadas para distinguir substâncias perigosas, não perigosas, reutilizáveis e recicláveis (Dihan *et al*., 2023). Para que os materiais contaminados usados em EAS possam ser considerados reutilizáveis,

é fundamental que sejam submetidos a rigorosos processos de esterilização (Voudrias, 2018). Entre os itens que podem ser considerados reutilizáveis, destacam-se aventais cirúrgicos, cortinas, capas de mesa, instrumentos cirúrgicos, recipientes para objetos cortantes, instrumentos laparoscópicos, receptáculos de sucção e bandejas anestésicas (Voudrias, 2018).

A reutilização de materiais contribui tanto para a redução de custo quanto para a quantidade de geração de resíduos. Segundo um levantamento realizado por Kwakye, Brat e Makary (2011), estimou-se uma redução de aproximadamente 15.422 kg/ano de resíduos e uma economia de US$ 175.000/ano, em um hospital com 1.000 leitos, apenas utilizando-se recipientes reutilizáveis para materiais cortantes em vez de descartáveis.

Segundo Voudrias (2018), a reciclagem é outra técnica que pode ser empreendida em um EAS antes da eliminação dos resíduos. Devido às preocupações e regulamentações associadas ao manuseio de RSS perigosos, contudo, o uso da reciclagem pode ser difícil, ou até mesmo impossível, quando envolve alguns tipos de resíduos. Há, no entanto, uma enorme quantidade de materiais não perigosos em EAS que podem ser reciclados de forma fácil e segura, contribuindo para as economias ambientais e financeiras. Entre esses materiais estão o envoltório azul – material feito à base de polipropileno usado para embrulhar materiais esterilizados e que representa aproximadamente 20% dos resíduos gerados em salas de cirurgia –, papelão, vidro, papel, latas de bebidas, jornais, revistas, plásticos PET, baterias e equipamentos elétricos e eletrônicos (Voudrias, 2018).

A implementação de práticas de reciclagem pode reduzir de forma significativa o total de resíduos gerados em EAS, contribuindo diretamente para a diminuição das emissões de GEE associadas ao descarte inadequado e a mitigação das mudanças climáticas. Essa iniciativa pode promover economias substanciais de custos referentes ao descarte desses resíduos (Tabibi, 2024). Segundo Ultreras-Rodríguez *et al*. (2024), em uma análise de casos em hospitais e clínicas, a adoção de programas de reciclagem e reutilização contribui para uma redução de até 40% na quantidade de resíduos enviados para aterros sanitários ou incineração. Esses autores afirmam ainda que foi registrada uma diminuição de 18% nos custos operacionais relacionados ao descarte de resíduos em EAS selecionados.

De acordo com MacNeill *et al*. (2020), a transição para uma EC no setor da saúde requer a colaboração de diversos grupos de participantes, como os administradores de hospitais, os prestadores de serviços médicos e os fabricantes de equipamentos, que devem agir com um objetivo compartilhado de transformação sistêmica.

Conclusão

A introdução da EC nos EAS não é apenas uma alternativa viável, mas uma necessidade frente à gama de desafios ambientais, sociais e econômicos enfrentados pela população mundial e pelo planeta. Ao trocar o modelo linear baseado em "extrair, produzir, consumir e descartar" por uma prática que priorize a redução, a reutilização e a reciclagem, os EAS podem minimizar significativamente os seus impactos ambientais, a extração de recursos naturais e gerar benefícios operacionais e financeiros. Essas práticas alinham-se diretamente ao cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, demonstrando a importância do setor da saúde nesse papel.

A adoção de soluções como *design* sustentável, eficiência energética, gestão hídrica adequada, tratamento de efluentes e gerenciamento responsável de resíduos, demonstra que os EAS podem prestar serviços assistenciais de qualidade com responsabilidade ambiental. Os exemplos apresentados no decorrer desta revisão reforçam a eficiência dessas estratégias, comprovando seus benefícios ambientais, econômicos e sociais.

Agradecimentos:

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico o apoio à presente pesquisa.

Referências

ABDALLA, Fernando Antônio; SAMPAIO, Antônio Carlos Freire. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. **Entorno Geográfico**, n. 15, p. 82-102, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.25100/eg.v0i15.6712. Acesso em: 25 jul. 2025.

ALEXIS, G. K.; LIAKOS, P. A case study of a cogeneration system for a hospital in Greece. Economic and environmental impacts. **Applied Thermal Engineering**, v. 54, n. 2, p. 488-496, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.02.019. Acesso em: 26 mar. 2025.

AL-RAWI, Omar F.; BICER, Yusuf; AL-GHAMDI, Sami G. Sustainable solutions for healthcare facilities: examining the viability of solar energy systems. **Front. Energy Res.**, v. 11, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1220293. Acesso em: 26 maio 2025.

ALSAWAF, Ebtisam S.; ALBADRY, Amjad M. Principles for the sustainable design of hospital buildings. **Int. J. Sustain. Dev. Plann**., v. 17, n. 6, p. 1797-1808, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.18280/ijsdp.170614. Acesso em: 11 abr. 2025.

ALTIN, Ahmet; ALTIN, Süreyya. Sustainable Water and Wastewater Management in Hospitals. **Turjoem**, Yozgat, v. 2, n. 1-3, p. 1-7, 2017. Disponível em: https://dergipark.org.tr/en/pub/turjoem/issue/31076/327724. Acesso em: 16 jul. 2025.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 222, de 28 de março de 2018. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2018.

AQUILINA, Jahel. **Public hospital waste segregation practices**: a scoping review. 2024. 96 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Baseada em Evidências e Tomada de Decisão Eficaz) University of Malta, Malta, 2024. Disponível em: https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/132878. Acesso em: 6 jun. 2025.

ARUP Global Consultancy. **Health Care's Climate Footprint**. 2019. Disponível em: https://www.arup.com/insights/healthcares-climate-footprint/. Acesso em: Acesso em: 6 jun. 2025.

AZIZUDDIN, Muhammad; SHAMSUZZOHA, Ahm; PIYA, Sujan. Influence of circular economy phenomenon to fulfil global sustainable development goal: Perspective from Bangladesh. **Sustainability**, v. 13, n. 20, p. 11455, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su132011455. Acesso em: 18 mar. 2025.

BARCELOS, Brenda Rodrigues. Economia Linear: Desafios e Soluções para um Futuro Sustentável. **Blog Crescendo Juntos**, São Paulo, 2024. Disponível em: https://cefsa.org.br/crescendojuntos/economia-linear-desafios-e-solucoes-para-um-futuro-sustentavel/. Acesso em: 29 jul. 2025.

BIRO, Andrew. 16 Sustainable Health Care Design Examples. **Green Building e Design**, 2024. Disponível em: https://gbdmagazine.com/sustainable-health-care-design-examples/. Acesso em: 15 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **UNIDADE 05: Controle de resíduos de serviços de saúde**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, [s.d]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/UNIDADE05.PDF. Acesso em: 06 jun. 2025.

ÇAKIR, Uğur; COMAKLI, Kemal; YÜKSEL, Fikret. The role of cogeneration systems in sustainability of energy. **Energy Convers. Manag**., v. 63, p. 196-202, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.041. Acesso em: 15 maio 2025.

CHARTIER, Yves *et al*. (eds.). **Safe management of wastes from health-care activities**. 2nd ed. Genebra: World Health Organization, 2014. Disponível em: https://www.who.int/iris/bitstream/10665/85349/1/9789241548564_eng.pdf. Acesso em: 1º nov. 2024.

CHEN-XU, José *et al*. Interventions for increasing energy efficiency in hospitals (Protocol). **Cochrane Library**, n. 3, p. 14, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1002/14651858.CD015693. Acesso em: 25 mar. 2025.

CORVALAN, Carlos *et al*. Towards climate resilient and environmentally sustainable health care facilities. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 17, n. 23, p. 8849, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph17238849. Acesso em: 31 jul. 2025.

CRINI, Grégorio; LICHTFOUSE, Eric. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. **Environ Chem Lett**, v. 17, n. 1, p. 145-155, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9. Acesso em: 11 ago. 2025.

D'ALESSANDRO, Carlotta *et al*. Exploring circular economy practices in the healthcare sector: a systematic review and bibliometric analysis. **Sustainability**, v. 16, n. 1, p. 401, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su16010401. Acesso em: 2 abr. 2025.

DAVIS, Annette. Design for Disassembly. **Re-Dwell**, 2024. Disponível em: https://www.re-dwell.eu/concept-definition/51. Acesso em: 24 abr. 2025.

DEVIYANTI, Indah; SYAHRIAR, Irma. **Green hospitals for a healthier future.** Indonesia: OMS - World Health Organization, 2022. Disponível em: https://www.who.int/indonesia/news/detail/15-08-2022-green-hospitals-for-a-healthier-future. Acesso em: 9 maio 2025.

DIHAN, Musfekur Rahman *et al*. Healthcare waste in Bangladesh: Current status, the impact of Covid-19 and sustainable management with life cycle and circular economy framework. **Sci. Total Environ**., v. 871, p. 162083, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162083. Acesso em: 3 abr. 2025.

DURAIVELU, Revati; ELUMALAI, Natarajan. Performance evaluation of a decentralized rooftop solar photovoltaic system with a heat recovery cooling unit. **Environ Sci Pollut Res**, v. 28, p. 19351–19366, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-020-12104-0. Acesso em: 27 mar. 2025.

FERNANDES, Marco Filipe Santos. **Economia Circular no Setor da Saúde**. 2024. 35 p. Dissertação (Mestrado em Economia) Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2024. Disponível em: https://estudogeral.uc.pt/retrieve/276322/Vers%C3%A3o%20Final%20do%20Relat%C3%B3rio%20de%20Est%C3%A1gio_Marco%20Fernandes_2018263816.pdf. Acesso em: 12 mar. 2025.

FERREIRA, Isabela Gobbo; CARAN, Nara da Cruz Carolli. O papel do gerenciamento ambiental na garantia da qualidade da água hospitalar. **Rev Qualidade HC**, Ribeirão Preto, 2023. Disponível em: https://hcrp.usp.br/revistaqualidade/uploads/Artigos/478/478.pdf. Acesso em: 7 nov. 2024.

FRANCO, Andrea *et al*. A review of sustainable energy access and technologies for healthcare facilities in the Global South. **Sustain. Energy Technol**. Assess., v. 22, p. 92-105, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.02.022. Acesso em: 16 maio 2025.

HOCAOGLU, Selda Murat *et al*. Treatment-based hospital wastewater characterization and fractionation of pollutants. **J Water Process Eng**., v. 43, 2021. Disponível em: https://sci-hub.se/uptodate/S2214714421002920.pdf. Acesso em: 13 fev. 2025.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 20887:2020**. Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance. Geneva: ISO, 2020. Disponível em: https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/ISO-20887_2020_01.pdf. Acesso em: 5 maio 2025.

KARLINER, Josh *et al*. Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. **Health Care Without Harm; ARUP**, 2019. p. 43. Disponível em: https://global.noharm.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf. Acesso em: 29 abr. 2025.

KENNY, Christina; PRIYADARSHINI, Anushree. Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health. **Healthcare**, v. 9, n. 3, p. 284, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/healthcare9030284. Acesso em: 1º abr. 2025.

KUMARI, Astha; MAURYA, Nityanand Singh; TIWARI, Bhagyashree. Hospital wastewater treatment scenario around the globe. In: TYAGI, R.D. *et al*. (eds.). **Current developments in Biotechnology and Bioengineering.** Elsevier, 2020. cap. 15, p. 549-570. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7252247/. Acesso em: 13 fev. 2025.

KWAKYE, Gifty; BRAT, Gabriel A.; MAKARY, Martin A. Green surgical practices for health care. **Archives of surgery**, v. 146, n. 2, p. 131-136, 2011. Disponível em: https://jamanetwork.com/journals/jamasurgery/article-abstract/406778. Acesso em: 8 abr. 2025.

LAWSON, Mark; OGDEN, Ray; GOODIER, Chris. **Design in modular construction**. London: CRC Press, 2014, 280 p. Disponível em: https://doi.org/10.1201/b16607. Acesso em: 2 jun. 2025.

LIMA, Isabelle Cardoso Alves de. **Efluentes hospitalares e sua relação com as estações de tratamento de esgoto com ênfase na composição microbiológica**. 2023. 100 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2023. Disponível em: https://hdl.handle.net/11449/251609. Acesso em: 11 ago. 2025.

LOPES, Amanda dos Santos. **Processo de projeto de uma arquitetura sustentável para edificações de saúde**. 2014. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014. Disponível em: http://poscivil.sites.uff.br/wp-content/uploads/sites/461/2018/10/dissertacao_formatada.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia *et al*. Industrialização da construção no Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS): A construção dos hospitais da Rede Sarah: uma tecnologia diferenciada através do Centro de Tecnologia da Rede Sarah – CTRS. **Arquitextos Vitruvius**, São Paulo, v. 134, n. 12, jul. 2011. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.134/3975. Acesso em: 3 jun. 2025.

MACNEILL, Andrea J. *et al*. Transforming the medical device industry: road map to a circular economy: study examines a medical device industry transformation. **Health Affairs**, [S.l.], v. 39, n. 12, p. 2088-2097, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1377/hlthaff.2020.01118. Acesso em: 13 mar. 2025.

MAJUMDER, Abhradeep *et al*. A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. **J Environ Chem Eng.**, v. 9, n. 2, 2021. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33251108/. Acesso em: 13 fev. 2025.

MORALES, Matteo Antonio S. Modular Construction: A Sustainable Solution For Carbon Emission Reduction In The Construction Industry. **Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.**, v. 8, p. 393-401, ISSN 2455-2143, 2023.

OLIVEIRA, Márcio N. de. Reduzindo a pegada de carbono do setor de saúde. **Ambiente Hospitalar**, São Paulo, v. 11, n. 15, p. 5-9, 2021.

OLIVEIRA, Rafael de Freitas *et al*. Estratégias de economia circular no tratamento de esgotos sanitários: o uso de câmaras de vácuo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 11, p. 76584-76592, 2022. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/54865. Acesso em: 5 ago. 2025.

OLIVEIRA, Sarah M. da S. *et al*. Análises microbiológicas da água utilizada em um hospital público no município de Quixeramobim, Ceará. **Brazilian J of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 44092-44098, maio 2021. DOI 10.34117/bjdv.v7i5.29192. Disponível em: https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.29192. Acesso em: 14 nov. 2024.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Hospitais Saudáveis, Planeta Saudável, Pessoas Saudáveis**: Abordando as mudanças climáticas em ambientes de saúde. Geneva: OMS, 2009. 32 p. Disponível em: https://www.who.int/docs/default-source/climate-change/healthy-hospitals-healthy-planet-healthy-people.pdf?sfvrsn=8b337cee_1. Acesso em: 12 maio 2025.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Resíduos de cuidados de saúde**. Geneva: OMS, 2024. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste. Acesso em: 4 abr. 2025.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília: Portal Nações Unidas Brasil, 2025. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br. Acesso em: 6 ago. 2025.

OPS – Organización Panamericana de la Salud. **Agua, saneamiento e higiene en establecimientos de atención de salud de siete países de América Latina.** Washington: OPS, 2021. DOI 10.37774/9789275324653. Disponível em:https://doi.org/10.37774/9789275324653. Acesso em: 24 out. 2024.

OR, Zeynep; SEPPÄNEN, Anna-Veera. The role of the health sector in tackling climate change: A narrative review. **Health Policy**, v. 143, p. 105053, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2024.105053. Acesso em: 1º ago. 2025.

PALIWAL, Shreyansh. **Opportunities and Challenges of Modular Construction in a Hospitality Centric Environment.** 2019. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) - University of Nevada, Las Vegas, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.34917/15778516. Acesso em: 30 maio 2025.

PRADA, Marcela *et al*. New solutions to reduce greenhouse gas emissions through energy efficiency of buildings of special importance - Hospitals. **Science of the Total Environment**, v. 718, p. 137446, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137446. Acesso em: 27 mar. 2025.

PRIYALAL, W. G. S. S. *et al*. Strategies for Effective Water Management in Health Care (HC) Sector in Sri Lanka. **IC-SD**, 2019. Disponível em: https://ic-sd.org/wp-content/uploads/2019/11/sabrina_nazeer.pdf. Acesso em: 17 jul. 2025.

SAJID, Zeerak Waryam *et al*. Climate change mitigation through modular construction. **Smart Cities**, v. 7, n. 1, p. 566-596, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/smartcities7010023. Acesso em: 3 jun. 2025.

SANOFI. **Circular Economy and Waste Management**: Sanofi, 2024. Disponível em: https://www.sanofi.com/assets/dotcom/content-app/documents/2024/Circular-Economy-and-Waste-Management.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

SANTOS, Jagna Stefani dos; TORRES, Maurício C. A. Design biofílico e eficiência energética em centros de saúde: uma revisão bibliográfica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2024. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/5919. Acesso em: 4 jun. 2025.

SCHROEDER, Patrick; ANGGRAENI, Kartika; WEBER, Uwe. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 77-95, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1111/jiec.12732. Acesso em: 18 mar. 2025.

SEPETIS, Anastasios; GEORGANTAS, Konstantinos; NIKOLAOU, Ioannis. A Proposed Circular Economy Model for Hospital Bio-Waste Management in Municipal Settings. **Sustainability**, v. 17, n. 1, p. 20, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su17010005. Acesso em: 19 mar. 2025.

SHARMA, Hari Bhakta *et al*. Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. **Sci. Total Environ**., v. 800, p. 149605, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605. Acesso em: 7 abr. 2025.

SILVA, Alice Marina de Lima da *et al*. Reuse of greywater and rainwater in health units: case study in upas in the municipality of São Gonçalo. **Rev. Gest. Soc. Ambient.**, Miami, v. 19, n. 1, p. 1-11, 2024. Disponível em: https://search.proquest.com/openview/e7b2fae31650392f8ab40ee9096d2115/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2031968. Acesso em: 23 jul. 2025.

SMAS-Sintra – **Serviços Municipalizados de Sintra**, PO. Disponível em: https://www.smas-sintra.pt/sensibilizacao-ambiental/economia-circular/. Acesso em: 17 ago. 2025.

SUSZANOWICZ, Dariusz; RATUSZNY, P. **Energy efficiency improvement in hospital buildings**, based on the example of a selected type of hospital facility in Poland. In: IOP CONFERENCE SERIES: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, v. 564, p. 012129, 2019. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/564/1/012129. Acesso em: 26 mar. 2025.

TABIBI, Alex. Recycling Initiatives in the Healthcare Sector. **Green.Org**, 2024. Disponível em: https://green.org/2024/01/30/recycling-initiatives-in-the-healthcare-sector/. Acesso em: 23 maio 2025.

TEKE, Ahmet; TIMUR, Oğuzhan. Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, v. 33, p. 224-235, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.002. Acesso em: 14 maio 2025.

TEKE, Ahmet; TIMUR, Oğuzhan. Lighting Systems at the Hospitals: An Overview. **Majlesi Journal of Energy Management**, v. 2, n. 2, p. 39-51, 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/download/80313690/pdf.pdf. Acesso em: 28 maio 2025.

TESLIM, Badrudeen. Water Management and Conservation Strategies in Hospitals. **ResearchGate**, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/383784162_WATER_MANAGEMENT_AND_CONSERVATION_STRATEGIES_IN_HOSPITALS. Acesso em 17 jul. 2025.

TOMANEK, Michał. Energy Efficiency in Hospitals–towards Sustainable Healthcare. **Builder**, v. 28, n. 3, p. 38-42, 2024. Disponível em: https://publisherspanel.com/api/files/view/2399802.pdf. Acesso em: 11 jun. 2025.

ULTRERAS-RODRÍGUEZ, Andrés *et al*. Circular Economy in the Health Sector: Sustainable Management of Hospital Waste and Its Environmental Impact. **Seminars in Medical Writing and Education**, v. 3, p. 663, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.56294/mw2024663. Acesso em: 22 maio 2025.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Kigali cooling efficiency programme 2019**. Disponível em: https://www.unep.org/ozonaction/kigali-cooling-efficiency-programme. Acesso em: 22 maio 2025.

VERLICCHI, Paola *et al*. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. **Journal of hydrology**, v. 389, n. 3-4, p. 416-428, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.005. Acesso em: 15 jul. 2025.

VICTORIAN GOVERNMENT DEPARTMENT OF HEALTH. **Guidelines for Water Reuse and Recycling in Victorian Health Care Facilities**. Victoria: Melbourne, 2009. Disponível em: https://vgls.sdp.sirsidynix.net.au/client/search/asset/1161347. Acesso em: 15 jul. 2025.

VIET, H. M. **Reciclagem de metais metálicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/reciclagem-mm/pag4.php. Acesso em: 25 jul. 2025.

VILAS-BOAS, Doris. Sustentabilidade em estabelecimentos assistenciais de saúde: soluções de projeto arquitetônico. **Ambiente Hospitalar**, São Paulo, v. 5, n. 8, p.11-19, 2011.

VOUDRIAS, Evangelos A. Healthcare waste management from the point of view of circular economy. **Waste Management**, v. 75, p. 1-2, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.020. Acesso em: 1º abr. 2025.

VOURDOUBAS, John. Possibilities of using sustainable energy technologies including CHP systems, solar photovoltaics and heat pumps in hospitals. **EJ-Energy**, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.24018/ejenergy.2022.2.2.52. Acesso em: 27 maio 2025.

VOURDOUBAS, John. Use of renewable energy sources for heat and cooling generation in hospitals. **ASRJETS**, v. 79, n. 1, p. 98-112, 2021. Disponível em: https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/6840. Acesso em: 31 mar 2025.

WIPRO LIGHTING. Integrating Smart Lighting Systems in Modern Hospitals: A Bright Future for Healthcare. **Wipro Lighting**, 2024. Disponível em: https://www.wiprolighting.com/blog/integrating-smart-lighting-systems-in-modern-hospitals-a-bright-future-for-healthcare. Acesso em: 28 maio 2025.

ZAZA, Paraskevi N.; SEPETIS, Anastasios; BAGOS, Pantelis G. Prediction and optimization of the cost of energy resources in Greek public hospitals. **Energies**, v. 15, n. 1, p. 14, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/en15010381. Acesso em: 21 mar. 2025.

ZHAO, Yang; ZHAN, Qinchuan; XU, Tiancheng. Biophilic design as an important bridge for sustainable interaction between humans and the environment: Based on practice in Chinese healthcare space. **Comput. Math. Methods Med.**, v. 2022, n. 1, p. 14, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2022/8184534. Acesso em: 11 jun. 2025.

ZHONG, Weijie; SCHRÖDER, Torsten; BEKKERING, Juliette. Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. **Frontiers of Architectural Research**, v. 11, n. 1, p. 114-141, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.07.006. Acesso em: 8 maio 2025.

Autores

Antonio Pedro Alves de Carvalho Arquiteto e engenheiro civil, com pós-doutorado na Universitat Politècnica de Catalunya. Professor titular da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, coordenador do Conselho Editorial da Associação Brasileira para o Desenvolvimento do Edifício Hospitalar (ABDEH), atuando como pesquisador nas áreas de arquitetura hospitalar, metodologia do projeto arquitetônico, meio ambiente e saúde.

Jair de Jesus Lima Bacharel interdisciplinar em Ciência e Tecnologia. Atualmente cursando graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal da Bahia.

Artigo

Iluminação natural e processo projetual de Siegbert Zanettini: Hospital Ermelino Matarazzo

Autores
Danielly Marcianny Silva Eulário Universidade de São Paulo
Paulo Sergio Scarazzato Universidade de São Paulo
Ludmila Cardoso Fagundes Mendes Universidade Federal de Minas Gerais

DOI: 10.62558/2358-3630/23.01.04

Resumo

Este artigo analisa a abordagem da iluminação natural no processo de projeto do arquiteto Siegbert Zanettini, com foco no Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, em São Paulo. A pesquisa parte da discussão contemporânea sobre os benefícios da luz natural em ambientes de cuidado à saúde, especialmente relacionados ao bem-estar, à recuperação dos pacientes e à regulação do ciclo circadiano. O estudo foi desenvolvido por meio de revisão de literatura, análise do projeto arquitetônico e entrevista com o arquiteto. Os resultados evidenciam que soluções arquitetônicas como átrios com claraboias, dispositivos de sombreamento e adequada orientação das fachadas contribuem para a distribuição da luz natural nos ambientes internos. Conclui-se que o processo de projeto desempenha papel fundamental na incorporação de estratégias passivas de iluminação natural, capazes de promover ambientes hospitalares mais humanizados, eficientes e alinhados às condições climáticas locais.

Palavras-chave:

arquitetura hospitalar, iluminação natural, processo de projeto, ecoeficiência, avaliação pós-ocupação.

Introdução

O ambiente hospitalar tem se adaptado às mudanças ocorridas conforme sua função, complexidade e atividades dos ocupantes. O desafio para tais ambientes é contribuir para atenuar o sofrimento (Lisboa, 2021). No entanto, o início do ordenamento dos hospitais não surge pela busca de "uma ação positiva do hospital sobre o doente ou a doença", conforme Lisboa, 2021:

> O primeiro fator da transformação foi, não a busca de uma ação positiva do hospital sobre o doente ou a doença, mas simplesmente a anulação dos efeitos negativos do hospital. Não se procurou primeiro medicalizar no hospital, mas purificá-lo dos efeitos nocivos da desordem que ele acarretava. E desordem aqui significa doenças que ele podia suscitar nas pessoas internadas e espalhar na cidade em que estava situado, como também a desordem econômico-social de que ele era foco perpétuo [...]. (Lisboa, 2021, pág.78)

Edifícios hospitalares diferem de outras tipologias, como observou Jarbas Karman (Bitencourt; Saccomori, 2021), fundador do Instituto de Pesquisas Hospitalares.

> "Creio que poucos sabem 'ver' um hospital, porque o hospital, infelizmente, é pouquíssimo conhecido entre nós; muitos não entram sequer no mérito das soluções apresentadas, não se importando que estas sejam sumárias e superficiais, contanto que o aspecto da planta seja 'limpo' e o exterior monumental. Este modo de aquilatar a obra arquitetônica talvez se preste para prédios comerciais, mas nunca para um hospital. O hospital é bem diferente, pois, ao mesmo tempo em que cada departamento e peça integrante forçosamente têm que observar dimensões exatas, é preciso que estes departamentos e peças sejam dispostos em conformidade com as interligações ideais. Qualquer concessão vai se refletir na elevação do custo de manutenção do hospital." (Jarbas Karman, Folha da Manhã, 24 de agosto de 1958. IPH, 2016)

A postura de Zanettini com relação a projetos hospitalares está plenamente em consonância com a de Jarbas Karman pois, ao trabalhar conscientemente com o potencial da iluminação natural em tais edifícios, contribui com sua eficiência energética. Além disso, a correta utilização da iluminação natural que passa pelo controle da insolação e do ofuscamento nela potencialmente presentes contribui para maior bem-estar, conforto e promoção da saúde de pacientes e de funcionários.

A literatura temática sobre edificações hospitalares indica que as formas convencionais podem promover estresse desnecessário ao paciente e à equipe assistencial. Uma alternativa para reduzir tal problema é a aplicação da metodologia do design baseado em evidências, que pode resultar em projetos com configurações físicas capazes de reduzir a

fadiga, de modo a tornar mais eficientes os cuidados, além de viabilizar ambientes de segurança e de qualidade aos ocupantes (Ulrich *et al*., 2004).

O contato de pacientes hospitalares com a natureza, por meio de acesso visual do leito com o exterior, pode resultar em recuperação mais rápida, com redução do estresse e da dor. Distrações positivas, como o acesso a vistas para a natureza, além do acesso à luz do dia, auxiliam o paciente a sentir o espaço além de sua dor ou angústia (Ulrich, 1991). Nesse contexto, a boa arquitetura hospitalar contemporânea busca através da metodologia do Design Baseado em Evidências, bastante conhecido no meio técnico brasileiro pelo seu nome e sigla em inglês, *Evidence-Based Design* (EBD), atender às necessidades dos diferentes grupos de ocupantes de ambientes hospitalares, o que por vezes pode ser conflitante. É preciso sensibilidade e criatividade. Ulrich propõe avaliar ganhos e perdas para a proporção de um projeto arquitetônico "psicologicamente solidário".

Aspectos como a geometria dos espaços, a orientação do edifício, a transmitância dos vidros e as refletâncias das superfícies internas são relevantes. Fatores externos, como a latitude e a longitude da localidade, os dados climáticos e os tipos de céus, também impactam a quantidade e a qualidade da luz natural nos ambientes. Esses fatores devem ser considerados no projeto arquitetônico com o intuito de otimizar a captação e distribuição da iluminação natural, para a promoção do conforto visual e do bem-estar dos usuários (Garcia *et al*., 2020).

Objetivo

Este artigo tem como objetivo principal analisar a abordagem da iluminação natural no processo de projeto do arquiteto Siegbert Zanettini, adotada no Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, numa época anterior ao uso de princípios hoje discutidos no campo do Design Baseado em Evidências. À frente de seu tempo, Zanettini compreendeu a importância da conexão visual com o exterior e o uso de átrios em seus projetos hospitalares, como recursos para a redução do estresse e suporte psicológico defendidos por Ulrich.

Revisão de literatura

A contribuição da iluminação natural em espaços de cuidado à saúde

A luz dá ritmo à vida através dos efeitos visuais ou não visuais (Brandston, 2010). A contribuição essencial da luz do dia está diretamente ligada ao bem-estar geral do ser humano, relacionada à fisiologia humana, ao contribuir com a regulação do ciclo circadiano, além de reduzir o uso de energia e tornar o ambiente mais humano, acolhedor (Heschong, 2021).

Do ponto de vista fisiológico, a luz do dia exerce um impacto significativo sobre o sistema circadiano humano, responsável pela regulação de diversos processos biológicos, como o ciclo sono-vigília, o humor e os níveis de alerta. A luz que alcança a retina atua como o principal sincronizador desses ritmos biológicos em relação ao ciclo natural de 24 horas do dia e da noite. Quando as pessoas permanecem longos períodos em ambientes com pouca exposição à luz natural, pode ocorrer uma desregulação circadiana, que pode resultar em diversos problemas de saúde, como distúrbios do sono, alterações metabólicas e impactos negativos no bem-estar psicológico (Acosta, Leslie e Figueiró, 2017).

A iluminação natural é amplamente reconhecida como um atributo ambiental fundamental em ambientes de saúde, devido aos benefícios que abrangem a saúde humana, o bem-estar e o desempenho nas atividades cotidianas. Historicamente, a concepção do "hospital terapêutico", no século XVIII, já associava os índices de cura à qualidade espacial, destacando a ventilação e a luz solar como fatores cruciais para a recuperação. Com o avanço das pesquisas contemporâneas, compreendeu-se que a luz não é apenas uma necessidade visual, mas um elemento que influencia o relógio biológico, auxiliando na regulação endócrina e na mitigação do estresse e da fadiga (Ribeiro *et al*, 2020).

Tanto a luz solar direta quanto a luz do dia contribuem para a recuperação de pacientes, principalmente quando lhes possibilitam a visualização do exterior ou, pelo menos, a percepção do transcorrer das horas do dia. As boas práticas nos cuidados para saúde empregadas no fim do século XIX e início do século XX, como o uso de varandas, solares e o contato com o ar fresco em hospitais de tratamento de tuberculose, podem ser vistas como um meio para a recuperação (Cooper-Marcus e Barnes, 1995).

Outro aspecto relevante refere-se ao impacto da iluminação natural sobre o desempenho e a produtividade dos profissionais de saúde. Estudos indicam que ambientes de trabalho adequadamente providos de iluminação natural podem melhorar a concentração, reduzir a fadiga visual e até contribuir para a diminuição de erros dos profissionais de saúde. A presença de luz do dia em estações de trabalho e áreas de atendimento, portanto, não beneficia apenas os pacientes, mas também melhora as condições de trabalho das equipes médicas e técnicas (Capolongo *et al*, 2016).

Além dos efeitos fisiológicos, a iluminação natural contribui para aspectos psicológicos e emocionais dos usuários. A presença de janelas e a possibilidade de visualização do ambiente externo promovem uma sensação de conexão com o mundo exterior, reduzindo a sensação de isolamento frequentemente experimentada por pacientes hospitalizados. Esse contato visual com o exterior pode contribuir para a redução do

estresse e para a criação de ambientes mais humanizados, favorecendo o processo terapêutico (Acosta, Leslie e Figueiró, 2017).

Em ambientes hospitalares, a presença da iluminação natural é considerada um fator determinante de saúde, pois promove a sincronização da fisiologia humana. Estudos indicam que a existência de janelas e o acesso à luz solar reduzem significativamente a ocorrência de dor, febre e depressão pós-operatória nos pacientes. Além disso, a iluminação natural contribui para a melhora do ciclo do sono e acelera a recuperação em tratamentos prolongados, como os oncológicos, e em unidades de terapia intensiva (UTI). A privação desse contato visual com o exterior pode levar o indivíduo a situações de desconforto, uma vez que o contato com o ambiente externo atende a uma necessidade biológica de informação visual (Ribeiro *et al*, 2020).

Além dos benefícios para a saúde e para a experiência do usuário, o aproveitamento da iluminação natural também apresenta vantagens do ponto de vista energético e ambiental. A redução da dependência de iluminação artificial durante o dia pode diminuir o consumo energético dos edifícios hospitalares, contribuindo para estratégias de sustentabilidade e eficiência energética. Ao considerar cuidadosamente aspectos como orientação, dimensionamento de aberturas, materiais e organização espacial, é possível criar ambientes que maximizem os benefícios da luz do dia, promovendo espaços mais saudáveis e eficientes (Acosta, Leslie e Figueiró, 2017).

Influência do design arquitetônico na percepção da luz do dia no espaço construído

As diretrizes presentes em normativas determinam condições e atributos dos espaços de cuidados à saúde, as relações entre janelas, meio externo, interno e os ocupantes, embora ainda não haja uma definição unificada sobre a qualidade de visualização de uma janela aplicada a variados tipos de ocupações e edificações. O processo de projeto de edificações hospitalares deve, assim, ter compromisso com a qualidade de vida dos que irão trabalhar ou se tratar, pois ambientes como os quartos de internação podem exigir aberturas diferentes daquelas em espaços de trabalho, dada a especificidade da ocupação (Ko *et al*., 2021).

O estudo de implantação, a volumetria dos edifícios e a configuração das fachadas são aspectos da maior importância no processo de projeto, por terem relação direta com a qualidade da iluminação natural, incluindo o controle de insolação. Quando o arquiteto tem consciência disso, além de estar no caminho certo para a obtenção de resultados apropriados, facilita o trabalho de consultoria especializada, responsável por assegurar

adequada iluminação natural no interior do edifício, com o controle correto de ofuscamento e de ganhos de calor (Ko *et al*., 2021).

Do ponto de vista do conforto ambiental, a iluminação natural também influencia a percepção estética e a qualidade espacial dos ambientes hospitalares. A variação da luz ao longo do dia cria ambientes mais dinâmicos e agradáveis, contribuindo para a percepção positiva do espaço construído. Nesse sentido, o planejamento efetivo da iluminação natural deve considerar aspectos como orientação solar, dimensionamento das aberturas, materiais internos e estratégias de controle da luz, garantindo níveis adequados de iluminação sem provocar ofuscamento ou desconforto visual (Acosta, Leslie e Figueiró, 2017).

A orientação das fachadas também altera a percepção espacial da luz. Fachadas voltadas ao norte ou ao sul, em latitudes tropicais, apresentam comportamentos distintos de uniformidade e entrada de luz direta, exigindo soluções de design específicas para cada caso. A ausência de elementos de proteção solar, como brises fixos ou móveis, por exemplo, é uma falha comum de projeto que resulta em desconforto visual devido ao excesso de luz direta e ao calor. Assim, o processo de projeto deve equilibrar a necessidade de altas iluminâncias com a qualidade da vista e o controle do ofuscamento, entendendo que soluções de sombreamento e o correto dimensionamento das aberturas são essenciais para garantir espaços internos saudáveis e atrativos (Ribeiro *et al*, 2020).

Entre os elementos arquitetônicos mais importantes para a entrada e distribuição da luz do dia destacam-se o tamanho e a posição das janelas, a proporção entre a área envidraçada e a fachada, a orientação do edifício, bem como as características das superfícies internas. O dimensionamento correto das aberturas é considerado um fator essencial para permitir que a iluminação natural alcance diferentes áreas do ambiente, de modo a oferecer tanto a iluminação visual quanto os estímulos necessários ao sistema circadiano (Acosta, Leslie e Figueiró, 2017).

A presença de janelas permite a visualização da luz do dia, de modo a resultar em um ambiente mais agradável, com vistas e distrações (Lam, 1977). Uma arquitetura baseada em luz natural é uma arquitetura condicionada a condições ambientais. Durante o processo de projeto, há características que precisam ser consideradas para atingir o resultado adequado. Com isso, a integração da iluminação natural no projeto arquitetônico de edificações hospitalares constitui uma estratégia essencial para promover ambientes mais saudáveis, humanizados e eficientes. Ao considerar os efeitos fisiológicos, psicológicos e funcionais da luz do dia, arquitetos e outros profissionais de projeto podem contribuir significativamente para a melhoria da qualidade dos espaços de cuidado e para o bem-estar geral de seus usuários (Acosta, Leslie e Figueiró, 2017).

A altura do peitoril é um elemento de design representativo para o conforto luminoso e a visão do entorno. Janelas com peitoris altos tendem a propiciar um maior alcance na distribuição e na uniformidade da luz, o que diminui a possibilidade de ofuscamento direto no plano de trabalho. Contudo, por estarem acima do campo visual, essas aberturas muitas vezes restringem a visão do paciente do céu, impedindo o contato com a linha do horizonte. Em contrapartida, janelas com peitoris baixos otimizam o contato visual com a paisagem, mas podem gerar uma iluminação pouco uniforme e aumentar o risco de ofuscamento, especialmente para usuários acamados (Ribeiro *et al*, 2020).

Estudos de simulação em ambientes hospitalares demonstram que a relação entre a área da janela e a fachada pode influenciar significativamente os níveis de estímulo circadiano recebidos pelos ocupantes. Em determinados contextos, uma maior proporção de área envidraçada permite que níveis adequados de iluminação natural atinjam áreas mais profundas do ambiente, aumentando a probabilidade de que os usuários recebam estímulos luminosos suficientes para a sincronização dos ritmos biológicos (Acosta, Leslie e Figueiró, 2017).

Os desafios dos hospitais do século XX, por João Filgueiras Lima, Lelé

Zanettini é um admirador do trabalho do Arquiteto João Filgueiras Lima (Lelé) e sua contribuição para a arquitetura na área da saúde no Brasil. Este tópico aborda um pouco do pensamento daquele arquiteto a partir de seu livro: **Arquitetura, uma experiência na área da saúde**. Em entrevista concedida aos autores, Zanettini destacou a influência do trabalho de Lelé em sua trajetória profissional, especialmente no que se refere à relação entre arquitetura, tecnologia e condições ambientais.

> (...) eu tive uma relação muito forte com ele (Lelé), porque também pensava em industrializar. E ele era muito bom mesmo. Ele era o melhor arquiteto da época. De alguma maneira, eu andei meio paralelo ao processo todo de construção brasileira, junto ao Lelé. Sempre no sentido crítico. (Recorte de entrevista concedida pelo arquiteto, professor e Dr. Siegbert Zanettini aos autores em 7/4/2024.)

O modelo de hospital tecnológico consolidou-se no século XX, caracterizando-se pela integração de diferentes especialidades médicas em uma mesma unidade e pelo uso intensivo de tecnologias. Após a Segunda Guerra Mundial, o avanço científico e a participação de grandes empresas no setor médico-hospitalar ampliaram significativamente a oferta de equipamentos e sistemas especializados. Esse processo contribuiu para a automação de diversos serviços hospitalares e para transformações na organização dos espaços e das instalações prediais

(Lima, 2012). O desenvolvimento da bacteriologia e das técnicas de controle de infecção também influenciou diretamente o projeto dos edifícios hospitalares. Nesse contexto, a iluminação e a ventilação naturais, comuns nos hospitais pavilhonares, foram gradualmente substituídas por sistemas artificiais de climatização e iluminação. Como consequência, os ambientes hospitalares tornaram-se mais herméticos e tecnicamente controlados.

> O exibicionismo tecnológico da época tornou o ambiente hospitalar artificial e desumano, ao ponto de influenciar o estágio depressivo do paciente provocando seu estado psicológico, de modo que passou a dificultar os próprios processos de cura. Em 1960, ocorriam esforços para mudar esse modo de pensar o hospital na Fundação Hospitalar de Brasília, em uma tentativa de estabelecer um modelo hospitalar extensível e flexível, que facilitasse as inovações, mas que promovesse hospitais menos herméticos, com integração a espaços externos ajardinados, para que os pacientes tivessem terapias ao ar livre e banhos de sol (Lima, 2012, pág.41).

Método

Com base na revisão de literatura apresentada, a presente pesquisa foi dividida em duas etapas principais: (1) análise do projeto arquitetônico do Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, com ênfase nas estratégias adotadas para a disponibilidade e o controle da luz do dia; e (2) entrevista com o Arquiteto Zanettini.

O ponto de partida para a pesquisa foi a busca e leitura de referências sobre projetos hospitalares, com atenção especial a aspectos de percepção visual e iluminação natural. A bibliografia é discutida com outros autores que evidenciam a importância da iluminação natural nos estabelecimentos assistenciais de saúde, como Ko *et al*., Ulrich, Cooper-Marcus, Barnes e Lima, dentre outros relevantes no contexto abordado.

A pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso qualitativo, com abordagem exploratória, sendo analisadas a orientação azimutal e a morfológica visual. Foi analisado o projeto arquitetônico do Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, com ênfase nas estratégias projetuais relacionadas ao aproveitamento da iluminação natural. A análise foi conduzida com base em critérios identificados na literatura, tais como orientação das fachadas, presença de dispositivos de sombreamento, configuração de átrios e relação entre aberturas e espaços internos. Além disso, foi realizada entrevista semiestruturada com o arquiteto Ziegbert Zanettini, autor do projeto, que confirmou terem sido conscientes as soluções propostas para a iluminação natural e o controle da insolação, pelos benefícios que proporcionam.

Resultados

Análise do projeto

O edifício objeto deste artigo está localizado na região leste da cidade de São Paulo e foi inaugurado em 1991. Ele se destaca pelo engajamento proporcionado, pois foi desenvolvido, planejado e executado em discussão com representantes da comunidade local, além de técnicos da prefeitura e membros da comissão de saúde "ouvindo sugestões e acatando mudanças". Para compreensão de todos a respeito do que estava para ser construído, foi necessário explicar aos membros da comissão o que era um projeto arquitetônico, a necessidade da elaboração de um projeto e como se daria o processo projetual do espaço hospitalar (Zanettini, 2002).



Figura 1 . Hospital Municipal Ermelino Matarazzo. Fonte: Zanettini, 2000.

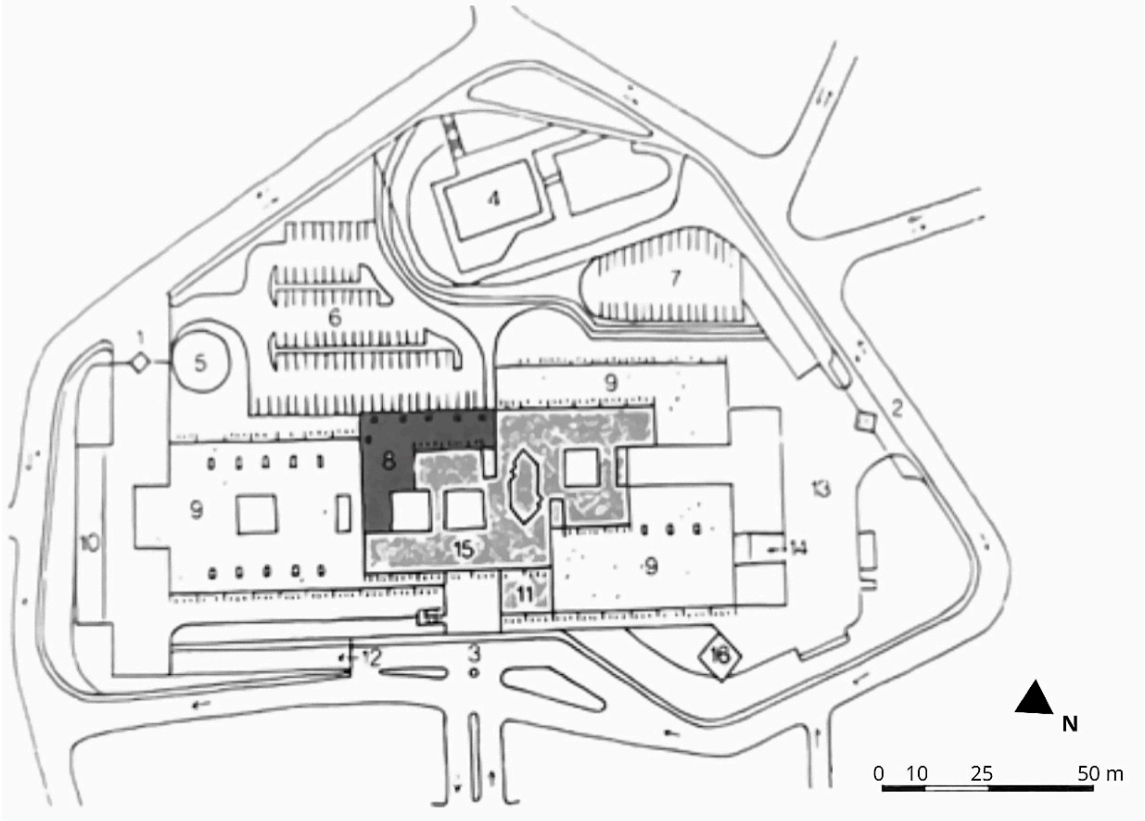
O Hospital Municipal Ermelino Matarazzo difere-se em sua concepção por ser fruto de uma dinâmica colaborativa. Desde acompanhamento da obra até sua inauguração, houve participação da comissão de saúde em todo o processo, em que o arquiteto buscou atender às necessidades da população local, conforme a realidade de quem vive e utiliza o espaço.

> "Nosso hospital é diferente porque nele os detalhes de funcionamento e de arquitetura foram concebidos a partir de sugestões e reivindicações dos usuários. Subimos nos andares para acompanhar o desenvolvimento da obra, para que não atrasasse, opinamos sobre o acabamento e fomos entendendo de piso, contrapiso e pé-direito". (Texto da comissão de saúde para a população. Zanettini, 2000, pág.214.)

A humanização do hospital se iniciou no processo participativo e se materializou na qualidade do objeto arquitetônico, valorizado pela adequada captação e distribuição da iluminação natural, associadas a criterioso controle da insolação.

Análise arquitetônica com base na bibliografia de apoio

O Hospital Municipal Ermelino Matarazzo apresenta soluções a respeito da iluminação natural, como a utilização de claraboias, situadas em átrios, e *brises* nas fachadas nordeste e sudoeste. Para a elaboração deste artigo, foram considerados o terceiro pavimento, destinado a obstetrícia e berçário, e o quarto pavimento, onde se encontram a obstetrícia e a pediatria, conforme as plantas abaixo (Figuras 2 a 4):



IMPLANTAÇÃO
1. Acesso de pacientes externos
2. Acesso de serviço
3. Entrada principal
4. Creche assistencial
5. Heliponto
6. Estacionamento público
7. Estacionamento de funcionários
8. Teto-jardim
10. Garagem de ambulâncias
11. Auditório
12. Entrada de ambulâncias
13. Pátio de serviços
14. Doca
15. Bloco vertical de internações
16. Abastecimento/lavagem/manutenção de veículos

Figura 2 . Implantação do Hospital Municipal Ermelino Matarazzo. Fonte: Zanettini, 2000.

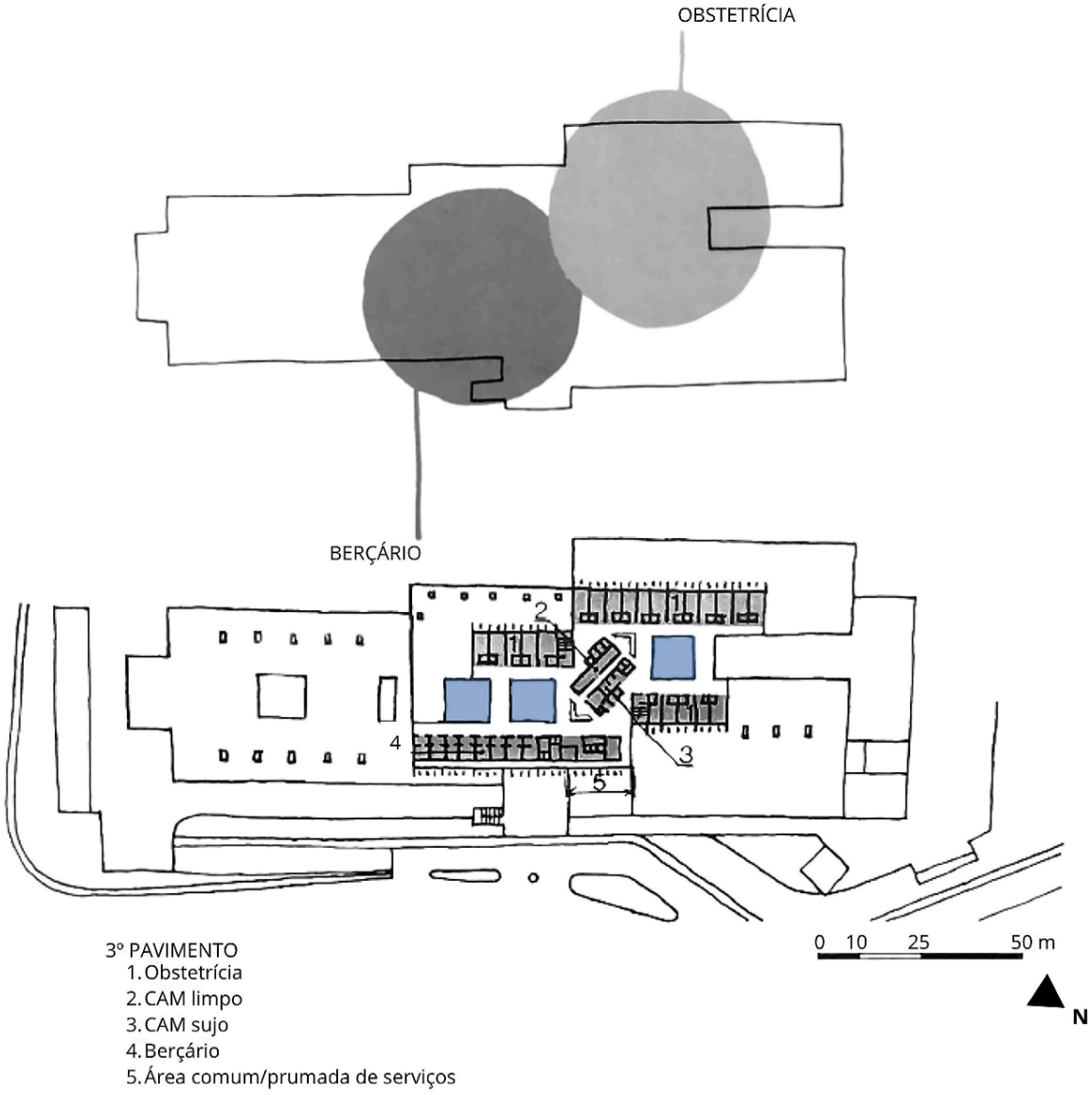


Figura 3 . Diagrama e planta de setorização das unidades de atendimento do terceiro pavimento, com localização da obstetrícia e do berçário. Fonte: Zanettini, 2000.

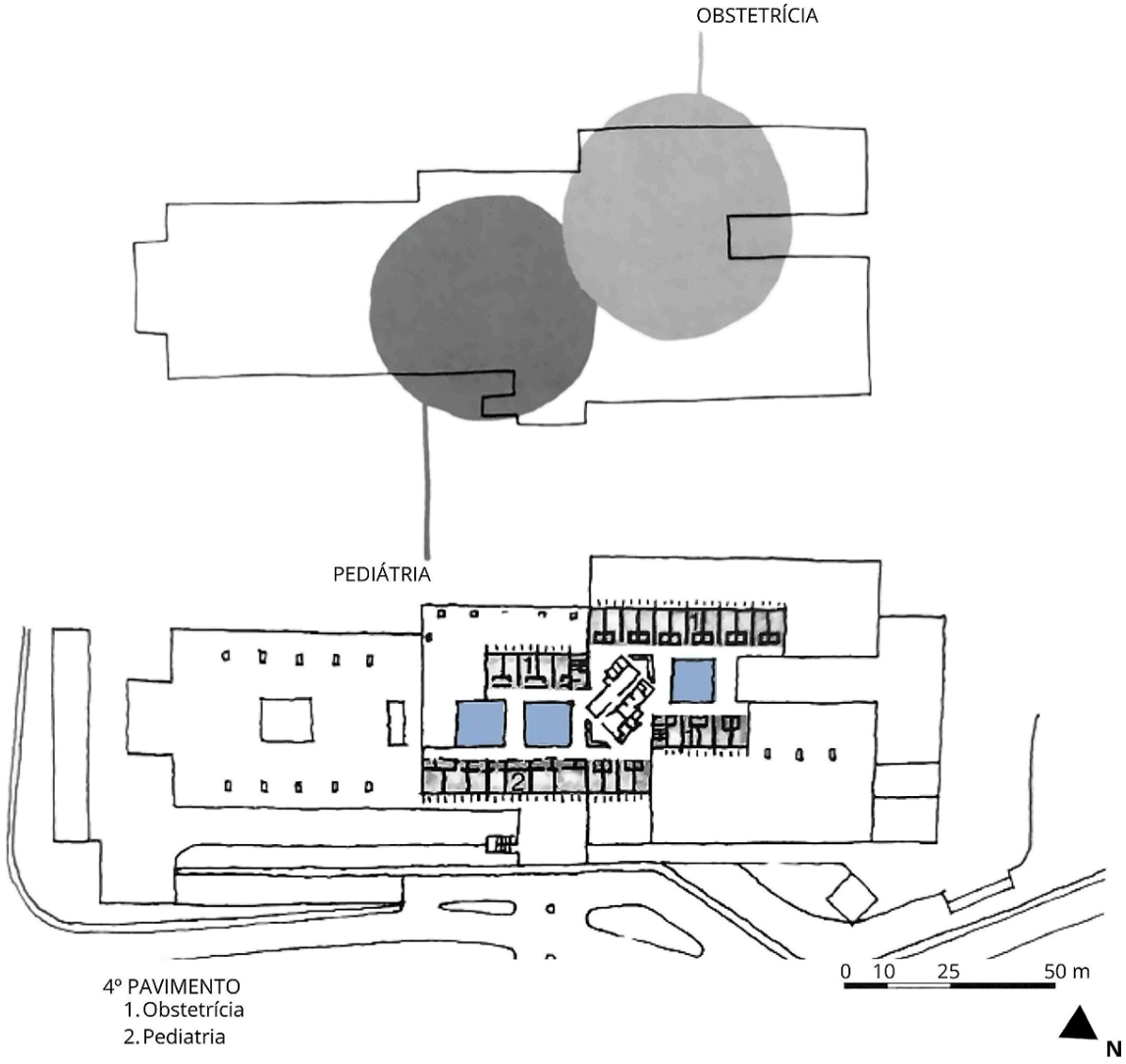
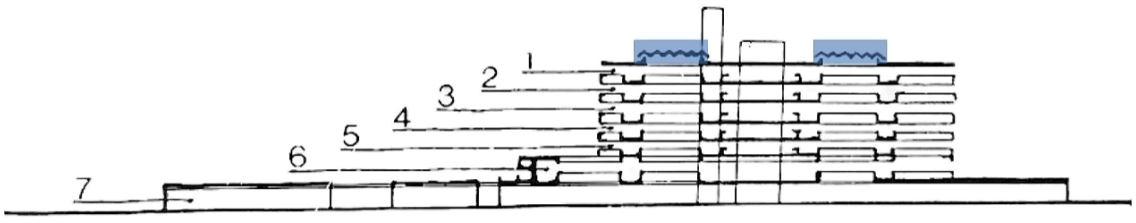


Figura 4 . Diagrama e planta de setorização das unidades de atendimento do quarto pavimento, com localização da obstetrícia e da pediatria. Fonte: Zanettini, 2000.



Átrios
1. Clínica cirúrgica
2. Clínica médica
3. Obstetrícia/pediatria
4. Obstetrícia/berçário
5. Administração
6. Centro e obstétrico/UTI
7. Pronto atendimento/serviços

Figura 5 . Corte esquemático com indicação da setorização das unidades por andar, com a localização da Obstetrícia e Pediatria e da Obstetrícia e Berçário. Fonte: Zanettini, 2000.

Nas plantas, é possível observar três átrios cobertos por claraboias translúcidas, as quais estão presentes em todos os pavimentos. A solução adotada permite a percepção da variação da iluminação natural ao longo do dia e das estações do ano, o que favorece o equilíbrio do ciclo circadiano de todos os usuários, uma vez que pacientes, acompanhantes, equipe médica e assistencial têm acesso visual aos átrios cobertos e iluminados. Além disso, essa solução pode colaborar para a economia de iluminação elétrica, uma vez que todos os pavimentos têm acesso à luz do dia de forma indireta.

Os átrios possuem aletas, que controlam a incidência solar direta, o que resulta em maior conforto visual. A presença de átrios com claraboias permite a distribuição da iluminação natural em áreas profundas da planta hospitalar, estratégia que contribui para níveis mais homogêneos de iluminância e reduz a dependência de iluminação artificial durante o período diurno.

Outra solução adotada por Zanettini é o uso de elementos de sombreamento das aberturas nas fachadas, por meio de *brises* fixos, que proporcionam mais controle de ofuscamento e distribuição da luz difusa, aumentando o conforto dos pacientes. Os *brises* estão situados em toda a extensão das fachadas noroeste e sudoeste, considerando que, no terceiro pavimento, está localizado o berçário e, no quarto, a pediatria.



Figura 6 . Solução de sombreamento nas fachadas noroeste e sudoeste do Hospital Municipal Ermelino Matarazzo. Fonte: Zanettini, 2000.



Figura 7 . Átrio com cobertura translúcida que permite a percepção da luz do dia. Fonte: Zanettini, 2000.

Entrevista

Em entrevista concedida aos autores em 2024, Zanettini enfatizou a importância da tecnologia na concepção arquitetônica e, consequentemente, na percepção da luz em espaços interiores.

> Não se faz arquitetura sem tecnologia. (...) O mundo das artes e o mundo das ciências, a arquitetura é o encontro das duas. Eu explico por que ela, a arquitetura, procura atender a todas as condicionantes técnicas e visuais e ambientais possíveis. (...) Essa é a minha luta, de entender o nosso clima, mais tarde entender claramente os nossos biomas, e cada um com suas características. Entender os regimes de ventos, a densidade, a abertura de luz, a maneira toda de entender isso no lugar, com seu solo determinado, com seu subsolo também. (Recorte da entrevista concedida pelo arquiteto, professor e Dr. Siegbert Zanettini em 7/4/2024.)

A crítica do arquiteto aos hospitais "fechados e pesados" da década de 60 é refletida em seu processo de projeto, com ênfase na utilização da "ecoeficiência" aplicada no Hospital Ermelino Matarazzo.

> (...) na década de 60 eu comecei a questionar essa arquitetura. Comecei a abordar alguns conceitos de ecoeficiência, começou a surgir a questão da sustentabilidade. A ecoeficiência que eu lancei na década de 1960 estava preocupada, originalmente, em entender a nossa realidade, o nosso meio ambiente, contribuía para a nossa arquitetura. E como ele, de certa maneira, era determinante nessa arquitetura. Então, esse conceito meu vem de muitos anos. Vem de 60 anos. Na época, eu chamava de ecoeficiência, mas eu já começava a discutir nas propostas essa questão de por que as obras tão fechadas, tão pesadas, tão marcantes no sentido de se preocupar com a beleza delas, mas não respondiam, principalmente, às condições ambientais brasileiras. (Recorte da entrevista concedida pelo arquiteto, professor e Dr. Siegbert Zanettini em 7/4/2024.)

Durante a entrevista, o arquiteto também falou sobre a importância de se considerar as condições climáticas locais durante a concepção de projetos arquitetônicos.

> Eu sou brasileiro. E eu entendi meu clima, o projeto também precisa entender esse clima. Para mim, é fundamental. Se não tem isso, para mim, já nasce errado. Eu não penso que a arquitetura é independente do lugar. O lugar é um determinante da arquitetura, é forte. O custo inicial de produção, de pensamento, isso não tem mais. Agora é produzir. (Recorte da entrevista concedida pelo arquiteto, professor e Dr. Siegbert Zanettini em 7/4/2024.)

Discussão

Por se tratar de um projeto com participação social, o Hospital Municipal Ermelino Matarazzo possui especificidades que fazem dele um edifício singular no âmbito da arquitetura para saúde. Conforme apresentado pelo arquiteto Zanettini em seu livro **Arquitetura, Razão, Sensibilidade**, em alguns períodos, as reuniões para discussão do projeto eram semanais e contavam com "pauta previamente discutida em assembleias com os moradores". A análise do Hospital Municipal Ermelino Matarazzo evidencia que as estratégias projetuais adotadas por Siegbert Zanettini antecipam discussões contemporâneas sobre "hospital terapêutico", onde a luz não é apenas uma necessidade visual, mas um elemento de sincronização biológica. Sendo condicionantes técnicas: a integração da luz natural ao ambiente construído, a compreensão do clima e do bioma.

A presença de átrios centrais cobertos por claraboias constitui um elemento fundamental para a distribuição da luz natural nos pavimentos internos do edifício. Essa solução permite que a iluminação diurna penetre em áreas mais profundas da edificação, reduzindo a dependência de iluminação elétrica durante o dia, de modo a contribuir para a percepção da variação luminosa ao longo do tempo. Conforme discutido por Acosta, Leslie e Figueiró (2017), a exposição à iluminação natural desempenha

papel relevante na regulação do sistema circadiano e influencia diretamente o bem-estar e o ritmo circadiano de pacientes e profissionais de saúde.

Além disso, os átrios funcionam como elementos de orientação espacial e de conexão visual entre os diferentes pavimentos do edifício. Essa estratégia contribui para a criação de ambientes mais abertos e menos institucionalizados, o que está em concordância com as discussões propostas por Ulrich (1991) sobre ambientes hospitalares capazes de reduzir o estresse psicológico dos usuários. Outro aspecto relevante refere-se à adoção de dispositivos de sombreamento nas fachadas, por meio de *brise-soleil*. Esses elementos permitem controlar a incidência da radiação solar direta, evitando o ofuscamento e o ganho térmico excessivo, ao mesmo tempo que mantêm a entrada de luz difusa nos ambientes internos. De acordo com Ribeiro *et al*. (2020), estratégias de controle solar são fundamentais para garantir conforto visual e qualidade ambiental em espaços hospitalares.

As soluções adotadas no projeto também demonstram uma forte relação com as condições climáticas locais, aspecto enfatizado pelo próprio arquiteto em entrevista. Essa abordagem evidencia uma postura projetual baseada na compreensão do clima e do contexto ambiental brasileiro, aproximando-se das reflexões propostas por João Filgueiras Lima (2012) sobre a importância de integrar arquitetura, tecnologia e condições ambientais na concepção de edifícios hospitalares. Assim, observa-se que o projeto do Hospital Municipal Ermelino Matarazzo incorpora estratégias positivas de iluminação natural que não apenas respondem a questões técnicas e ambientais, mas também contribuem para a qualidade espacial e para a humanização dos ambientes de cuidado à saúde.

Conclusão

Esta pesquisa demonstrou que as soluções de projeto arquitetônico focadas no aproveitamento da iluminação natural são fundamentais para a criação de ambientes hospitalares humanizados e eficientes. A utilização de elementos de sombreamento e a correta orientação das fachadas podem ser eficazes na atenuação do ofuscamento e na melhoria do conforto térmico, permitindo uma interação positiva entre o usuário e o seu entorno. Conclui-se que o processo de projeto, quando pautado na leitura do lugar e na ciência da luz, é capaz de promover espaços que vão além da funcionalidade técnica, atuando como agentes ativos na humanização e no acolhimento.

Agradecimentos

Os pesquisadores agradecem ao arquiteto Siegbert Zanettini e às suas filhas Adriana e Luciana Zanettini o apoio e a colaboração à pesquisa, a entrevista concedida e o compartilhamento dos arquivos dos projetos. Agradecemos também ao professor e pesquisador Erick Vicente, professor do curso de Pós-graduação em Arquitetura Hospitalar do Ensino Einstein – Centro de Educação em Saúde Abram Szajman, por propiciar o contato com o escritório Zanettini Arquitetura.

Referências bibliográficas

ACOSTA, Ignacio; LESLIE, Russell P.; FIGUEIRÓ, Mariana G. **Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms**. Lighting Research & Technology, v. 49, n. 1, p. 49–61, fev. 2017. DOI: https://doi.org/10.1177/1477153515592948

BITENCOURT, Fábio; SACCOMORI, Danilo. **A ergonomia, a cidade e os ambientes interiores: reflexões sobre ambiências, espaço e saúde para o idoso**. Revista da arquitetura - cidadania e habitação, Brasília, v. 1, n. 1. p.12-20, 2021.

BRANDSTON, Howad M. **Aprender a ver: A essência do design de iluminação**. Tradução Paulo Sergio Scarazzato. 1ª ed., De Maio Comunicação e Editora, 2010.

APOLONGO, Stefano *et al*. **Social sustainability in healthcare facilities: a rating tool for analysing and improving social aspects in environments of care**. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità, v. 52, n. 1, p. 15–23, 2016. DOI: https://doi.org/10.4415/ANN_16_01_06

COOPER-MARCUS, Clare e BARNES, Marni. **Gardens in healthcare facilities: Uses, therapeutic benefits, and design recommendations**. The Center for Health Design, Inc. 1995.

GARCIA, M. S.; SOUZA, R. V. G.; MARTINS, M. L.; VELOSO, A. C. O. **Integrando simulação de iluminação natural no processo de projeto: análise comparativa entre duas plataformas computacionais**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v.15, n. 2, p.69-83, 2020.

IPH, Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman. **O desenho de hospitais de Jarbas Karman**. Livro digital. Exposição realizada durante o VII Congresso Brasileiro para o Desenvolvimento do Edifício Hospitalar, entre os dias 28 e 30 de setembro de 2016 - Salvador - BA - Brasil. 1ª edição São Paulo Julho de 2017.

LAM, William M. **And lighting for architecture**. Library of Congress Cataloging in Publication Data. New York, 1977.

LIMA, João Filgueiras. **Arquitetura: uma experiência na área da saúde**. São Paulo: Romano Guerra Editora, 2012.

LISBOA, Teresinha Covas. **História dos hospitais** / Teresinha Covas Lisboa; prefácio Erick Vicente — São Paulo: IPH, 2021. ISBN 978-85-93958-02-1

RIBEIRO, P. V. S.; SANTOS, D. M. L.; VASCONCELLOS, L. T. DE M.; CAVALCANTI, F. A. DE M. S.; CABÚS, R. C. Influência do peitoril de janelas na luz natural e visão de céu em enfermarias. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 11, p. e020009, 13 jul. 2020. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8654728

ULRICH, R. S. Effects of interior design on wellness: Theory and recent scientific research. **Journal of Health Care Interior Design**, v. 3, 97-109, jan. 1991.

ULRICH, R; QUAN, X; ZIMRING, C.; JOSEPH, A.; CHOUDHARY, R. **The Role of the Physical Environment in the Hospital of the 21st Century**: A Once-in-a-Lifetime Opportunity. Concord, CA: The Center for Health Design. 2004

KO, W. H., Schiavon, S., Altomonte, S., Andersen, M., Batool, A., Browning, W., ... Wienold, J. (2022). **Window View Quality: Why It Matters and What We Should Do**. LEUKOS, 18(3), 259–267. https://doi.org/10.1080/15502724.2022.2055428

HESCHONG, Lisa. **Visual Delight in Architecture: daylight, vision, and view**. 1º ed, Abingdon, Oxon; New York: Routledge, 2021

ZANETTINI, Siegbert. **Siegbert Zanettini: Arquitetura, razão, sensibilidade** – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

Autores

Danielly Marcianny Silva Eulário Mestranda no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (FAU-USP). Pós-graduada em Arquitetura Hospitalar pelo Ensino Einstein – Centro de Educação em Saúde Abram Szajman. Graduada em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) e Instituto Politécnico de Bragança (IPB). Afiliada à ABDEH, Associação Brasileira para o Desenvolvimento do Edifício Hospitalar.

E-mail: danielly.eulario@usp.br

Paulo Sergio Scarazzato Professor associado da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo e de Design da Universidade de São Paulo (FAU-USP), escola na qual concluiu sua graduação em Arquitetura e Urbanismo, em 1979. Iniciou sua carreira acadêmica em 1981 e obteve os títulos de Mestre (1988), Doutor (1995), e Livre-docente (2018). Tem especial interesse por temas associados à iluminação (natural e elétrica) aplicada ao processo de projeto do espaço arquitetônico e seu ensino na formação do arquiteto. Como representante da FAU-USP, participa de comissões técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), da Commission Internationale de LÉclairage (CIE), e da Illuminating Engineering Society (IES), entidade da qual é membro desde 2010. Também é membro da Society of Light and Lighting (SLL) desde 2015. Em seu currículo não acadêmico, tem projetos autorais de arquitetura e de iluminação para distintas tipologias de edificação, em diferentes escalas (pequena, média e grande).

E-mail: pasezato@usp.br

Ludmila Cardoso Fagundes Mendes Mestra e doutoranda em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Bolsista CAPES com doutorado sanduíche em andamento na Universidade Politécnica de Gdansk (Polônia). Especialista em Sistemas Tecnológicos e Sustentabilidade Aplicados ao Ambiente Construído pela UFMG. Graduada Arquiteta e Urbanista pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Pesquisadora do Laboratório de Conforto Ambiental e Eficiência Energética no Ambiente Construído (LABCON- UFMG). Afiliada à ABDEH, Associação Brasileira para o Desenvolvimento do Edifício Hospitalar.

E-mail: ludmilamendes@ufmg.br

Artigo

Percepção de gestores hospitalares sobre a incorporação de tecnologias emergentes e seus impactos na infraestrutura física dos hospitais de Santa Catarina

Autores
João Paulo Lucchetta Pompermaier Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Lizandra Garcia Lupi Vergara Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC
Patrícia Biasi Cavalcanti Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

DOI: 10.62558/2358-3630/23.01.05

Resumo

O avanço das inovações tecnológicas tem transformado os hospitais, mas muitas instituições ainda enfrentam dificuldades para adequar sua infraestrutura física, regulatória e organizacional. Este estudo investiga a percepção de gestores hospitalares de Santa Catarina sobre a incorporação de tecnologias emergentes e sua relação com a infraestrutura física. Realizou-se revisão de literatura e entrevistas semiestruturadas com gestores de hospitais públicos e privados, submetidas à análise de conteúdo segundo Bardin (2016). Os resultados evidenciaram desafios como edificações antigas, manutenção preventiva insuficiente, limitação de espaço, exigências regulatórias, TI inadequada, altos custos e escassez de profissionais com visão sistêmica. As áreas mais impactadas foram centro cirúrgico, imagem e diagnóstico, UTI, farmácia, emergência e administração. Como conclusão, evidencia-se que a adoção dessas tecnologias requer planejamento estratégico, reformas físicas, capacitação contínua e políticas públicas de modernização hospitalar.

Palavras-chave:

saúde 4.0; tecnologias emergentes; arquitetura hospitalar; infraestrutura hospitalar; gestão hospitalar.

Introdução

O crescente avanço das inovações tecnológicas tem impulsionado transformações significativas nos hospitais em um contexto global, impactando a gestão, a infraestrutura e a prestação dos cuidados de saúde (Marques; Ferreira, 2020; Raimo *et al*., 2023). A adoção de tecnologias digitais tem evoluído em um ritmo sem precedentes em todos os ecossistemas de saúde (Dal Mas *et al*., 2023) e, muitas vezes, a velocidade da inovação tecnológica supera a capacidade de resposta das instituições hospitalares. Além disso, de acordo com dados recentes, 65% das organizações de saúde aumentaram a adoção de tecnologias digitais após a pandemia da COVID-19 (Deloitte, 2020).

Esse processo é impulsionado também pela Saúde 4.0, conceito emergente derivado da Indústria 4.0, que tem evoluído consideravelmente na última década (Ahsan; Siddique, 2022). O principal objetivo consiste em aplicar os princípios da Indústria 4.0 aos sistemas de saúde, integrando tecnologias emergentes, como Internet das Coisas (IoT), Inteligência Artificial (IA), big data, robótica, computação em nuvem, telessaúde, entre outras (Gupta; Singh, 2022; Pompermaier *et al*., 2024; Tortorella *et al*., 2019). No entanto, para que os serviços de saúde incorporem esses princípios, eles precisam de diretrizes e de uma infraestrutura adequada (Chanchaichujit *et al*., 2019).

Estudos recentes têm buscado compreender os impactos dessas tecnologias emergentes sobre a infraestrutura física dos hospitais. Machry (2010) verificou que a realização de reformas em edificações hospitalares existentes é causada, principalmente, pela incorporação de inovações tecnológicas que alteram de maneira variada a configuração físico-espacial. Bause *et al*. (2019) apontam para a importância de redesenhar os processos hospitalares, enquanto Al-Jaroodi *et al*. (2022) destacam a importância do Plano Diretor Hospitalar para transformar e adaptar as soluções atuais de infraestrutura. Pompermaier (2024) analisou os impactos das tecnologias emergentes nas edificações hospitalares do Brasil, concluindo que esses impactos transcendem o espaço físico e se manifestam em mudanças na estrutura organizacional como um todo.

Incorporar tecnologias emergentes pode trazer inúmeros benefícios para a saúde, como: agilidade, serviços de alta qualidade, cuidados mais precisos e personalizados, maior confiabilidade, redução de custos, entre outros (Al-Jaroodi *et al*., 2020; Bause *et al*., 2019; Gupta; Singh, 2022). No entanto, também existem desafios associados à modernização tecnológica dos hospitais que envolvem barreiras técnicas e de infraestrutura, questões psicológicas e pessoais, preocupações com o aumento da jornada ou da carga de trabalho (Nascimento *et al*., 2023), interoperabilidade, resistência organizacional (Dal Mas *et al*., 2023), entre outros.

Apesar da crescente literatura sobre Saúde 4.0, há uma lacuna de investigação empírica sobre como gestores hospitalares brasileiros percebem e enfrentam os desafios de incorporação tecnológica em contextos de infraestrutura antiga e recursos limitados. Diante desse contexto de transformação, este estudo tem por objetivo investigar a percepção dos gestores de hospitais do estado de Santa Catarina sobre a incorporação de tecnologias emergentes, com foco na relação entre essas inovações e a infraestrutura física hospitalar.

Santa Catarina conta com uma rede hospitalar reconhecida no cenário nacional pela excelência em inovação e gestão na área da saúde, impulsionada nos últimos anos por iniciativas governamentais que buscam modernizar o parque tecnológico e promover a transformação digital do sistema público por meio de investimentos significativos em tecnologia e inovação (FAPESC, 2025; SES-SC, 2025). Esse contexto oferece um ambiente propício para a investigação empírica dos desafios de incorporação tecnológica em hospitais, com possibilidade de análise aprofundada de um sistema de saúde estadual em processo ativo de modernização. Além disso, a delimitação regional favorece uma abordagem aprofundada e contextualizada, possibilitando uma compreensão mais precisa dos desafios e oportunidades da Saúde 4.0 em um contexto regional específico e transferível.

O estado também se destaca por suas características socioeconômicas e de infraestrutura hospitalar, o que viabiliza uma avaliação mais realista da implementação dessas inovações. Ao focar esse recorte geográfico, a pesquisa busca fornecer informações que podem ser aplicadas tanto ao contexto local quanto a outras regiões com perfis similares, contribuindo para a formulação de estratégias mais eficazes na adoção de tecnologias emergentes na área da saúde.

Método

A pesquisa caracteriza-se como de natureza aplicada, com foco na geração de soluções práticas para problemas específicos a partir da coleta de dados em campo. Adota abordagem qualitativa e delineamento exploratório, visando aprofundar a compreensão do fenômeno investigado (Gil, 2023). O percurso metodológico foi estruturado em três etapas sequenciais: (1) revisão da literatura; (2) entrevistas semiestruturadas; e (3) análise dos dados coletados.

A revisão da literatura (Etapa 1) foi realizada por meio de uma pesquisa abrangente em artigos científicos, teses, dissertações e livros, tanto em âmbito nacional quanto internacional. O objetivo dessa etapa foi aprofundar o entendimento sobre a Saúde 4.0 e sua relação com a

infraestrutura física hospitalar, servindo de base para a construção do roteiro de entrevistas.

As entrevistas semiestruturadas (Etapa 2) foram realizadas com gestores hospitalares de instituições públicas e privadas do estado de Santa Catarina. Esse tipo de entrevista é conduzido com base em um roteiro previamente elaborado, mantendo, contudo, flexibilidade para que o pesquisador aprofunde, reformule ou explore os temas conforme o desenvolvimento da conversa. Essa característica confere maior liberdade na condução da entrevista e possibilita uma investigação mais ampla e detalhada das questões de interesse da pesquisa (Marconi; Lakatos, 2017).

A seleção dos participantes foi realizada por meio de amostragem não probabilística intencional, na qual os indivíduos foram escolhidos deliberadamente com base em critérios previamente definidos para a pesquisa (Creswell, 2009; Marconi; Lakatos, 2017). Os critérios de inclusão adotados foram: (i) ser gestor(a) hospitalar atuante em instituição pública ou privada de Santa Catarina; (ii) exercer função de direção, coordenação, gerência, superintendência ou cargo equivalente; (iii) aceitar participar voluntariamente e assinar o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE). Para a operacionalização dessa estratégia, foi realizado um mapeamento dos hospitais a partir do Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES), com consultas específicas para o estado de Santa Catarina. Com base nesse levantamento, os hospitais foram contatados diretamente, e seus gestores foram convidados a participar voluntariamente do estudo.

As entrevistas foram realizadas com 12 gestores entre setembro e outubro de 2024, previamente agendadas com os participantes e conduzidas de forma remota, por videoconferência (plataforma Google Meet), com duração média de 45 minutos, seguindo o roteiro pré-definido (Quadro 1). Antes do início de cada entrevista, os participantes assinaram o TCLE, contendo informações sobre os procedimentos éticos e legais adotados, bem como sua concordância em participar da pesquisa. As entrevistas foram gravadas e posteriormente transcritas na íntegra, assegurando a fidedignidade das informações coletadas.

Parte I: Dados sociodemográficos	
01	Formação
02	Tempo de experiência profissional
03	Instituição (pública ou privada)
04	Cargo exercido
05	Tempo no cargo
Parte II: Dados específicos	
01	Quais são as principais barreiras que o seu hospital enfrenta na incorporação de tecnologias emergentes em termos de infraestrutura física?
02	Como as tecnologias emergentes têm impactado o ambiente físico do seu hospital?
03	Quais setores do hospital você considera que serão mais impactados pela adoção de tecnologias emergentes, e como isso influencia o planejamento arquitetônico?
04	Como você acredita que as tecnologias emergentes vão impactar a curto, médio e longo prazo no planejamento arquitetônico do hospital, e como o seu hospital tem se preparado?

Quadro 1 . Roteiro das entrevistas semiestruturadas. Fonte: Autores, 2024.

Segundo dados de dezembro de 2024 do Observatório de Política e Gestão Hospitalar (OPGH) da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), extraídos do CNES, Santa Catarina conta com 306 hospitais. Esses estabelecimentos se distribuem entre diferentes categorias (hospital-dia isolado, hospital especializado, hospital geral, policlínica/centro de especialidades, centros de parto normal e pronto-socorro/pronto-atendimento) e diferentes regimes jurídicos (privado com e sem fins lucrativos, público e de ensino). A amostra da pesquisa, composta por 12 gestores hospitalares, cada um representando uma instituição distinta, representa 3,92% do total de hospitais no estado. Embora esse percentual seja reduzido, a natureza qualitativa e exploratória do estudo não objetiva representatividade estatística, mas sim profundidade analítica (Creswell, 2009). Na pesquisa qualitativa, uma amostra de 12 participantes é frequentemente considerada suficiente para atingir a "saturação", ponto a partir do qual novas entrevistas não produzem informações substantivamente distintas das já obtidas (Boddy, 2016; Guest; Bunce; Johnson, 2006).

Por fim, para a análise dos dados obtidos (Etapa 3), utilizou-se a técnica de análise de conteúdo, conforme preconizado por Bardin (2016). Esse método permite organizar e interpretar as informações coletadas, transformando os dados brutos em categorias e padrões que evidenciam as principais características do conteúdo analisado.

A análise de conteúdo foi conduzida em três etapas principais: (i) pré-análise; (ii) exploração do material; e (iii) tratamento dos resultados, inferência e interpretação. Na pré-análise, os dados foram organizados, transcritos e submetidos a uma leitura inicial, permitindo a familiarização com o material e a identificação de aspectos relevantes. Nessa fase, também foram definidos critérios e categorias preliminares que orientaram a análise posterior. Na etapa de exploração do material, as respostas foram codificadas e classificadas em unidades de análise, com base na identificação de padrões, recorrências e temas emergentes. Esse processo permitiu a estruturação das informações de maneira sistemática, facilitando a interpretação dos achados. Por fim, na etapa de tratamento dos resultados, inferência e interpretação, os dados organizados foram analisados criticamente à luz do referencial teórico adotado.

Resultados e discussões

Esta seção apresenta e discute os resultados obtidos por meio das entrevistas semiestruturadas realizadas com 12 gestores hospitalares de Santa Catarina, organizados em quatro eixos temáticos: (1) barreiras para a incorporação tecnológica; (2) impactos das tecnologias emergentes no ambiente físico hospitalar; (3) setores hospitalares mais impactados; e (4) perspectivas futuras. Os participantes estavam distribuídos em nove municípios (Araranguá, Blumenau, Chapecó, Florianópolis, Ibirama, Joaçaba, Joinville, Rio do Sul e São José), o que ampliou a diversidade do conjunto empírico e permitiu captar diferentes realidades institucionais e territoriais do estado. Essa abrangência geográfica contribuiu para enriquecer a análise, ao incorporar percepções provenientes de contextos distintos e, assim, oferecer um panorama mais plural e representativo do cenário investigado.

Quanto ao perfil dos participantes, observou-se que 58,3% atuam em instituições públicas, e 41,7%, em instituições privadas, o que permitiu contemplar diferentes modelos de gestão hospitalar. A formação profissional dos gestores foi diversificada, com predominância de enfermeiros(as), refletindo a forte inserção dessa categoria na gestão de serviços de saúde. O tempo de experiência profissional apresentou variação entre os participantes, contribuindo para a incorporação de diferentes níveis de vivência e maturidade na análise das questões investigadas. A Figura 1 apresenta um infográfico com a distribuição geográfica e os dados sociodemográficos da amostra, destacando suas principais características.

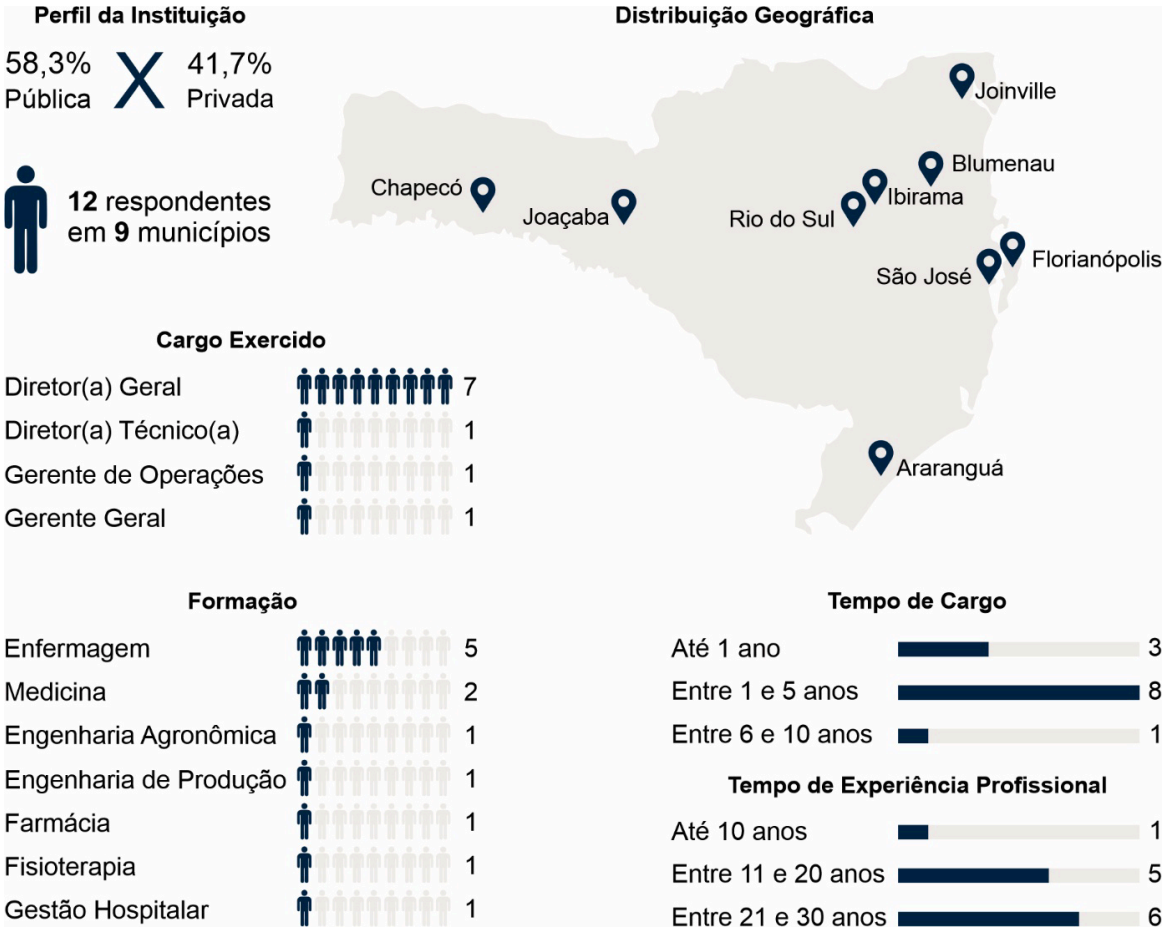


Figura 1 . Infográfico sociodemográfico dos participantes. Fonte: Autores, 2025.

Barreiras para a incorporação tecnológica

Primeiramente, os participantes foram questionados sobre as principais barreiras que o hospital enfrenta para a incorporação de tecnologias emergentes em termos de infraestrutura física. Evidenciou-se uma convergência nas respostas, mas também nuances importantes, sintetizadas no Quadro 2.

Barreira	Descrição	Respondente
Infraestrutura antiga e falta de manutenção preventiva	Edificações hospitalares antigas, muitas sem reformas significativas há décadas, dificultam a adaptação para novas tecnologias. A ausência de manutenção preventiva agrava os problemas estruturais, resultando em intervenções essencialmente corretivas e dispendiosas.	E1, E2, E4, E7, E9, E10, E11
Espaço físico limitado	O crescimento da demanda hospitalar superou a capacidade física das edificações, limitando a instalação de novos equipamentos e tecnologias.	E4, E7
Dificuldade com padrões regulatórios	Crescimento dos hospitais resultou em estruturas que não atendem às normativas atuais, exigindo reformas para adequação.	E8
Problemas na infraestrutura de TI	Hospitais não foram projetados para suportar redes modernas, comprometendo a implementação de tecnologias.	E6, E10, E11
Alto custo de incorporação	Os investimentos necessários para a incorporação são elevados, e muitos hospitais não possuem orçamento suficiente para tais melhorias.	E5, E6, E8, E9, E12
Falta de profissionais com visão sistêmica dos processos hospitalares	A ausência de profissionais qualificados para planejar e gerenciar a implementação de novas tecnologias dificulta a modernização hospitalar. Agrava-se pela rotatividade de contratos temporários, que interrompe a curva de aprendizado.	E3, E4

Quadro 2 . Barreiras para a incorporação de tecnologias emergentes nos hospitais. Fonte: Autores, 2025.

Conforme evidenciado, a adoção de tecnologias emergentes nos hospitais estudados enfrenta desafios estruturais, regulatórios e financeiros.
A infraestrutura antiga representa um dos maiores entraves, pois edificações projetadas há décadas não contemplavam as necessidades atuais de modernização tecnológica, o que foi evidenciado em 7 dos 12 hospitais. A amplitude das idades das edificações na amostra é, por si só, reveladora: os relatos variam de estruturas com 30 anos, como a de E7, a 45 anos, mencionada por E4, passando por uma edificação centenária de 115 anos, citada por E6, até chegar ao caso de E9, que descreve um hospital com 164 anos de existência, casos que apontam para contextos muito distintos de desafios arquitetônicos, os quais não podem ser tratados de forma homogênea pelo planejamento em saúde. Além disso, a limitação de espaço físico agrava a situação. E4, por exemplo, menciona que, devido à falta de áreas disponíveis para expansão, a solução ideal seria a construção de novas unidades.

Entretanto, observa-se que, na prática, a estratégia mais recorrente da gestão pública de saúde tem sido a realização de reformas e ampliações em unidades já existentes para acomodar a crescente demanda de atendimento, em vez da construção de novos hospitais. Essa opção, embora necessária em determinados contextos, muitas vezes compromete a qualidade arquitetônica original, gera sobrecarga nos espaços e não resolve de forma estrutural as demandas de modernização da infraestrutura física. Tal movimento contrasta ainda com a tendência global de descentralização da saúde, na qual se prioriza o planejamento de estabelecimentos menores e mais próximos da comunidade a ser atendida (Mahmood *et al*., 2024; Nunes; Ferreira, 2022).

Outro fator limitador é a necessidade de adequação regulatória. Normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) e das vigilâncias sanitárias estaduais e municipais exigem adaptações específicas nas estruturas hospitalares para garantir a segurança e a qualidade dos serviços prestados. E8 relata que, no caso de seu hospital, inaugurado em 1979, o crescimento ao longo das décadas ocorreu de forma pouco planejada, sem considerar adequadamente as exigências normativas. Atualmente, contudo, a instituição conta com uma arquiteta contratada para planejar novas expansões e serviços já em conformidade com os padrões da vigilância sanitária, o que evidencia tanto a complexidade do processo de modernização quanto a necessidade de um planejamento técnico mais rigoroso.

A infraestrutura de Tecnologia da Informação (TI) é outra barreira significativa. Muitos hospitais não possuem cabeamento adequado ou capacidade para suportar redes de alta performance, o que inviabiliza a implementação de sistemas de monitoramento remoto, prontuários eletrônicos e automação de processos. Entretanto, também há exemplos positivos, como menciona E6, que recentemente superou essa limitação e implementou a checagem beira-leito de administração de medicamentos, demonstrando que a modernização é viável com investimentos direcionados. O caso mais grave identificado na pesquisa, porém, é o de E11, que relata a perda completa dos registros de prontuário eletrônico acumulados de 2018 a 2021, em função de um apagão ocorrido em 2021. O colapso foi atribuído ao uso contínuo de um *data center* instalado em 2008, que deveria ter sido substituído a cada cinco anos. À época da pesquisa, o equipamento ainda não havia sido trocado, ilustrando como a fragilidade da infraestrutura de TI pode ter consequências irreversíveis para a continuidade do cuidado e para a segurança do paciente.

O alto custo para aquisição e incorporação de novas tecnologias é uma barreira transversal a todos os desafios anteriores. Hospitais que desejam incorporar equipamentos de ponta, como robôs cirúrgicos ou sistemas inteligentes de gestão hospitalar, frequentemente esbarram na falta de recursos financeiros, o que é ainda mais evidente nos hospitais públicos (E5, E8, E12). E8 destaca explicitamente que, em sua instituição, a

barreira primária é financeira, e não física: “a maior dificuldade mesmo é financeira... a implantação dessas tecnologias acaba sendo limitada muito mais para a questão de repasse financeiro do que propriamente uma limitação da infraestrutura física”. Esse posicionamento é relevante pois revela que, mesmo onde a infraestrutura física é favorável (E8 descreve um hospital horizontal com boa capacidade instalada), a ausência de previsão orçamentária para investimento constitui o principal obstáculo. Esse cenário reforça a necessidade de políticas públicas e incentivos para facilitar a modernização tecnológica na área da saúde.

Por fim, a falta de profissionais com visão sistêmica dos processos hospitalares compromete a eficácia da implementação de novas tecnologias. A gestão hospitalar moderna exige uma abordagem integrada, combinando conhecimento técnico com planejamento estratégico para otimizar os investimentos em inovação. E3 destaca essa lacuna, ressaltando a necessidade de capacitação de profissionais para liderar processos de transformação digital na saúde. Do mesmo modo, E4 relatou a dificuldade de manter profissionais treinados devido à rotatividade de contratos, comprometendo a curva de aprendizado necessária para o uso eficiente das tecnologias. Esses achados estão alinhados com Dal Mas *et al*. (2023), que identificam a resistência organizacional e a falta de competências digitais como barreiras centrais à transformação digital na área da saúde, bem como com Fogaça (2025), que ressalta a alta rotatividade e os afastamentos de profissionais de saúde, além da importância da retenção de talentos. Nesse sentido, a retenção configura-se como uma estratégia fundamental para garantir a continuidade dos processos, consolidar o aprendizado institucional e favorecer a incorporação sustentável das tecnologias nos serviços de saúde.

Impactos das tecnologias emergentes no ambiente físico hospitalar

Na sequência, os entrevistados foram questionados sobre a forma como as tecnologias emergentes têm impactado o ambiente físico do hospital. A partir das respostas coletadas foi possível identificar padrões comuns entre os hospitais.

Vários hospitais mencionaram a necessidade de adaptações estruturais para acomodar novas tecnologias. E6, por exemplo, destacou que o plano diretor atual já prevê adequações para receber tecnologias de ponta, enquanto E7 ressaltou a necessidade de redimensionamento físico para equipamentos como os de ressonância magnética e *bunkers* de radioterapia.

Em termos de integração tecnológica, os hospitais enfrentam desafios para atualizar suas instalações. E9 mencionou dificuldades na implementação de redes *Wi-Fi* devido à estrutura antiga, exigindo

investimentos muito elevados. E10 também destacou que, pela falta de preparo do edifício para receber cabeamento estruturado, foi necessário instalar sistemas externos e simplificados, com fios aparentes em diversos setores. Essa solução, embora funcional, compromete a limpeza e pode impactar a segurança dos pacientes, aumentando o risco de infecções hospitalares, além de evidenciar as limitações de edificações não projetadas para as demandas atuais de tecnologia. Por outro lado, E8 destacou que a arquitetura horizontal de seu hospital favorece a incorporação de novas tecnologias, facilitando ajustes na infraestrutura elétrica e de rede.

A aquisição de equipamentos modernos tem impactado diretamente os processos hospitalares. E2 citou a implantação de um arco cirúrgico de R$ 500 mil e a introdução de ultrassons portáteis que permitem exames à beira do leito. A evolução das tecnologias de imagem foi destacada como uma das áreas de maior crescimento, corroborando os achados de Topol (2019) sobre a centralidade da imagiologia no processo de digitalização hospitalar.

A modernização tem levado também a um redesenho dos processos hospitalares, como citado por E3. O uso de sistemas digitais para checagem de medicação foi um diferencial, segundo E9, pois envolve recursos como prescrição eletrônica, prontuário eletrônico do paciente e checagem beira-leito. E6 descreve implementação equivalente em que o profissional realiza a leitura do código de barras da pulseira do paciente antes de administrar qualquer medicamento, automatizando tanto a checagem quanto o movimento de estoque. Essas ferramentas permitem automatizar prescrições, reduzir erros de administração, otimizar os estoques de medicamentos e aumentar a segurança assistencial.

Algumas limitações no acesso a tecnologias emergentes foram relatadas por entrevistados, como no caso de E5, que mencionou não dispor desses recursos em sua instituição. Além disso, E10 destacou que a lentidão nos processos de licitação representa um entrave para a implementação de inovações, evidenciando desafios administrativos que podem impactar a modernização, independentemente do porte ou do modelo de gestão do hospital.

Setores hospitalares mais impactados

Para compreender com mais profundidade os impactos da incorporação de tecnologias emergentes, os participantes foram questionados sobre quais setores hospitalares eles consideram os mais impactados, bem como a influência desse processo no planejamento arquitetônico hospitalar. O Quadro 3 apresenta uma síntese dos setores mais recorrentes e suas principais considerações.

Setor	Influência no planejamento arquitetônico	Respondente
Centro Cirúrgico	Necessidade de adequação das salas para novos equipamentos de alta tecnologia (robótica, inteligência artificial, entre outros). A heterogeneidade de tamanhos e *layouts* das salas cirúrgicas existentes é um obstáculo concreto.	E2, E6, E7, E10
Central de Material Esterilizado (CME)	Necessidade de adequação das salas para novos equipamentos de alta tecnologia e fluxos mais eficientes na esterilização.	E1
Imagem e Diagnóstico	Necessidade de salas amplas e infraestrutura para suportar equipamentos avançados, como aparelhos de ressonância magnética, tomografia computadorizada, sistemas de monitoramento contínuo e conectividade digital para prontuário eletrônico, telemedicina e integração de dispositivos inteligentes.	E2, E7, E9
Farmácia	Necessidade de sistemas automatizados para controle de estoque e espaços adaptáveis a tecnologias de rastreamento, como etiquetas RFID, códigos de barras e sensores de localização de equipamentos e materiais hospitalares.	E4, E12
Unidade de Terapia Intensiva (UTI)	Exigência de infraestrutura moderna para suportar tecnologias de monitoramento e assistência digital ao paciente.	E4, E10
Emergência e Pronto-Socorro	Adaptação dos fluxos de atendimento e integração com sistemas de triagem digital.	E8
Administração	Necessidade de espaços para centrais de monitoramento e modernização da infraestrutura para suportar a digitalização dos processos.	E5, E11
Internação	Necessidade de quartos mais inteligentes e automatizados para melhorar a experiência do paciente.	E6
Oncologia e Tratamentos Especializados	Setores dedicados ao tratamento oncológico demandam infraestrutura especializada, incluindo salas de radioterapia com *bunkers* de proteção radiológica, equipamentos de PET-CT para estadiamento de cânceres e, em perspectiva, unidades para realização de terapia CAR-T, uma modalidade inovadora de imunoterapia que consiste na modificação genética de linfócitos T para tratamento de tumores específicos, ainda incipiente no Brasil.	E7, E9, E12

Quadro 3 . Setores hospitalares mais impactados pelas tecnologias emergentes e a influência no planejamento arquitetônico. Fonte: Autores, 2025.

Os resultados da análise revelam que a adoção de tecnologias emergentes tem um impacto significativo em diversos setores hospitalares, com destaque para centro cirúrgico, imagem e diagnóstico, UTI, farmácia e emergência. A modernização desses espaços exige infraestrutura adequada para suportar equipamentos avançados, como robótica cirúrgica, monitoramento por inteligência artificial e sistemas de rastreamento digital de insumos. Além disso, a digitalização da gestão hospitalar e a implementação de telemedicina exigem a criação de espaços específicos para centrais de monitoramento e otimização dos fluxos operacionais. Dois achados merecem destaque especial: (a) a emergência do setor oncológico como área de crescente pressão tecnológica e infraestrutural – E7 descreve uma "demanda oncológica assustadora" decorrente de mudanças no perfil epidemiológico regional, que impulsiona a necessidade urgente de *bunkers* de radioterapia e equipamentos de alta complexidade; e (b) o surgimento de tecnologias de ponta ainda incipientes no Brasil, como a terapia CAR-T, mencionada por E12 como projeto futuro da instituição, indicando que a fronteira de incorporação tecnológica nos hospitais estudados vai além das tecnologias convencionais de Saúde 4.0 discutidas na literatura.

No planejamento arquitetônico, esses avanços exigem uma abordagem mais flexível e adaptável, garantindo que os espaços hospitalares possam evoluir com as novas demandas tecnológicas. A necessidade de ampliação de salas, reconfiguração de fluxos internos e integração de sistemas inteligentes são aspectos fundamentais para a eficiência e a qualidade no atendimento. Assim, as transformações tecnológicas não apenas impactam a eficiência clínica, mas também remodelam a organização espacial dos hospitais. Esse achado reforça o argumento de Al-Jaroodi *et al*. (2022), de que o Plano Diretor Hospitalar deve incorporar uma visão de longo prazo sobre as demandas tecnológicas futuras.

Perspectivas futuras

Por fim, os entrevistados também foram questionados sobre as perspectivas futuras. Os participantes avaliaram como as tecnologias emergentes deverão impactar o planejamento arquitetônico hospitalar no curto, no médio e no longo prazo. As respostas convergiram para um conjunto de tendências e condicionantes inter-relacionadas, mas revelaram também um contraste marcante entre as instituições com planejamento estratégico estruturado e aquelas que operam em modo predominantemente reativo, diferença que não é meramente de capacidade financeira, mas também de governança organizacional.

Em termos gerais, as tecnologias emergentes são percebidas como transformadoras da operação hospitalar, com potencial para acelerar diagnósticos, otimizar fluxos assistenciais e aumentar a segurança do cuidado. E3, por exemplo, destacou que as principais mudanças

deverão ocorrer nos setores de imagem e diagnóstico, apontando para equipamentos mais precisos e para a possibilidade de conectividade via dispositivos móveis que tornem os laudos e as devolutivas mais ágeis. Contudo, E4 evidenciou uma limitação concreta à efetividade dessa transformação digital: a falta de integração entre sistemas de saúde municipais e estaduais, de modo que, apesar do monitoramento de dados internos, muitas instituições ainda não têm acesso a informações de pacientes atendidos em Unidades de Pronto Atendimento (UPAs) ou Unidades Básicas de Saúde (UBS), o que reduz a continuidade do cuidado e o valor agregado pela digitalização. E4 acrescenta que os sistemas vigentes são frequentemente fragmentados e de navegação complexa, evidenciando que a transformação digital hospitalar não se resume à existência de sistemas digitais, mas exige também que esses sistemas sejam integrados, intuitivos e interoperáveis com as demais redes de saúde.

Paralelamente, os entrevistados identificaram que a modernização implica não apenas a incorporação tecnológica, mas também mudanças físicas no edifício hospitalar. Diversas instituições relataram a necessidade de reformas ou ampliações para acomodar novas tecnologias, desde a readequação de áreas de imagem até a criação de unidades especializadas. E2 mencionou que seu plano diretor prevê ampliações, como a modernização do pronto-socorro e a criação de uma nova UTI neonatal, exemplificando planos documentados que, contudo, esbarram nas limitações da estrutura física existente. E7 salientou a necessidade de manutenção e modernização da edificação e planeja a construção de um novo edifício ao longo da próxima década, evidenciando que, para alguns hospitais, a solução de médio prazo passa por novas construções, enquanto outros ainda dependem de reformas internas. O caso mais ambicioso identificado na pesquisa é o de E9, que descreve a construção de uma torre de 10 pavimentos, projetada com foco em tecnologias de ponta (robótica, transporte pneumático e monitoramento em tempo real). A iniciativa representa uma estratégia de longo prazo que se destaca pelo volume de planejamento e pelo grau de ambição tecnológica, contrastando com a realidade da maioria das instituições da amostra.

É importante ressaltar que a padronização dos ambientes surge como condição facilitadora para a incorporação de tecnologias de ponta. Conforme apontado por E6, que observou que a existência de nove salas cirúrgicas com tamanhos e layouts distintos dificulta a adoção de equipamentos, como cirurgia robótica, e impede a otimização de fluxos e custos operacionais. E6 projeta que a padronização dos ambientes cirúrgicos, além de viabilizar a cirurgia robótica em múltiplas salas, trará “redução de custo absurda” pelo ganho de escala nos processos, argumento que articula diretamente arquitetura, eficiência operacional e sustentabilidade econômica da incorporação tecnológica.

A digitalização, embora em curso, manifesta-se com graus diversos de maturidade entre os hospitais estudados. Alguns já dispõem de sistemas de monitoramento avançados e iniciativas organizadas para governança da inovação. Outros, no entanto, enfrentam dificuldades para integrar plataformas heterogêneas e garantir interoperabilidade. E11 chamou a atenção para o fato de que a velocidade de evolução tecnológica foi muito superior à capacidade de alguns hospitais de acompanhar tais mudanças, resultando em processos reativos em vez de proativos, o que reforça a necessidade de políticas institucionais claras para orientar a adoção de novas tecnologias. E10 endossa esse diagnóstico ao afirmar que "as tecnologias vieram de maneira muito rápida e a gente não acompanhou na mesma velocidade", e acrescenta que a ausência de uma política institucional clara de incorporação tecnológica faz com que as aquisições ocorram por demanda, e não por planejamento.

O contraste entre os modos de gestão da inovação é um dos achados mais relevantes do estudo. Enquanto E8 descreve a criação de uma Comissão de Inovação estruturada para avaliar e planejar a incorporação de novas tecnologias, e E12 relata a contratação de empresa externa para conduzir planejamento estratégico em três horizontes temporais (curto, médio e longo prazo), E11 descreve uma realidade oposta: "a gente funciona apagando incêndio diariamente", sem conseguir elaborar planejamento de médio ou longo prazo, pois os recursos financeiros são insuficientes até para cobrir demandas operacionais básicas. Essa assimetria entre instituições revela que a maturidade em governança da inovação não é determinada apenas pelo porte ou perfil jurídico do hospital, mas, sobretudo, pela estabilidade e suficiência do financiamento recebido.

Um aspecto recorrente nas falas foi a centralidade do financiamento e da governança na viabilidade das transformações prospectadas. A maioria dos hospitais apontou dificuldades financeiras que limitam tanto a modernização da infraestrutura quanto a implementação de sistemas digitais integrados. Hospitais públicos, em especial, relataram dependência de repasses e contratos de gestão cujos valores nem sempre cobrem as demandas operacionais e de investimento; E10 exemplificou essa condição ao afirmar que a unidade "trabalha constantemente no vermelho". Por outro lado, E5 declarou não dispor de preparação alguma para implementar tecnologias emergentes, reforçando que a ausência de planejamento financeiro e estratégico é um entrave concreto ao avanço. Esses depoimentos indicam que, para além das decisões projetuais, a incorporação de inovações requer políticas públicas mais robustas, mecanismos de financiamento diversificados e parcerias público-privadas que possam viabilizar intervenções estruturais e assegurar a continuidade dos investimentos em tecnologia.

As estratégias adotadas por algumas instituições apontam caminhos para mitigar os entraves identificados: além da já mencionada Comissão de Inovação, apontada por E8, práticas como a padronização de ambientes cirúrgicos (E6), o plano diretor que contempla expansões estratégicas (E2) e a adaptação de serviços às expectativas das novas gerações de pacientes (E9) demonstram que medidas organizacionais e projetuais podem favorecer transições mais ordenadas. E9 aponta, nesse sentido, uma tendência ainda pouco explorada na literatura nacional: a necessidade de adaptar o produto hospitalar ao perfil tecnológico das gerações mais jovens de pacientes, que chegam ao sistema de saúde com expectativas de experiência digital que os hospitais hoje não estão preparados para atender, tanto em termos de interface quanto de processos assistenciais mediados por tecnologia.

Por fim, a Figura 2 sintetiza, em camadas concêntricas, a relação de interdependência entre as tecnologias emergentes (camada interna), os requisitos físicos e processuais necessários para sua incorporação (camada intermédia) e os condicionantes externos que viabilizam ou limitam esse processo (camada externa).

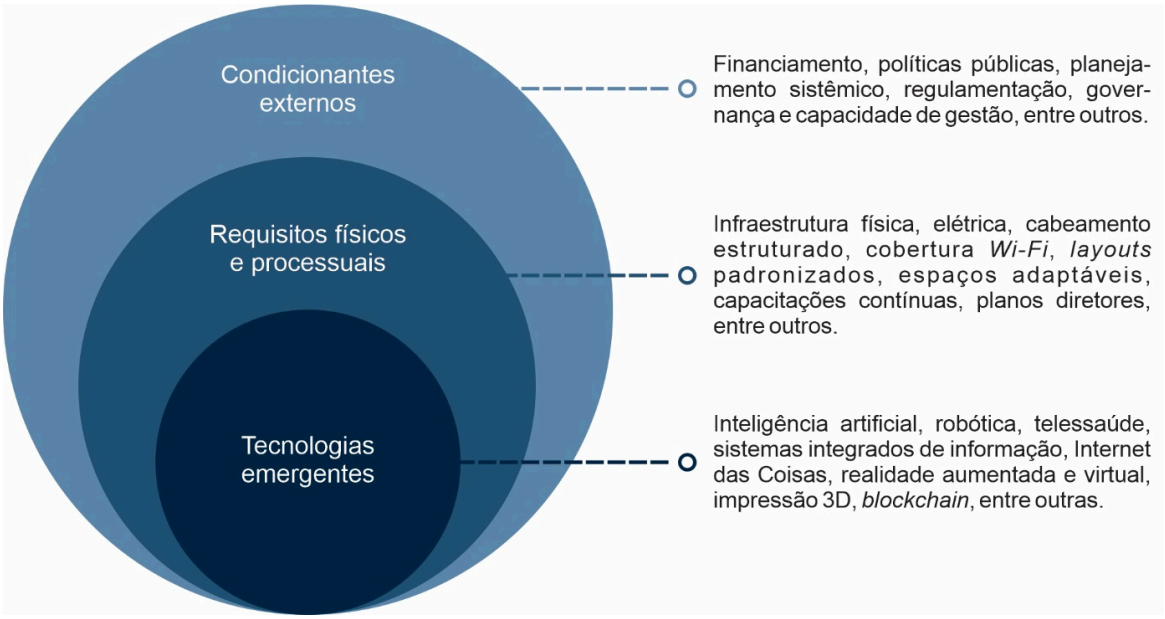


Figura 2 . Diagrama conceitual. Fonte: Autores, 2025.

O diagrama traduz a evidência central do estudo: avanços em tecnologias emergentes só se materializam quando suportados por infraestrutura adequada (salas padronizadas, cabeamento, redes, áreas de imagem), por processos institucionais (planos diretores, comissões de inovação, padronização) e por condicionantes macro ligadas à gestão e ao planejamento da rede de saúde (financiamento, políticas públicas e governança).

Os achados também permitem afirmar que a incorporação tecnológica hospitalar, quando vista da perspectiva dos gestores, é um fenômeno multicamadas: não se resume à disponibilidade do equipamento ou do sistema, mas envolve a adequação física do espaço (dimensões, materiais construtivos, instalações elétricas e de rede), a readequação dos processos operacionais, a capacitação e retenção de profissionais, a sustentabilidade financeira do modelo de gestão e, em última instância, a existência de uma política pública que oriente e financie esse conjunto de transformações de forma coordenada e contínua.

O diagrama pretende não apenas resumir os achados, mas também destacar que a transição para um modelo hospitalar mais tecnológico exige ações coordenadas em múltiplos níveis e depende simultaneamente de investimentos, planejamento arquitetônico consciente, governança institucional e políticas públicas articuladas.

Considerações finais

Este estudo investigou a incorporação de tecnologias emergentes no contexto da Saúde 4.0 nos hospitais do estado de Santa Catarina, com foco na relação entre essas inovações e a infraestrutura física dos hospitais. A partir da análise dos dados coletados, conclui-se que a incorporação de tecnologias emergentes nos hospitais enfrenta desafios multifacetados, envolvendo infraestrutura inadequada, limitações financeiras e a necessidade de políticas públicas mais abrangentes que assegurem a qualidade da saúde e orientem o planejamento estratégico da rede hospitalar. A superação dessas barreiras exige reformas estruturais, capacitação e atualização contínua dos gestores, além de políticas de fomento à modernização e incorporação tecnológica na área hospitalar.

Os achados deste estudo mostram que a incorporação tecnológica na rede hospitalar estadual é heterogênea. Uma parcela reduzida de instituições já implementou tecnologias avançadas e planeja incorporações mais ambiciosas. Contudo, a maioria das instituições enfrenta limitações estruturais e financeiras significativas, o que restringe a adoção generalizada de tecnologias de ponta. Além disso, as falas dos gestores revelam uma distinção perceptível entre setores: hospitais públicos tendem a reportar maior dependência de repasses, entraves em processos de compra e restrições orçamentárias; instituições privadas, embora também enfrentem desafios, frequentemente possuem maior capacidade de investimento e agilidade para incorporar inovações. Essa diferenciação, porém, não é absoluta. Há variação interna em ambos os setores.

Os hospitais, tanto públicos como privados, que já investiram na modernização de sua infraestrutura de TI demonstram que é possível superar essas dificuldades, desde que haja direcionamento adequado de recursos e esforços. Dessa forma, a adoção de tecnologias emergentes pode contribuir significativamente para a eficiência e a qualidade dos serviços de saúde no Brasil.

Diante desse cenário, fica evidente que a transformação hospitalar não é apenas uma questão de modernização tecnológica, mas de reestruturação profunda dos processos hospitalares, da gestão financeira e da cultura organizacional. Como evidenciam os relatos dos gestores, a ausência de financiamento adequado não gera apenas restrição à aquisição de equipamentos: ela produz efeitos sistêmicos sobre a capacidade de planejamento, a motivação das equipes de gestão e a segurança do paciente. Essa cadeia de consequências reforça que a modernização tecnológica hospitalar não pode ser tratada como política setorial isolada, mas deve integrar agendas mais amplas de financiamento, regulação e governança do sistema de saúde. A construção de um ambiente hospitalar mais tecnológico exige um esforço conjunto de gestores, profissionais da saúde e formuladores de políticas públicas, garantindo que as inovações beneficiem, de fato, a qualidade do atendimento e a experiência do paciente.

Embora o estudo esteja delimitado ao estado de Santa Catarina, os desafios identificados, **infraestrutura antiga, restrições financeiras, lacunas regulatórias e escassez de profissionais qualificados**, são compartilhados por outras regiões brasileiras com perfil socioeconômico similar, conferindo relevância mais ampla aos achados. Pesquisas futuras poderiam ampliar o escopo geográfico, incluir análises comparativas entre estados e adotar uma abordagem mista, combinando métodos qualitativos e quantitativos. Essa estratégia permitiria, de um lado, aprofundar a compreensão contextual das experiências e percepções dos atores envolvidos e, de outro, mensurar com maior precisão indicadores de maturidade digital, possibilitando maior robustez analítica e ampliando o potencial de generalização dos resultados.

Referências

AHSAN, M. M.; SIDDIQUE, Z. Industry 4.0 in health care: a systematic review. **arXiv**, 2022. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.06999. Acesso em: 30 abr. 2026.

AL-JAROODI, J. *et al*. Healthcare 4.0 – managing a holistic transformation. In: IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE (SYSCON 2022), 2022. **Proceedings [...]**. IEEE, 2022. DOI: https://doi.org/10.1109/SysCon53536.2022.9773863. Acesso em: 30 abr. 2026.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.

BAUSE, M. *et al*. Design for Health 4.0: exploration of a new area. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN (ICED19), 22., 2019. **Proceedings [...]**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. p. 887–896. DOI: https://doi.org/10.1017/dsi.2019.93. Acesso em: 30 abr. 2026.

BODDY, C. R. Sample size for qualitative research. **Qualitative Market Research: An International Journal**, v. 19, n. 4, p. 426–432, 2016. DOI: https://doi.org/10.1108/QMR-06-2016-0053. Acesso em: 30 abr. 2026.

CHANCHAICHUJIT, J. *et al*. An introduction to Healthcare 4.0. In: CHANCHAICHUJIT, J. *et al*. Healthcare 4.0: next generation processes with the latest technologies. Cham: Palgrave Pivot, 2019. cap. 1. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8114-0_1. Acesso em: 30 abr. 2026.

CRESWELL, J. W. **Research design**: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2009.

DAL MAS, F. *et al*. The challenges of digital transformation in healthcare: an interdisciplinary literature review, framework, and future research agenda. **Technovation**, v. 123, p. 102716, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102716. Acesso em: 30 abr. 2026.

DELOITTE Centre for Health Solutions. **Digital transformation**: shaping the future of European healthcare. 2020. Disponível em: https://www.deloitte.com/dk/en/Industries/government-public/research/shaping-the-future-of-european-healthcare.html. Acesso em: 30 abr. 2026.

FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina. **Governo de Santa Catarina firma acordo inédito de R$ 40 milhões para transformar a saúde pública com tecnologia e inovação**. 6 jun. 2025. Disponível em: https://fapesc.sc.gov.br/governo-de-santa-catarina-firma-acordo-inedito-de-r-40-milhoes-para-transformar-a-saude-publica-com-tecnologia-e-inovacao/. Acesso em: 30 abr. 2026.

FOGAÇA, I. R. Ambientes de trabalho para profissionais da saúde: ergonomia, bem-estar e retenção de talentos. In: POMPERMAIER, J. P. L.; NUNES, T. F. B. (org.). **Temas emergentes em arquitetura e engenharias no contexto hospitalar**. Santa Maria: Arco Editores, 2025. DOI: https://doi.org/10.48209/978-65-5417-541-2. Acesso em: 30 abr. 2026.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

GUEST, G.; BUNCE, A.; JOHNSON, L. How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability. **Field Methods**, v. 18, n. 1, p. 59–82, 2006. DOI: https://doi.org/10.1177/1525822X05279903. Acesso em: 30 abr. 2026.

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: 30 abr. 2026.

MACHRY, H. S. **O impacto dos avanços da tecnologia nas transformações arquitetônicas dos edifícios hospitalares**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. DOI: https://doi.org/10.11606/D.16.2010.tde-15062010-130613. Acesso em: 30 abr. 2026.

MAHMOOD, S. *et al*. Decentralization of the health system – experiences from Pakistan, Portugal and Brazil. **Health Research Policy and Systems**, v. 22, p. 61, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s12961-024-01145-3. Acesso em: 30 abr. 2026.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARQUES, I. C. P.; FERREIRA, J. J. M. Digital transformation in the area of health: systematic review of 45 years of evolution. **Health and Technology**, v. 10, p. 575–586, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s12553-019-00402-8. Acesso em: 30 abr. 2026.

NASCIMENTO, I. J. B. *et al*. Barriers and facilitators to utilizing digital health technologies by healthcare professionals. **npj Digital Medicine**, v. 6, p. 161, 2023. DOI: https://doi.org/10.1038/s41746-023-00899-4. Acesso em: 30 abr. 2026.

NUNES, A. M.; FERREIRA, D. C. A critical analysis of decentralizing the Portuguese public healthcare provision services. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 20, p. 13390, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph192013390. Acesso em: 30 abr. 2026.

POMPERMAIER, J. P. L. **Arquitetura e Saúde 4.0: tecnologias emergentes nas edificações hospitalares do Brasil**. 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/254480. Acesso em: 30 abr. 2026.

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, 2024. DOI: https://doi.org/10.51891/rease.v10i10.15956. Acesso em: 30 abr. 2026.

RAIMO, N. *et al*. The drivers of the digital transformation in the healthcare industry: an empirical analysis in Italian hospitals. **Technovation**, v. 121, p. 102558, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102558. Acesso em: 30 abr. 2026.

SES-SC – Secretaria de Estado da Saúde de Santa Catarina. **Com investimento superior a R$ 2,8 milhões, Governo SC inicia modernização do parque tecnológico da rede hospitalar**. 6 jul. 2025. Disponível em: https://www.saude.sc.gov.br/index.php/pt/component/content/article/com-investimento-superior-a-r-2-8-milhoes-governo-sc-inicia-modernizacao-do-parque-tecnologico-da-rede-hospitalar?catid=84&Itemid=101. Acesso em: 30 abr. 2026.

TOPOL, E. J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. **Nature Medicine**, v. 25, n. 1, p. 44–56, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7. Acesso em: 30 abr. 2026.

TORTORELLA, G. L. *et al*. Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 15, p. 1245–1260, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1702226. Acesso em: 30 abr. 2026.

Considerações éticas

A pesquisa foi submetida ao Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos (CEPSH) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) (CAAE 81424924.0.0000.0121), sendo aprovada sob o parecer n.º 7.157.381. Os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), concordando em participar de forma voluntária, anônima e confidencial.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Autores

João Paulo Lucchetta Pompermaier Doutorando no Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo (PósARQ) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Pós-graduando em Inovação, Tecnologias Emergentes e Imersivas para Saúde Digital (UFG). Especialista em Neuroarquitetura (UNISUL), em Docência no Ensino Superior (UNICSUL) e em Design de Interiores. Graduado em Arquitetura e Urbanismo pela Faculdade Empresarial de Chapecó (FAEM/UCEFF). Membro do grupo de pesquisa GMETTA – Grupo Multidisciplinar de Ergonomia do Trabalho e Tecnologias Aplicadas (UFSC/CNPq) e do Grupo de Estudos em Arquitetura e Engenharia Hospitalar (GEA-hosp/UFBA).

E-mail: joaopaulopompermaier@gmail.com

Lizandra Garcia Lupi Vergara Arquiteta e urbanista e engenheira de Segurança do Trabalho. Doutorado e mestrado na área de Ergonomia pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção (PPGEP) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e pós-doutorado pela University of Illinois at Urbana-Champaign, EUA. Professora titular da Engenharia de Produção da UFSC, atuando na graduação (DEPS) e nas pós-graduações da Engenharia de Produção (PPGEP) e Arquitetura e Urbanismo (PósARQ). É supervisora do Laboratório de Ergonomia (LABERGO) e do Laboratório de Tecnologia Assistiva e Ergonomia (LABTAE). Líder do grupo de pesquisa GMETTA – Grupo Multidisciplinar de Ergonomia do Trabalho e Tecnologias Aplicadas (UFSC/CNPq).

E-mail: l.vergara@ufsc.br

Patrícia Biasi Cavalcanti Doutora em Arquitetura pelo Programa de Pós-graduação em Arquitetura (PROARQ/FAU) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), com estágio de doutorado (doutorado sanduíche) na California Polythecnic State University/CA/EUA. Possui graduação em Arquitetura e Urbanismo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e mestrado em Arquitetura, mais especificamente na subárea de Tecnologia e Habitabilidade, pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Professora adjunta do Departamento de Design e Expressão Gráfica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

E-mail: patibiasi@yahoo.com

Artigo

Hospital de urgências de São Bernardo do Campo: contexto e projeto

Autores

Ângelo Bucci
Sérgio Luiz Salles Souza

Curadoria de imagens e diagramas: **Gabriela Pedini**

DOI: 10.62558/2358-3630/23.01.06

Resumo

O artigo é um estudo de caso sobre a intersecção entre arquitetura de alta complexidade e o diálogo e a resiliência urbana no projeto do Hospital de Urgências de São Bernardo do Campo (HUSBC), onde um equipamento de saúde de 20.600 m² opera como infraestrutura crítica, em um lote com severas restrições hidrológicas e alta densidade urbana, com uma metodologia baseada na análise do processo de codesign participativo e na validação técnica de estratégias bioclimáticas passivas. A adoção do partido de "hospital-dique" e a elevação dos sistemas vitais garantem a continuidade operacional em cenários de estresse ambiental. O rigor técnico-estrutural, aliado ao Design Baseado em Evidências (EBD), posiciona o HUSBC não apenas como um edifício clínico, mas como um dispositivo de ajuste urbano e dignidade social.

Palavras-chave:

arquitetura hospitalar; resiliência urbana; Design Baseado em Evidências; infraestrutura crítica; saúde pública.

1. Introdução – O desafio da alta complexidade em territórios vulneráveis

Um dos grandes desafios da arquitetura para a saúde pública contemporânea no Brasil é conciliar programas de alta densidade tecnológica com contextos urbanos, frequentemente marcados pela carência de infraestrutura e vulnerabilidade ambiental. O Hospital de Urgências de São Bernardo do Campo (HUSBC) situa-se no epicentro dessa discussão. Projetar um hospital de urgência e emergência — equipamento que, por definição, não admite interrupções — em um terreno estreito (185 m x 40 m), com histórico de inundações recorrentes e lençol freático raso, exige que o projeto transcenda a função médica para tornar-se uma "infraestrutura de resistência".

Este artigo tem o objetivo de demonstrar como a escolha do partido arquitetônico foi primordial para a resolução dos conflitos entre a demanda programática e as restrições do sítio. De acordo com o *Manual de Projetos e Obras Sustentáveis* de SBC, a resiliência urbana deve ser o pilar de intervenções públicas em áreas de risco. No HUSBC, essa diretriz materializou-se num conceito arquitetônico que pode ser denominado "hospital-dique", em que o próprio edifício atua como uma barreira técnica e logística.

Pela definição de Roger Ulrich (1984) em seus estudos seminais sobre o impacto do ambiente construído na recuperação de pacientes, a arquitetura pode mitigar o estresse de pacientes e acelerar processos clínicos de recuperação. Diferentemente de um memorial descritivo tradicional, esta análise fundamenta-se no **Design Baseado em Evidências (EBD)**. No contexto do HUSBC, o EBD é, portanto, uma estratégia de gestão.

> A integração da luz natural e a conexão visual com o exterior não são apenas elementos de conforto, mas componentes ativos na regulação do ciclo circadiano e na redução do *delirium* em ambientes críticos. (Adaptado do Memorial de Arquitetura - ARQ-PE-0020.)

O autor propõe uma imersão técnica sobre quatro eixos fundamentais: a metodologia de projeto participativo; as soluções de fluxos pautadas por protocolos de avaliação de risco, como o Protocolo de Manchester; o desempenho bioclimático validado por simulações (Relatório Mitsidi); e a tectônica do concreto protendido como intercolúnio de dez metros e lajes livres de vigas dando garantia de flexibilidade futura. Esta análise evidencia o quanto a arquitetura pública de excelência está alinhada com a resiliência operacional e a humanização do atendimento no Sistema Único de Saúde (SUS).

2. Metodologia – A práxis do codesign e a tomada de decisão baseada em evidências

A complexidade programática de um equipamento de urgência e emergência exige uma metodologia que transcenda a "prancheta" isolada e se estabeleça como um processo de diálogo. No desenvolvimento do HUSBC, adotou-se o codesign (projeto participativo), não apenas como uma ferramenta de escuta, mas como um mecanismo de validação técnica rigorosa. Conforme documentado no *Memorial do Projeto Executivo (PE-0010)*, o processo foi construído em ciclos semanais de colaboração multidisciplinar.

A abordagem encontrou eco na teoria de Sanders e Stappers (2008), que definem a cocriação como uma mudança de paradigma em que o usuário, neste caso, o corpo clínico e técnico, torna-se o especialista em sua própria experiência, enquanto o arquiteto, atua como o facilitador dessa sinergia espacial. A prática de "projeto como pesquisa" permite que o desenho antecipe falhas operacionais otimizando o fluxo de trabalho. Em suas reflexões sobre métodos de participação, Henry Sanoff (2000) aponta que a inclusão das partes interessadas nas fases iniciais do projeto reduz a resistência institucional e aumenta a eficácia funcional do edifício público.

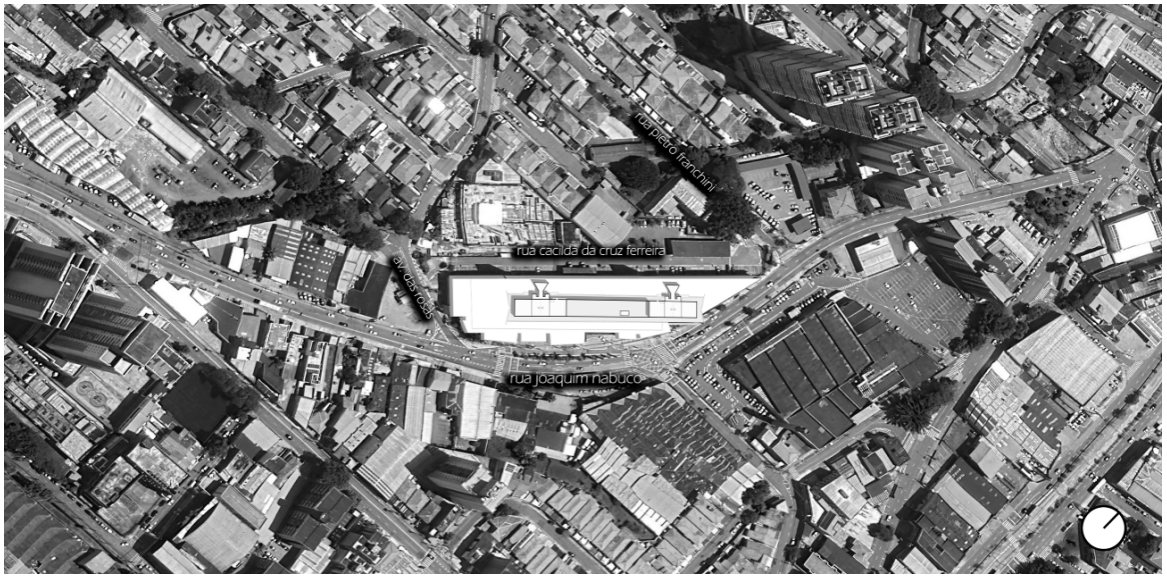
No HUSBC, essa dinâmica foi fundamental para a definição da espinha dorsal técnica e da logística de suprimentos. Cada especialidade (intensivistas, traumatologia, neurologia, pediatria) contribuiu com fluxogramas de atendimento que foram traduzidos em *layouts* espaciais, garantindo que o desenho não fosse apenas uma resposta formal, mas um "algoritmo de cuidado". O processo metodológico seguiu quatro etapas rigorosas:

1. **Imersão e diagnóstico** – Análise das demandas da rede de saúde local.
2. **Síntese e prototipagem de fluxos** – Criação de simulações espaciais baseadas no Protocolo de Manchester.
3. **Iteração técnica** – Reuniões sistemáticas de compatibilização multidisciplinar (estrutura e sistemas prediais).
4. **Validação final** – Homologação de modelos em escala pela Secretaria de Saúde.



3. O sítio – O "hospital-dique" como manifestação da urbanidade infraestrutural

O maior desafio do projeto foi a implantação do HUSBC em um lote de 185 metros por 40 metros, em solo hidromórfico e de baixa declividade. A resposta arquitetônica — o conceito de "hospital-dique" — não é meramente uma solução de engenharia, mas uma afirmação teórica sobre a arquitetura como infraestrutura urbana.



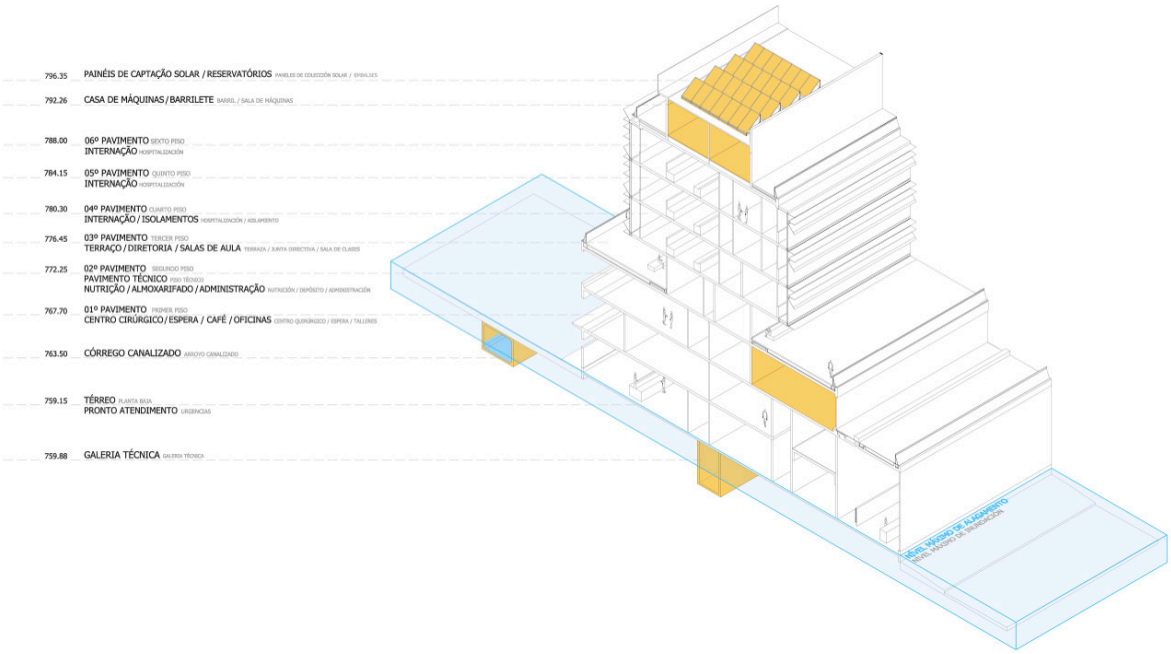
Essa abordagem dialoga com o conceito de infrastructural urbanism proposto por Stan Allen (1999), em que o edifício não é visto como um objeto isolado, mas como um sistema que organiza o território e gera fluxos ambientais. O HUSBC atua como um dispositivo de ajuste urbano que, em vez de negar a vulnerabilidade do terreno, a utiliza para definir seu partido tectônico. Alinhado ao *Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de SBC*, o projeto elevou a cota do pavimento térreo acima da cota histórica de inundação, transformando o embasamento, que define o nível térreo, em uma barreira protetora ativa.





A decisão de locar as centrais de utilidades (*chillers*, geradores e gases) em pavimentos técnicos suspensos (segundo pavimento técnico) subverte a tipologia hospitalar tradicional, que historicamente enterra seu "coração técnico" em subsolos vulneráveis. Aqui, a arquitetura assume uma resiliência crítica, conforme discutido por Kenneth Frampton, em que a forma responde ao local por meio de uma "carpintaria" estrutural clara e funcional. Como destaca o Memorial Descritivo (ARQ-PE-0020):

> A elevação das máquinas para o corpo superior do edifício garante que, em caso de colapso do sistema de drenagem urbana, o hospital mantenha sua autonomia energética, operando como um refúgio de infraestrutura resiliente para a cidade.

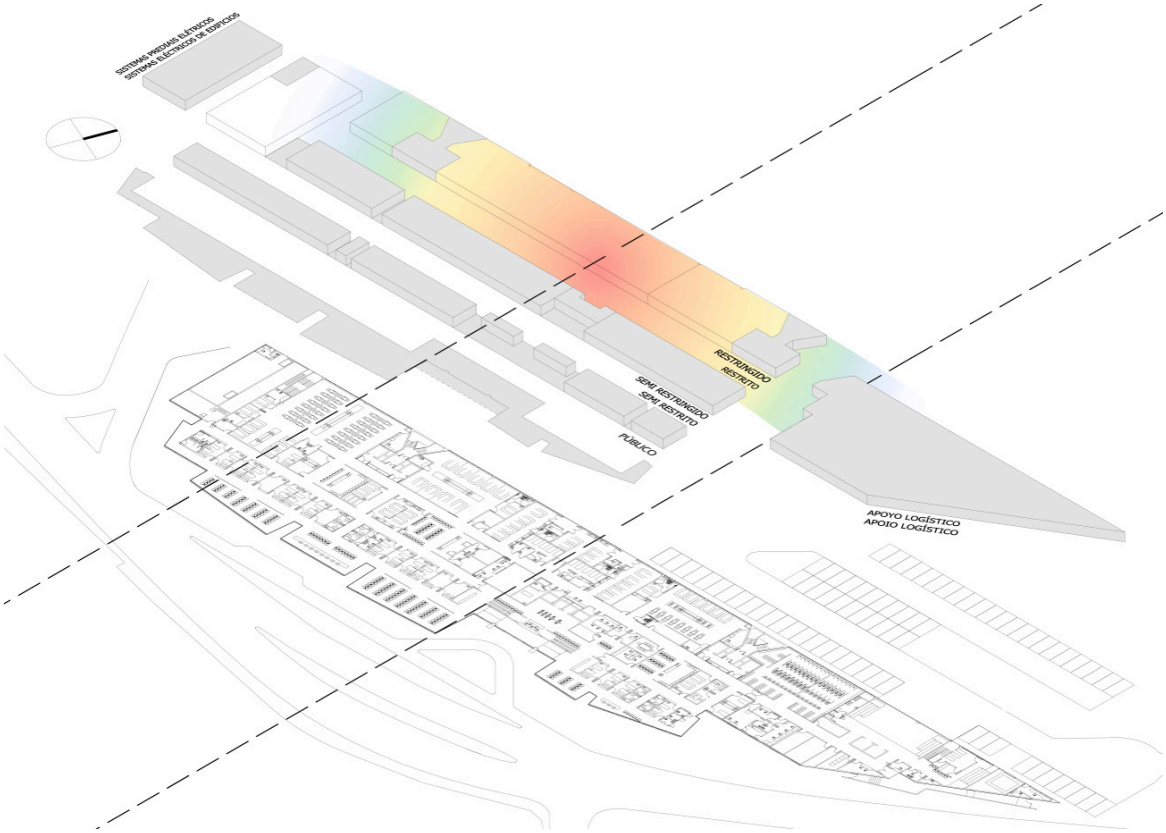


Essa resiliência é materializada pela estrutura de lajes planas em concreto protendido, que, sem vigas, confere ao hospital a liberdade plena de entreforro. Essa flexibilidade é o que permite ao edifício enfrentar o que Keller Easterling (2014) define como o "espaço de infraestrutura": um sistema em constante evolução que deve acomodar atualizações tecnológicas sem comprometer a continuidade do serviço público essencial.



4. A arquitetura como algoritmo de triagem – O Protocolo de Manchester

A organização espacial do HUSBC não é meramente funcionalista, mas a tradução física do **Protocolo de Manchester**, sistema de triagem que classifica o risco clínico em cores (vermelho, laranja, amarelo, verde e azul). No projeto, a arquitetura assume o papel de gestora de fluxos, minimizando cruzamentos e otimizando o tempo-resposta, fator crítico em uma unidade de urgência.



Diferente do modelo hospitalar de "corredor infinito", o partido adotado organiza os fluxos através de uma setorização clara no embasamento. O fluxo de emergência (vermelho e laranja)[1] possui acesso direto e segregado da recepção geral, permitindo que o paciente crítico atinja a sala de estabilização sem interferências[2]. Essa lógica amplamente discutida na literatura contemporânea de gestão hospitalar e denominada internacionalmente de *Fast Track* é materializada por uma espinha dorsal de circulação técnica que conecta verticalmente os pavimentos de diagnóstico e cirurgia.

A eficácia desse sistema reside na clareza das barreiras físicas e visuais. Conforme o *Manual de Conforto Ambiental*, a sinalização e a iluminação

atuam como dispositivos de orientação (mapa cognitivo ou *wayfinding*), reduzindo a ansiedade do usuário e aumentando a precisão da equipe médica. A arquitetura, portanto, não apenas abriga o protocolo, ela o executa quando o paciente se deixa conduzir pelo percurso assistencial de forma intuitiva.

5. A unidade de internação – O modelo 4-em-2 e a dignidade da escala

Um dos pontos de atenção projetual do HUSBC reside na tipologia das enfermarias, o chamado modelo **4-em-2**. Enquanto o padrão convencional do SUS frequentemente adota enfermarias com seis ou mais leitos — o que compromete a privacidade e o controle de infecções — atento à questão, o termo de referência do HUSBC pedia quatro leitos por quarto. A solução arquitetônica proposta subdividiu o ambiente de cada quarto em dois ambientes pela disposição central do sanitário.

Essa solução dialoga diretamente com a tradição do modernismo humanista. Podemos traçar um paralelo com o Sanatório de Paimio, de Alvar Aalto (1933), cujo projeto partia da unidade celular do paciente para definir a forma do edifício. No HUSBC, a redução da escala da enfermaria busca minimizar o que a literatura de Design Baseado em Evidências (EBD) identifica como "estresse ambiental". Ao fragmentar a percepção visual do quarto, o ruído é reduzido e a sensação de controle do paciente sobre o seu entorno é aumentada.

A precisão técnica dessa unidade é reforçada pela supressão do entreforro, permitindo que cada leito possua infraestrutura de gases e elétrica independente, sempre localizada nas paredes, permitindo um ambiente sem forro, com pé-direito mais generoso e de fácil manutenção. O desenho da enfermaria também prioriza a transparência e a luz natural em toda a extensão da fachada, elementos que, segundo Roger Ulrich (1984), são determinantes na redução do tempo de internação. O projeto retoma a pureza funcional de Jan Duiker no Sanatório Zonnestraal (1928), onde a luz e o ar não são apenas complementos, mas materiais de construção fundamentais para a saúde.

> A proposição de janelas baixas e a garantia da vista para o exterior transformam a enfermaria em um espaço de reconexão com o mundo externo, essencial para a manutenção do ciclo circadiano e a estabilidade psíquica do paciente em estado de urgência. (Adaptado do Memorial de Arquitetura – ARQ-PE-0020).

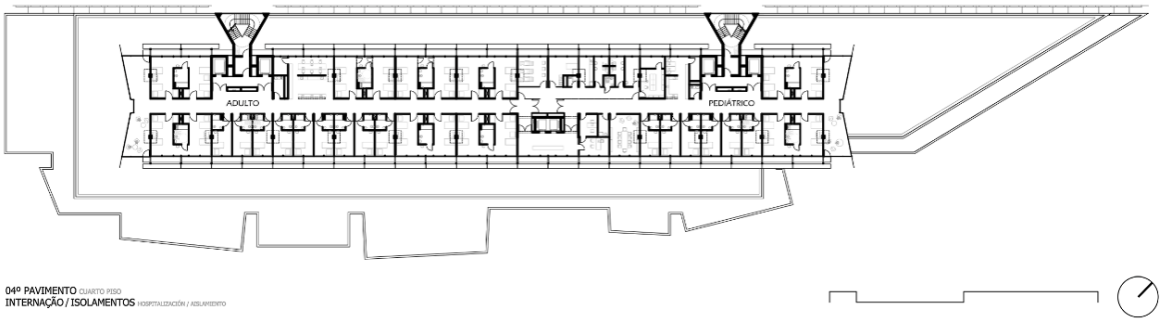
Além do benefício clínico, o modelo 4-em-2 oferece uma vantagem operacional de flexibilidade: em cenários de isolamento por patologias específicas, o hospital pode bloquear apenas dois leitos em vez de uma ala inteira, otimizando a taxa de ocupação do equipamento público.

1 Para aprofundamento: MALKIN, Jain. Hospital Interior Architecture: Creating Healing Environments for Special Patient Populations.

2 HERD Journal (Health Environments Research & Design): Busque por artigos com o termo "Emergency Department Throughput" e "Triage Spatial Configuration".



Embora os setores adulto e pediátrico tenham as suas áreas de acesso de público rigorosamente separadas desde o acesso no nível térreo, a barreira que as separa nos três pisos de enfermaria pode ser aberta de modo a integrar todo o corredor de quartos numa mesma unidade. A estratégia dessa proposta é usar a demanda Sazonal que caracteriza o hospital infantil para liberar leitos para o hospital adulto, tanto por demanda quanto também para viabilizar a manutenção ordinária de quartos de internações.

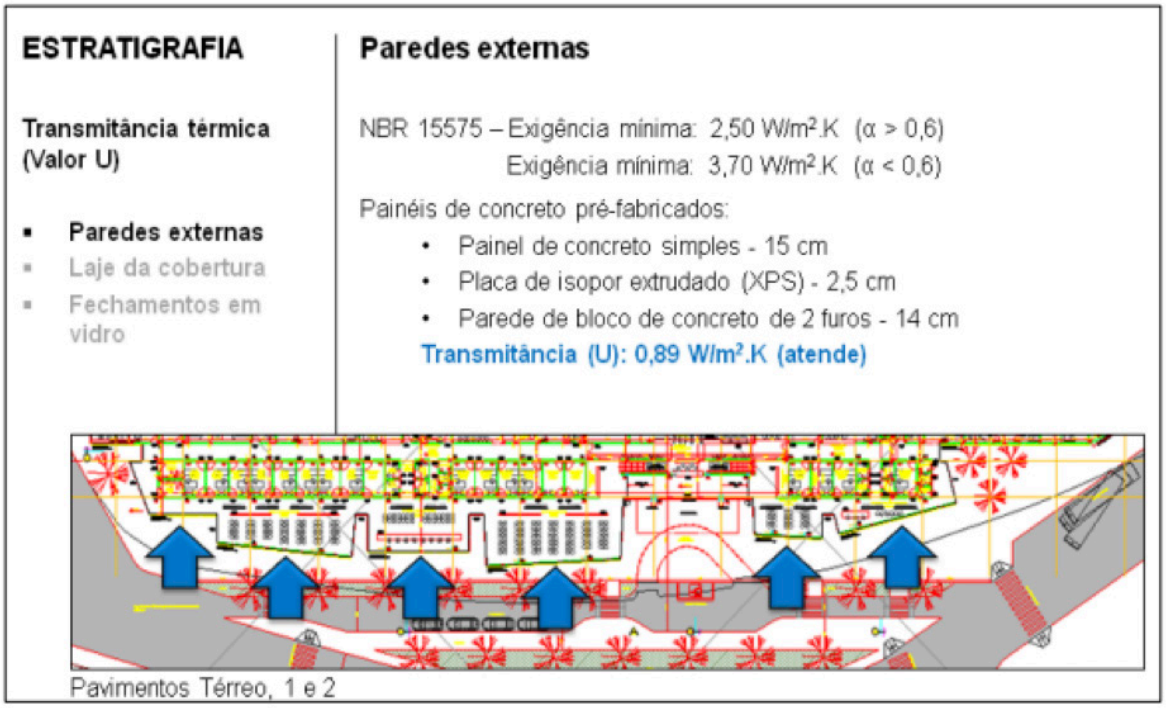


04º PAVIMENTO CUARTO PISO
INTERNAÇÃO / ISOLAMENTOS HOSPITALIZACIÓN / AISLAMIENTO

6. Desempenho bioclimático – A ciência por trás do conforto passivo

Um dos pilares da sustentabilidade operacional do HUSBC é a sua capacidade de oferecer conforto térmico com sistemas passivos, ou seja, com pouca dependência de sistemas mecânicos de climatização, especialmente nas áreas de internação, consequentemente, com baixo consumo de energia. Já que, de acordo com as diretrizes do *Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de SBC*, a redução do consumo energético em edifícios públicos é uma métrica de eficiência da gestão. No HUSBC, essa meta foi atingida por meio de uma análise rigorosa da envoltória.

O Relatório elaborado pela empresa Mitsidi (2017), que subsidiou o projeto executivo e realizou simulações termoenergéticas que validaram a eficácia do sistema de quebra-sóis (brises) nas fachadas de maior incidência solar (leste e oeste). Os brises foram dimensionados para impedir a incidência de sol sobre as fachadas iluminantes, permitir luz e barrar o aquecimento e garantir que a carga térmica interna permanecesse dentro das zonas de conforto estabelecidas pela NBR 15575.



Pavimentos Térreo, 1 e 2

ESTRATIGRAFIA

Fator Solar (FS)
Transmitância térmica (Valor U)

- Paredes externas
- Laje da cobertura
- **Fechamentos em vidro**

Fechamentos em vidro

NBR 15575 – Não há exigência mínima para vidros

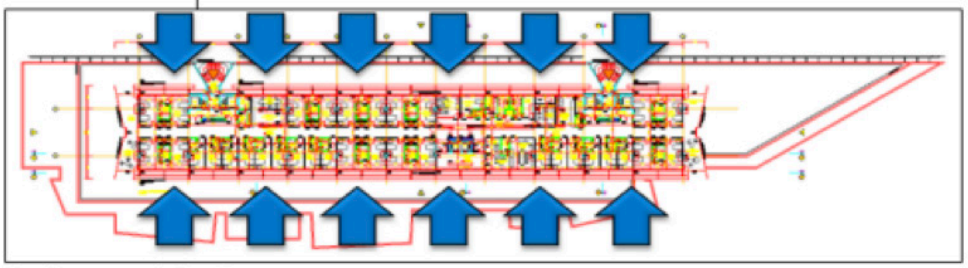
Vidro laminado simples:

- Laminado (4mm / 4mm)

Fator Solar (FS): 82,0%

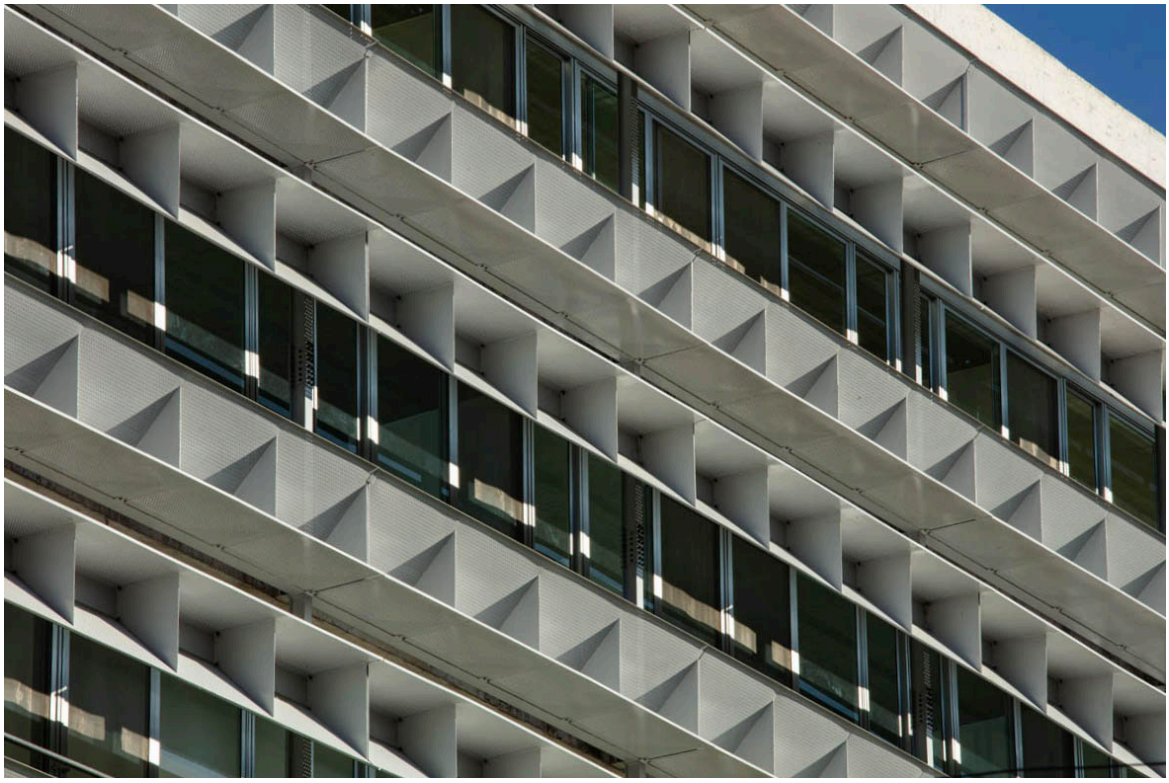
Transmitância térmica: 5,63 W/m².K

Sombreamento com brise horizontal

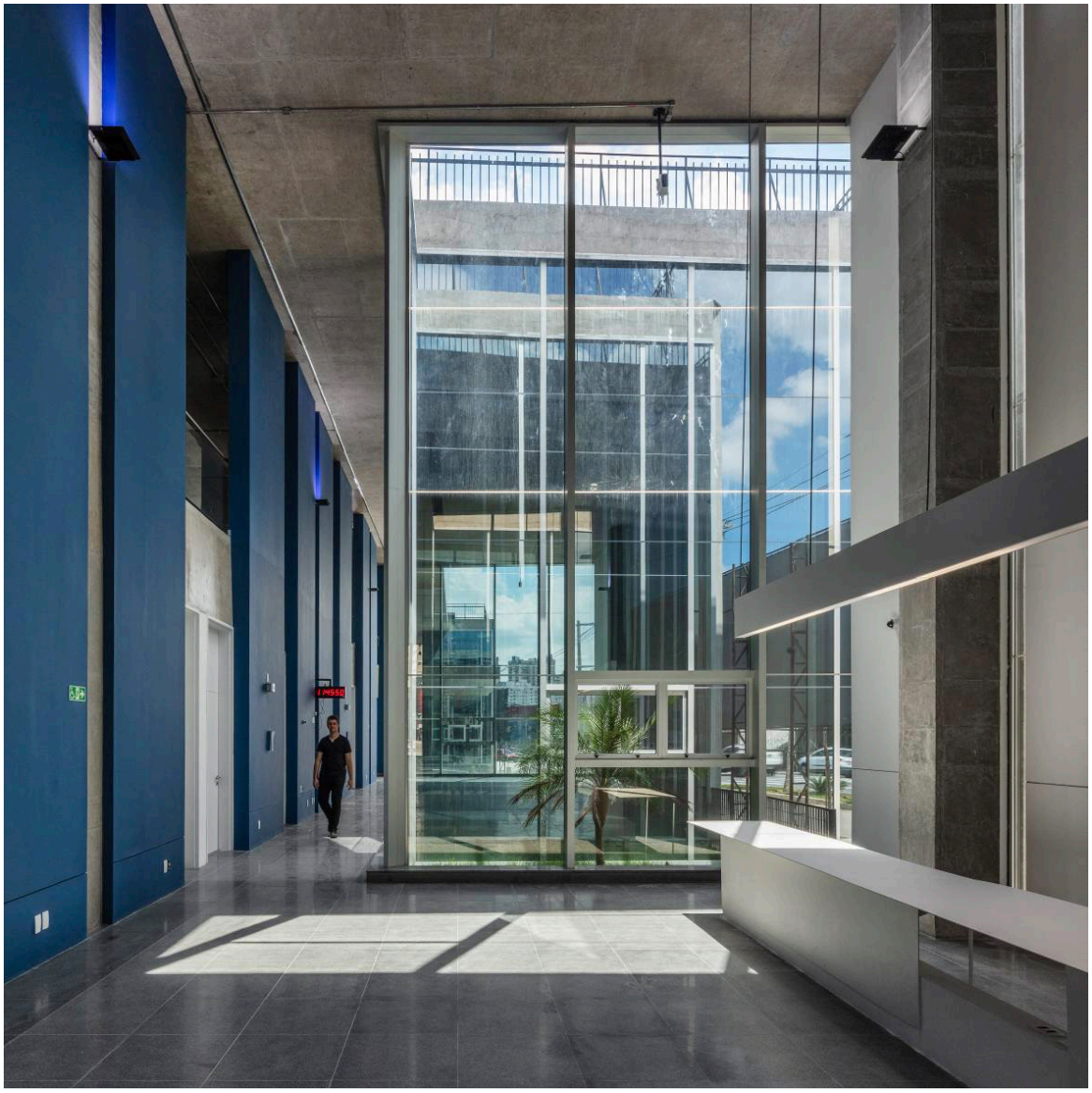


Pavimentos 4, 5 e 6





A estratégia bioclimática baseia-se no conceito de ventilação natural induzida e no uso da inércia térmica da estrutura de concreto. Como aponta Victor Olgyay (1963) em sua teoria do design bioclimático, o edifício deve atuar como um filtro entre o clima externo e as necessidades metabólicas internas. No contexto hospitalar, essa "filtragem" ganha uma camada de complexidade: a garantia da renovação do ar para controle de infecções. O uso de janelas operáveis e o pé-direito duplo com aberturas zenitais, estrategicamente posicionadas nas áreas de recepção e de estar no térreo, permitem que o hospital "respire", reduzindo a proliferação de patógenos e, simultaneamente, dispensando o uso de ar-condicionado em áreas de baixa criticidade, o que gera uma economia significativa de custos de manutenção e energia.

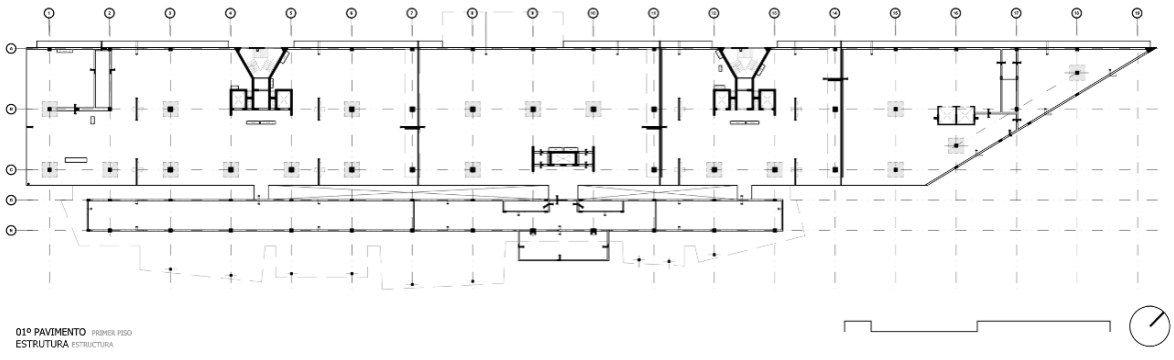


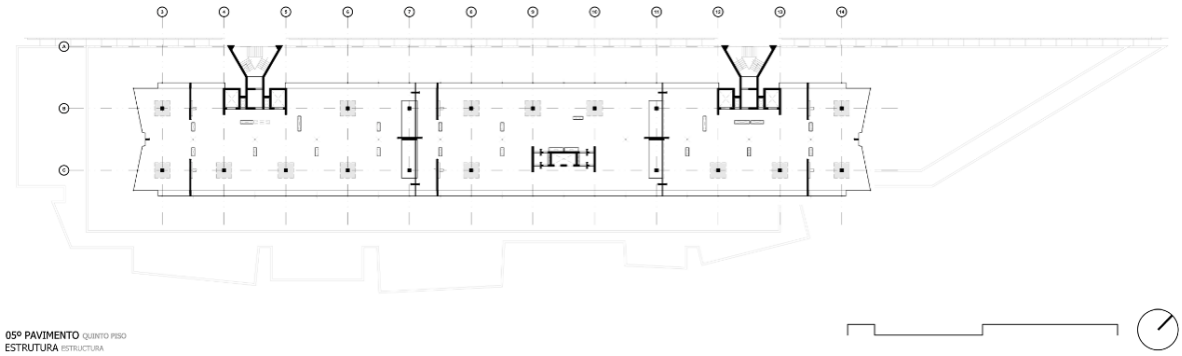
7. Tectônica e longevidade – O concreto protendido como ética construtiva

A materialidade do HUSBC é definida pela redução da paleta, com o uso extensivo do concreto armado e protendido para a estrutura e, como regra, mantido aparente para evitar a sobreposição desnecessária de serviços tantas vezes realizados por puro hábito (desenho sem crítica). Essa escolha tem o sentido de uma decisão pragmática voltada à velocidade de execução, à baixa manutenção e à durabilidade, ou simplesmente *tectonics*, como teorizado por Kenneth Frampton (1995). Num edifício público, a baixa manutenção é um imperativo ético.



O sistema estrutural de concreto protendido permitiu a execução de grandes vãos e, consequentemente, a criação da liberdade plena de entreforro, sem a interferência de vigas. O intercolúnio de dez metros, considerando-se a profundidade e tipo de fundação, também é uma decisão econômica. Essa solução técnica, detalhada no *Memorial ARQ-PE-0020*, garante a flexibilidade sistêmica do hospital. Ao concentrar as instalações em um vazio técnico generoso, entre a laje e o forro, o projeto permite que futuras atualizações tecnológicas de infraestrutura médica ocorram sem a necessidade de intervenções destrutivas na estrutura principal.





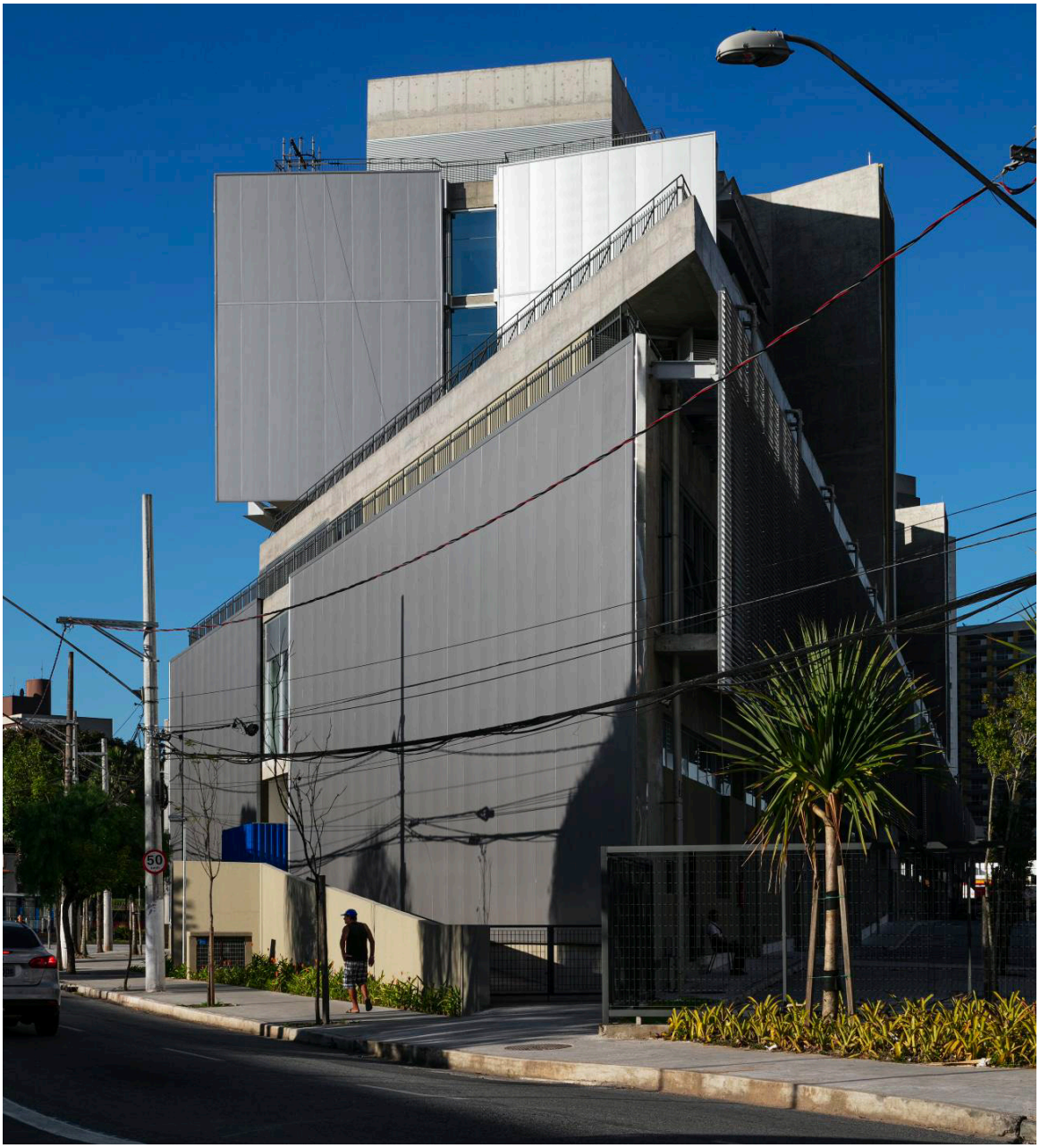
A pele do edifício, composta por painéis pré-moldados e esquadrias de alumínio, responde à necessidade de estanqueidade e isolamento acústico em um ambiente urbano ruidoso. A espinha dorsal técnica — o eixo vertical que concentra os shafts e a circulação de utilidades — foi projetada para ser acessível externamente em pontos estratégicos, facilitando a manutenção preventiva sem invadir as áreas estéreis ou de atendimento.

> A clareza técnica da montagem do edifício, em que estrutura, infraestrutura e vedação são lidas como sistemas independentes, confere ao HUSBC uma inteligência construtiva que prolonga sua vida útil e minimiza a obsolescência funcional. (Adaptado do Memorial do Projeto Executivo).

Essa integração arquitetônica, entre o rigor da engenharia e a sensibilidade do desenho hospitalar, resulta em um edifício que não apenas funciona, mas que se comunica com a cidade pela sua robustez e transparência, reforçando o papel da arquitetura pública como um bem cultural duradouro.






50

8. Avaliação pós-ocupação (APO) – A resiliência em operação real

A transição do projeto para o edifício construído é o momento em que as hipóteses de design são postas à prova. No caso do HUSBC, a avaliação pós-ocupação (APO) revela-se um instrumento fundamental de gestão. Segundo Wolfgang Preiser (1995), a APO não deve ser vista apenas como um diagnóstico de falhas, mas como um processo cíclico que alimenta o conhecimento para futuras intervenções. No HUSBC, a operação iniciada em 2020 permitiu observar como a infraestrutura crítica respondeu a demandas extremas.

A setorização vertical e a clareza dos fluxos de suprimentos (espinha dorsal técnica) reduzem drasticamente o tempo de movimentação interna de materiais e resíduos. A eficiência logística, prevista no *Memorial de Projeto ARQ-PE-0020*, materializou-se em uma operação mais enxuta e segura. A separação estrita entre o fluxo sujo (resíduos e materiais contaminados) e o fluxo limpo (insumos e pacientes) — facilitada pela arquitetura — mostrou-se um diferencial competitivo na gestão de riscos biológicos.

O sistema de escadas de segurança abertas e ventiladas naturalmente atendem simultaneamente às demandas de segurança e à agilidade de deslocamento vertical, propiciando aos colaboradores a visão da cidade em diversos níveis de observação.



9. A pandemia de COVID-19 como teste de estresse definitivo

Inaugurado em maio de 2020, o HUSBC foi imediatamente convertido em um centro de referência para o tratamento da COVID-19. Esse cenário de crise operou como "teste de estresse" máximo para o partido arquitetônico. A flexibilidade da unidade de internação 4-em-2 provou-se superior aos modelos de enfermarias coletivas tradicionais. A possibilidade de subdividir os quartos de quatro leitos em unidades menores de dois leitos permitiu isolar grupos de pacientes com diferentes níveis de gravidade e perfis infecciosos, sem comprometer a capacidade total da ala.

A resiliência da infraestrutura, mencionada anteriormente como o conceito de hospital-dique, foi validada pela autonomia dos sistemas. O posicionamento dos pavimentos técnicos suspensos garantiu que as equipes de manutenção pudessem intervir nos sistemas de gases medicinais e climatização sem acessar as áreas vermelhas contaminadas. Essa manutenibilidade externa reduziu o risco de contaminação cruzada entre profissionais de apoio e equipes de assistência.

> A capacidade do edifício de se adaptar a uma patologia desconhecida e de alta transmissibilidade, sem exigir reformas estruturais de emergência, demonstra que a flexibilidade projetual é, em última análise, uma estratégia de saúde pública. (Relato da Diretoria Clínica, 2021).

10. Humanização e percepção do usuário – O impacto do design baseado em evidências (EBD)

Para além da eficiência técnica, a APO buscou mensurar a percepção de bem-estar dos usuários (pacientes e funcionários). Fundamentado no Design Baseado em Evidências (EBD), o projeto priorizou a luz natural e a conexão visual com a linha do horizonte e a malha urbana.



Relatos qualitativos de pacientes indicam uma redução na percepção de confinamento, fenômeno comum em hospitais de urgência com iluminação puramente artificial. A estratégia de janelas baixas nas enfermarias, permitindo a visão do horizonte mesmo para pacientes acamados, corrobora as teses de Roger Ulrich sobre a redução do cortisol e a melhora do humor.

Para o corpo de enfermagem e médicos, a ergonomia dos postos de trabalho — posicionados de forma a garantir visibilidade direta para os leitos, mas com tratamento acústico adequado — resultou em uma diminuição da fadiga laboral. A arquitetura, portanto, deixou de ser um cenário passivo para se tornar um agente ativo na recuperação do paciente e na saúde mental do trabalhador. Conforme o *Manual de*

Conforto Ambiental, a integração de cores sóbrias, ventilação natural controlada e acústica eficiente transformou o HUSBC em um paradigma de que "o edifício público pode e deve oferecer a mesma qualidade ambiental de centros de excelência privados".

11. Análise comparativa – Do pavilhão ao podium-tower hospitalar

A evolução das tipologias hospitalares reflete a mudança nas concepções de higiene, medicina e urbanismo. Para compreender a relevância científica do HUSBC, é necessário situá-lo no debate entre o modelo pavilhonar, o monobloco vertical e a solução híbrida de embasamento e lâmina.

Historicamente, o modelo pavilhonar (como o Hospital Lariboisière em Paris)[3] priorizava a ventilação cruzada e o isolamento de patologias, mas revelou-se ineficiente em termos de fluxos e logística em terrenos urbanos escassos. Com o advento dos sistemas de climatização e elevadores, a arquitetura hospitalar migrou para o monobloco, uma caixa compacta de alta densidade. No entanto, o monobloco frequentemente padece de uma cegueira tecnológica: o coração do edifício torna-se inacessível, e as áreas técnicas acabam comprimidas em subsolos, o que compromete a manutenção e a adaptabilidade do sistema — uma falha crítica que o HUSBC busca corrigir.

O HUSBC opta pela tipologia *podium-tower*, com pavimento de transição técnica. Essa solução permite a dissociação de dois ritmos temporais distintos dentro do edifício:

1. **Embasamento (*podium*)** – de caráter logístico e diagnóstico, que exige grandes áreas horizontais e conexões diretas com a malha urbana.
2. **Lâmina de internação (*tower*)** – que demanda repetição, silêncio e contato com o exterior (luz e vista).

A superioridade dessa escolha para o HUSBC reside na introdução do pavimento técnico intermediário. Enquanto hospitais urbanos densos costumam sofrer com o conflito de infraestruturas (vigas que barram dutos, *shafts* insuficientes), o HUSBC cria uma trégua espacial. Como argumenta Stephen Verderber (2010), em *Innovations in Hospital Architecture*, a longevidade de um hospital está ligada à sua "capacidade de atualização sistêmica sem trauma". Ao elevar a torre sobre um pavimento técnico, o HUSBC permite que toda a complexidade de redes (gases, elétrica, HVAC) seja gerida de forma horizontal e independente, uma solução significativamente mais resiliente do que o empilhamento rígido do monobloco tradicional.

3 Para aprofundamento: BOUDON, Françoise. "Système de la brique et de la pierre : l'hôpital Lariboisière". In: Revue de l'Art, n. 29, 1975. Um artigo técnico detalhado sobre a construção e o simbolismo dos materiais (tijolo e pedra) no projeto de Gauthier.

12. A dialética do fast track – Eficiência assistencial vs. Qualidade espacial

Outro ponto de inflexão na discussão técnica é a implementação do sistema *fast track* no atendimento de urgência[4]. Se o Protocolo de Manchester[5] organiza o fluxo por cores e gravidade, o *fast track* é o algoritmo de aceleração para casos de baixa complexidade mas com alta rotatividade.

Cientificamente, a literatura de gestão hospitalar demonstra que o gargalo das emergências não está apenas na falta de leitos, e sim na má gestão dos fluxos de saída[6]. A arquitetura do HUSBC responde a isso com a criação de circuitos de circulação independentes que operam em paralelo. No HUSBC, o projeto não é apenas um contêiner; ele é um "dispositivo de vazão".

Comparado a projetos contemporâneos internacionais, como os hospitais de Herzog & de Meuron (Rehab Basel) ou as clínicas de Alvar Aalto, o HUSBC mantém o rigor funcionalista europeu, porém adaptado à realidade da saúde pública brasileira. Enquanto Aalto utilizava a forma para "curar" o indivíduo por meio da fenomenologia do espaço, o HUSBC utiliza a estrutura para "curar" a operação pública por meio da eficiência logística.

> "O hospital urbano moderno deve operar como uma 'fábrica de saúde' em sua base, mas como um 'espaço de humanidade' em seu topo. O sucesso do HUSBC está em não permitir que a lógica industrial do diagnóstico contamine a dignidade do espaço de repouso." (Extraído da fundamentação teórica do projeto participativo).

Essa dualidade reforça a tese de que a arquitetura hospitalar de alta complexidade deve ser compreendida como um sistema sociotécnico. A escolha do concreto protendido, discutida anteriormente, não é apenas estrutural; é o que garante que essa dialética entre base logística e torre de internação possa existir sem as restrições de uma malha de pilares excessivamente densa, permitindo que os fluxos de urgência respirem com a fluidez necessária.

13. A ética da materialidade: durabilidade e manutenibilidade

No contexto da saúde pública, a escolha dos materiais transcende a dimensão visual para tornar-se uma decisão de gestão de ativos. No HUSBC, a especificação seguiu o trinômio durabilidade-manutenibilidade-imunidade material. Como o hospital opera em regime de 24/7, a interrupção para reformas de manutenção corretiva gera prejuízos sociais e financeiros incalculáveis.

4 Para aprofundamento: ZILM, Frank. "The Future of Emergency Department Design". In: Journal of Ambulatory Care Management. GROUP2 ARCHITECTURE. "Lean Design in Healthcare: Emergency Department Case Studies".

5 Para aprofundamento: MACKWAY-JONES, Kevin; MARSDEN, Janet; WINDLE, Jill. Emergency Triage: Manchester Triage Group. BMJ Books.

6 BOSCH, Sheila J. *et al.* "The Effects of Healthcare Design on Patient Outcomes".

A adoção do concreto armado e protendido aparente como linguagem e estrutura reflete o que Kenneth Frampton (1995)[7] descreve como a "ontologia da construção". Ao expor a estrutura, o projeto elimina camadas de revestimentos (como rebocos e pinturas) que seriam pontos vulneráveis a patologias e demandariam repinturas periódicas. O concreto, tratado com vernizes hidrofugantes e proteção superficial, oferece um invólucro robusto e resistente à agressividade do ambiente urbano.

14. A envoltória de alta performance – Brises, pré-moldados e estanqueidade

A pele do HUSBC foi concebida como um sistema multicamadas. Para as vedações externas do embasamento voltado para a rua, optou-se por painéis pré-moldados de concreto, que garantem rapidez de montagem e controle de qualidade superior ao da alvenaria convencional. Esses painéis possuem alto índice de isolamento acústico, essencial para o conforto do paciente em um lote confrontante com vias de alto tráfego.

As esquadrias de alumínio com vidro laminado de alto desempenho foram especificadas para atender aos critérios de estanqueidade e de isolamento térmico. O destaque técnico reside nos *brises* metálicos fixos, cuja geometria foi definida pelas simulações da consultoria em conforto ambiental Mitsidi. A escolha do alumínio com pintura eletrostática para os elementos de sombreamento justifica-se pela resistência à corrosão e pela leveza estrutural.

Diferentemente de sistemas de *brises* móveis, que frequentemente apresentam falhas mecânicas em edifícios públicos devido à falta de manutenção, os brises fixos do HUSBC garantem a eficácia do sombreamento passivo de forma permanente. Conforme o *Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de SBC*, essa solução passiva reduz a carga térmica em até 30%, permitindo que o sistema de climatização opere em regimes de menor potência, prolongando a vida útil dos compressores e *chillers*.

15. Materiais interiores e conformidade com a RDC 50

Internamente, a especificação de materiais seguiu rigorosamente a RDC 50 da Anvisa, mas com um olhar voltado para a humanização. Em áreas críticas, como centro cirúrgico e UTIs, utilizou-se o piso vinílico condutivo e monolítico para evitar o acúmulo de sujidades e facilitar a assepsia.

Para as áreas de circulação e recepção, o uso de pedras naturais (granito) e painéis melamínicos de alta densidade (em áreas controladas) busca quebrar a frieza clínica tradicional. A interface entre a arquitetura e a engenharia manifesta-se no detalhamento dos forros modulares e

7 Vide: FRAMPTON, Kenneth. Estudos sobre a cultura tectônica: a poética da construção na arquitetura dos séculos XIX e XX. São Paulo: Cosac Naify, 2012.

removíveis, exclusivamente instalados nas áreas técnicas e de circulação. Essa escolha permite o acesso imediato ao entreforro, possibilitando que novas redes de dados ou gases medicinais sejam instaladas sem quebrar paredes ou gerar poeira.

> A especificação técnica no HUSBC não é um ato isolado, mas uma costura entre a norma sanitária e a eficiência operacional. Cada junta, cada material e cada encontro de superfícies foi desenhado para resistir ao uso severo e facilitar a higienização, que é a primeira linha de defesa no controle de infecções hospitalares. (Extraído do Memorial de Especificações - ARQ-PE-0030).

16. A interface com as instalações – A espinha dorsal como objeto arquitetônico

A maior interface entre arquitetura e engenharia no HUSBC é a sua espinha dorsal técnica. Trata-se de um eixo vertical de *shafts* visitáveis que atravessa o edifício. Enquanto, em hospitais convencionais, as instalações são "escondidas" em locais inacessíveis, no HUSBC, elas são o coração da organização espacial.

Essa estratégia de design permite a manutenção preditiva. Técnicos podem acessar painéis elétricos, válvulas de gases e prumadas hidráulicas sem entrar nas enfermarias ou áreas restritas. Essa evidência técnica eleva o hospital ao status de infraestrutura flexível, garantindo que o edifício possa evoluir tecnologicamente ao longo das décadas.

17. O ritual do projeto – Da escuta qualitativa à formalização técnica

No HUSBC, a metodologia de codesign não foi uma consulta passiva, mas uma série de *workshops* de simulação de fluxo. Durante a fase de anteprojeto, as reuniões semanais não focavam apenas "o que" o médico queria, mas "como" o espaço poderia mediar o erro humano.

Um exemplo prático dessa iteração metodológica ocorreu na definição das salas de emergência e choque. Inicialmente previstas em um *layout* convencional, as discussões com a equipe de traumatologia revelaram que a disposição dos leitos precisava permitir uma visão de 360 graus a partir do posto de enfermagem central, mas com a possibilidade de isolamento rápido em caso de procedimentos invasivos. Isso gerou o desenho de ilhas de atendimento com infraestrutura suspensa (estativas), liberando o piso para a livre movimentação de carrinhos de emergência e equipes multidisciplinares.

Essa metodologia de transposição, em que a demanda clínica é traduzida em métrica espacial, fundamenta-se nos princípios de E.T. Hall (1966)

sobre a proxêmica. A arquitetura do HUSBC manipula as distâncias para garantir que, no estresse da urgência, o espaço trabalhe a favor do profissional, reduzindo o que a ergonomia chama de carga cognitiva. Cada decisão de *layout* foi submetida a testes de percurso virtuais, em que se cronometrava o tempo de deslocamento do paciente do trauma até o centro cirúrgico, resultando na criação de elevadores exclusivos de código vermelho.

18. Arquitetura em tempos de antropoceno – O hospital como nó de resiliência

Ao conectar o HUSBC ao *Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de SBC*, percebemos que o projeto antecipa uma discussão vital: a resiliência de edifícios críticos frente a eventos climáticos extremos. O conceito de hospital-dique ganha aqui uma dimensão política e ambiental. No contexto do antropoceno, em que as inundações urbanas se tornam mais frequentes e severas, o hospital não pode ser uma vítima do território; ele deve ser o seu ponto de ancoragem.

A estratégia de elevar o coração técnico do hospital para o segundo pavimento — protegendo transformadores, geradores e centrais de gases medicinais —, além de estabelecer a cota do térreo na cota segura, dialoga com o conceito de **arquitetura anfíbia**. Enquanto a infraestrutura urbana do entorno pode falhar devido ao transbordamento de canais ou à saturação do solo (lençol freático raso documentado nos laudos de sondagem), o HUSBC permanece como uma ilha de funcionalidade.

Essa abordagem é sustentada pela teoria da **resiliência evolutiva** de C.S. Holling, adaptada para a arquitetura por pesquisadores contemporâneos. Um edifício resiliente não é aquele que é rígido e indestrutível, mas aquele que possui redundância e capacidade de manter funções vitais sob perturbação. Ao adotar o concreto protendido e grandes vãos, o HUSBC permite que, se uma ala for comprometida, outra possa absorver sua função sem colapso sistêmico.

> A sustentabilidade no HUSBC não é medida apenas por selos verdes, mas pela sua capacidade de não interromper o cuidado. Em um cenário de mudanças climáticas, a maior virtude de um hospital é a sua resistência operacional. (Fundamentação teórica baseada no Manual de Obras Sustentáveis).

A integração de sistemas de drenagem próprios, com bacias de acumulação e reúso de águas pluviais, faz com que o hospital atue como um dispositivo de compensação hídrica para o bairro. Assim, o edifício devolve à cidade uma regulação que a urbanização densa e impermeável de São Bernardo do Campo havia retirado. O HUSBC, portanto, deixa de

ser apenas um prédio de saúde para tornar-se uma peça de infraestrutura azul[8] e verde[9], essencial para a sobrevivência urbana no século XXI.

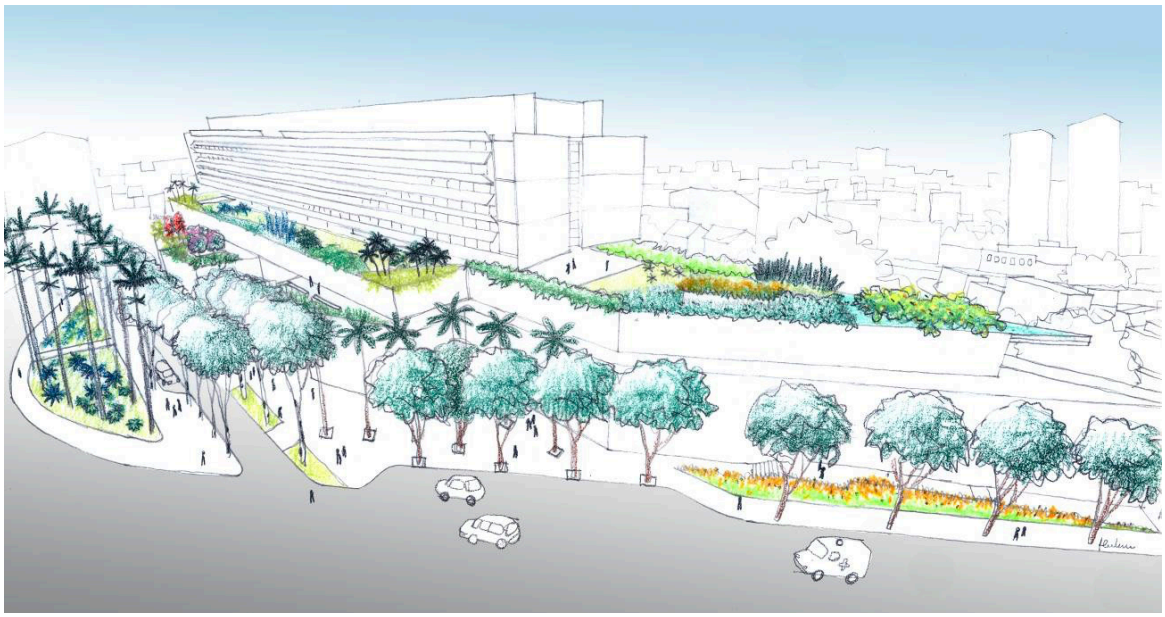
19. A escala humana no equipamento metropolitano – O hospital e a rua

A inserção de um edifício de 20.600 m² em um lote estreito e densamente povoado exige uma sensibilidade que transcende o programa hospitalar. O HUSBC não se comporta como um *bunker* institucional, pelo contrário, dentro de seus limites, ele busca estabelecer uma nova urbanidade para São Bernardo do Campo. Alinhado às diretrizes do *Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de SBC*, o projeto qualifica o espaço público ao tratar o recuo frontal não como um vazio residual, mas como uma extensão da calçada, promovendo o que Jane Jacobs (1961) define como os "olhos da rua".

Diferentemente da tipologia de hospitais murados, o HUSBC utiliza a transparência do embasamento e o desenho do paisagismo para suavizar a transição entre o domínio público e o ambiente de alta complexidade. A praça de acesso, protegida pelo balanço da estrutura protendida, oferece sombra e abrigo, funcionando como uma sala de espera urbana que acolhe não apenas os usuários do hospital, mas os pedestres que transitam pela região. Essa estratégia de arquitetura da acolhida é fundamental para desestigmatizar o espaço de saúde pública, transformando-o em um nó de civilidade e cuidado.

8 Para aprofundamento: DREISEITL, Herbert. Waterscapes: Planning, Building and Designing with Water. Birkhauser, 2001.

9 BENEDICT, Mark A.; MCMAHON, Edward T. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Island Press, 2006.



20. O paradigma da hospitalidade – O espaço como agente de cura

O conceito de hospitalidade hospitalar[10], amplamente debatido na literatura contemporânea de arquitetura para a saúde, propõe que o ambiente deve atuar como um suporte psicológico para o paciente e para o acompanhante. No HUSBC, essa hospitalidade materializa-se na qualidade do ar, na abundância de luz natural e no controle acústico.

Fundamentado no **Manual de Conforto Ambiental**, o projeto utiliza cores, texturas e luz como componentes do ambiente de cura (*healing environment*). Como destaca Roslyn Lindheim (1985), a perda de controle e a desorientação são as principais fontes de estresse em hospitais. No HUSBC, a clareza da circulação vertical e a visão constante do exterior ajudam o paciente a se situar no tempo e no espaço, mantendo o vínculo com a realidade externa à doença.

A hospitalidade estende-se ao corpo clínico. Ambientes de descanso para médicos e enfermeiros foram projetados com as mesmas premissas de conforto bioclimático das enfermarias. Reconhecer que a arquitetura deve cuidar de quem cuida é um dos pilares da sustentabilidade social do equipamento. Um ambiente que reduz a fadiga e o erro humano é, por definição, um ambiente mais eficiente e econômico para a gestão pública.

21. "Hospital-cidade" – Redundância e diversidade programática

O HUSBC opera como uma microcidade. Além das áreas clínicas, o edifício abriga uma complexa rede de serviços: desde a gestão de resíduos e centrais de esterilização até auditórios de ensino e áreas de convivência. Essa diversidade programática exige uma infraestrutura que suporte o uso intensivo sem colapsar.

A solução de pavimentos técnicos visitáveis, já discutida, permite que essa "microcidade" se adapte sem parar. Em um contexto de saúde pública, em que a demanda é sempre crescente e os recursos são finitos, a flexibilidade sistêmica é a maior forma de economia. O HUSBC demonstra que a arquitetura pública de excelência não é um luxo, mas uma estratégia de otimização de recursos. Ao investir em uma estrutura robusta e flexível, o Estado evita a obsolescência precoce do edifício e garante que ele servirá a múltiplas gerações, adaptando-se a novas tecnologias médicas que hoje nem sequer conseguimos imaginar.

22. Síntese – A ética da técnica na arquitetura para a saúde

É evidente que o Hospital de Urgências de São Bernardo do Campo (HUSBC) representa uma ruptura com o modelo de assistência hospitalar puramente descritivo e funcionalista. O projeto estabelece uma reflexão

10 MALKIN, Jain. A Healing Architecture. New York: McGraw-Hill, 1992.

para a arquitetura pública brasileira, em que a técnica — manifestada na estrutura protendida, no concreto aparente e nos sistemas de barreira hidrológica — não é um fim em si mesma, mas um meio para viabilizar o cuidado e a dignidade humana.

Respondendo ao confronto imposto por um terreno vulnerável e uma demanda social urgente, o HUSBC demonstra que a arquitetura atua como uma infraestrutura crítica. O partido de hospital-dique e a elevação dos sistemas vitais para pavimentos técnicos suspensos não são apenas soluções de engenharia, e sim manifestações de uma responsabilidade ética com a continuidade do serviço público.

23. Contribuições e considerações para o campo científico e projetual

A experiência do HUSBC durante a pandemia de COVID-19 serviu como a validação empírica final dessas premissas. A flexibilidade do modelo de internação 4-em-2 e a independência técnica dos pavimentos garantiram que o hospital não fosse apenas um edifício, mas um instrumento de combate à crise sanitária.

As contribuições potenciais deste artigo para o debate contemporâneo em arquitetura hospitalar são sintetizadas em três pilares:

1. **Validação do codesign** – A demonstração de que o processo participativo com o corpo clínico resulta em fluxos operacionais mais eficientes e espacialidades mais humanas.

2. **Eficácia do Design Baseado em Evidências (EBD)** – A comprovação de que estratégias bioclimáticas passivas, validadas por simulações térmicas e lumínicas, garantem conforto e sustentabilidade operacional sem dependência excessiva de sistemas mecânicos.

3. **Resiliência como atributo arquitetônico** – A proposição de uma tipologia hospitalar urbana que antecipa desafios climáticos e hidrológicos, mantendo sua autonomia em cenários de estresse ambiental.

Esses três pilares ganham maior relevo num equipamento público de grande escala e alta complexidade, como é o caso, informam e atualizam a agenda da arquitetura no contexto atual, sobretudo diante dos temas da sustentabilidade e das mudanças climáticas. Portanto, são pilares que também sustentam o que hoje se reconhece como qualidade arquitetônica. Mas o juízo que atribui o peso específico a cada uma das especialidades que afinal compõem o fato arquitetônico não se assenta

em nenhuma delas. Ou seja, nenhuma das especialidades, tampouco dos três pilares, tem, por princípio, o protagonismo. Pois o juízo que estabelece a adequada hierarquia entres eles depende de cada caso e de todas as variáveis que o definem. Esse juízo ético, com efeito, corresponde à própria definição de arquitetura.

A conclusão é que o HUSBC reafirma o papel do arquiteto como um articulador de saberes complexos. Na interseção entre a medicina, a engenharia, o urbanismo e as ciências sociais, emerge um edifício que não apenas abriga a cura, mas que cura a própria cidade ao oferecer-lhe um ponto de referência de excelência, resiliência e beleza. O rigor acadêmico aprendido na FAU-USP, aliado à prática projetual de vanguarda, deixa para este hospital o legado de que a saúde pública brasileira merece o melhor que a arquitetura pode produzir.

Referências

ALLEN, Stan. **Points + Lines: Diagrams and Projects for the City**. New York: Princeton Architectural Press, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 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. Brasília, DF, 2002.

EASTERLING, Keller. **Extrastatecraft: The Power of Infrastructure Space**. London: Verso, 2014.

FRAMPTON, Kenneth. **Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture.** Cambridge: MIT Press, 1995.

HALL, Edward T. **The Hidden Dimension**. Garden City: Doubleday, 1966.

HOLLING, Crawford S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 4, n. 1, p. 1-23, nov. 1973.

JACOBS, Jane. **The Death and Life of Great American Cities**. New York: Random House, 1961.

LINDHEIM, Roslyn. **New Design Parameters for Health Care Facilities**. New York: National Academy Press, 1985.

MITSIDI PROJETOS. **Relatório de Eficiência Energética e Desempenho Térmico: Hospital de Urgências de São Bernardo do Campo**. São Paulo: Mitsidi, 2017.

OLGYAY, Victor. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

PREISER, Wolfgang F. E. **Post-Occupancy Evaluation**. New York: Routledge, 1995.

SANDERS, Elizabeth B.-N.; STAPPERS, Pieter Jan. Co-creation and the new landscapes of design. **Co-design**, v. 4, n. 1, p. 5-18, mar. 2008.

SANOFF, Henry. **Community Participation Methods in Design and Planning**. New York: John Wiley & Sons, 2000.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Secretaria de Obras. **Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de SBC**. São Bernardo do Campo: PMSBC, 2017.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Secretaria de Saúde. **Manual de Conforto Ambiental Hospitalar**. São Bernardo do Campo: PMSBC, 2018.

ULRICH, Roger S. View through a window may influence recovery from surgery. **Science**, v. 224, n. 4647, p. 420-421, abr. 1984.

VERDERBER, Stephen. **Innovations in Hospital Architecture**. New York: Routledge, 2010.

APÊNDICE A – Ficha técnica

Hospital Público de Urgência

São Bernardo do Campo, SP, Brasil

Projeto I Proyecto: **2014 - 2015**

Construção I Construcción: **2015 – 2016**

Arquitetos I Arquitectos

SPBR Arquitetos

Angelo Bucci

Tatiana Ozzetti, Nilton Suenaga, Beatriz Marques, Victor Próspero

Lucas Roca, Martha Bucci, Beatriz Brandt

ARQLAB

[Consultoria em arquitetura hospitalar I Consultoría de arquitectura hospitalaria]

Sérgio Salles

Ivan Portero, Priscila Segala, Vinicius M. Oliveira, Fernanda V. Santos

SIC ARQUITETURA

[Apoio à produção de desenhos em Autocad I Apoyar la producción de dibujos en Autocad]

Fabio Kassai

Bruno Taiar de Carvalho, Ana Carolina Artuzi Aipp, George Ferreira, Renata Ribeiro Lopes, Mariana Ginesi

Consultores:

Estrutura I Estructura

Kurkdjian Fruchtengarten

Fundações I Cimientos

ENGEOS Engenharia e Geotecnia

Instalações prediais I Instalaciones del edificio

MHA Instalações

Paisagismo I Paisajismo

Raul Pereira Arquitetos Associados

Orçamento e custos I Presupuesto y Costos

Alberto Costa Neto

Engenharia de especificações I Ingeniería de especificaciones

Leonardo Katori

Luminotécnica I Iluminación

LUX Projetos - Ricardo Heder

Eficiência energética I Eficiencia Energética

MITSIDI - João Leal, Arthur Cursino, Edward Borgstein

Impermeabilização I Impermeabilización

PROASSP

Cozinhas industriais I Cocinas Industriales

NUCLEORA

Elevadores I Ascensores

ZAPP Consultoria

Incêndio I Protección contra incendios

Cel. Altino Gianesini

Cliente

Fundação do ABC/ Prefeitura da cidade de São Bernardo do Campo

Programa

Hospital Público de Urgência

Área do terreno

17.548,16 m²

Área construída total I Área total construida

21.831,81 m²

Sistema estrutural I Sistema Estructural

Concreto armado convencional e protendido I Hormigón Armado Convencional y Pretensado

Principais materiais I Materiales principales

Concreto, aço, vidro e alumínio I Hormigón, Acero, Vidrio y Aluminio

Modelo 3D I Modelos electrónicos

Ricardo Canton

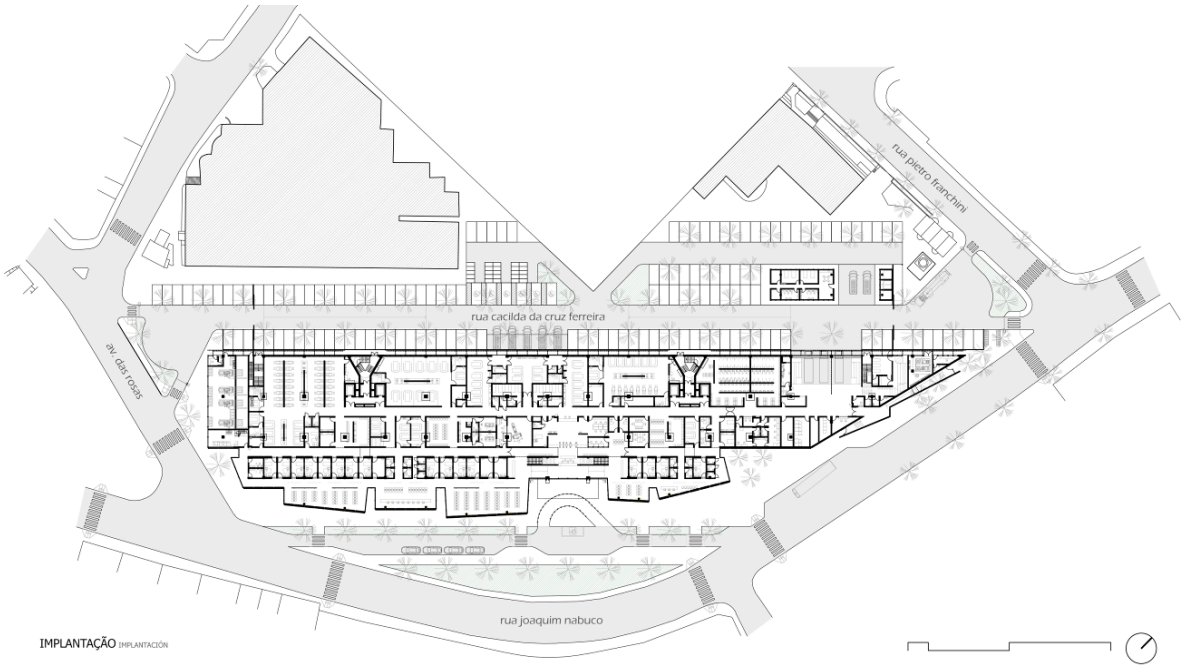
Maquete I Modelo

Triviño Maquetes

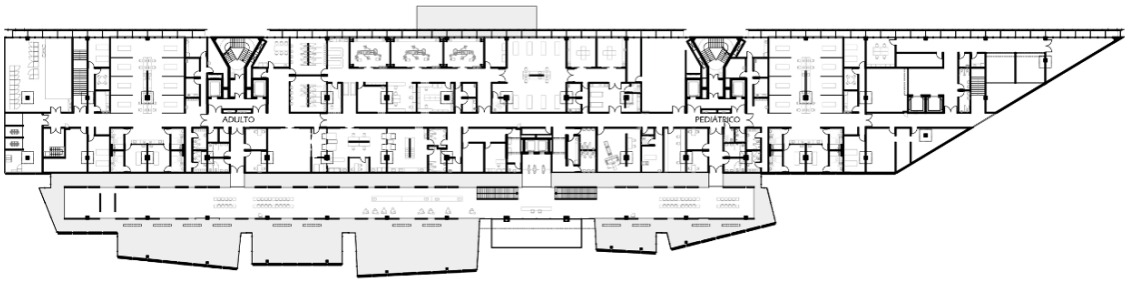
Fotos da obra e fotos da maquete I Fotos de la obra y fotos de la modelo

Nelson Kon

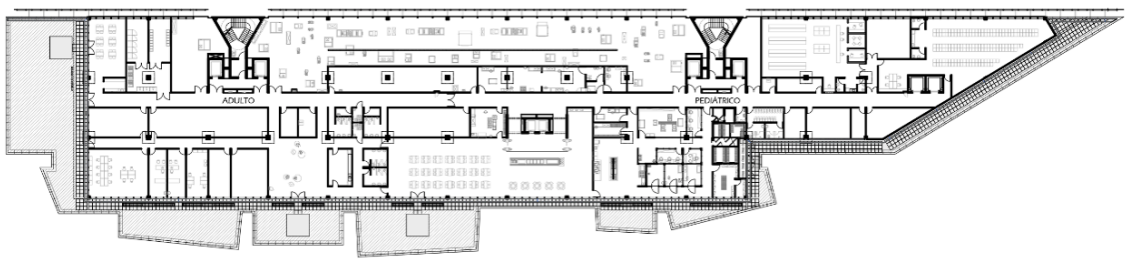
APÊNDICE B – peças gráficas



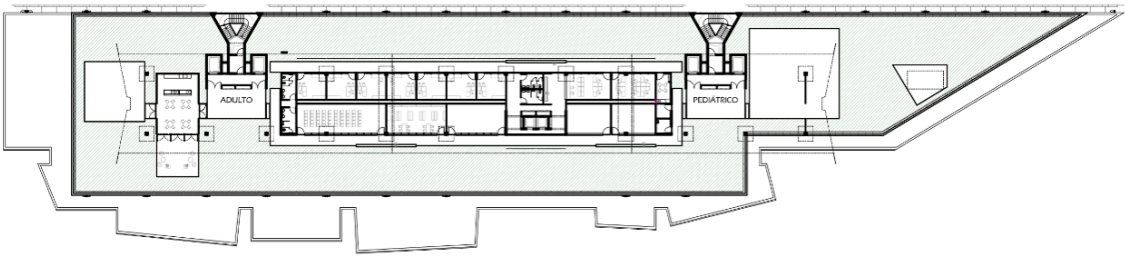
IMPLANTAÇÃO IMPLANTACIÓN



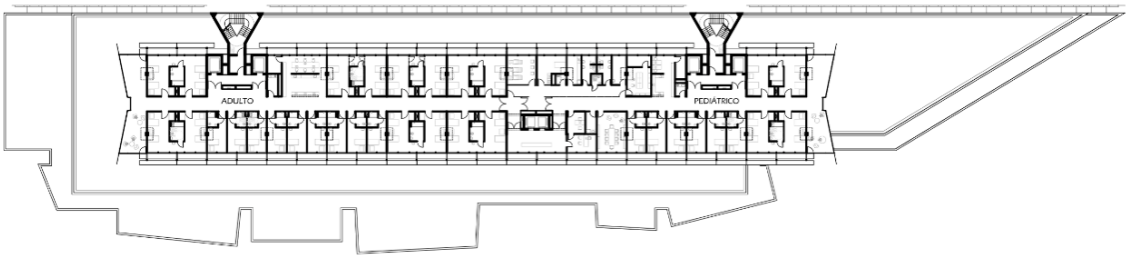
01º PAVIMENTO PRIMER PISO
CENTRO CIRÚRGICO / ESPERA / CAFÉ / OFICINAS CENTRO QUIRÚRGICO / ESPERA / TALLERES



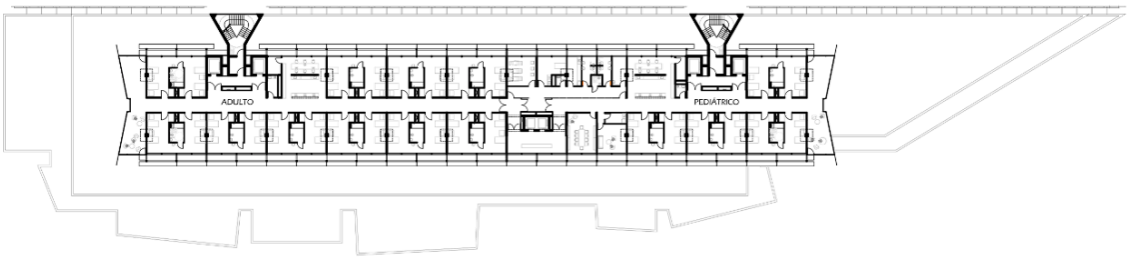
02º PAVIMENTO SEGUNDO PISO
PAVIMENTO TÉCNICO PISO TÉCNICO
NUTRIÇÃO / ALMOXARIFADO / ADMINISTRAÇÃO NUTRICIÓN / DEPÓSITO / ADMINISTRACIÓN



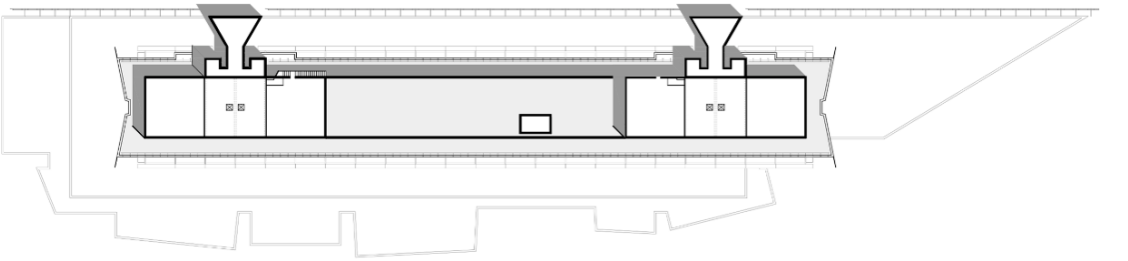
03º PAVIMENTO TERCER PISO
TERRAÇO / DIRETORIA / SALAS DE AULA TERRAZA / JUNTA DIRECTIVA / SALA DE CLASES



04º PAVIMENTO CUARTO PISO
INTERNAÇÃO / ISOLAMENTOS HOSPITALIZACIÓN / AISLAMIENTO



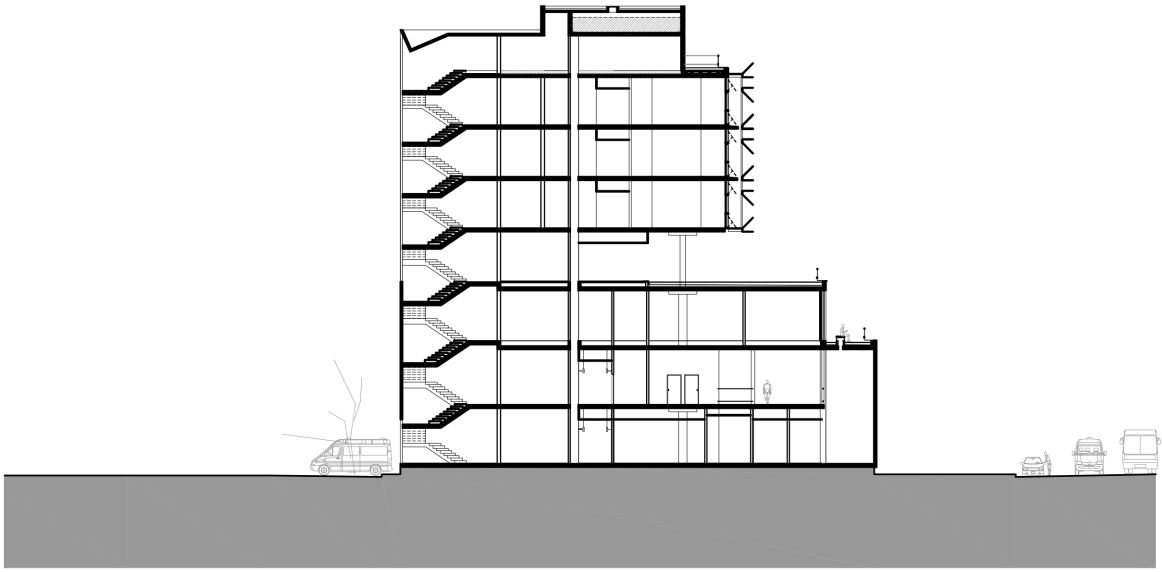
05º PAVIMENTO QUINTO PISO
06º PAVIMENTO SEXTO PISO
INTERNAÇÃO HOSPITALIZACIÓN



COBERTURA COBERTURA



CORTE LONGITUDINAL SECCIÓN LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL SECCIÓN TRANSVERSAL

Autores

Angelo Bucci Fundador e diretor do escritório SPBR arquitetos, desde 2003. É professor da FAUUSP, em São Paulo no Brasil, e professor of the practice do MIT, Massachusetts, Estados Unidos. Também lecionou na Argentina, Chile, Equador, Itália, Suíça. Em 2011 foi nomeado membro honorário do Instituto de Arquitetos Americanos.

Sérgio Luiz Salles Souza especialista em arquitetura hospitalar com mais de 30 anos de atuação prática, focado em projetos de alta complexidade para estabelecimentos de saúde. Sua experiência inclui a coordenação de projetos como o Hospital de Urgência de São Bernardo do Campo, onde aplicou princípios de Evidence-Based Design (EBD) para otimizar fluxos assistenciais e reduzir riscos de infecção hospitalar.

VERSIÓN EN

Revista IPH
octubre 2026

ESPAÑOL

Revista IPH

Edición Nº23
Octubre de 2026

Consejo Editorial
Fabio Bitencourt
Jorgeny Catarina Gonçalves
Marilena Pacios
Ricardo Karman diretoria@iph.org.br

Editor
Marcio Nascimento de Oliveira marcio@iph.org.br

Equipo de IPH
Rita Moraes secretaria@iph.org.br
Terezinha Vendramini karman@karman.com.br

Proyecto Grafico
Nathalia Duran

Traducción
Español Martin y Claudia Cadillo
Inglés Marina Jarouche

Imagen de portada
Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo
Arquitectura Angelo Bucci (SPBR Arquitetos)
Fotógrafo Nelson Kon

ISSN 2358-3630
DOI 10.62558/2358-3630/23.02

Dirección para correspondência
IPH - Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman
Rua Piracuama, 21 térreo - sala 02
Sumaré, São Paulo - SP
CEP 05017-040
telefone (11) 989059107
e-mail revista@iph.org.br
endereço eletrônico www.iph.org.br/revista

Sumario

Editorial 156

Marcio Nascimento de Oliveira

Artículo 159

Mantenimiento de los edificios hospitalarios: Retos, variables críticas y directrices para el dimensionamiento de la plantilla

Aline Neves Gomes, Prof. Marcelo J. Meiriño y Prof. Fábio Aquino

Artículo 176

El aporte de las tecnologías digitales al desarrollo de proyectos destinados a satisfacer las necesidades de información necesarias para el funcionamiento y el mantenimiento de los activos hospitalarios

Adriana Tonani Mazzieiro

Artículo 197

Economía circular en establecimientos asistenciales sanitarias

Antonio Pedro Alves de Carvalho y Jair de Jesus Lima

Artículo 229

Iluminación natural y proceso proyectual de Siegbert Zanettini: Hospital Ermelino Matarazzo

Danielly Marcianny Silva Eulário, Paulo Sergio Scarazzato y Ludmila Cardoso Fagundes Mendes

Artículo 249

Percepción de gestores hospitalarios sobre la incorporación de tecnologías emergentes y sus impactos en la infraestructura física de los hospitales de Santa Catarina

João Paulo Lucchetta Pompermaier, Lizandra Garcia Lupi Vergara y Patrícia Biasi Cavalcanti

Artículo 273

Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo: contexto y proyecto

Sérgio Luiz Salles Souza y Ângelo Bucci. Curaduría de imágenes y diagramas: Gabriela Pedini

Versão em Inglês 312

Editorial

La Revista IPH llega a su 23.ª edición reafirmando el compromiso histórico del IPH – Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman con la producción y divulgación de conocimiento técnico-científico orientado a la arquitectura, la ingeniería, la gestión y la operación de los establecimientos de atención de salud. En un contexto caracterizado por la rápida transformación tecnológica, las crecientes exigencias de sostenibilidad y la necesidad permanente de cualificación de la infraestructura hospitalaria brasileña, los trabajos reunidos en esta publicación contribuyen de manera sustancial al fortalecimiento de las discusiones sobre el futuro de los entornos de salud.

Los artículos presentados dialogan entre sí al abordar distintas dimensiones del ciclo de vida de los edificios hospitalarios, desde la planificación y el diseño hasta la operación, el mantenimiento y la adaptación de las estructuras físicas ante las nuevas demandas asistenciales y tecnológicas. Se trata, así, de una publicación que pone de manifiesto la importancia de integrar el conocimiento multidisciplinario, la gestión estratégica y la innovación para garantizar entornos más eficientes, resilientes y humanizados.

Abriendo esta edición, el artículo “Mantenimiento hospitalario de infraestructura: desafíos, variables críticas y directrices para el dimensionamiento del personal técnico” examina uno de los temas más sensibles para la sostenibilidad operativa de los hospitales: el mantenimiento de la infraestructura física y tecnológica. En un contexto

en el que la complejidad de los sistemas hospitalarios de infraestructura crece continuamente, el estudio destaca la necesidad de metodologías más precisas para el dimensionamiento de los equipos técnicos, considerando variables operativas, la criticidad de los sistemas y los requisitos de continuidad asistencial.

A continuación, el trabajo el aporte de las tecnologías digitales al desarrollo de proyectos con el objetivo de satisfacer los requisitos de información necesarios para la operación y el mantenimiento de activos hospitalarios demuestra cómo las herramientas digitales vienen transformando los procesos de diseño y gestión de activos. La incorporación de metodologías basadas en información estructurada, interoperabilidad y modelos digitales representa un avance significativo para la eficiencia de la operación hospitalaria a lo largo del ciclo de vida de las edificaciones.

El debate sobre la sostenibilidad cobra relevancia en el texto "La economía circular en EAS", de Antonio Pedro Carvalho y Jair de Jesus Lima, que presenta reflexiones importantes sobre el uso racional de los recursos, la gestión de residuos y nuevas estrategias para reducir los impactos ambientales en el sector de la salud. La incorporación de los principios de la economía circular en los establecimientos de atención de la salud apunta hacia un cambio de paradigma necesario frente a los desafíos ambientales contemporáneos.

Asimismo, integra este número de la revista el estudio "Iluminación natural y proceso proyectual de Siegbert Zanettini: Hospital Ermelino Matarazzo", de Danielly Eulário y colaboradores, el cual revisita la obra de uno de los principales referentes de la arquitectura brasileña contemporánea, analizando la relación entre iluminación natural, confort ambiental y calidad espacial en el diseño hospitalario. El trabajo pone de manifiesto cómo las soluciones arquitectónicas sensibles al clima y al bienestar humano se mantienen fundamentales, aun frente al avance de las tecnologías constructivas.

Las transformaciones provocadas por las tecnologías emergentes en el entorno hospitalario se abordan en el trabajo "Percepción de los gestores hospitalarios sobre la incorporación de tecnologías emergentes y sus impactos en la infraestructura física de los hospitales de Santa Catarina", de João Paulo Lucchetta Pompermaier y colaboradores. El estudio revela los desafíos que enfrentan los gestores para adaptar las edificaciones existentes a las nuevas exigencias operativas, digitales y asistenciales, y destaca la necesidad de una mayor flexibilidad y capacidad de actualización de los edificios de salud.

Para cerrar la revista, el texto “Arquitectura en el ámbito de la salud – Hospital Público de Urgencias, São Bernardo do Campo”, de los autores invitados Sergio Salles y Ângelo Bucci, presenta una reflexión sobre la arquitectura hospitalaria contemporánea a partir de una obra pública de gran relevancia, haciendo hincapié en la relación entre la solución arquitectónica, la funcionalidad, la dimensión urbana y la atención humanizada.

Esperamos que los trabajos aquí publicados contribuyan a ampliar el debate técnico y científico sobre el rumbo de la arquitectura y la infraestructura hospitalaria en Brasil, estimulando nuevas investigaciones, prácticas innovadoras y soluciones capaces de responder a los desafíos presentes y futuros de los entornos de salud.

Agradecemos a los autores, investigadores, revisores y colaboradores que hicieron posible esta nueva edición de la Revista IPH. A nuestros lectores, les deseamos una excelente lectura y los invitamos a seguir participando activamente en esta red de conocimiento construida a lo largo de la trayectoria del IPH.

Arq. Marcio Nascimento de Oliveira

editor

Artículo

Mantenimiento de los edificios hospitalarios: Retos, variables críticas y directrices para el dimensionamiento de la plantilla

Autores

Aline Neves Gomes Universidad Federal Fluminense

Prof. Marcelo J. Meiriño, D.Sc Universidad Federal Fluminense

Prof. Fábio Aquino, D.Sc. Centro Federal de Educación Tecnológica

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.01

Resumen

El mantenimiento de los edificios hospitalarios es un macroproceso estratégico esencial para la seguridad del paciente y para la continuidad de los servicios sanitarios. A pesar de su importancia, se observa una laguna significativa en la literatura científica, especialmente en el contexto brasileño. Este estudio llevó a cabo una revisión sistemática y un análisis bibliométrico de 185 publicaciones indexadas en la base Scopus (1989–2023), utilizando el software R y el paquete Bibliometrix, herramienta muy utilizada para la cartografía científica y el análisis cuantitativo de la producción académica. Los resultados evidenciaron que la mayor parte de los estudios se centran en países desarrollados, mientras que la bibliografía nacional sigue siendo limitada. Se identificaron variables críticas para el dimensionamiento de la plantilla dedicada al mantenimiento de los edificios hospitalarios, entre ellas la complejidad de los sistemas, la frecuencia de los mantenimientos, la superficie física, la cantidad de activos y el nivel de formación de los equipos. A partir de estos hallazgos, el estudio propone directrices basadas en órdenes de servicio, indicadores operativos y normas técnicas aplicables al sector. El refuerzo de la gestión del mantenimiento resulta indispensable para promover entornos hospitalarios más seguros y eficientes.

Palabras clave

mantenimiento de edificios hospitalarios; dimensionamiento de la plantilla; gestión de infraestructuras hospitalarias.

1. Introducción

El objetivo del mantenimiento de edificios es que estos cumplan sus funciones sin obstaculizar su uso ni su ocupación, garantizando la funcionalidad, la seguridad y el bienestar de los usuarios. En el ámbito hospitalario, las consecuencias de las deficiencias en el mantenimiento de los edificios pueden ser graves e irreparables, pudiendo provocar infecciones nosocomiales, accidentes o el empeoramiento del estado de un paciente debilitado. Por ello, la responsabilidad, la disciplina y los conocimientos técnicos del equipo se convierten en elementos vitales. Cada intervención exige una planificación meticulosa, con la aplicación rigurosa de medidas de protección y señalización. La separación entre los materiales sucios o contaminados y los limpios es fundamental para evitar la propagación de riesgos. El proceso debe llevarse a cabo con la menor interferencia posible en la rutina hospitalaria, minimizando el impacto sobre los pacientes, los acompañantes, los médicos y el personal. (EBSERH, 2022).

Planificar el mantenimiento de los edificios hospitalarios desde el principio es fundamental para garantizar la durabilidad, la eficiencia y la seguridad de los mismos, asegurando así que sigan cumpliendo su misión fundamental: velar por la vida humana. (Karman, Fiorentini e Karman, 1995).

En países como Estados Unidos y el Reino Unido, donde los sistemas sanitarios están muy desarrollados, la inversión en el mantenimiento de los edificios hospitalarios se considera fundamental. Estudios del National Health Service (NHS), de Reino Unido demuestran que, para reducir los incidentes y los costes a largo plazo, se llevan a cabo tareas de mantenimiento preventivo periódicas en áreas críticas como los sistemas de ventilación y de suministro de energía (Dejaco, Gramigna e Moretti, 2019). La inversión en estos procesos ha reducido el número de órdenes de servicio correctivas, lo que ha aumentado la seguridad y la fiabilidad de las operaciones.

La dimensión de los equipos de mantenimiento también es una práctica fundamentada para satisfacer las necesidades específicas de los hospitales, teniendo en cuenta las complejas exigencias de los sistemas hospitalarios. En los hospitales de tamaño medio y grande de los países desarrollados, los equipos de mantenimiento están formados por técnicos especializados, asignados a áreas críticas, lo que facilita una respuesta ágil ante los incidentes y minimiza el riesgo de interrupciones (Chen *et al*., 2020).

Sin embargo, la literatura científica brasileña sigue presentando importantes lagunas en cuanto a cómo dimensionar, de forma objetiva

y basada en datos, los equipos de mantenimiento de los edificios hospitalarios. Mientras que los países desarrollados ya aplican modelos basados en indicadores de rendimiento, en Brasil predominan las prácticas reactivas y la falta de metodologías adaptadas a la realidad del Sistema Único de Salud (SUS).

En este artículo se propone un análisis de la producción científica nacional e internacional sobre el mantenimiento de edificios hospitalarios, haciendo hincapié al dimensionamiento de la fuerza de trabajo. Para ello, se utilizan técnicas de revisión bibliográfica y análisis bibliométrico, con el fin de identificar las principales variables técnicas, operativas y normativas que influyen en la composición de los equipos de mantenimiento. Con ello se espera contribuir al desarrollo de prácticas más seguras, eficientes y sostenibles en la gestión de la infraestructura hospitalaria.

Una versión preliminar de los resultados bibliométricos presentados en este estudio se publicó en los Anales de X CBDEH (Gomes, 2024). No obstante, el presente artículo incluye análisis ampliados, una revisión sistemática, revisada y un debate en profundidad sobre las variables críticas.

2. Fundamentos teóricos

2.1 Mantenimiento de edificios

Desde el momento en que el edificio cobra vida, comienza su proceso de envejecimiento. Es en ese momento cuando las actividades de mantenimiento adquieren un papel crucial, yendo más allá de la mera corrección de fallos y consolidándose como un ámbito estratégico para el rendimiento duradero de la estructura. Un mantenimiento eficaz garantiza que el uso del edificio cumpla con las metas y los objetivos de la organización, asegurando su funcionalidad y revalorización a lo largo del tiempo (Cisne y Albuquerque Junior, 2021).

La falta de planificación en el mantenimiento de los edificios puede provocar un efecto dominó de consecuencias negativas. Se pueden desperdiciar importantes inversiones de capital cuando los equipos y las estructuras se deterioran prematuramente, lo que conlleva la pérdida de garantías y la necesidad de costosas reparaciones. Además, la falta de un mantenimiento adecuado puede comprometer la seguridad de los usuarios, afectar negativamente a la productividad en el entorno y, en última instancia, desincentivar nuevas inversiones en el sistema, creando un círculo vicioso de deterioro (Lavy y Bilbo, 2009).

El mantenimiento de los edificios se basa en tres principios: seguridad, funcionalidad y comodidad, lo que garantiza que el edificio ofrezca unas

condiciones adecuadas a los usuarios y que las inversiones se mantengan a largo plazo (Guimarães, 2012). El mantenimiento de los edificios hospitalarios está estrechamente vinculado a la cadena de servicios sanitarios, por lo 3 que desempeña un papel estratégico y multifacético. Su misión principal es velar por la seguridad y la durabilidad de los edificios sanitarios, garantizando un entorno propicio para la recuperación y el bienestar de los pacientes. El mantenimiento hospitalario constituye una actividad esencial que exige conocimientos técnicos especializados, una planificación meticulosa, una organización impecable y una gestión eficiente (EBSERH, 2022). Ante esta realidad, resulta imprescindible replantearse la gestión del mantenimiento hospitalario, adoptando medidas eficaces para garantizar la plena capacidad operativa de los equipos y las instalaciones. Invertir en profesionales cualificados, optimizar los procesos de adquisición y mejorar la infraestructura son medidas esenciales para evitar el despilfarro de recursos y, sobre todo, salvar vidas.

La gestión del mantenimiento de los edificios hospitalarios, además de velar por la integridad y la eficiencia de los sistemas, debe garantizar que la continuidad de las operaciones se produzca sin interferir en la atención clínica. Karman y Fiorentini (1995) señalan que, en los hospitales, las intervenciones deben planificarse y ejecutarse con cuidado, y realizarse preferentemente en horarios y zonas que reduzcan al máximo el impacto en la atención a los pacientes. La realización de tareas de mantenimiento programadas en horarios de menor afluencia de personas o durante el cierre de algunos departamentos es una práctica habitual, con el fin de reducir el riesgo de interrupción de los servicios y las molestias a los usuarios (Dejaco, Gramigna y Moretti, 2019).

Asimismo, el mantenimiento de las instalaciones hospitalarias plantea retos específicos, como la gestión de materiales potencialmente contaminantes y la garantía de que no se produzca contaminación cruzada entre las zonas limpias y las contaminadas. Los estudios demuestran que, cuando se lleva a cabo correctamente, el mantenimiento de las instalaciones hospitalarias contribuye a mejorar los indicadores de seguridad y salud hospitalaria, además de generar un ahorro al evitar los costes de las reparaciones de emergencia y aumentar la vida útil de los equipos (Wong, Olanrewaju y Lim, 2021).

Por lo tanto, el mantenimiento de los edificios hospitalarios es un proceso complejo y altamente especializado, que implica una planificación detallada, la formación continua de los profesionales implicados y el seguimiento constante de los indicadores de rendimiento. De este modo, una gestión eficaz del mantenimiento de los edificios hospitalarios no solo protege el patrimonio, sino que también promueve la seguridad y el

bienestar de los usuarios, contribuyendo a la sostenibilidad y la eficiencia de los servicios sanitarios.

2.2 Bibliometría

La bibliometría es una técnica esencial para organizar, catalogar y analizar la producción académica de forma sistemática y con base estadística. Este método permite trazar la evolución de un tema a lo largo del tiempo, identificando cambios, tendencias y conexiones 4

relevantes en la bibliografía existente (Aria y Cuccurullo, 2017). Se utiliza ampliamente para estructurar la información en ámbitos que requieren una comprensión profunda, como el mantenimiento de los edificios hospitalarios, un campo esencial para el funcionamiento de las instituciones sanitarias, pero en el que aún faltan estudios detallados.

De acuerdo con Aria y Cuccurullo (2017), el mapeo científico no solo contribuye a la investigación, sino que también desempeña un papel estratégico en la formulación de políticas y prácticas eficaces. Para ello, la bibliometría se basa en tres leyes clásicas: la Ley de Bradford, que analiza la productividad de las revistas científicas; la Ley de Lotka, centrada en la productividad de los autores; y la Ley de Zipf, que examina la frecuencia de los términos en los textos científicos (Guedes e Borschiver, 2005).

3. Metodología

Este estudio adopta un enfoque metodológico que combina un análisis bibliométrico, de carácter cuantitativo, y una revisión bibliográfica de carácter descriptivo, con el objetivo de realizar un mapeo de la producción científica sobre el mantenimiento de los edificios hospitalarios e identificar las principales variables que influyen en la dotación de personal en este contexto.

Para el análisis bibliométrico se utilizaron los indicadores clásicos disponibles en el paquete Bibliometrix, entre los que se incluyen la productividad de autores, revistas y países; el análisis de redes de coautoría; el acoplamiento bibliográfico; la presencia y la competencia de palabras clave; así como la evolución temporal de las publicaciones. La base de datos se estandarizó eliminando duplicados, armonizando los nombres de los autores y unificando las palabras clave. También se aplicaron las métricas de Bradford, Lotka y Zipf para identificar las revistas centrales, la productividad de los autores y la frecuencia de los términos. Los resultados fueron generados por el Biblioshiny, interfaz gráfica del Bibliometrix, lo que ha permitido elaborar mapas científicos, gráficos de tendencias y *clusters* temáticos.

La recopilación de datos se llevó a cabo en la base Scopus, muy reconocida por la calidad y el alcance de sus publicaciones científicas. Se utilizó una combinación de los descriptores "*building maintenance*" y "*health*", aplicando el operador lógico "*AND*" para identificar documentos que aborden ambos temas de forma interrelacionada. Los datos recopilados se procesaron utilizando el software R y el paquete Bibliometrix, que ofrece un análisis cuantitativo sólido y fácil de entender a simple vista (Aria y Cuccurullo, 2017).

Asimismo, se llevó a cabo un resumen cualitativo de las publicaciones más relevantes, en el que se identificaron los métodos, los indicadores y las prácticas recomendadas para el dimensionamiento de la plantilla dedicada al mantenimiento hospitalario. Se extrajeron 5

variables como la complejidad técnica de los sistemas, la frecuencia de los mantenimientos preventivos y correctivos, la superficie de los hospitales, la ubicación de los equipos críticos, el tiempo medio de respuesta ante averías y los indicadores de rendimiento (KPIs). La triangulación entre datos cuantitativos y cualitativos ha permitido obtener una visión más amplia y fundamentada de las prácticas y las carencias existentes en este ámbito.

4. Resultados

4.1 Análisis bibliométrico

La recopilación de datos abarcó el periodo comprendido entre 1989 y 2023, con un total de 185 publicaciones procedentes de 120 fuentes distintas (Figura 1). Este volumen de estudios, a lo largo de tres décadas, pone de manifiesto una importante carencia de investigaciones en este ámbito, sobre todo ante el rápido avance tecnológico y sus implicaciones directas para la gestión hospitalaria.



Figura 1 . Información general. Fuente: elaborado por la autora utilizando los softwares "R" y "Bibliometrix".

La productividad científica anual ha registrado un crecimiento moderado e irregular (Figura 2), alcanzando su punto más alto en 2012, con 17 artículos publicados. Sin embargo, el aumento medio del 5,41 % anual sigue siendo insuficiente dada la complejidad y la importancia del tema. En 20 de los 34 años analizados se registraron tres publicaciones o menos, lo que pone de manifiesto la falta de una evolución continua y coherente.

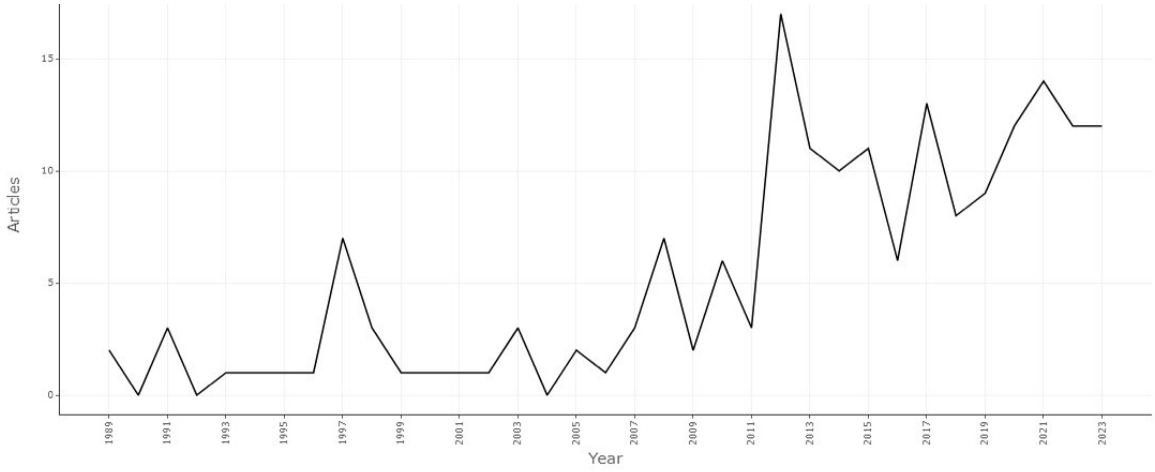


Figura 2 . Producción científica anual. Fuente: elaborado por la autora utilizando el software "R" y "Bibliometrix".

Las fuentes más influyentes identificadas fueron, en su mayoría, institutos de salud, con una mayor concentración de publicaciones a partir de 2010 (Figura 3). Autores como Igal Shohet y Sarel Lavy, aunque reconocidos por sus trabajos de gran calidad e impacto, no han publicado de forma activa en este ámbito desde 2010, lo que podría indicar un estancamiento en las contribuciones más relevantes en el período más reciente (Figura 4).

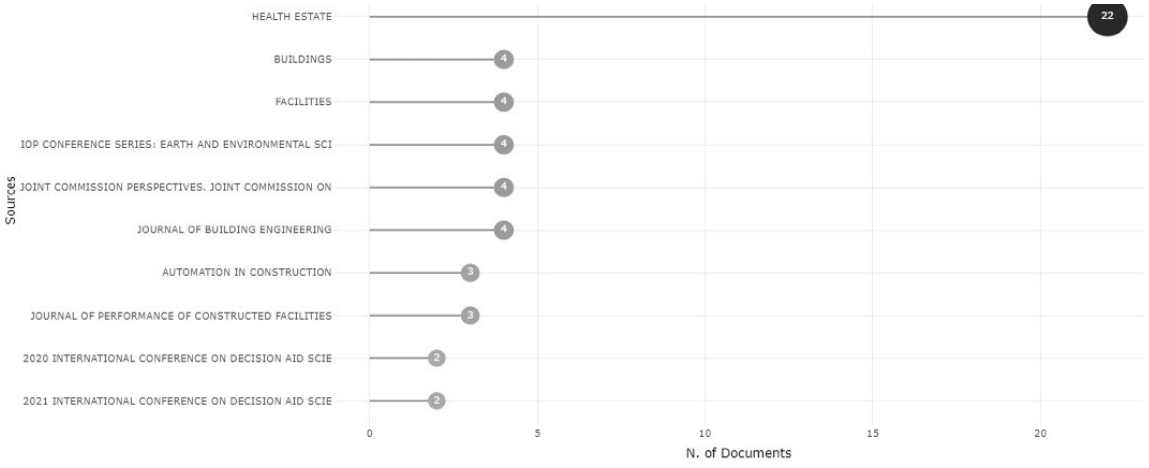


Figura 3 . Fuentes pertinentes. Fuente: elaborado por la autora utilizando los softwares "R" y "Bibliometrix".

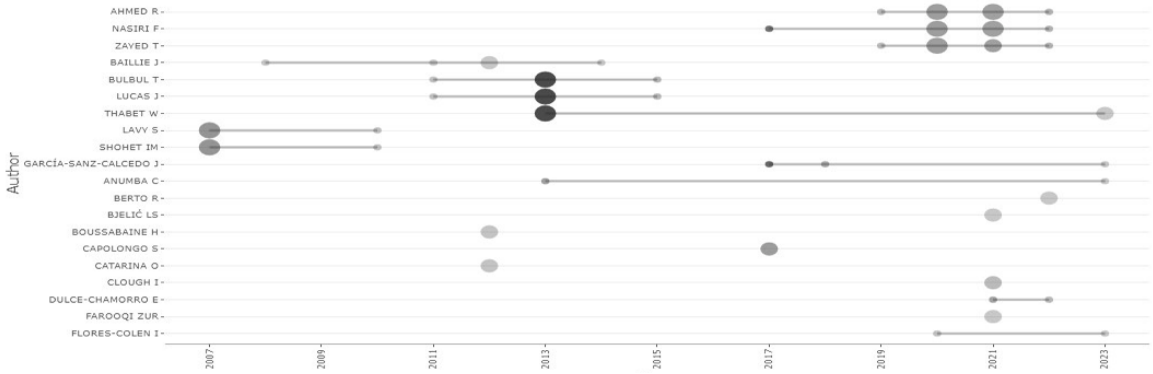


Figura 4 . Producción a lo largo de los años. Fuente: elaborado por la autora utilizando los softwares "R" y "Bibliometrix".

El análisis puso de manifiesto una concentración geográfica significativa de la producción científica, ya que 156 de los 185 artículos procedían de Estados Unidos, lo que limita la aplicabilidad global de los resultados. Esta desigualdad afecta especialmente a países como Brasil, donde las diferencias tecnológicas, culturales y socioeconómicas influyen directamente en las prácticas y las demandas relacionadas con el mantenimiento de los edificios hospitalarios.



Figura 5 . Producción científica por países . Fuente: elaborado por la autora utilizando el software "R" y "Bibliometrix".

El estudio evidencia la falta de investigaciones actualizadas y exhaustivas sobre el mantenimiento de los edificios hospitalarios, área fundamental para la seguridad y la eficiencia de las operaciones. La concentración de publicaciones en un número reducido de autores y regiones refuerza la necesidad urgente de nuevos estudios que tengan en cuenta las particularidades de las diferentes realidades y contextos.

4.2 Variables a tener en cuenta para una metodología de dimensionamiento

Según la revisión bibliográfica sobre el mantenimiento de los edificios hospitalarios, el dimensionamiento de los equipos es un elemento clave para garantizar el funcionamiento, la eficiencia y la seguridad de las instalaciones hospitalarias. Esta necesidad se hace aún más evidente debido a la importancia del mantenimiento preventivo y a la urgencia de atender las necesidades correctivas, que, si no se abordan a tiempo, pueden afectar directamente a la seguridad de los pacientes y a la continuidad de la atención (Chen *et al*., 2020; Guimarães, 2012). Para dimensionar adecuadamente estos equipos, se han identificado en la bibliografía algunas variables críticas que deben tenerse en cuenta.

Así pues, la primera variable crítica que influye en la dotación de personal del equipo de mantenimiento de edificios es la complejidad de los sistemas instalados. En los hospitales, además de los sistemas convencionales de infraestructura del edificio, como la iluminación, laenergía eléctrica y la hidráulica, existe un conjunto de sistemas especializados que requieren una atención continua y altamente cualificada, tales como los sistemas de aire acondicionado, los sistemas de control de infecciones, los sistemas de gas medicinal, los sistemas de ventilación presurizada en quirófanos, además de redes eléctricas redundantes y sistemas de generación de energía para emergencias hidráulicas (Karman, Fiorentini y Karman, 1995; Lavy y Bilbo, 2009).

La presencia de estos sistemas exige contar con profesionales con formación específica para cada área técnica, lo que significa que la composición del equipo no debe basarse únicamente en el número de profesionales, sino también en su nivel de cualificación técnica. En un entorno hospitalario, sistemas como la ventilación, los gases medicinales y las redes eléctricas requieren técnicos especializados en cada área. Los fallos en estos sistemas pueden tener graves consecuencias, como la interrupción de procedimientos críticos o riesgos para la salud de pacientes y empleados, lo que refuerza la necesidad de contar con un equipo de mantenimiento de instalaciones altamente especializado y formado (Dejaco, Gramigna y Moretti, 2019; Jesumoroti, Olanrewaju y Khor, 2022).

Por lo tanto, otro aspecto relevante a la hora de determinar el tamaño del equipo es la especialización necesaria de los profesionales. Así pues, a la hora de determinar el tamaño del equipo también se debe dar prioridad a la cualificación técnica y a la formación continua de los profesionales implicados, de conformidad con la normativa nacional, como las normas NR-4, NR-10, NR-12 e NR-33 de la Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2018; 2019; 2020; 2021).

Otro factor fundamental señalado por Xenos (1998) es la frecuencia de los mantenimientos preventivos y correctivos. Para que un hospital funcione de forma eficiente y segura, es fundamental adoptar un enfoque proactivo mediante mantenimientos preventivos periódicos. En lo que respecta a los equipos de mantenimiento de las instalaciones hospitalarias, deben tenerse en cuenta factores clave, como la carga de trabajo asociada a las tareas de mantenimiento preventivo y correctivo, el tiempo medio de respuesta ante averías y la cualificación técnica necesaria para gestionar los distintos sistemas presentes en el hospital (Fotovatfard y Heravi, 2021). Además, en los hospitales, el tiempo de respuesta para solucionar fallos imprevistos es fundamental, especialmente cuando se trata de sistemas que afectan directamente a la vida de los pacientes, como los sistemas de soporte vital o el suministro eléctrico. Por lo tanto, debe haber un número suficiente de técnicos disponibles no solo para llevar a cabo las actividades preventivas, sino también para responder rápidamente a cualquier emergencia o fallo operativo que requiera una intervención inmediata.

La dimensión del área construida y la dispersión de los equipos críticos en los diferentes sectores del hospital son variables fundamentales a la hora de determinar el tamaño de los equipos de mantenimiento hospitalario, especialmente en hospitales de gran tamaño. La complejidad y la extensión física de las instalaciones, que incluyen unidades de cuidados intensivos, quirófanos, laboratorios y áreas de apoyo, exigen una planificación estratégica para garantizar que el equipo de mantenimiento cuente con la dotación de personal y la distribución adecuadas para atender todas estas áreas de manera eficiente (Guimarães, 2012; Dejaco, Gramigna y Moretti, 2019). Según Xenos (1998), la distribución del equipo de mantenimiento debe tener en cuenta tanto el grado de criticidad de los equipos como la ubicación física de los activos, lo que puede reducir significativamente el tiempo de respuesta en caso de avería. Este enfoque se ve respaldado por estudios que indican que la creación de subequipos especializados, asignados en función de la importancia de los sistemas y la proximidad a las áreas críticas del hospital, permite una mayor rapidez y eficacia en las intervenciones (Fotovatfard y Heravi, 2021). Además, la distribución de los equipos en función de zonas geográficas dentro del hospital, tal y como sugiere Wong, Olanrewaju y Lim (2021), facilita la realización de tareas de mantenimiento de forma ágil y minimiza el impacto de las interrupciones en los servicios esenciales, lo que refuerza la importancia de una gestión estructurada del mantenimiento para optimizar los recursos y mejorar la seguridad operativa de los entornos hospitalarios.

El uso de indicadores de rendimiento (KPIs) es ampliamente recomendado como herramienta para la evaluación continua de la eficacia de los equipos de mantenimiento. Indicadores como **tiempo medio de**

respuesta a las órdenes de servicio correctivas, frecuencia de los mantenimientos preventivos y tasa de reincidencia de averías permiten ajustar la dotación y la distribución del personal en función de las necesidades operativas (Fotovatfard y Heravi, 2021). Según estudios realizados por Xenos (1998), el análisis de estos indicadores es fundamental para garantizar que el equipo de mantenimiento atienda las necesidades del hospital de manera eficiente y esté preparado para intervenir rápidamente en los sistemas críticos. Además, estudios recientes han demostrado que los hospitales que adoptan sistemas automatizados de monitorización logran identificar y resolver los problemas con mayor rapidez, lo que aumenta la eficiencia del equipo y reduce el número de órdenes de servicio correctivas (Ebiloma, Aigbavboa y Anumba, 2023).

El estudio de Enshassi y El Shorafa (2015), realizado en la Franja de Gaza, destaca que la determinación de las necesidades de personal para el mantenimiento de los edificios hospitalarios debe basarse en indicadores de rendimiento, como el **Maintenance Efficiency Indicator (MEI)**, que mide la eficiencia de los recursos asignados en relación con el estado físico de los edificios. Según los autores, "el MEI proporciona una indicación cuantitativa de la eficacia con la que se llevan a cabo las actividades de mantenimiento, lo que permite ajustar la asignación de recursos y dar prioridad a las estrategias preventivas" (Enshassi y El Shorafa,2015, p. 222). Este enfoque es esencial para garantizar el equilibrio entre las necesidades correctivas y preventivas, evitando sobrecargas y optimizando el rendimiento de los equipos de mantenimiento. El enfoque tiene en cuenta la variabilidad de las condiciones de los edificios y la complejidad de los sistemas hospitalarios, y demuestra que una planificación inadecuada puede sobrecargar a los profesionales con necesidades urgentes, lo que compromete la eficiencia y la funcionalidad de las instalaciones. El uso de KPIs permite optimizar el rendimiento de los equipos, adaptando los recursos humanos a las necesidades específicas de los centros sanitarios, lo que favorece un mantenimiento más eficaz y económico.

Una metodología de dimensionamiento debe cumplir con las normas reglamentarias nacionales e internacionales aplicables, como la NR-4, NR-12 e NR-33, que establecen normas de seguridad y procedimientos específicos para las instalaciones y las actividades de mantenimiento de edificios. Las normativas específicas para entornos hospitalarios, como las de la Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa), también sirven de guía para la planificación y la ejecución de las tareas de mantenimiento (ABNT, 2018; ABNT, 2019; ABNT, 2020; ABNT, 2021).

La literatura sugiere, además, que la determinación del tamaño del equipo de mantenimiento hospitalario debe ser un proceso dinámico,

que se revise periódicamente para adaptarse a los cambios en el entorno hospitalario, como la introducción de nuevos equipos y la ampliación de las áreas de atención (Chen *et al*., 2020). En este sentido, es fundamental que el dimensionamiento incluya un margen de seguridad, dado el carácter impredecible de muchas intervenciones hospitalarias, además de la posibilidad de que se produzcan crisis sanitarias y situaciones de emergencia, que pueden requerir respuestas rápidas y precisas (Xenos, 1998; Karman, 1994).

Según con Picchiai (2009), investigador del Programa de Estudios Avanzados en Gestión Hospitalaria y Sistemas de Salud (PROAHSA), Coelho (2006) destaca la importancia estratégica de planificar adecuadamente el mantenimiento de los edificios para garantizar el funcionamiento continuo de las infraestructuras hospitalarias. En este contexto, la externalización se señala como una práctica eficaz, y se recomienda la presencia de profesionales, como ingenieros civiles, electricistas y albañiles, a razón de un equipo por cada 200 camas hospitalarias, con el objetivo de atender tanto las necesidades rutinarias como las de emergencia (Picchiai, 2009, p. 142). Picchiai (2009) también relata que Coelho (2006) destaca la necesidad de planificar el sector del mantenimiento teniendo en cuenta las particularidades de las infraestructuras hospitalarias, como el parque tecnológico instalado y la cualificación de los profesionales implicados. Además, la supervisión técnica, que a menudo llevan a cabo ingenieros, se considera esencial para coordinar las actividades de mantenimiento de los edificios y los equipos, evitando que se vean afectados los servicios hospitalarios (Picchiai, 2009, p. 142).

La RDC nº 2/2010 de la Anvisa (BRASIL, 2010) establece los requisitos esenciales para la infraestructura física de los servicios sanitarios, con el objetivo de garantizar la seguridad, la funcionalidad y unas condiciones higiénico-sanitarias adecuadas. Aunque aborda aspectos relacionados con el mantenimiento de los edificios, la resolución no ofrece directrices específicas sobre la dotación de personal de mantenimiento. Esta laguna refuerza la necesidad de contar con metodologías específicas que tengan en cuenta las particularidades del entorno hospitalario.

Por su parte, la ABNT NBR 5462:1994, que abarca la fiabilidad y el mantenimiento, presenta definiciones de términos y conceptos fundamentales para la gestión y el análisis de sistemas, equipos e instalaciones. Aunque esta norma no aborda directamente el dimensionamiento de equipos, proporciona una base teórica valiosa para la toma de decisiones en este ámbito. Sin embargo, su aplicabilidad suele estar más orientada a contextos industriales que al entorno hospitalario.

5. Consideraciones finales

El mantenimiento de los edificios hospitalarios es una actividad esencial para garantizar la seguridad de los pacientes, la continuidad de los servicios y la eficiencia de la infraestructura sanitaria. Este estudio ha puesto de manifiesto una laguna significativa en la producción científica nacional sobre la dotación de personal en este sector, especialmente en las grandes instituciones públicas. El análisis bibliométrico ha puesto de manifiesto que la literatura se concentra en los países desarrollados, lo que dificulta la aplicación directa de sus modelos al contexto brasileño, caracterizado por retos específicos de carácter técnico, operativo y normativo.

Ante este panorama, se propone el desarrollo de metodologías propias, basadas en datos históricos, indicadores de rendimiento y normativas aplicables, con el fin de orientar la planificación eficiente de los equipos de mantenimiento. Se recomienda que futuras investigaciones profundicen en el análisis empírico en los hospitales brasileños, contribuyendo así a la formulación de directrices más adaptadas a la realidad local. La gestión eficaz del mantenimiento hospitalario debe reconocerse como una estrategia fundamental para la calidad asistencial y la sostenibilidad de los servicios sanitarios.

Referencias

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. **Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis**. Journal of Informetrics, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007. Acesso em: 05 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462: Confiabilidade e manutenção**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5674: Manutenção de edificações** – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **RDC nº 2, de 25 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os requisitos mínimos para a infraestrutura física de serviços de saúde**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 jan. 2010. Disponível em: https://www.in.gov.br. Acesso em: 5 jul. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-4 – Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho**. Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-33 – Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados**. Brasília, 2020.

CHEN, Dan *et al*. **An indicator system for evaluating operation and maintenance management of mega infrastructure projects in China**. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 17, n. 24, p. 9589, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph17249589. Acesso em: 5 jul. 2025.

CISNE, Vandeilson do Nascimento; ALBUQUERQUE JUNIOR, Carlos Roberto Falcão. **Planejamento estratégico para implantação de uma gestão de excelência de manutenção predial e facilities com o aporte do PPCGM**. In: XLI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2021, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu, 2021. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_354_1822_41893.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

DEJACO, M. C.; GRAMIGNA, M.; MORETTI, N. **Plant maintenance in hospitals facilities**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 296, p. 012030, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012030. Acesso em: 5 jul. 2025.

EBSERH – Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares. **Gestão de manutenção predial hospitalar para os hospitais da rede Ebserh**. 1. ed. Brasília: EBSERH, 2022.

ENSHASSI, Adnan Ali; EL SHORAFA, Farida. **Key performance indicators for the maintenance of public hospitals buildings in the Gaza Strip**. Facilities, v. 33, n. 3/4, p. 206-228, 2015.

FOTOVATFARD, Armaghan; HERAVI, Gholamreza. **Identifying key performance indicators for healthcare facilities maintenance**. Journal of Building Engineering, v. 42, p. 102838, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102838. Acesso em: 5 jul. 2025.

GOMES, Aline Neves. **Gestão na manutenção predial hospitalar: uma análise bibliométrica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO DO EDIFÍCIO HOSPITALAR – CBDEH, 10., 2024, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABDEH, 2024. p. 74-82.

GUEDES, Vânia L. S.; BORSCHIVER, Suzana. **Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento em sistemas de informação, comunicação e avaliação científica**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 6., 2005, Salvador. Anais [...]. Salvador: ICI/UFBA, 2005. Disponível em: https://cinform-nteriores.ufba.br/vi_anais/docs/VaniaLSGuedes.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

GUIMARÃES, José Mauro Carrilho. **A problemática da manutenção predial e de equipamentos em estabelecimentos de saúde pública do município do Rio de Janeiro**. 2012. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Profissional em Saúde) – Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/8811. Acesso em: 5 jul. 2025.

JESUMOROTI, Christtestimony; OLANREWAJU, AbdulLateef; KHOR, Soo Cheen. **Defects in Malaysian hospital buildings**. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 2022. DOI: 10.1108/IJBPA-12-2021-0166.

KARMAN, Jarbas. **Manual de manutenção hospitalar – Manutenção Preditiva**. São Paulo: Pini, 1994.

KARMAN, Jarbas; FIORENTINI, Domingos; KARMAN, Jarbas N. M. **Manutenção incorporada à arquitetura hospitalar**. Brasília: Ministério da Saúde/SAS, 1995. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manut_hospit.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

LAVY, Sarel; BILBO, David L. **Facilities maintenance management practices in large public schools.** Facilities, v. 27, n. 1/2, p. 5-20, 2009.

LI, Yongkui *et al*. **Automated analysis and assignment of maintenance work orders using natural language processing**. Automation in Construction, v. 165, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105501. Acesso em: 5 jul. 2025.

PICCHIAI, Djair. **Parâmetros e indicadores de dimensionamento de pessoas em hospitais**. Relatório de pesquisa. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2009.

PRITCHARD, Alan. **Statistical bibliography or bibliometrics?** Journal of Documentation, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.

WONG, Wai Fang; OLANREWAJU, AbdulLateef; LIM, Poh Im. **Value-Based Building Maintenance Practices for Public Hospitals in Malaysia**. Sustainability, v. 13, n. 11, p. 6200, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su13116200. Acesso em: 5 jul. 2025.

XENOS, Harilaus G. P. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

Autores

Aline Neves Gomes Jefa del Servicio de Obras e Instalaciones del Instituto Nacional del Cáncer (INCA) y máster en Sistemas de Gestión por la Universidad Federal Fluminense (UFF). Cuenta con diez años de experiencia en el INCA, con especialización en la gestión integrada del mantenimiento de edificios hospitalarios. Trabajó durante seis años en la Beneficente Portuguesa do Pará, también en el ámbito de la arquitectura hospitalaria. Es graduada en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad Federal de Pará (UFPA) y posee una Licenciatura Plena en Matemáticas por la Universidad del Estado de Pará (UEPA).

E-mail: ang@alprojetos.com

Marcelo J. Meiriño Arquitecto y Urbanista por la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ), con maestría y doctorado en Ingeniería Civil por la Universidad Federal Fluminense (UFF). Ingeniero de Seguridad en el Trabajo y especialista en Eficiencia Energética, trabaja en el desarrollo de soluciones innovadoras y sostenibles. Es profesor de la UFF en los programas de maestría y doctorado en Sistemas de Gestión y coordina el Núcleo de Innovación y Tecnología para la Sostenibilidad (NITS/UFF). Coordina el Grupo de Investigación en Innovaciones y Sostenibilidad (CNPq/UFF) y el Congreso Nacional de Excelencia en Gestión. Fue becario del Programa Internacional de Visitantes Líderes (IVLP) del Departamento de Estado de los Estados Unidos. Se desempeña como consultor en proyectos de investigación y desarrollo (I+D) de la Agencia Nacional de Energía Eléctrica (ANEEL) y en revistas científicas indexadas.

E-mail: marcelojm@id.uff.br

Fábio Aquino Administrador graduado por la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro (UFRRJ), con maestría y doctorado en Sistemas de Gestión por la Universidad Federal Fluminense (UFF). Trabajó durante 12 años en el sector privado, en las áreas financiera e inmobiliaria. Fue jefe de la Sección de Compras y de la División de Investigación de la Pro Rectoría de la UFF, donde actualmente también desempeña funciones de dirección. Se desempeñó como gestor público de contratos en el legado olímpico (2021–2023). Fue docente en la Facultad Paraíso y actualmente es profesor con dedicación de 40 horas semanales en el CEFET/RJ. Cuenta con publicaciones en congresos y revistas científicas, así como experiencia en la organización de eventos académicos.

E-mail: faquin98@gmail.com

Artículo

El aporte de las tecnologías digitales al desarrollo de proyectos destinados a satisfacer las necesidades de información necesarias para el funcionamiento y el mantenimiento de los activos hospitalarios

Autora

Adriana Tonani Mazzieiro Universidad Federal de Minas Gerais – UFMG

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.02

Resumen

Los hospitales son edificios complejos que requieren una gestión sistemática y altamente precisa de las operaciones y el mantenimiento. Esta investigación aborda las características específicas de estas unidades asistenciales y analiza cómo las tecnologías digitales pueden contribuir al desarrollo de proyectos cuyo objetivo sea satisfacer los requisitos de información necesarios para esta fase del ciclo de vida del activo. La metodología es exploratoria y parte de una revisión bibliográfica, seguida de un estudio de dos casos que consideran distintas tecnologías digitales para el desarrollo de proyectos y el registro de la información necesaria para la gestión de instalaciones. Aunque los ejemplos aplican diversas tecnologías digitales, coinciden en que la información que debe conservarse y registrarse para su uso futuro está presente desde la fase de diseño, al inicio del ciclo de vida del activo, continúa durante la fase de construcción y finalmente se entrega para la fase de operación y mantenimiento.

Palabras clave:

tecnologías digitales, hospitales, gestión de instalaciones, operación y mantenimiento.

1. Introducción

Los hospitales presentan estructuras funcionales complejas que exigen una gran atención por parte de los responsables de su gestión en lo que respecta a los sistemas de infraestructuras físicas y de equipamiento médico. Con el desarrollo y la creciente especialización de las distintas áreas de la medicina, los edificios hospitalarios deben adaptarse, cada vez más, a una distribución arquitectónica diversificada que satisfaga todas las exigencias de una atención sanitaria de alta calidad.

Esta especificidad de los edificios hospitalarios exige a los arquitectos y urbanistas una visión sistémica del objeto arquitectónico, capaz de dar respuesta a las complejidades físico-funcionales del edificio hospitalario, sin prescindir de las cualidades de humanización y del entorno confortable necesarias para el bienestar de los pacientes, teniendo en cuenta el paradigma contemporáneo de los hospitales como lugares de recuperación de la salud.

La cantidad de información que hay que almacenar, tanto en lo que respecta a las infraestructuras físicas como a los equipos médicos hospitalarios, ha crecido de forma exponencial, y la necesidad de organizar dicha información de manera objetiva y sistemática es imprescindible para que el funcionamiento y el mantenimiento de los hospitales se desarrollen de forma eficaz.

El avance de las tecnologías digitales para el diseño, el registro y el almacenamiento de información sobre los activos construidos, que ya se ha visto facilitado por la aparición de las plataformas CAD – *Computer-Aided Design* – ha cambiado y se ha ampliado de forma significativa con la aparición de las plataformas BIM – *Building Information Modeling*, ya que no solo se registran los datos geométricos de los edificios, sino también la información pertinente y seleccionada para su uso futuro, que puede estar disponible en el modelo tridimensional.

Así, la posibilidad de actuar con precisión en las tareas de funcionamiento y mantenimiento de los edificios hospitalarios ha ganado en eficacia, ya que la información necesaria para resolver cualquier incidencia que pueda surgir estará a disposición del usuario de forma más directa, lo que garantiza una mayor rapidez y calidad en la respuesta de los servicios prestados a los pacientes.

2. Justificación

La elección del tema se basó en la constatación de la importancia de la fase de funcionamiento y mantenimiento de los activos hospitalarios, derivada de la observación directa de sus procesos, experimentada

en diversas unidades asistenciales en las que he podido trabajar como profesional junto a equipos de mantenimiento y funcionamiento, y de la revisión bibliográfica actualizada sobre el tema, en la que se demuestra su relevancia y cómo las tecnologías digitales pueden contribuir a la mejora de dicha gestión.

En esta investigación, se parte de la premisa de que el ciclo de vida de un activo hospitalario comienza con el estudio de viabilidad del proyecto y se desarrolla a lo largo de las siguientes fases: el proyecto arquitectónico y el resto de proyectos de ingeniería, la construcción, la puesta en servicio, la explotación y el mantenimiento, hasta que, un día, si sus características constructivas ya no se ajustan a sus usos, pueda rehabilitarse mediante reformas, desmontarse o demolerse.

Debido a su elevada complejidad físico-funcional, los hospitales son edificios en los que la gestión del patrimonio inmobiliario debe estar en consonancia con los procesos más avanzados de explotación y mantenimiento, con el fin no solo de obtener buenos resultados operativos, sino, sobre todo, de dar respuesta a la urgencia que presentan algunas situaciones de mantenimiento. Como mencionado por el profesor Jarbas Karman, en su obra *Manutenção e Segurança Hospitalar Preditivas*:

> El hospital se considera uno de los proyectos más complejos desde el punto de vista arquitectónico, de ingeniería, de instalaciones, de equipamiento, de seguridad, así como de tecnología y de gestión. Sus equipos, aparatos, instalaciones y suministros se utilizan de forma continua y constante. (Karman, 2011, p.41).

Por lo tanto, los arquitectos y urbanistas deben preocuparse por establecer, desde la fase de diseño conceptual de los hospitales, una serie de premisas que puedan ayudar, en el futuro, a los equipos de explotación y mantenimiento en los procesos de gestión de los activos hospitalarios. Además, estas premisas deben tenerse en cuenta en la elaboración de los proyectos ejecutivos de todas las disciplinas y, posteriormente, en la fase de construcción, por lo que es necesario registrarlas *as-built* las modificaciones que se hayan producido durante las obras, para que los datos resultantes estén actualizados y constituyan una fuente de información fiable para la fase de explotación y mantenimiento.

En los últimos años se han producido impresionantes incendios en hospitales brasileños, como los de septiembre de 2019 en el Hospital Badim, que causaron la muerte de 25 pacientes. Se han registrado otros incidentes: uno en octubre de 2020, en el Hospital Municipal Lourenço Jorge, a causa de un cortocircuito en el cuadro de disyuntores que, afortunadamente, se logró controlar; y otro en el edificio 1 del Hospital Federal de Bonsucesso, en la zona norte de Río de Janeiro, en el que se evacuó a 200 pacientes del edificio y, lamentablemente, dos personas

fallecieron a causa de este siniestro. En Belo Horizonte, en la Santa Casa de Misericórdia, el mayor hospital del estado con 1.200 camas, la UCI de la décima planta se incendió debido a una fuga de oxígeno relacionada con un equipo; los pacientes fueron trasladados a la calle en camillas y sillas de ruedas, lo que provocó el fallecimiento de tres pacientes y la hospitalización de 25 empleados que ayudaron a evacuar a las personas, por inhalación de humo[1].

Debido a la gravedad de los incidentes y a la recurrencia de las emergencias operativas en los hospitales brasileños, es imprescindible que los proyectos tengan en cuenta la importancia de comprender los requisitos de información necesarios para la fase de explotación y mantenimiento de los edificios sanitarios, así como el establecimiento de premisas y estrategias de diseño, mediante la adopción de una metodología que garantice la integridad de los datos necesarios para hacer frente a las situaciones cotidianas de mantenimiento, así como a las situaciones de riesgo, minimizando al máximo las pérdidas derivadas de ellas.

3. Objetivo

El propósito de este artículo es demostrar cómo las tecnologías digitales pueden contribuir a la fase de explotación y mantenimiento de los hospitales, tanto en edificios que se someten a reformas para su rehabilitación física como en edificios de nueva construcción.

4. Metodología

La metodología de investigación adoptada para este trabajo fue de carácter exploratorio (Gil, 2002, p. 41), partiendo de una revisión bibliográfica cualitativa sobre la importancia de la fase de explotación y mantenimiento en el ciclo de vida de los activos hospitalarios y sobre cómo las tecnologías digitales pueden contribuir al cumplimiento de los requisitos necesarios para los procesos derivados de dicha fase. A continuación, se utilizó un análisis de ejemplos que facilitan la comprensión de la importancia de tener en cuenta los requisitos de información para la gestión de los activos ya en la fase inicial de desarrollo de los proyectos arquitectónicos.

5. Revisión bibliográfica

Los edificios hospitalarios requieren procesos constantes de funcionamiento y mantenimiento, dada su complejidad y la intensidad de uso de sus estructuras físico-funcionales. Muchos edificios hospitalarios existentes necesitan medidas constantes de rehabilitación de sus

1 Todos los casos mencionados ponen de manifiesto la necesidad de tener en cuenta la importancia del acceso inmediato a la información relativa a las instalaciones de infraestructura física y de contar con un sistema integrado de seguimiento del mantenimiento y el funcionamiento, lo que permite aumentar la calidad y la eficiencia de las operaciones.

espacios, debido a su deterioro físico o a su inadecuación a las nuevas exigencias funcionales, y carecen de registros mínimos con información suficiente para dar un apoyo adecuado a la fase de funcionamiento y mantenimiento.

> Cada vez más, el hospital se revela como *una obra en constante construcción y una institución a la espera de su finalización*: se suceden modificaciones, innovaciones, avances tecnológicos, cambios, reformas y nuevas obras; los equipos y las instalaciones se sustituyen con mayor frecuencia; la vida útil de los productos y la lucha contra la obsolescencia física y funcional cobran mayor relevancia, lo que genera la necesidad de respuestas, planificación, medidas e inversiones cada vez más ágiles (Karman, 2011, p.45).

Proporcionar la información necesaria para la gestión de activos debe ser una prioridad para la alta dirección[2] de las instituciones hospitalarias, que deben determinar, dentro de su estructura organizativa, cuáles son los requisitos de información necesarios para que los procesos de funcionamiento y mantenimiento se desarrollen de forma eficaz (ABNT NBR ISO 19650-1:2025).

A la hora de registrar esta información, los proyectos deben, necesariamente, cuando aún se desarrollan en CAD[3], ser compatibles con el resto de asignaturas y documentarse, aunque sea en forma de diseños 2D, hojas de cálculo o tablas, las ubicaciones y la información de las principales infraestructuras que se gestionarán en la fase de explotación y mantenimiento, de modo que el acceso a los datos esenciales para dicha fase se vea facilitado por el registro completo de las redes y los equipos existentes en el edificio.

Este escenario de uso de tecnologías digitales en CAD – *Computer-Aided Design* sigue siendo una realidad en Brasil, en la mayoría de los hospitales, ya que la migración de las tecnologías digitales de los proyectos al BIM – *Building Information Modeling* requiere una gran inversión en hardware, software y formación del personal para su uso, lo que exige una planificación y un presupuesto a largo plazo para su implantación. Una vez adoptado el BIM, el modelo podrá utilizarse, siempre que se haya desarrollado y preparado para ello, con el fin de cumplir los requisitos de información necesarios para la gestión de activos integrada en el sistema de mantenimiento y operación, lo que supondrá un salto cualitativo en este proceso.

La etapa de gestión de los activos construidos es la de mayor duración del ciclo de vida de un edificio y, por consiguiente, la que supone un mayor costo.

> Centrándonos en la fase de uso y explotación del ciclo de vida de un proyecto, se considera que es la más costosa por ser la más prolongada en comparación con las demás. En consecuencia, es la etapa que más se

2 Según la norma ABNT NBR ISO19650, la alta dirección debe determinar el AIR – Asset Information Requeriment, para que se cumplan los requisitos de información sobre el activo en el modelo AIM – Asset Information Model, en la etapa de operación y mantenimiento, cuando se utiliza la metodología BIM.

3 Aunque el sector de la construcción está avanzando hacia la implantación del BIM en todos los sectores de la economía, el sector sanitario sigue enfrentándose a diversas dificultades a la hora de adoptarlo, lo que no puede comprometer el registro de la información necesaria para la fase de funcionamiento y mantenimiento de los hospitales; por ello, también resulta necesario seguir recurriendo a las tecnologías CAD.

> beneficia de disponer de un historial de información estructurado, ya que acumula datos sobre la evolución del proyecto desde la fase de concepción. En esta fase se genera información específica que puede utilizarse para mejorar el rendimiento de los proyectos, como: solicitudes de servicios, programas de mantenimiento, informes de inspecciones, tiempo de inactividad y costes operativos. (Mota; Moreira, 2025)

En vista de la longevidad característica de los edificios construidos y, sobre todo, de los elevados costes de las inversiones globales en construcción e instalación de equipos en los edificios hospitalarios, resulta imprescindible potenciar una gestión eficiente de su patrimonio físico y de sus equipos médicos, no solamente para preservar sus resultados operativos, sino, sobre todo, para garantizar una atención segura y de calidad a sus usuarios.

La gestión de activos en Brasil se rige por una serie de normas técnicas traducidas de la serie internacional ISO 55000X. Los activos pueden incluir cualquier cosa que tenga un valor real o potencial, tangible o intangible, financiero o de otro tipo[4]. La norma brasileña ABNT NBR ISO 55000 define la terminología, la visión general y los principios con el fin de alcanzar los resultados esperados para un proceso eficaz de gestión de activos (ABNT NBR ISO 55000, 2024).

> La gestión de activos puede entenderse como la gestión de inventarios, instalaciones y equipos mediante registros que recogen información. [...] Estos activos, que consisten en el edificio físico, los sistemas, el entorno y los equipos, deben mantenerse, actualizarse y gestionarse con una eficiencia que satisfaga tanto al propietario como a los usuarios de la forma más económica posible. (Mota; Moreira, 2025)

En la gestión de activos hospitalarios, la administración de *facilities* y la ingeniería clínica son, desde un punto de vista estratégico, las más importantes para la fase de funcionamiento y mantenimiento, ya que afectan directamente a la seguridad, la integridad física de los usuarios y la calidad de la prestación asistencial. Los procesos de registro de la información relativa a las infraestructuras físicas y los equipos médicos pueden variar en función de la tecnología digital aplicada, pero los tipos de información que deben almacenarse pueden sistematizarse y estandarizarse independientemente de la metodología adoptada.

Según la IFMA – *International Facility Management Association*, la gestión de *facilities* "es un campo del conocimiento cuya función organizativa consiste en integrar a las personas, los lugares y los procesos dentro del entorno construido, con el objetivo de mejorar la calidad de vida de las personas y la productividad del actividad principal" (IFMA, 2025, traducción propia).

En la Norma Brasileña ABNT NBR ISO 41018:2023, el concepto de gestión de *facilities* es "la que integra múltiples disciplinas para influir en la

4 En el caso de este trabajo, destacan los activos con valores reales y tangibles como los más importantes para su registro en los proyectos, tanto en 2D como en modelos BIM, ya que el enfoque principal de la operación y el mantenimiento hospitalarios, en esta investigación, se centra en las infraestructuras físicas de los edificios y en los equipos médicos necesarios para prestar una asistencia sanitaria de calidad en las instituciones sanitarias.

eficiencia y la productividad de las economías de las organizaciones, las sociedades y las comunidades, así como en la forma en que los individuos interactúan con el entorno construido".

A nivel operativo, la gestión de *facilities* es responsable de gestionar todas las infraestructuras físicas necesarias para que un edificio funcione con la máxima eficiencia y seguridad.

Por su parte, la gestión de la ingeniería clínica, según la Abeclin – Associação Brasileira de Engenharia Clínica,

> "es el campo del conocimiento que se ocupa de las técnicas de ingeniería aplicadas a la gestión de equipos sanitarios con el objetivo de garantizar la trazabilidad, la facilidad de uso, la calidad, la eficacia, la efectividad, la seguridad y el rendimiento de dichos equipos, con el fin de promover la seguridad de los pacientes" (ABECLIN, 2025).

A nivel operativo, la ingeniería clínica garantiza el perfecto funcionamiento de los equipos médicos.

Con respecto a la información sobre los activos que deben gestionarse en la fase de explotación y mantenimiento, la Norma Británica BS 8210:2012 establece una lista de los principales registros que deben gestionarse. Según la norma, los datos de los activos deben incluir información como: el número de identificación, la ubicación, la vida útil prevista, la descripción detallada, el modelo y el fabricante, la fecha de fabricación, el proveedor, la fecha de adquisición y de instalación, el costo, las piezas y el ciclo de sustitución, el consumo energético, la amortización y el valor final tras la amortización, el ciclo de mantenimiento, así como el coste y el tipo de formación necesaria para el operario de mantenimiento (BS 8210:2012 *apud* Mota; Moreira, 2025, p.188).

Estos datos pueden estar registrados en los sistemas de gestión del mantenimiento hospitalario, CAFM – *Computer Aided Facility Management/ CMMS – Computerized Maintenance Management Systems*, que gestionan las infraestructuras y las órdenes de servicio de mantenimiento de forma habitual, o que están integrados en sistemas más avanzados, que establecen la conexión entre los sistemas FM – *Facility Management* y el modelado BIM para gestión de activos. La ventaja de contar con un modelo AIM – *Asset Information Model* de la edificación, tal y como se define en la Norma Brasileña ABNT NBR ISO 19650-1:2025 como el modelo de información relacionado con la fase de explotación de un activo es que asocia datos geométricos con datos no geométricos, además de incluir la información necesaria para una gestión más sistemática de los procesos implicados (ABNT NBR ISO 19650-1:2025).

Los sistemas FM – *Facility Management*, que permiten la integración con modelos AIM – *Asset Information Model*, pueden facilitar esta conexión de diferentes maneras: directamente, en la que los modelos BIM, en formatos

nativos o abiertos ".ifc" – *Industry Foundation Classes*, se pueden integrar en los sistemas; mediante una conexión a través del desarrollo de una API – *Application Programming Interface*, una interfaz que facilita el intercambio de información y la integración de funcionalidades; o de forma indirecta, utilizando el COBie – *Construction Operations Building Information Exchange*, un MVD – *Model View Definition*, subconjunto del ".ifc" que selecciona del modelo únicamente la información necesaria para la fase de explotación y mantenimiento, proporcionando datos no geométricos intercambiables entre el modelo AIM y los sistemas FM – *Facility Management*.

> COBie – *Construction Operations Building Information Exchange* es una especificación para la recopilación y entrega de información sobre proyectos y obras a los gestores de *facilities*. Las especificaciones COBie se pueden recopilar utilizando una hoja de cálculo o un programa compatible con COBie. (BIM Dictionary, 2025, traducción propia)

En los ejemplos que se presentan a continuación se podrán comprender las premisas que pueden adoptarse desde la fase inicial del proyecto arquitectónico para cumplir con los requisitos de información necesarios para la fase de explotación y mantenimiento de los activos, así como las diferentes aportaciones de las tecnologías digitales que pueden ser de ayuda en esta fase del ciclo de vida de los proyectos hospitalarios.

6. Estrategias de proyecto para cumplir los requisitos de información con vistas a la fase de explotación y mantenimiento de los activos hospitalarios

6.1 Caso A – Recualificación del edificio del antiguo Hospital Hilton Rocha: tecnología digital incorporada: CAD – Computer-Aided Design

El Hospital Hilton Rocha, en Belo Horizonte, fue diseñado por el arquitecto y profesor Jarbas Karman en la década de los 70. El edificio funcionó como Instituto Hilton Rocha, un hospital dedicado a tratamientos oftalmológicos, y cerró sus puertas en el año 2002, años después del fallecimiento del Dr. Hilton Rocha en 1993, por motivos económicos. En 2009, fue adquirido en una subasta pública por un grupo de médicos y, a partir de 2017, se llevó a cabo el proyecto aprobado de reforma y ampliación para su reestructuración física. En la figura 1 se puede ver el hospital tal y como era antes de su reforma y ampliación.



Figura 1 . El Hospital Hilton Rocha antes de la reforma y la ampliación. Fuente: archivo de los arquitectos responsables de la reforma y la ampliación del hospital, 2011.

Aunque, en el sector de la construcción, la transformación digital mediante el uso del BIM ya se había puesto en marcha cuando se iniciaron los planes de reforma y ampliación del hospital, por decisión de los propietarios, los proyectos se desarrollaron en CAD. A pesar de utilizar una tecnología digital, sin recurrir a modelos geométricos, se adoptaron algunas premisas de diseño para cumplir con los requisitos de planificación del hospital, con vistas a las fases de explotación y mantenimiento del edificio, distribuidas en las siguientes etapas:

a. Estudio topográfico y arquitectónico del hospital existente: con el objetivo de registrar el potencial constructivo previo para determinar la capacidad del antiguo edificio a la hora de albergar las infraestructuras necesarias para dar servicio a los espacios y equipos del nuevo hospital, así como la viabilidad estructural para la construcción de las ampliaciones requeridas. El análisis derivado de estos levantamientos tuvo como objetivo investigar las cualidades preexistentes del edificio y su adecuación a la nueva configuración operativa, aprovechando al máximo sus características físicas. El registro de la estructura original, con la información sobre las dimensiones y alturas de los elementos constructivos existentes, sirvió de base para establecer la ubicación de los orificios para *shafts* de instalaciones y distribuciones horizontales de infraestructuras, de tal manera que su ubicación se rigiera por una organización estructurada, con el objetivo de registrarlas *as built* para la futura operación.

Así, los proyectos resultantes de los estudios pudieron superponerse a los planos y secciones de la nueva propuesta, con el fin de comprender la viabilidad técnica de dicha estrategia (Figura 2).

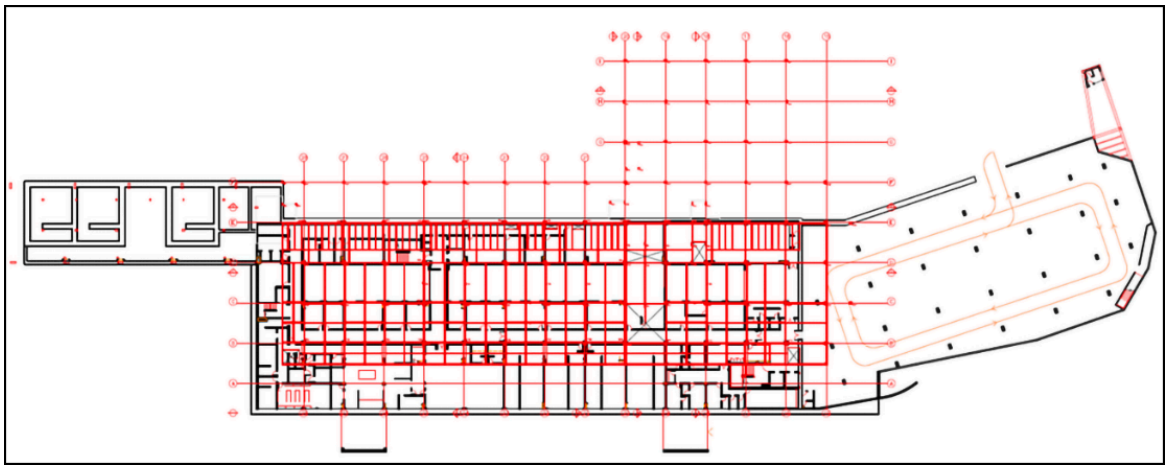


Figura 2 . Superposición de la estructura de hormigón existente y las áreas de ampliación en la segunda planta. Fuente: archivo técnico de los arquitectos responsables de la reforma y ampliación del hospital, 2017.

b. Plan director: a partir del estudio y el registro de las condiciones existentes, así como de los requisitos funcionales establecidos por los propietarios, se inició la planificación de la ubicación de los sectores asistenciales del hospital, estableciendo una lógica de correspondencias espaciales entre las áreas construidas anteriormente y las nuevas áreas previstas para la ampliación de los servicios ofrecidos, teniendo en cuenta la proximidad entre áreas con funciones afines y la privacidad de las unidades que deben estar más protegidas del público.

Con la ubicación de los nuevos sectores del hospital, fue posible determinar, desde la fase inicial del proyecto, la ubicación de las áreas estratégicas de infraestructuras del edificio y de los principales equipos médicos, que requieren intensos procesos de funcionamiento y mantenimiento. Así, los nuevos sectores se han diseñado desde el principio para facilitar el acceso para el mantenimiento, la ubicación y el dimensionamiento de las áreas técnicas, así como la proximidad a las áreas a las que dan servicio y la elección de sistemas de infraestructura adecuados a la nueva configuración del hospital. (Figura 3).

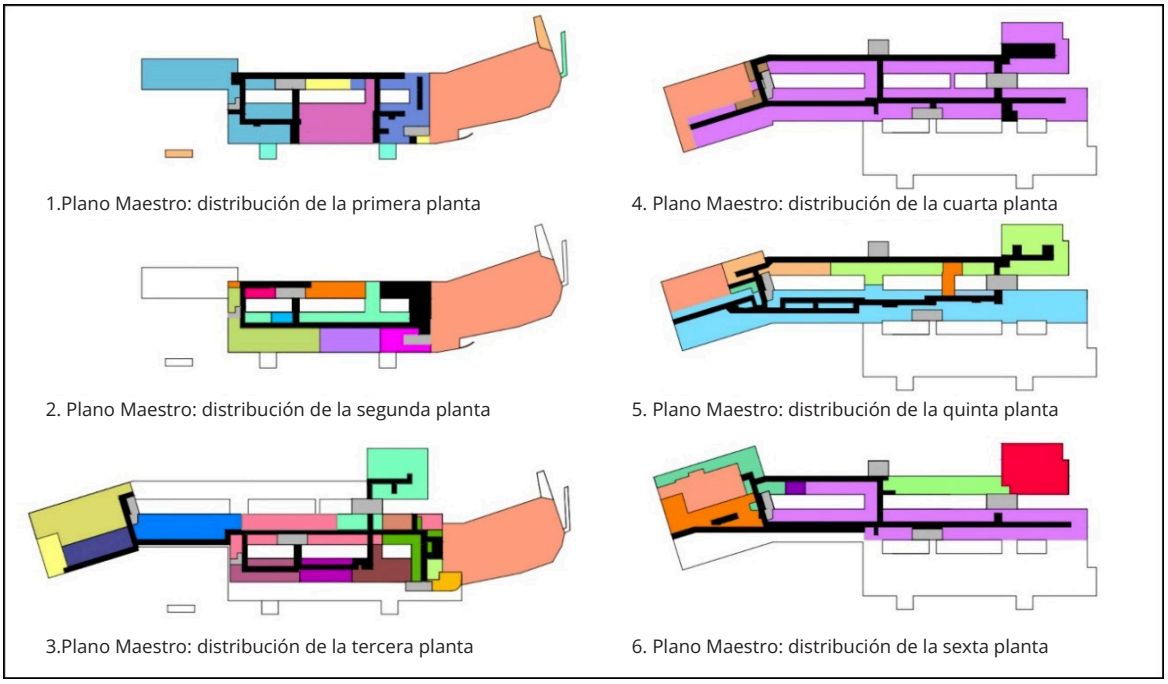


Figura 3 . Plano director con la ubicación prevista de todos los sectores funcionales y vías de circulación. Fuente: archivo técnico de los arquitectos responsables de la reforma y ampliación del hospital, 2017.

c. Desarrollo del anteproyecto arquitectónico y proceso de coordinación simultánea con las demás disciplinas: aunque se desarrollaron en CAD, para los procesos de intercambio de información se utilizó la plataforma de gestión de proyectos Autodoc, con el fin de gestionar todos los entregables y las comunicaciones entre el equipo de arquitectura, el coordinador de proyectos y el resto de proyectistas, evitando así la pérdida de datos relevantes y permitiendo un intercambio de información ágil y eficiente. Los archivos disponibles en Autodoc seguían una nomenclatura estandarizada y contaban con estados de desarrollo, aunque fueran anteriores a la norma, tal y como se recomienda para un entorno común de datos ABNT NBR ISO 19650:1-2025: trabajo en curso, compartido, publicado y archivado.

Los procesos de compatibilización, debidamente gestionados por el arquitecto responsable de la supervisión, se registraron en archivos superpuestos de planos y secciones de las distintas disciplinas implicadas en los sectores funcionales, además de documentarse en el repositorio compartido de archivos de Autodoc, de tal manera que todos los responsables de las disciplinas dispusieran de la información necesaria para resolver las interferencias entre ellas y comunicar los cambios, simultáneamente, a través del sistema (Figura 4).

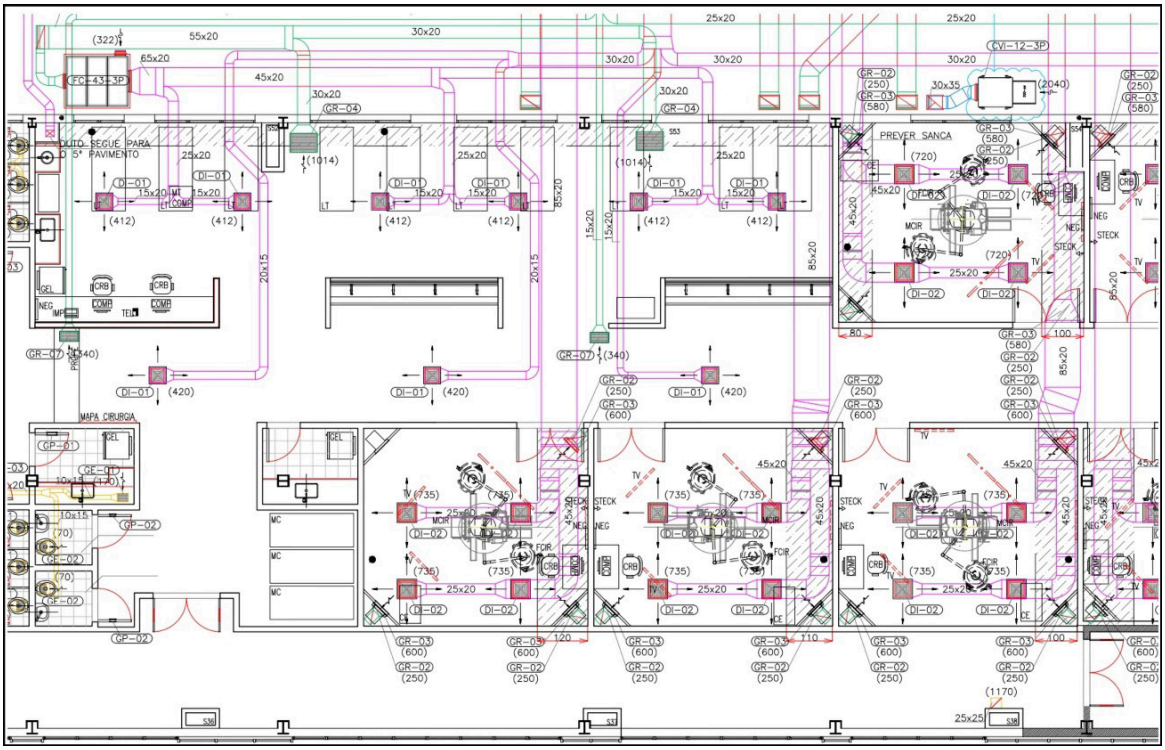


Figura 4 . Ejemplo de compatibilización de parte del sector del bloque quirúrgico ambulatorio: arquitectura x estructura x sistema de aire acondicionado. Fuente: archivo técnico de los arquitectos responsables de la reforma y ampliación del hospital, 2018.

d. En la etapa del anteproyecto, la colaboración del equipo de arquitectura con el resto de proyectistas permitió fijar las vías verticales de distribución de las infraestructuras, los *shafts*, por todo el edificio, previendo su futura caracterización mediante el registro de todas las tuberías identificadas por su ubicación en la estructura construida, con el fin de facilitar la identificación de los activos que se gestionarán en la fase de explotación y mantenimiento. Otra premisa que el equipo de arquitectura planteó desde el principio al resto de proyectistas fue la determinación de planos horizontales de distribución de las redes de suministro de las infraestructuras, mediante el paso de las tuberías pertinentes por los techos de las zonas de circulación principales y, cuando fuera posible, sin limitarse a las alturas libres existentes, a diferentes alturas, evitando al máximo las colisiones entre las distintas disciplinas. (Figura 5).

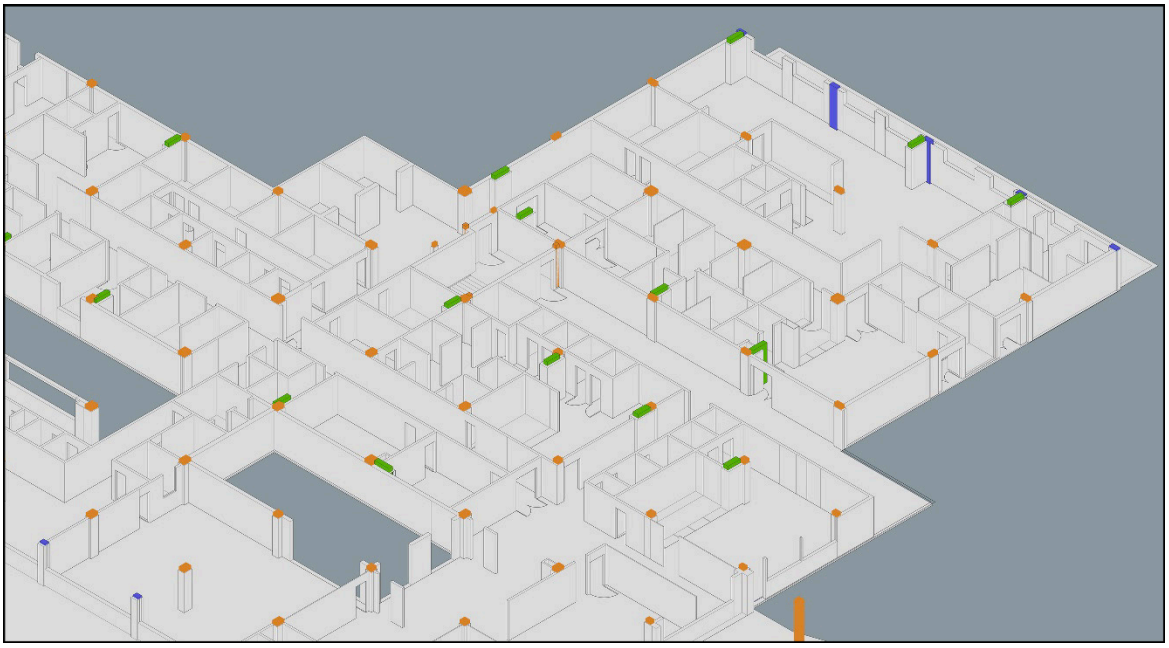


Figura 5 . Ilustración de la disposición de los shafts en verde y pilares en naranja, que definen los pasos verticales de las infraestructuras. Fuente: archivo técnico de los arquitectos responsables de la reforma y ampliación del hospital, 2017.

e. Con el desarrollo de los proyectos ejecutivos, el equipo de arquitectura creó un archivo en formato Excel con todas las infraestructuras existentes en cada uno de los *shafts*, ya identificados según su ubicación en el edificio, con el fin de registrar el tipo de infraestructura existente, las dimensiones de las tuberías correspondientes y las medidas finales de los *shafts* (Tabla 1).

TAG SHAFT	PAVIMENTOS	ESTRUTURA	EIXO	MAPEAMENTO E TAG DOS SHAFTS - PRUMADAS HIDRÁULICAS / GASES													
				AF	AFV	AQ	RT	IRR	TQ	TV	TG	TS	END	AS	AP	APA	API
S1	3º	2	12-B	1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ40	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ28	1XØ22	1XØ40	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2						1XØ25	-		1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S2	3º	2	11-B	1XØ40	-	1XØ40	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ75	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ28	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2						1XØ25	-		1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S3	3º	2	10-B	1XØ40	1XØ25	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2		1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S4	3º	2	9-B	1XØ40	1XØ40			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1x Ø100	-
	2º	2		1XØ40	1XØ40			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2		1XØ32	1XØ25			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-

Tabla 1 . Ejemplo de una parte de la hoja de cálculo de identificación de los 140 shafts creados durante la construcción, desde la fase del anteproyecto arquitectónico, y en los que se indican las ubicaciones y las instalaciones que contienen. Fuente: archivo técnico de los arquitectos responsables de la reforma y ampliación del hospital, 2018.

Aunque los proyectos se han desarrollado en CAD, las premisas para la designación inicial de los trazados de las infraestructuras en los *shafts* y en planos horizontales predeterminados y localizados con una nomenclatura sistematizada, garantizaron que los datos no se perdieran a lo largo del proceso de construcción y posterior funcionamiento del hospital.

El hospital funciona desde octubre de 2020.

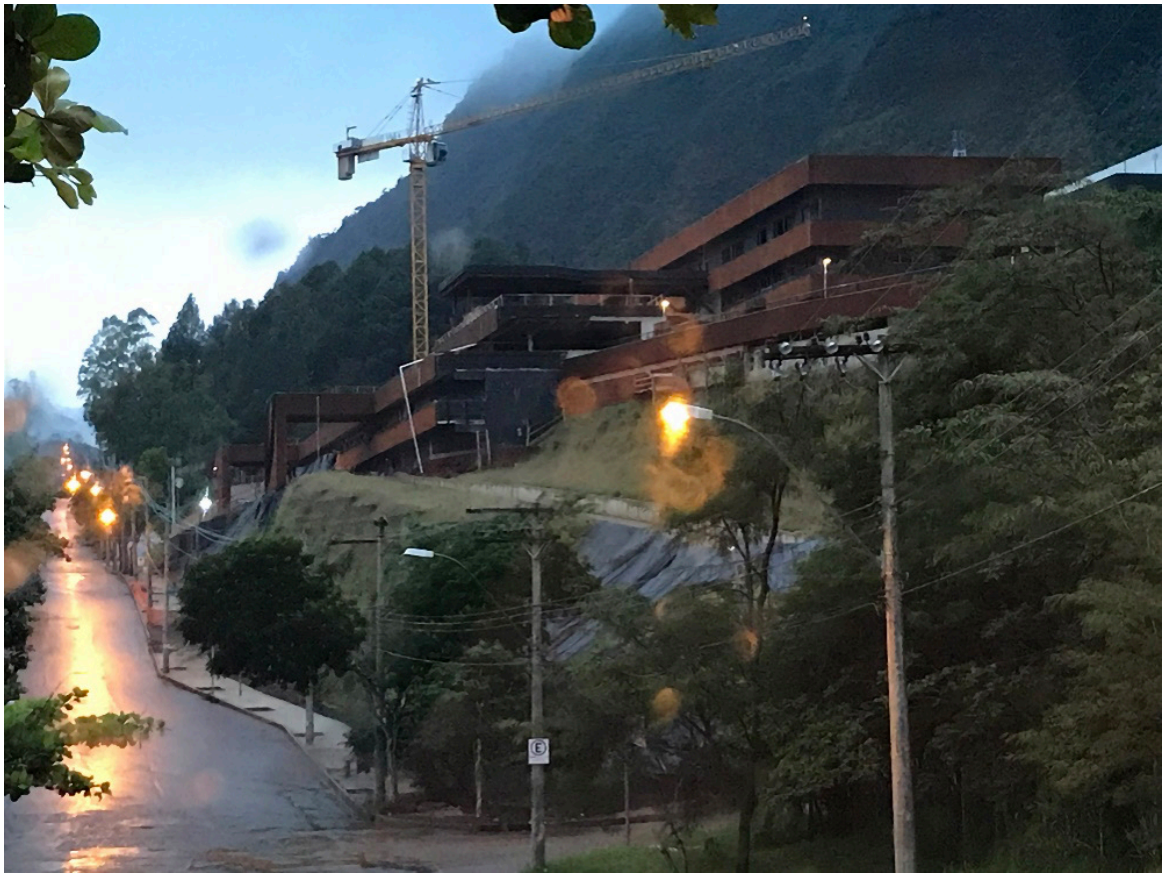


Figura 6 . Fotografía de la fase final de la obra. Fuente: de autoría propia, 2019.

6.2 Caso B – Identificación de los requisitos de información para la gestión de activos en un hospital: tecnología digital adoptada: BIM – Building Information Modeling

El uso del BIM para FM – *Facility Management* se ha ido incorporando cada vez con mayor frecuencia en proyectos de gran complejidad, partiendo de la idea de que el modelo AIM – *Asset Information Model* se convierte en un gran aliado para la gestión operativa eficiente del edificio.

El caso que se presenta en esta investigación está en fase de desarrollo y consiste en un trabajo conjunto de investigadores, usuarios, propietarios e ingenieros que están estudiando una forma de lograr que los datos

sobre las infraestructuras físicas y los equipos médicos de un hospital puedan identificarse y almacenarse en el modelo para su futura utilización en la fase de explotación y mantenimiento de un sistema FM – *Facility Management* por implementar.

La metodología adoptada hasta ahora consta de las siguientes etapas:

1. Identificación de los activos de los sistemas más relevantes del edificio que deben tenerse en cuenta en los modelos de infraestructuras físicas e ingeniería clínica: a partir de los proyectos de infraestructuras físicas de los sistemas eléctricos, de climatización e hidrosanitarios, así como de los equipos médicos, se extrajeron los activos correspondientes en hojas de cálculo de Excel, a partir de los modelos de cada disciplina, con el fin de identificar el grado de criticidad y la importancia de cada uno de ellos para la fase de explotación y mantenimiento.

2. Selección de los activos por parte de los equipos responsables por el funcionamiento y el mantenimiento del hospital: una vez elaboradas las tablas para cada sistema, estas se remitieron a los responsables del funcionamiento y el mantenimiento del edificio para que, basándose en su criterio, los activos estratégicos fueran seleccionados, con el objetivo de delimitar con exactitud el número de activos que debían gestionarse[5].

Además de la presentación de las tablas de activos, se ha presentado la lista de datos que deben completarse sobre cada activo, la cual se ha elaborado tal y como se describe en Mota *et al*. (2023), teniendo por base la Norma Británica BS 8210:2012, junto con otra lista que contenga la información identificada por el equipo responsable de la gestión de los procesos en el ámbito de la explotación y el mantenimiento, y que se considere importante registrar en los modelos.

En un primer momento, entre la información relevante resultante del análisis del equipo se seleccionaron los siguientes datos: identificación del activo, código, descripción, estado, ubicación, nivel de criticidad, fecha de adquisición, modelo, fabricante, coste inicial, dimensiones, fotografía, número de serie y POP (Procedimiento Operativo Estándar). Estos requisitos deberán aplicarse a los parámetros de los activos en sus modelos geométricos de cada disciplina de origen, tal y como se ilustra en la figura 7, en la disciplina de ingeniería clínica.

5 Una de las ventajas del uso de la metodología BIM es la selección acertada de la información necesaria, de modo que los modelos solo contengan aquellos datos estratégicos e imprescindibles, evitando así tanto el exceso de información como, por otro lado, su ausencia. Por ello, es necesario un trabajo colaborativo, en el que participen, sobre todo, la alta dirección y los responsables del FM – Facility Management a la hora de elegir la información que se va a incluir en el modelo.

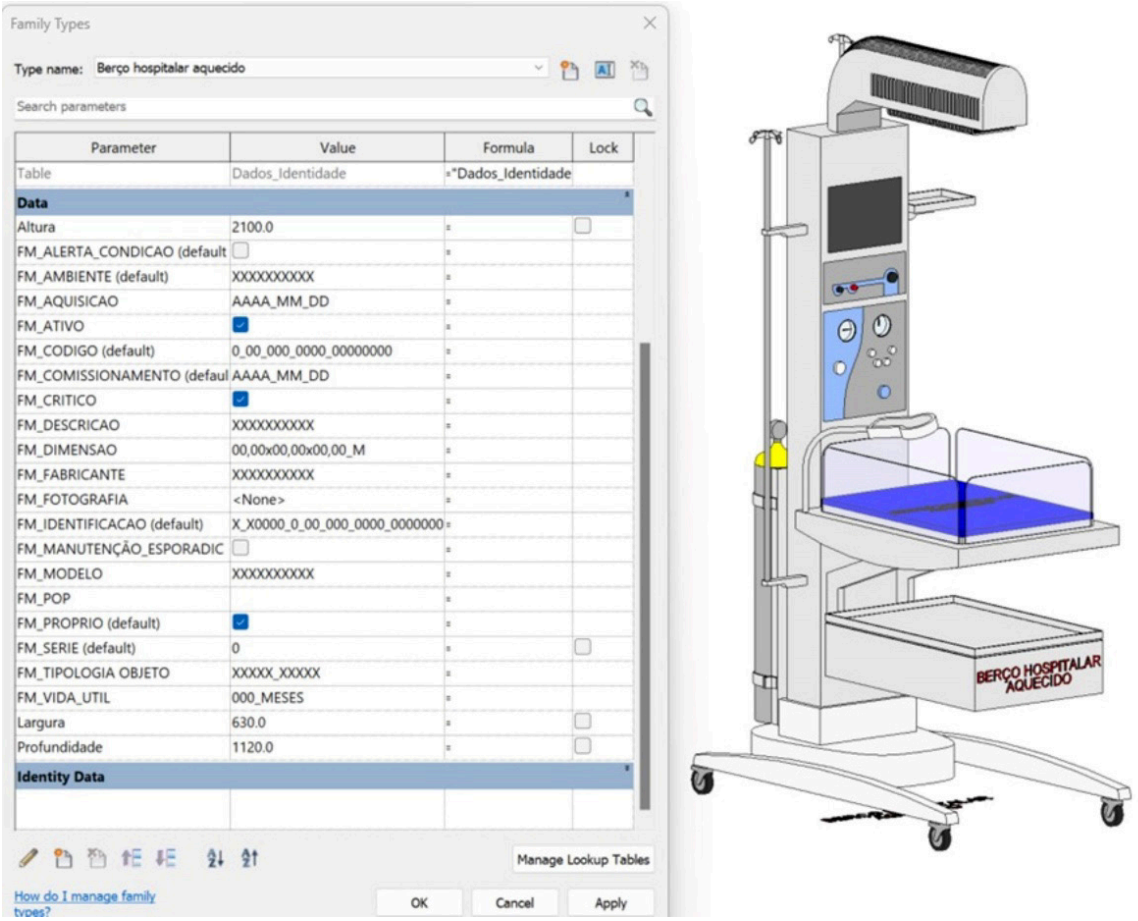


Figura 7 . Ejemplo de introducción de parámetros en el modelo de ingeniería clínica de un equipo hospitalario, a partir de la selección de la información necesaria realizada conjuntamente con el equipo del hospital. Fuente: imagen cedida por SIPPRO Engenharia, 2023.

3. Desarrollo del AIR – *Asset Information Requeriment*

Una vez seleccionada la información necesaria, se elaboró un documento con la estandarización de la codificación para la identificación de cada uno de los activos que se van a gestionar, en forma de tabla que deberá rellenarse desde el inicio de la obra y que deberá actualizarse a medida que los activos se adquieran, instalen, pongan en servicio e incorporen al modelo que acompaña a la fase de construcción, hasta que el modelo *as built* se finalice y se entregue para la fase de explotación, convirtiéndose en el modelo AIM – *Asset Information Model*. A partir de esta entrega, en el futuro, este modelo deberá mantenerse siempre actualizado, de modo que se registren las posibles modificaciones derivadas de los procesos de reforma y sustitución de activos y el modelo siga proporcionando la información necesaria para el proceso continuo del ciclo de vida del edificio.

4. Paralelamente a la recopilación de información sobre los activos, se inició una investigación sobre los sistemas FM – *Facility Management* capaces de facilitar la integración con el modelo BIM, tal y como se

describe en el artículo de Mota *et al* (2023). De los sistemas FM existentes seleccionados y disponibles en el mercado brasileño, se analizaron exhaustivamente ocho de ellos en cuanto a su capacidad para satisfacer las necesidades del equipo de operación y mantenimiento del hospital en lo que respecta a: asistencia para la implementación y el uso, capacidad de visualización en 2D y 3D, acceso a la documentación de los activos, acceso móvil y *off-line* el sistema, la plataforma y el límite de almacenamiento en la nube, el idioma, el tipo de integración con el modelo BIM, el tipo de colaboración y comunicación entre usuarios, las posibilidades de exportación de datos, el lector de códigos QR, la conexión con sensores, el control de existencias, el registro de horas de trabajo, la generación de informes y *dashboards* y gestión de entornos. A estos requisitos generales se sumaron otros específicos para los edificios hospitalarios: gestión de ingeniería clínica, centro de costos, integración con los sistemas de gestión de la asistencia hospitalaria, de existencias de materiales y medicamentos y de compras.

Los usuarios del hospital están probando los sistemas y, una vez elegido el sistema que se va a adoptar, la siguiente fase consistirá en la integración del modelo de activos en la plataforma de gestión de *facilities*.

Se espera que, una vez realizada la integración, la información introducida en el modelo se comparta con el sistema de gestión de operaciones y mantenimiento del hospital, lo que constituirá una potente herramienta para mejorar los procesos y la calidad de los servicios prestados por la institución a todos los sectores y usuarios del hospital.

7. Conclusiones

Las lecciones extraídas de las dos experiencias mencionadas presentan puntos en común y diferencias tanto en cuanto a la metodología como a los resultados.

En el caso del uso de tecnología digital en CAD, es posible organizar los datos, desde la elaboración de los proyectos, de tal forma que se conserve la información esencial y que la fase de explotación y mantenimiento se beneficie de esta sistematización. Sin embargo, la información no estará integrada con la geometría del edificio, lo que aleja esta metodología del BIM, ya que no permite la visualización inmediata del activo dentro del modelo del edificio. Aunque es posible llevar a cabo todo el proceso de selección de la información relevante, el sistema de gestión de *facilities* tendrá que asimilar la información mediante la introducción manual y directa de los datos de los activos, procedentes de los proyectos de construcción, lo que supone duplicar el proceso de registro y control de los datos. Y durante las fases de explotación y mantenimiento, la

posibilidad de pérdida de datos es exponencialmente mayor, ya que la información deberá registrarse, como mínimo, dos veces: en las tablas de los proyectos, en caso de que se modifiquen los activos, y en el sistema de gestión de *facilities* utilizado en el sector correspondiente.

Cuando se utiliza el modelo BIM integrado en el sistema de gestión de FM, desde las etapas de diseño y construcción, es posible alimentar el modelo con la información necesaria para la fase de explotación y mantenimiento del edificio, de acuerdo con los requisitos señalados en el AIR. El siguiente paso es determinar el sistema de gestión de FM, que podrá incorporar el modelo directamente, integrándolo a través de formatos nativos, o en ".ifc", o integrarlo de forma indirecta, a través de una API, o utilizando el COBie para la transferencia de datos. Está claro que la integración directa es la que más reduce el número de procedimientos necesarios para la gestión eficiente de *facilities* y la posibilidad de un intercambio bidireccional de datos. En las otras dos formas de intercambio de información entre el modelo y el sistema de FM adoptado, es posible que la integración sea unidireccional, o incluso que haya que volver a realizar una nueva importación masiva de datos en el sistema FM, como, por ejemplo, la exportación de otra versión del COBie procedente del modelo BIM, con el registro de las modificaciones o sustituciones de activos preexistentes en el modelo por otros activos, y su reincorporación al sistema FM. Una de las ventajas que ofrece la gestión de *facilities*, com a introdução do uso do modelo BIM para FM, con la introducción del uso del modelo BIM para la FM, es la integración de los datos geométricos a los datos no geométricos, lo que crea un entorno sólido de información de fácil acceso para los usuarios, lo que aumenta la agilidad a la hora de atender las necesidades de funcionamiento y mantenimiento de los activos y, en consecuencia, mejora la calidad de los servicios prestados.

En cualquier caso, la comprensión de la importancia de que, en edificios complejos como los hospitales, se identifiquen los requisitos de información que deben conservarse, desde la fase de concepción de los proyectos hasta la fase de entrega para su funcionamiento y mantenimiento, es una necesidad compartida por los equipos de proyectistas, los usuarios y la alta dirección de los proyectos.

El avance que supone el uso del modelo BIM para la gestión FM representa una mejora en la gestión de los centros de atención sanitaria, y su implantación está en fase de desarrollo en Brasil. Se espera que, a corto plazo, podamos contar con ejemplos de aplicaciones cada vez más habituales en los hospitales del país, lo que garantizará una mejora cualitativa de la excelencia en la gestión de los centros de atención sanitaria.

8. Referencias

ABECLIN – Associação Brasileira de Engenharia Clínica. Disponível em: https://abeclin.org.br/. Acesso em: 15 outubro 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 19650-1: Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção – Parte 1: Conceito e princípios. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 41018:2023: Facility management – Desenvolvimento de uma política para facility management. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 55000: Gestão de ativos – Terminologia, visão geral e princípio. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BIM Dictionary (2019), COBie, version 1. Disponível em: https://bimdictionary.com/en/cobie/1. Acesso em: 3 nov. 2025.

BOECKEL, C.; ROUVENAT, F.; Incêndio no Hospital Badim: vítimas morreram por asfixia e desligamento de aparelhos. **G1 Rio**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de janeiro/noticia/2020/10/27/bombeiros-sao-chamados-para-incendio-no-hospital-federal-de-bonsucesso.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

CAETANO, C.; MANSUR, R., Incêndio na Santa Casa de Belo Horizonte: o que se sabe até agora. **G1 Minas**, Belo Horizonte. Disponível em: https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2022/06/28/incendio-na-santa-casa-de-belo-horizonte-o-que-se-sabe-ate-agora.ghtml

COELHO, R. C. H., Incêndio atinge o Hospital Federal de Bonsucesso. **G1 Rio**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/10/27/bombeiros-sao-chamados-para-incendio-no-hospital-federal-de-bonsucesso.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

G1 Rio. Princípio de incêndio é controlado no Hospital Lourenço Jorge, na Barra da Tijuca. **G1**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/10/01/principio-de-incendio-e-controlado-no-hospital-lourenco-jorge-na-barra-da-tijuca.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. (ISBN 85-224-3169-8).

IFMA - International Facility Management Association. Disponível em: https://www.ifma.org/. Acesso em: 2025.

KARMAN, J. **Manutenção e Segurança Hospitalar Preditivas**. São Paulo: Estação Liberdade, IPH - Instituto de Pesquisas Hospitalares 2011, p.41 e p.45. (ISBN 978-85-7448-189-0).

MOTA, P.; MOREIRA, L. Modelagem da Informação na Gestão de Ativos. In: RUSCHEL, R. C.; LIMA, M. M. X.; BÖES, J.S.; (org.). **Bim**: concepção, construção e operação: ensino e prática. Rio de Janeiro: LTC, 2025, p.188. (ISBN 978-85-216-3901-5).

MOTA, P. P.; MAZZIEIRO, A.T; JOKO, C.; MOREIRA, L. C. S. Identificação das potencialidades de sistemas FM integrados ao BIM para uso em ambientes hospitalares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–8. DOI: 10.46421/sbtic.v4i00.2624. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/2624. Acesso em: 15 out. 2025.

Autora

Adriana Tonani Mazzieiro es arquitecta y urbanista, con una maestría en Arquitectura y Urbanismo, cuya investigación, realizada en 1998, se centró en la metodología para la reestructuración de hospitales generales existentes. Actualmente, es doctoranda en la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), en el Programa de Posgrado en Arquitectura y Urbanismo (NPGAU), con una investigación en el área de tecnologías digitales, principalmente enfocada en BIM (Building Information Modeling). Es integrante de la célula BIM-UFMG, vinculada a la Red de la ANTAC (Asociación Nacional de Tecnología del Ambiente Construido). Fue profesora adjunta I del curso de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad FUMEC entre 2002 y 2022, y profesora sustituta del curso de Arquitectura y Urbanismo de la UFMG entre 2024 y 2025. Desde 2025, es profesora del máster en BIM Management del Zigurat Institute of Technology, donde imparte la asignatura BIM para Facility Management. Se desempeñó como arquitecta y urbanista responsable técnica de la Santa Casa de Misericordia de Belo Horizonte entre 1991 y 1995; fue responsable de las obras de reforma y ampliación del Hospital de la Policía Militar de Minas Gerais entre 2000 y 2010; y estuvo a cargo del proyecto de reforma y ampliación del antiguo Hospital Hilton Rocha entre 2011 y 2019. En este último, entre 2017 y 2019, asumió la coordinación y compatibilización de los proyectos ejecutivos correspondientes a una superficie construida de 38.000 m². Es socia fundadora de Quattromani Arquitetos Associados desde 2000 y se desempeña como BIM Coordinator en SIPPRO Engenharia desde 2022.

Agradecimientos especiales:

El presente trabajo fue realizado con el apoyo de la Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiación 001.

Institución: Universidad Federal de Minas Gerais

Datos de contacto:: adtonani@gmail.com

Artículo

Economía circular en establecimientos asistenciales sanitarias

Autores
Antonio Pedro Alves de Carvalho Universidad Federal da Bahía
Jair de Jesus Lima Universidad Federal da Bahía

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.03

Resumen

El modelo de economía lineal, basado en los principios de "extraer, producir y desechar", ha impulsado los avances tecnológicos, pero ha generado graves problemas medioambientales y sociales, sobre todo en lo que respecta a la extracción excesiva de recursos naturales, el aumento de la contaminación y la acumulación de residuos. El sector sanitario, con una elevada demanda de energía y agua y que depende en gran medida de materiales desechables, se considera uno de los principales responsables de la generación de estos impactos. En este contexto, la economía circular (EC) se presenta como una alternativa para promover la sostenibilidad en el sector sanitario, proponiendo la reducción de la extracción de recursos naturales, la reutilización y el reciclaje. Este estudio ofrece una revisión bibliográfica sobre el modelo circular aplicado a los establecimientos de atención de la salud (EAS), abordando cuestiones como design sostenible, eficiencia energética, uso del agua y gestión de residuos, además de ejemplos de éxito en Brasil y en el resto del mundo. Se ha constatado que la introducción de la economía circular en el sector sanitario puede minimizar los costos operativos, reducir la generación de residuos y contener las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Por lo tanto, se concluye que la adopción de estrategias de economía circular en las EAS es fundamental para combinar la prestación de servicios esenciales con la sostenibilidad medioambiental.

Palabras clave:

economía circular, centros sanitarios, medio ambiente.

Introducción

A partir de la Revolución Industrial, la sociedad adoptó el modelo de economía lineal, muy dependiente de la extracción de recursos naturales, la producción de bienes, la distribución, el consumo y la eliminación de residuos (Fernandes, 2024). Aunque este modelo ha impulsado los avances tecnológicos y el crecimiento económico, también ha contribuido de manera significativa a generar impactos medioambientales negativos, como la explotación excesiva de los recursos naturales, el aumento de la contaminación y la acumulación de residuos, que en la actualidad son retos a los que se enfrenta la humanidad como consecuencia de dicho modelo (Barcelos, 2024) (Figura 1).

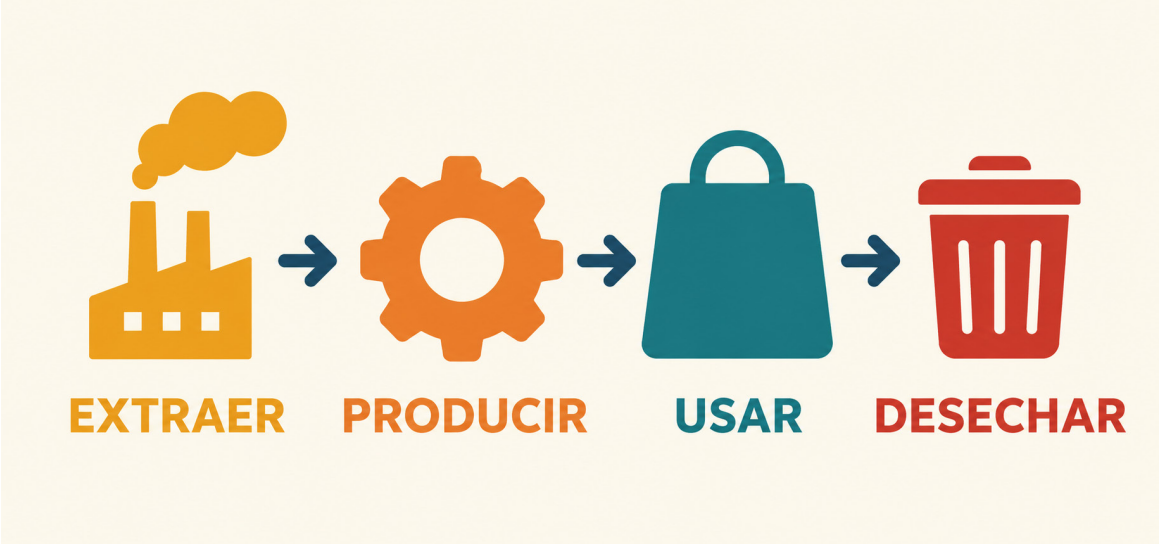


Figura 1 . Esquema de la economía lineal. Fuente: generado por IA.

Entre las principales consecuencias de este sistema se encuentran el agotamiento de los recursos naturales, la generación excesiva de residuos y la emisión de gases de efecto invernadero (GEI) y otros productos perjudiciales para el medio ambiente, que ponen en peligro la salud humana debido a la contaminación atmosférica y a la contaminación del suelo y del agua, además de provocar fenómenos como la reducción de la capa de ozono, la pérdida de biodiversidad y cambios climáticos catastróficos (MacNeill *et al*., 2020).

Estos efectos están directamente relacionados con las diferentes etapas del proceso de "extraer, producir, consumir y desechar". La explotación descontrolada de materias primas, como los minerales, el agua y los combustibles fósiles, con la consiguiente generación de residuos, contribuye al agotamiento de los recursos naturales y a la contaminación del medio ambiente. La contaminación está ligada al proceso de producción, ya que, para garantizar la fabricación de bienes

en una sociedad consumista, se emite una gran cantidad de subproductos que contaminan el aire, el agua y el suelo. La eliminación prematura e inadecuada de los productos intensifica la generación de residuos, agravando la contaminación ambiental. (Barcelos, 2024).

El sector sanitario, integrado en este modelo de economía lineal, es uno de los responsables de una parte significativa de las emisiones de GEI. Los Establecimientos de atención de la salud (EAS) y los dispositivos médicos que se utilizan en ellos se basan en ese modelo, por lo que dependen de material desechable de un solo uso (MacNeill *et al*., 2020). Según el

informe de la Health Care Without Harm, realizado en colaboración con la Arup Consultoria (2019), el sector sanitario, en 2019, fue responsable de alrededor de 4,4% del total de GEI generado en el mundo, lo que equivale a dos gigatones de dióxido de carbono. Esta contribución es similar a las emisiones anuales de GEI de 514 centrales eléctricas de carbón de tamaño medio. Además, si se considerara un país, el sistema sanitario sería el quinto mayor emisor del planeta (Karliner *et al*., 2019).

Las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la asistencia sanitaria se producen por diversos medios, entre los que destacan el consumo de energía, el transporte y la fabricación, el uso y la eliminación de productos en general. Las emisiones generadas directamente por los centros sanitarios y los vehículos pertenecientes al sector representan alrededor del 17 % de la huella mundial de este ámbito. Aproximadamente el 12 % está relacionado con las emisiones indirectas asociadas a la energía adquirida, como la electricidad, el vapor, la refrigeración y la calefacción. La mayor parte de las emisiones – alrededor del 71 % – está relacionada con la cadena de suministro, que abarca la producción, el transporte y la eliminación de insumos, como medicamentos, productos químicos, alimentos, dispositivos médicos y equipos hospitalarios. (Karliner *et al*., 2019).

El concepto de economía circular (EC) surge como una solución innovadora que busca la implantación de un nuevo sistema productivo, estableciendo cambios estructurales significativos y asumiendo un mayor protagonismo al oponerse al modelo tradicional de economía lineal, conocido por sus prácticas definidas por el paradigma del "ciclo abierto": extraer-producir-descartar (Abdalla; Sampaio, 2018).

La EC tiene como objetivo reducir el uso de materias primas y sus impactos medioambientales asociados, mediante estrategias que prolonguen la vida útil de los recursos. Según Viet (2012), Esto es posible gracias al principio de las 3R, que consiste en una serie de prácticas que

deben adoptarse con el objetivo de prolongar la vida útil de los materiales ya procesados, lo que contribuye a reducir la extracción de recursos naturales para su uso como materias primas:

• **Reducir** – aplicar técnicas de gestión para minimizar la cantidad de materiales que se consumen para un fin determinado, como el agua, la energía y los minerales.

• **Reutilizar** – reutilizar un material, ya sea para el mismo fin para el que fue diseñado o para otro similar, prolongando así su vida útil, antes de desecharlo o destinarlo al reciclaje.

• **Reciclar** – consiste en el conjunto de técnicas destinadas a la reutilización de residuos, reincorporándolos de nuevo al ciclo de producción. Este proceso incluye una serie de actividades, como la recogida, la separación y el tratamiento de materiales, con el fin de transformarlos en materia prima para la fabricación de nuevos productos (ver Figura 2).



Figura 2 . Esquema de la economía circular Fuente: SMAS-Sintra (2025).

La adopción de un modelo circular en el sector sanitario puede contribuir a reducir significativamente los costes operativos, disminuir la cantidad de residuos generados y el impacto medioambiental, además de contribuir

a la mejora de la calidad de los servicios y de la salud pública (Fernandes, 2024). Al mismo tiempo, la adopción de prácticas circulares contribuye directa o indirectamente al avance de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por la Organización de las Naciones Unidas (ONU) hasta 2030, como el ODS 3 (Salud y bienestar); ODS 6 (Agua potable y saneamiento); ODS 7 (Energía limpia y accesible); ODS 8 (Trabajo digno y crecimiento económico); ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles); ODS 12 (Consumo y producción sostenibles); ODS 13 (Acción contra el cambio climático global); y ODS 15 (Vida Terrestre) (Azizuddin; Shamsuzzoha; Piya, 2021; Schroeder; Anggraeni; Weber, 2019).

Los ODS, junto con las finanzas sostenibles, desempeñan un papel importante en el sector sanitario. Para las administraciones gubernamentales y los centros sanitarios, es fundamental que su financiación considere prioritaria la inclusión de factores medioambientales, sociales y de gobernanza (ESG) en las decisiones de inversión (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022).

La infraestructura de los establecimientos de atención de la salud puede desempeñar un papel importante para que el sector sanitario sea menos contaminante y reduzca su impacto en el cambio climático. Sin embargo, debido a la elevada demanda, alcanzar las metas de sostenibilidad, desde la neutralidad en carbono hasta 2030, exigirá un cambio significativo por parte de los prestadores de servicios sanitarios. Las emisiones de gases de efecto invernadero generadas por este sector están estrechamente relacionadas con su rendimiento, el tipo de servicios y el lugar donde se prestan, además de con las políticas orientadas a reforzar las mejores prácticas que frenen la demanda de servicios (Or; Seppänen, 2024).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2009), al reducir la huella de carbono y avanzar hacia la neutralidad, el sector sanitario puede convertirse en un ejemplo en la respuesta al cambio climático, desempeñando un papel de liderazgo en la defensa de un futuro saludable y sostenible. En este sentido, es fundamental adoptar un enfoque integral basado en el principio de la EC. Esto incluye iniciativas como estrategias de *design* sustentables, procedimientos de eficiencia energética, ahorro de agua, tratamiento de aguas residuales y gestión de residuos, lo que reduce la huella medioambiental del sector, que reviste una importancia cada vez mayor en la sociedad moderna.

Metodología

El presente artículo consiste en una revisión bibliográfica cuyo objetivo es recopilar, analizar y sintetizar los conocimientos existentes sobre el tema de la economía circular en los centros sanitarios. El propósito es presentar

una revisión sobre cómo se puede aplicar la transición hacia un modelo circular en los centros sanitarios, abordando cuestiones como el *design* sostenible, la eficiencia energética, el uso del agua y la gestión de residuos. Para lograrlo, se consultaron bases de datos de libre acceso de Google Académico y de revistas especializadas CAPES, Scielo, Scopus y SciSpace, utilizando palabras clave relacionadas con el tema, como *Circular Economy; Circular Economy and Healthcare Establishment; Circular Economy Strategies in Hospitals; Energy Efficiency in Hospitals; Sustainable architecture in hospitals; Water Saving Strategies in Hospitals; Hospital Wastewater; Circular Economy in Hospital Sewage Treatment; Hospital Waste Management* y sus equivalentes en portugués.

Se incluyeron en la revisión los materiales que abordaban directamente la aplicación de la economía circular en entornos sanitarios, publicados en los últimos cinco años y cuyo texto completo estuviera disponible en portugués o en inglés. En algunos casos, se tuvieron en cuenta estudios de mayor relevancia, aunque no cumplieran el criterio relativo al período de publicación. Por otra parte, se excluyeron los trabajos que no estuvieran directamente relacionados con el tema central, así como los documentos de acceso restringido.

Inicialmente se identificaron 91 estudios relevantes para el tema. Para la selección de las referencias, se aplicaron los criterios de inclusión y exclusión, seleccionándose 76 para componer la revisión.

Estrategias de diseño

La arquitectura de los establecimientos de atención de la salud se caracteriza por su gran complejidad y por los requisitos funcionales vinculados a los procedimientos y prácticas médicas, que están sujetos a constantes cambios y actualizaciones (Lopes, 2014). Según Biro (2024), el sector de la construcción, junto con el del *design*, es responsable de más del 30 % de la extracción de recursos naturales del planeta, por lo que resulta fundamental que todas las construcciones apuesten por una mayor sostenibilidad.

La sostenibilidad en los edificios destinados a la salud ha dejado de ser una tendencia o un factor diferenciador para convertirse en una necesidad importante desde la fase de planificación. La introducción de la sostenibilidad medioambiental en los centros sanitarios puede llevarse a cabo mediante la incorporación de principios de construcción sostenible en los nuevos proyectos, así como en la modernización de los hospitales ya existentes. (OMS, 2009).

Para la elaboración de proyectos de los EAS sostenibles, es fundamental tener en cuenta los aspectos:

• **Medioambientales** – como la adaptación al medio ambiente mediante el uso de los recursos naturales presentes en cada lugar.

• **Económicos** – como el uso de sistemas constructivos racionales, estandarizados, flexibles, modulares y que permitan la reutilización de materiales, con el fin de evitar el desperdicio y la generación de residuos, la cualificación de la mano de obra y la adopción de tecnologías que contribuyan a reducir el consumo de agua y energía.

• **Sociales** – como la preocupación por la satisfacción de los usuarios implicados en todas las fases de la construcción, sin descuidar los aspectos estéticos (Lopes, 2014).

Existen diversas estrategias para edificios sanitarios que minimizan el impacto medioambiental, y es fundamental que se apliquen en todas las etapas del ciclo de vida del edificio, como la planificación, el diseño, la ejecución, la ocupación, el mantenimiento, la rehabilitación y la eventual demolición (Vilas-Boas, 2011). En este sentido, se puede considerar que la aplicación de estrategias de diseño sostenible constituye un enfoque eficaz, ya que contribuye a alargar la vida útil y a reducir los costes de mantenimiento del edificio (Alsawaf; Albadry, 2022). Estos métodos reducen el impacto medioambiental, al tiempo que mejoran la equidad social, el bienestar del paciente y la productividad de los profesionales sanitarios (Biro, 2024).

Un ejemplo de estrategia de sostenibilidad es el *Diseño para la Adaptabilidad y el Desmontaje* (DfAD). El DfAD, cuando se aplica a la planificación de la vida útil de los edificios sanitarios, puede contribuir positivamente al desarrollo sostenible (ISO, 2020). El desmontaje, siguiendo el principio de las 3R – reducir, reutilizar y reciclar –, es importante para la recuperación de materiales de construcción, sobre todo durante las fases de mantenimiento, renovación, reubicación y montaje, lo que permite la recuperación no destructiva de dichos materiales y su reintroducción en la cadena de producción, ya sea para desempeñar la misma función o para dar lugar a nuevos productos (Davis, 2024). Por su parte, la introducción de principios de adaptabilidad puede reducir las demoliciones y la construcción de nuevos edificios, al permitir la reutilización o la modificación de estructuras ya existentes, prolongando su vida útil y permitiendo que se adapten a una mayor variedad de usos, lo que garantiza el uso eficaz de los recursos y la aplicación de los principios de la EC en los edificios (ISO, 2020).

Como principio básico para el enfoque DfAD, la construcción modular de edificios desempeña un papel fundamental en la promoción de la sostenibilidad, al reducir los impactos medioambientales relacionados

con la construcción (Paliwal, 2019). Este principio resulta especialmente útil en los edificios destinados a la salud, que tradicionalmente requieren cambios frecuentes de uso. Este modelo de construcción ofrece una alternativa potencialmente sostenible, basada en el uso de elementos prefabricados que se instalan y se ensamblan in situ para crear edificios con una gran flexibilidad funcional (Lawson; Ogden; Goodier, 2014). El uso de módulos en la construcción permite desarrollar edificios con estructuras que reducen los residuos, optimizan el uso de los materiales y adoptan un enfoque eficiente para hacer frente a los retos de la industrialización y el mantenimiento (Morales, 2023).

Según Morales (2023), la implementación de la construcción modular permite un mayor aprovechamiento de los materiales utilizados y una reducción de la generación de residuos – aproximadamente un 90 % en comparación con el modelo de construcción tradicional –, ya que aproximadamente el 70 % del proceso de construcción puede llevarse a cabo en un entorno controlado. El uso de materiales con sellos ecológicos, así como el reciclaje y la reutilización de componentes modulares al final de su ciclo de vida, intensifica la reducción de pérdidas.

La construcción modular ofrece una mayor flexibilidad en el diseño de los proyectos, lo que facilita la adaptabilidad y el desmontaje, permitiendo que se adapten a diferentes fines durante su uso o la recuperación de productos, piezas y materiales cuando es necesario reformar un edificio. Tras el desmantelamiento de los edificios modulares, sus componentes pueden reciclarse o reutilizarse en nuevas unidades con mayor facilidad, lo que contribuye a reducir el desecho de materiales de construcción (Sajid *et al*., 2024).

Un ejemplo exitoso de la aplicabilidad del sistema de construcción modular en edificios destinados al sector sanitario son los hospitales de la Rede SARAH, proyectados por el arquitecto João Filgueiras Lima, o Lelé. Los sistemas prefabricados de mortero armado y estructura metálica se utilizan ampliamente en todas las fases de los edificios (Figura 3), desde la superestructura hasta las instalaciones hospitalarias, lo que proporciona una mayor flexibilidad y facilita las fases de construcción, montaje y, sobre todo, el mantenimiento y las futuras ampliaciones de los hospitales (Lukiantchuki *et al*., 2011).



Figura 3 . Vista exterior del Centro de Tecnología de la Rede SARAH (CTRS) Fuente: Lukiantchuki et al. (2011).

La integración del diseño biofílico en la arquitectura de los establecimientos de salud representa otra medida eficaz para promover la sostenibilidad en el sector sanitario (Zhao; Zhan; Xu, 2022). Este enfoque busca integrar elementos naturales en la concepción de los entornos construidos, con el potencial tanto de favorecer el bienestar de los usuarios como de promover una mayor sostenibilidad en el edificio, mediante la reducción del consumo energético y el fomento de prácticas de construcción respetuosas con el medio ambiente (Santos; Torres, 2024).

En el contexto brasileño, el Hospital Albert Einstein, situado en São Paulo, es un ejemplo de la aplicabilidad del diseño biofílico. En su proyecto se adoptó el sistema de cubierta verde (Figura 4), cuyo objetivo es contribuir a reducir el calentamiento del edificio, además de permitir la recogida de agua de lluvia para su reutilización en el riego de jardines. Entre los principales resultados obtenidos gracias al uso del techo verde, destacan: la disminución de las islas de calor, responsables del aumento de la temperatura en zonas densamente urbanizadas; el ahorro de

energía eléctrica, derivado de la reducción del uso de sistemas de aire acondicionado; y la ayuda en el control del flujo de agua pluvial, lo que, en consecuencia, reduce las inundaciones en las zonas urbanas (Vilas-Boas, 2011).



Figura 4 . Techo verde en el Hospital Albert Einstein, SP. Fuente: Vilas-Boas (2011).

El uso de principios bioclimáticos, como la ventilación, la iluminación natural, la vegetación y el paisajismo, puede contribuir de manera significativa a reducir el efecto de isla de calor, mejorar la biodiversidad, mitigar la contaminación atmosférica, optimizar la calidad del aire, mejorar el confort térmico y fomentar el uso de materiales certificados, promoviendo así entornos interiores que favorecen la recuperación de la salud. Esta práctica contribuye directamente al avance del ODS 3 (Salud y bienestar) y del ODS 13 (Cambio climático), los más respaldados por el *design* biofílico (Zhong; Schröder; Bekkering, 2022).

La captación de la ventilación y la luz natural en los establecimientos de atención de la salud puede realizarse de forma indirecta mediante diferentes métodos. Se pueden utilizar elementos como marcos de ventanas colocados estratégicamente, brises y ventanas que orienten el viento y el sol. En cuanto a la iluminación, destacan métodos como las aberturas en el tejado, cobertizos, ventanas con brises y recepciones con grandes vanos sombreados. En situaciones más complejas, en las que no es posible incorporar grandes paños de ventana o abrir el espacio hacia el exterior, se pueden utilizar recursos como claraboyas o tubos reflectantes (Vilas-Boas, 2011).

Eficiencia energética

Los Establecimientos de salud requieren una gran variedad de formas de consumo de energía, como la energía térmica, utilizada para la calefacción, el agua caliente y la generación de vapor, y para la refrigeración, en los

sistemas de aire acondicionado, además del consumo de electricidad para el funcionamiento de equipos médicos, sistemas de iluminación, extracción y ventilación (Suszanowicz; Ratuszny, 2019). Esta demanda se intensifica debido al continuo crecimiento del consumo energético en estas instalaciones, ya que, a diferencia de otros tipos de edificios, los establecimientos de salud suelen funcionar de forma ininterrumpida, las 24 horas del día, y acogen a personas con problemas de salud, por lo que son extremadamente vulnerables a pequeñas variaciones en las condiciones ambientales. En los centros de tratamiento, es necesario mantener parámetros específicos de temperatura y calidad del aire interior, sobre todo en espacios altamente especializados, como quirófanos, UCI y laboratorios (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022).

Esta elevada demanda energética contribuye a que aproximadamente el 40 % de la huella climática del sector sanitario provenga del uso de electricidad y energía térmica. Este consumo incluye tanto la energía adquirida por los centros sanitarios como la de los fabricantes y proveedores de bienes y servicios para el sector (Karliner *et al*., 2019). Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado representan la parte más importante del consumo eléctrico en los hospitales, ya que se consideran fundamentales para la salud de los pacientes, para aumentar la productividad del personal y para el correcto funcionamiento de los equipos médicos, y consumen, de media, el 50 % de la energía eléctrica total de estos edificios (Oliveira, 2021).

Según un estudio realizado por el *Kigali Cooling Efficiency Program* (UNEP, 2019), vinculado a las Naciones Unidas, que en 2018 analizó las emisiones globales relacionadas con la climatización de los establecimientos de salud, aproximadamente 365 millones de toneladas de CO_2 son emitidas anualmente en la atmósfera debido a la climatización, la ventilación y la refrigeración de los edificios, lo que equivale a las emisiones generadas por más de 75 millones de coches o por 110 centrales térmicas de carbón durante un año. La introducción de sistemas gestionados por inteligencia artificial (IA) en la climatización de los establecimientos de salud puede suponer un ahorro significativo en el consumo energético.

Los sistemas de aire acondicionado y de refrigeración, en general, además de fabricarse utilizando combustibles fósiles, emplean hidrofluorocarbonos (HFCs) y otros gases refrigerantes que, al liberarse a la atmósfera, intensifican el efecto invernadero (Oliveira, 2021). Además de las necesidades de climatización, los establecimientos de salud llevan a cabo numerosas actividades que requieren un elevado consumo energético, como el uso de equipos médicos y de laboratorios especializados, la esterilización, las lavanderías y los servicios de alimentación (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022). Debido a estas características,

los establecimientos de salud se enfrentan a dos retos contradictorios: satisfacer la creciente demanda energética y, al mismo tiempo, reducir la huella de carbono del sector (Tomanek, 2024).

Gran parte de los impactos ambientales sobre la salud pública derivados del consumo de energía se deben a la quema de combustibles fósiles, como el petróleo, el carbón y el gas, lo que genera emisiones de gases de efecto invernadero y contaminación atmosférica, y repercute tanto en el cambio climático como en los problemas de salud. En este sentido, gracias a la mejora de la eficiencia energética y a la transición hacia fuentes de energía limpias y renovables, el sector sanitario puede desempeñar un papel importante en la mitigación de las emisiones de GEI y en la reducción de los daños a la salud pública causados por el cambio climático y la contaminación atmosférica (Corvalan *et al*., 2020).

En los edificios hospitalarios se pueden introducir diversas fuentes de energía renovable para la generación de electricidad, calor y refrigeración, como la energía solar, la eólica, la biomasa y la geotérmica. Las tecnologías con bajas emisiones de carbono, como los sistemas de cogeneración y las bombas de calor, también pueden utilizarse con el mismo fin (Vourdoubas, 2022). Estas fuentes de energía alternativas pueden utilizarse en sistemas de iluminación, bombeo y calentamiento de agua, usos que representan una parte considerable del consumo energético de los edificios sanitarios, tanto en países desarrollados como en desarrollo (OMS, 2009), lo que contribuye a reducir la huella climática y a aumentar la resiliencia energética, además de cumplir con la normativa vigente y los objetivos globales relacionados con la mitigación de desastres medioambientales (Vourdoubas, 2022).

La energía solar se considera una de las mejores opciones para garantizar la sostenibilidad energética a largo plazo, ya que presenta diversas ventajas, como el hecho de ser una fuente abundante, tener pocas pérdidas en la transmisión y la distribución, un bajo coste operativo y ser una fuente limpia, lo que reduce la intensidad de las emisiones de los combustibles en general (Duraivelu; Elumalai, 2021). Este sistema puede utilizarse para la producción de electricidad tanto mediante tecnología solar fotovoltaica como solar térmica, y se emplea en sistemas de generación de energía de pequeño, mediano y gran tamaño (Vourdoubas, 2022).

Un estudio realizado por Al-Rawi, Bicer y Al-Ghamdi (2023), en un hospital situado en la región del Consejo de Cooperación del Golfo (GCC), que utiliza un sistema de calentamiento de agua mediante energía solar, destacó el potencial de la integración combinada de tecnologías solares térmicas y fotovoltaicas en los establecimientos de salud de la región, resaltando beneficios como la reducción de los costos de energía, el

aumento de la seguridad energética y la promoción de la sostenibilidad. Los resultados demostraron que el sistema solar térmico utilizado en el hospital contribuye con alrededor del 12 % del gasto energético de los sistemas de agua caliente, con una eficiencia de aproximadamente el 46 %; por su parte, el sistema fotovoltaico aportó aproximadamente el 29,6 % de la carga total del sistema de HVAC, lo que pone de manifiesto el potencial de ambos sistemas para promover la eficiencia energética y reducir la dependencia de las fuentes de energía tradicionales en los Establecimientos de atención de la salud.

En un estudio realizado en dos hospitales situados en Romênia, Prada *et al*. (2020) muestran que la implantación de la energía solar fotovoltaica puede cubrir entre el 62,68 % y el 75,51 % del consumo energético necesario para la calefacción, el aire acondicionado y la producción de agua caliente. Además, el ejemplo ha demostrado una reducción de las emisiones de CO_2 de entre el 77 % y el 67 %, lo que repercute directamente en el calentamiento global, la contaminación y la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

En el contexto global, Vourdoubas (2021), en una revisión sobre diversas aplicaciones exitosas de energías renovables en hospitales de todo el mundo, destacó que el uso de la energía solar puede alcanzar una eficiencia energética del 40 % al 80 % al contribuir al sistema de refrigeración, y del 30 % al 40 % a la calefacción de las instalaciones hospitalarias. En cuanto a la energía geotérmica, puso de manifiesto que su aplicación puede alcanzar una eficiencia del 70 % al 90 %, sobre todo en el uso de fluidos geotérmicos para la calefacción de los edificios.

La energía solar también puede aplicarse junto con otras tecnologías de generación con bajas emisiones de carbono o sin ellas, como en los sistemas de cogeneración. En este caso, al mismo tiempo que la energía solar se convierte en energía eléctrica en una central eléctrica para alimentar los refrigeradores de compresión de vapor destinados a la producción de enfriamiento, el calor residual expulsado por el motor térmico puede utilizarse para accionar un refrigerador de absorción, lo que desempeña un papel importante tanto en el ahorro energético como en la reducción de la contaminación ambiental (Çakir; Çomakli; Yüksel, 2012).

Los sistemas de cogeneración representan una solución prometedora para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y sus costes operativos. Las centrales de cogeneración funcionan con una única fuente de energía o combustible, siendo el principal el gas natural (Franco *et al*., 2017). También pueden utilizar biomasa, como residuos agrícolas y forestales, subproductos y residuos, bioetanol, biodiésel o biogás producido a partir de residuos orgánicos (Vourdoubas, 2022). Su

implementación tiene como objetivo la producción simultánea e integrada de energía eléctrica y térmica, mitigando las pérdidas de energía. La cogeneración puede clasificarse en dos tipos: sistemas combinados de calor y energía (*Combined Heat and Power* – CHP), que produce electricidad y calor; y trigeneración, conocida como sistema combinado de refrigeración, calefacción y producción de energía (*Combined Heat, Ice, and Power* – CHIP), que genera energía eléctrica y térmica en forma de calor y frío (Chen-Xu *et al*., 2024).

Los sistemas de CHP y CHIP presentan una mayor eficiencia en comparación con los métodos tradicionales de generación. Mientras que los medios convencionales poseen una eficiencia de aproximadamente el 60%, los sistemas CHP pueden presentar índices de entre el 87% y el 92%; por su parte, los sistemas CHIP alcanzan valores de entre el 85% y el 90%. Estos porcentajes pueden variar en función de la dimensión del proyecto (Teke; Timur, 2014).

En el marco del uso de la cogeneración en los establecimientos de salud, Alexis y Liakos (2013) defienden, por medio de un estudio realizado en un hospital ubicado en Grecia, que la implementación de un sistema de cogeneración puede llevar a la reducción de los costos operativos anuales en un 32%, además de la reducción del consumo anual de energía primaria en un 28 %. Además, aseguran una reducción anual significativa de las emisiones de contaminantes, con disminuciones estimadas entre 46,5 % y 48,6% para el CO_2, entre 75,9 % y 82,8 % para el SO_2, entre 2,3 % y 7,5 % para el NOx y entre 75,9 % y 82,9 % para las partículas en suspensión.

La utilización de sistemas de iluminación gestionados por IA es otra innovación tecnológica que desempeña un papel importante en la promoción de la eficiencia energética en los establecimientos de salud (Tomanek, 2024). Estos sistemas utilizan mecanismos avanzados para la iluminación, como sensores para detectar ocupación, automatización y conectividad para controlar la iluminación de forma más eficiente. A diferencia de los modelos tradicionales, que funcionan manualmente, estos sistemas permiten una reducción significativa del consumo de energía a partir de la reducción o el apagado automático de las luces en áreas desocupadas o poco ocupadas, ajustando el brillo, la temperatura de color e incluso la dirección de la luz en función de varios factores, como la presencia de iluminación natural, el horario, la presencia de personas y las actividades realizadas en el lugar, además de la utilización de lámparas de alta eficiencia energética (Wipro Lighting, 2024).

Según, Teke y Timur (2013), en una revisión de estudios prácticos sobre eficiencia energética y potenciales de ahorro de energía en sistemas de iluminación en hospitales, la implementación de sistemas inteligentes

en los establecimientos de salud puede contribuir al ahorro de aproximadamente el 60 % al 80 % de la energía consumida, especialmente si se utilizan en iluminación interna y aire acondicionado, con un tiempo de retorno de la inversión estimado entre 1,5 y 5 años, variando según los sistemas de control y el tamaño del establecimiento.

Ahorrar agua

El sector de la salud presenta un elevado consumo de agua, ya que necesita mantener ambientes y materiales desinfectados, operar equipos médicos y asegurar la higiene de los pacientes. Sus características únicas hacen que los establecimientos de salud consuman significativamente más agua por metro cuadrado que otros tipos de edificios, dificultando la adopción de los principios de la economía circular en este sector. (Teslim, 2024). La cantidad de agua utilizada depende de diferentes factores, como el perfil del establecimiento, el número de camas, el tipo de hospitalización, la antigüedad del hospital, las fuentes de acceso, los servicios generales presentes dentro de la estructura (incluidos la cocina, la lavandería y el aire acondicionado), las políticas de gestión institucional y la concienciación en la gestión de la infraestructura en relación con la preservación del medio ambiente, el clima y los factores culturales y geográficos (Verlicchi *et al*., 2010).

Un estudio realizado por el Victorian Government Department of Health (2009) relacionado con el consumo de agua en los establecimientos de salud, ubicados en Victoria, Australia, se destacó que, dentro de los hospitales, los mayores consumos de agua están relacionados con: higiene (limpieza y lavado); saneamiento (descarga de residuos al alcantarillado); ingesta (consumo de agua y preparación de alimentos); procesos generales (limpieza, desinfección, esterilización, lavado, calefacción, refrigeración, filtración y tratamiento de agua) e irrigación (jardines ornamentales y céspedes). El informe señala además que las instalaciones sanitarias (lavabos, duchas y fregaderos) representan entre el 20 % y el 40 % del consumo total, mientras que las descargas sanitarias (inodoros y lavadoras de cuñas/orinales) varían del 15 % al 30 %. Por su parte, los procesos de esterilización, laboratorios y refrigeración contribuyen con cerca del 15 % al 40 %, y la preparación de alimentos, con el 5 % al 25 % del consumo total de agua

El consumo de agua en los establecimientos de salud también varía considerablemente tanto a lo largo del día como en el transcurso del año. En relación con la demanda media diaria, puede producirse un aumento de hasta el 20 % entre las 8:00 y las 16:00 horas, y una disminución del 30 % entre la 1:00 y las 8:00 horas; asimismo, pueden registrarse valores medios más elevados durante los meses más cálidos (*Verlicchi et al*., 2010).

La explicación de este elevado consumo de agua durante las horas de la mañana y la tarde se asocia al hecho de que, en estos períodos, se llevan a cabo los tratamientos de los pacientes y los análisis de laboratorio (Altın; Altın, 2017).

Debido a la variedad de funciones que demandan el consumo de agua en los establecimientos de salud, el uso eficaz y eficiente del recurso es fundamental en estas instituciones. La implementación de rutinas de ahorro de agua en el entorno hospitalario enfrenta grandes restricciones, ya que los procedimientos de higiene y mantenimiento de la calidad del agua obedecen a normas rígidas y exigentes (Priyalal, 2019). Según Oliveira *et al*. (2021), el agua utilizada en los hospitales debe estar exenta de microorganismos patógenos, ya que representan un riesgo significativo de brotes infecciosos graves, por lo que resulta de gran importancia el acto constante de lavado de manos con agua de calidad, además de la higienización del entorno, la producción y el consumo de alimentos. Mantener la calidad del agua, por lo tanto, es fundamental, puesto que su contaminación puede estar relacionada con la transmisión de enfermedades, afectando principalmente a los pacientes, quienes presentan grados diferenciados, pero siempre existentes, de baja resistencia a las infecciones (Ferreira; Caran, 2023).

La eficiencia en la gestión del agua en los edificios hospitalarios se logra mediante la adopción rigurosa de buenas prácticas y tecnologías adecuadas, como la realización periódica de auditorías hídricas, cuyo objetivo sea identificar las zonas de alto consumo y las posibles fugas. En consonancia con esto, el uso de sistemas de detección de fugas es esencial para localizar y corregir tempranamente los problemas que podrían provocar un desperdicio significativo de agua. La sustitución de aparatos sanitarios antiguos, como inodoros, grifos y duchas, por modelos más eficientes puede reducir significativamente el consumo de agua. Asimismo, la utilización de lavavajillas y lavadoras más modernos, con bajo consumo de agua, contribuye a la disminución del desperdicio en las áreas de cocina y lavandería (Teslim, 2024).

Según Silva *et al*. (2024), la introducción de sistemas de reutilización de aguas grises y el aprovechamiento de aguas pluviales son soluciones eficientes para promover el ahorro de recursos hídricos y la sostenibilidad ambiental en los establecimientos de salud. Estas medidas se realizan a partir de la recolección, el tratamiento y la reutilización de aguas provenientes de duchas, lavamanos, lavaderos y lavadoras, además de la captación de agua de lluvia por medio de canaletas instaladas en techos, terrazas y áreas abiertas.

Las aguas recolectadas deben someterse a procesos específicos de tratamiento, que incluyen la filtración, en diversos grados, y la desinfección. Estas aguas, según el tipo de tratamiento, pueden utilizarse

incluso para fines potables, lo que encarece el proceso. Lo más común es la utilización de tratamientos simples, empleando este tipo de agua para el riego, la limpieza, la descarga de inodoros y el lavado de superficies.

Debido a la complejidad de los procesos que utilizan agua en el ámbito de la salud, es necesario una planificación técnica adecuada para el reúso de aguas grises y el aprovechamiento de aguas pluviales, como la instalación de tuberías separadas, sistemas de captación eficientes, además de tanques de almacenamiento protegidos contra la contaminación y sistemas de redistribución con bombas y tuberías específicas para estos procedimientos. Asimismo, se debe inspeccionar la calidad del agua y garantizar la eficiencia de los sistemas (Silva *et al*., 2024).

La implementación de estrategias de gestión y conservación del agua en los establecimientos de salud ofrece una serie de beneficios económicos y ambientales. La disminución del consumo hídrico contribuye directamente a la reducción de gastos en los servicios, lo que resulta en ahorros significativos a lo largo del tiempo. La adopción de tecnologías eficientes tiende a reducir los gastos relacionados con el mantenimiento y a prolongar la vida útil de los equipos. Paralelamente, estas iniciativas contribuyen significativamente al cumplimiento de las metas relacionadas con la sostenibilidad ambiental, aliviando la presión sobre los recursos hídricos locales y disminuyendo la huella ambiental de este tipo de edificaciones. (Teslim, 2024).

Tratamiento de aguas residuales

El acceso al tratamiento de aguas residuales es importante para el combate de enfermedades relacionadas con el agua en los establecimientos de salud (OPS, 2021). Como señala Lima (2023), los avances en el tratamiento de pacientes y el desarrollo de nuevos medicamentos han contribuido al aumento de la generación de residuos líquidos hospitalarios, lo que termina dificultando el tratamiento del agua cruda de las fuentes de abastecimiento.

La cantidad y las características de las aguas residuales generadas por los hospitales pueden variar considerablemente según los servicios prestados, como el número de camas, el número de pacientes y la disponibilidad de laboratorios (Hocaoglu *et al*., 2021). En los países desarrollados, cada cama, en promedio, puede generar más de 1.000 litros de aguas residuales por día, mientras que en los países en desarrollo el volumen estimado es de 200 a 400 litros por cama por día (Kumari; Maurya; Tiwari, 2020).

Las descargas provenientes de zonas administrativas, baños de habitaciones o enfermerías normales se consideran domésticas. Por otro lado, las aguas residuales resultantes de actividades de atención directa al

paciente, análisis e investigación, que contienen sustancias tóxicas como desinfectantes, detergentes, residuos de medicamentos, excrementos infecciosos, radioelementos y otros productos químicos como ácidos, álcalis, solventes, benceno, hidrocarburos y colorantes, se clasifican como descargas específicas y deben tener un destino monitoreado (Chartier *et al*., 2014). Tales efluentes, cuando se manipulan y desechan de forma inadecuada, representan un grave riesgo para la salud humana y el medio ambiente, debido a su capacidad para contaminar cuencas hidrográficas y contaminar aguas superficiales y subterráneas (Majumder *et al*., 2021).

De acuerdo con Lima (2023), las aguas residuales hospitalarias contaminadas, por lo general, deben ser tratadas en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) especializadas. Estas operaciones se dividen en tres tipos: físicas, como la presencia de cribado (o tamizado), mezcla, floculación, sedimentación, flotación y filtración; químicas, que eliminan o convierten los contaminantes mediante la adición de productos o reacciones químicas, como la precipitación, la adsorción y la desinfección; y biológicas, que utilizan microorganismos para eliminar materiales orgánicos e inorgánicos y llevar a cabo procesos como la eliminación carbonácea, la nitrificación y la desnitrificación.

El proceso de purificación de los efluentes de los establecimientos de salud generalmente consta de cinco etapas sucesivas, que incluyen el pretratamiento (físico y mecánico), el tratamiento primario (físico y químico), el tratamiento secundario (químico y biológico), el tratamiento terciario (físico y químico) y el tratamiento de los lodos generados (disposición final supervisada, reciclaje o incineración) (Crini; Lichtfouse, 2019). A lo largo de estas etapas, se lleva a cabo la eliminación de sólidos gruesos y flotantes, materia mineral sedimentable, sólidos inorgánicos, materia orgánica en suspensión y la eliminación de organismos patógenos (Lima, 2023).

Los métodos comunes de tratamiento de aguas residuales presentan desventajas, como el consumo excesivo de energía, la generación de grandes cantidades de lodos y la emisión de GEI. Estos procesos de tratamiento siguen un sistema de economía lineal, es decir, su objetivo principal es únicamente generar un efluente tratado, sin proporcionar la recuperación de energía y recursos (Oliveira *et al*., 2022).

Según Oliveira *et al*. (2022), la implementación de estrategias de tratamiento de aguas residuales orientadas a los principios de la economía circular propone un cambio en la forma en que se entienden las aguas residuales. En lugar de ser consideradas únicamente como un pasivo ambiental, como ocurre en el modelo lineal, pasan a ser un recurso capaz de generar ingresos a partir de su tratamiento, con un enfoque en la

recuperación y el aprovechamiento de subproductos. Los componentes del sistema se interpretan con una nueva perspectiva de sostenibilidad, alineándose con los principios de la EC.

El tratamiento eficiente de las aguas residuales es una forma de alcanzar los objetivos establecidos por la ONU para 2030, especialmente el ODS 6 (Agua Limpia y Saneamiento), que busca garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos. Dentro de este objetivo, se destacan las metas 6.2 y 6.3, que pretenden lograr el acceso equitativo al saneamiento y a la higiene para todos, así como mejorar la calidad del agua al reducir la contaminación, eliminar el vertimiento y minimizar la emisión de productos químicos y materiales peligrosos. También se propone reducir a la mitad la proporción de aguas residuales sin tratar, aumentando sustancialmente el reciclaje y la reutilización segura a nivel mundial (ONU, 2025).

Además del ODS 6, otros objetivos pueden alcanzarse de forma directa o indirecta mediante la promoción de la economía circular y el desarrollo sostenible de los sistemas de tratamiento de aguas residuales. La generación de energía renovable a partir de gases procedentes de sistemas anaerobios de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), la contribución al desarrollo de ciudades sostenibles, el control de los gases de efecto invernadero y de los residuos derivados de estos tratamientos son algunos de los puntos que se asocian con las metas orientadas hacia la energía asequible y no contaminante (ODS 7), ciudades y comunidades sostenibles (ODS 11) y acción por el clima (ODS 13) (Oliveira *et al*., 2022).

Gestión de residuos

El sector de la salud es, a escala mundial, uno de los de más rápido crecimiento, lo que genera una cantidad considerable de desechos debido a la prestación de una infinidad de servicios para el control de enfermedades y el tratamiento de pacientes (Kenny; Priyadarshini, 2021). Utilizando a los Estados Unidos como ejemplo, Voudrias (2018) destacó que ese país produce cerca de 5,9 millones de toneladas por año de residuos de actividades de atención de la salud. La pandemia de COVID-19 fue otro factor determinante en el aumento de la generación de residuos sanitarios, debido al uso de cantidades significativas de mascarillas y equipos de protección personal, siendo los países en desarrollo los más afectados por estos desechos peligrosos y tóxicos debido a sistemas de gestión deficientes. (Dihan *et al*., 2023).

De acuerdo con la RDC nº 222, de 28 marzo de 2018 (Anvisa, 2018), los residuos sanitarios se clasifican en cinco grupos: A, B, C, D y E. El grupo A corresponde a materiales con la posible presencia de agentes

biológicos que, por sus características, pueden presentar un riesgo de infección, tales como materiales de laboratorio, carcasas (cadáveres de animales), piezas anatómicas, tejidos, bolsas transfusionales que contienen sangre, entre otros. El grupo B incluye sustancias químicas que pueden presentar riesgos para la salud pública o el medio ambiente, según sus características de inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad, como por ejemplo medicamentos, desinfectantes, residuos que contienen metales pesados y reactivos de laboratorio. El grupo C engloba cualquier material que contenga radionúclidos por encima de los límites permitidos por la Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN), incluidos los desechos radiactivos provenientes de laboratorios de investigación y docencia en el área de la salud, laboratorios de análisis clínicos, servicios de medicina nuclear y radioterapia. El Grupo D abarca los residuos que no presentan un riesgo biológico, químico o radiactivo para la salud o el medio ambiente, pudiendo ser comparados con los residuos domésticos, tales como restos de alimentos, residuos de áreas administrativas y materiales utilizados para la higiene, entre otros. El Grupo E contempla los materiales punzocortantes o escarificantes, tales como hojas de afeitar, agujas, ampollas de vidrio, brocas, puntas diamantadas, hojas de bisturí, lancetas, espátulas y otros similares.

Estos residuos se generan principalmente en hospitales, laboratorios, centros de investigación, bancos de sangre y residencias de ancianos (OMS, 2024). Del total de residuos generados por los establecimientos de atención de la salud, alrededor del 85 % son desechos comunes, no peligrosos, similares a los domésticos. El 15 % restante se considera peligroso debido a su contaminación biológica, química o radioactiva (OMS, 2024). Para una gestión económica del tratamiento, sin embargo, es necesaria una estricta segregación en el momento de la generación de estos residuos.

La gestión inadecuada de los desechos de las actividades de atención de la salud puede agravar el cambio climático, debido principalmente a su quema a cielo abierto, que libera diversos contaminantes peligrosos, incluidas las dioxinas, los furanos y los metales tóxicos como el plomo, el cadmio y el mercurio, además de elevadas cantidades de dióxido de carbono. Asimismo, la eliminación de desechos biodegradables provoca emisiones significativas de gases de efecto invernadero, como el metano, cuya influencia en el clima es aún más fuerte que la de otros gases (Deviyanti; Shahriar, 2022).

El modelo tradicional de extraer, fabricar y desechar ha sido predominante en la gestión de residuos, lo que ha generado impactos ambientales y económicos cada vez más visibles, principalmente en sectores como el de la salud, donde una parte significativa de los desechos generados se

considera peligrosa, lo que hace que el proceso sea insostenible en estos entornos (Sepetis; Georgantas; Nikolaou, 2025).

En este sentido, la adopción de principios de economía circular para la gestión de los desechos de las actividades de atención de la salud se considera una medida que contribuye a la sostenibilidad urbana, ya que colabora con la reducción de los impactos ambientales, aumenta la eficiencia de los recursos y fortalece los flujos circulares de materiales. (D'Alessandro *et al*., 2024). La gestión eficaz de los residuos sanitarios contribuye significativamente al cumplimiento de diversos ODS, especialmente: ODS 3 (Salud y Bienestar); ODS 6 (Agua Limpia y Saneamiento); ODS 8 (Trabajo Decente y Crecimiento Económico); ODS 12 (Producción y Consumo Responsables); y ODS 13 (Acción por el Clima) (Sharma *et al*., 2021).

La implementación de la economía circular en el sistema de gestión de residuos de servicios de salud es más compleja que en otros sectores, debido a la tipología de los residuos, especialmente por la presencia de sustancias peligrosas, lo que representa un desafío, ya que muchos materiales utilizados en los establecimientos de atención de la salud son de un solo uso, con muy baja posibilidad de reciclaje o reutilización, incluso en otros sectores menos exigentes. (Dihan *et al*., 2023).

Para emplear un escenario de gestión sostenible para el sistema de gestión de residuos sanitarios, es necesario adoptar estrategias de economía circular que involucren el objetivo de minimizar la generación de residuos, ya que cuanto menor sea la producción de residuos, menores serán los costos para su gestión y mayor será la eficiencia en la utilización de materiales. Para ello, es necesario que los establecimientos de atención de la salud formen equipos que desarrollen procedimientos estratégicos para la gestión de residuos, tales como realizar compras inteligentes basadas en el ciclo de vida de los productos, prever sus efectos ambientales (como la toxicidad y el costo de eliminación), así como la posibilidad de reutilización y reciclaje de materiales. (Dihan *et al*., 2023).

Para la economía circular, la adquisición sostenible significa, inicialmente, una estrategia que busca reducir el consumo de recursos naturales y materiales, así como minimizar los impactos ambientales de los insumos utilizados, priorizando productos compuestos por materiales renovables o materias primas con contenido reciclado (Sanofi, 2024). Cabe destacar la compra de productos de plástico reciclable, como el polietileno o el polipropileno, en lugar de herramientas compuestas por policloruro de vinilo (PVC), así como la sustitución de las mascarillas faciales de un solo uso por otras de materiales duraderos que permitan la esterilización y la reutilización (Dihan *et al*., 2023).

Para aplicar estrategias de tratamiento de residuos sanitarios, la segregación en el origen es fundamental para garantizar el manejo, la eliminación y la minimización segura de los riesgos ambientales y para la salud (Aquilina, 2025). La segregación consiste en separar y seleccionar los residuos sanitarios en el lugar de generación de acuerdo con la clasificación adoptada. Sus principales objetivos son: evitar la contaminación de residuos considerados comunes; posibilitar la implementación de procedimientos de manejo para cada grupo separado; permitir el tratamiento específico para cada categoría de residuo; minimizar los riesgos de contaminación de las personas responsables; reducir los gastos relacionados con el manejo de los residuos; posibilitar la adopción del aprovechamiento y reciclaje de residuos no peligrosos (Brasil, [s.f.]).

Otra estrategia que busca mitigar los efectos generales de los residuos sanitarios en el medio ambiente es prolongar la vida útil de ciertos materiales, ya sea mediante la reutilización o a través de otros medios, como la reparación, la renovación o el reaprovechamiento. Para la adopción de esta práctica, sin embargo, es necesario implementar técnicas de segregación rigurosa, acompañadas de recolecciones selectivas para distinguir entre sustancias peligrosas, no peligrosas, reutilizables y reciclables (Dihan *et al*., 2023). Para que los materiales contaminados utilizados en los establecimientos de asistencia sanitaria puedan considerarse reutilizables, es fundamental que se sometan a estrictos procesos de esterilización (Voudrias, 2018). Entre los elementos que pueden considerarse reutilizables, se destacan las batas quirúrgicas, las cortinas, las cubiertas para mesas, los instrumentos quirúrgicos, los recipientes para objetos punzantes, los instrumentos laparoscópicos, los recipientes de succión y las bandejas de anestesia (Voudrias, 2018).

La reutilización de materiales contribuye tanto a la reducción de costos como a la disminución en la generación de residuos. Según un estudio realizado por Kwakye, Brat y Makary (2011), se estimó una reducción de aproximadamente 15.422 kg/año de residuos y una economía US$ 175.000/año, en un hospital con 1.000 camas, utilizando únicamente recipientes reutilizables para objetos punzantes en lugar de desechables.

Según Voudrias (2018), el reciclaje es otra técnica que puede emprenderse en un establecimiento de salud antes de la eliminación de los residuos. Debido a las preocupaciones y regulaciones asociadas con el manejo de los residuos peligrosos biológico-infecciosos o residuos peligrosos, sin embargo, el uso del reciclaje puede ser difícil, o incluso imposible, cuando involucra algunos tipos de residuos. No obstante, existe una enorme cantidad de materiales no peligrosos en los establecimientos de salud que pueden reciclarse de forma fácil y segura, contribuyendo a la economía

ambiental y financiera. Entre estos materiales se encuentran el envoltorio azul – un material a base de polipropileno utilizado para envolver material esterilizado y que representa aproximadamente el 20 % de los residuos generados en los quirófanos –, cartón, vidrio, papel, latas de bebidas, periódicos, revistas, plásticos PET, baterías y aparatos eléctricos y electrónicos (Voudrias, 2018).

La implementación de prácticas de reciclaje puede reducir de forma significativa el total de desechos generados en los establecimientos de salud, contribuyendo directamente a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la eliminación inadecuada y a la mitigación del cambio climático. Esta iniciativa puede promover ahorros sustanciales de costos relacionados con la eliminación de estos desechos. (Tabibi, 2024). Según Ultreras-Rodríguez *et al*. (2024), En un análisis de casos en hospitales y clínicas, la adopción de programas de reciclaje y reutilización contribuye a una reducción de hasta el 40% en la cantidad de residuos enviados a vertederos o incineración. Estos autores afirman además que se registró una disminución del 18 % en los costos operativos relacionados con la eliminación de residuos en establecimientos de salud seleccionados.

De acuerdo con MacNeill *et al*. (2020), la transición hacia una economía circular en el sector de la salud requiere la colaboración de diversos grupos de partes interesadas, como los administradores de hospitales, los proveedores de atención médica y los fabricantes de equipos, quienes deben actuar con el objetivo común de lograr una transformación sistémica.

Conclusiones

La introducción de la economía circular (EC) en los establecimientos de salud no es solo una alternativa viable, sino una necesidad frente a la gama de desafíos ambientales, sociales y económicos que enfrentan la población mundial y el planeta. Al cambiar el modelo lineal basado en “extraer, producir, consumir y desechar” por una práctica que priorice la reducción, la reutilización y el reciclaje, los establecimientos de salud pueden minimizar significativamente sus impactos ambientales y la extracción de recursos naturales, además de generar beneficios operativos y financieros. Estas prácticas se alinean directamente con el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, lo que demuestra la importancia del sector de la salud en este rol.

La adopción de soluciones como el diseño sostenible, la eficiencia energética, la gestión hídrica adecuada, el tratamiento de efluentes y el manejo responsable de residuos, demuestra que los establecimientos de

atención de la salud pueden prestar servicios asistenciales de calidad con responsabilidad ambiental. Los ejemplos presentados a lo largo de esta revisión refuerzan la eficiencia de estas estrategias, comprobando sus beneficios ambientales, económicos y sociales.

Agradecimientos:

Los autores expresan su agradecimiento al *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* por el apoyo a la presente investigación.

Referencias

ABDALLA, Fernando Antônio; SAMPAIO, Antônio Carlos Freire. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. **Entorno Geográfico**, n. 15, p. 82-102, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.25100/eg.v0i15.6712. Acesso em: 25 jul. 2025.

ALEXIS, G. K.; LIAKOS, P. A case study of a cogeneration system for a hospital in Greece. Economic and environmental impacts. **Applied Thermal Engineering**, v. 54, n. 2, p. 488-496, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.02.019. Acesso em: 26 mar. 2025.

AL-RAWI, Omar F.; BICER, Yusuf; AL-GHAMDI, Sami G. Sustainable solutions for healthcare facilities: examining the viability of solar energy systems. **Front. Energy Res.**, v. 11, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1220293. Acesso em: 26 maio 2025.

ALSAWAF, Ebtisam S.; ALBADRY, Amjad M. Principles for the sustainable design of hospital buildings. **Int. J. Sustain. Dev. Plann**., v. 17, n. 6, p. 1797-1808, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.18280/ijsdp.170614. Acesso em: 11 abr. 2025.

ALTIN, Ahmet; ALTIN, Süreyya. Sustainable Water and Wastewater Management in Hospitals. **Turjoem**, Yozgat, v. 2, n. 1-3, p. 1-7, 2017. Disponível em: https://dergipark.org.tr/en/pub/turjoem/issue/31076/327724. Acesso em: 16 jul. 2025.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 222, de 28 de março de 2018. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2018.

AQUILINA, Jahel. **Public hospital waste segregation practices**: a scoping review. 2024. 96 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Baseada em Evidências e Tomada de Decisão Eficaz) University of Malta, Malta, 2024. Disponível em: https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/132878. Acesso em: 6 jun. 2025.

ARUP Global Consultancy. **Health Care's Climate Footprint**. 2019. Disponível em: https://www.arup.com/insights/healthcares-climate-footprint/. Acesso em: Acesso em: 6 jun. 2025.

AZIZUDDIN, Muhammad; SHAMSUZZOHA, Ahm; PIYA, Sujan. Influence of circular economy phenomenon to fulfil global sustainable development goal: Perspective from Bangladesh. **Sustainability**, v. 13, n. 20, p. 11455, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su132011455. Acesso em: 18 mar. 2025.

BARCELOS, Brenda Rodrigues. Economia Linear: Desafios e Soluções para um Futuro Sustentável. **Blog Crescendo Juntos**, São Paulo, 2024. Disponível em: https://cefsa.org.br/crescendojuntos/economia-linear-desafios-e-solucoes-para-um-futuro-sustentavel/. Acesso em: 29 jul. 2025.

BIRO, Andrew. 16 Sustainable Health Care Design Examples. **Green Building e Design**, 2024. Disponível em: https://gbdmagazine.com/sustainable-health-care-design-examples/. Acesso em: 15 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **UNIDADE 05: Controle de resíduos de serviços de saúde**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, [s.d]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/UNIDADE05.PDF. Acesso em: 06 jun. 2025.

ÇAKIR, Uğur; COMAKLI, Kemal; YÜKSEL, Fikret. The role of cogeneration systems in sustainability of energy. **Energy Convers. Manag**., v. 63, p. 196-202, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.041. Acesso em: 15 maio 2025.

CHARTIER, Yves *et al*. (eds.). **Safe management of wastes from health-care activities**. 2nd ed. Genebra: World Health Organization, 2014. Disponível em: https://www.who.int/iris/bitstream/10665/85349/1/9789241548564_eng.pdf. Acesso em: 1º nov. 2024.

CHEN-XU, José *et al*. Interventions for increasing energy efficiency in hospitals (Protocol). **Cochrane Library**, n. 3, p. 14, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1002/14651858.CD015693. Acesso em: 25 mar. 2025.

CORVALAN, Carlos *et al*. Towards climate resilient and environmentally sustainable health care facilities. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 17, n. 23, p. 8849, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph17238849. Acesso em: 31 jul. 2025.

CRINI, Grégorio; LICHTFOUSE, Eric. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. **Environ Chem Lett**, v. 17, n. 1, p. 145-155, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9. Acesso em: 11 ago. 2025.

D'ALESSANDRO, Carlotta *et al*. Exploring circular economy practices in the healthcare sector: a systematic review and bibliometric analysis. **Sustainability**, v. 16, n. 1, p. 401, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su16010401. Acesso em: 2 abr. 2025.

DAVIS, Annette. Design for Disassembly. **Re-Dwell**, 2024. Disponível em: https://www.re-dwell.eu/concept-definition/51. Acesso em: 24 abr. 2025.

DEVIYANTI, Indah; SYAHRIAR, Irma. **Green hospitals for a healthier future.** Indonesia: OMS - World Health Organization, 2022. Disponível em: https://www.who.int/indonesia/news/detail/15-08-2022-green-hospitals-for-a-healthier-future. Acesso em: 9 maio 2025.

DIHAN, Musfekur Rahman *et al*. Healthcare waste in Bangladesh: Current status, the impact of Covid-19 and sustainable management with life cycle and circular economy framework. **Sci. Total Environ**., v. 871, p. 162083, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162083. Acesso em: 3 abr. 2025.

DURAIVELU, Revati; ELUMALAI, Natarajan. Performance evaluation of a decentralized rooftop solar photovoltaic system with a heat recovery cooling unit. **Environ Sci Pollut Res**, v. 28, p. 19351–19366, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-020-12104-0. Acesso em: 27 mar. 2025.

FERNANDES, Marco Filipe Santos. **Economia Circular no Setor da Saúde**. 2024. 35 p. Dissertação (Mestrado em Economia) Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2024. Disponível em: https://estudogeral.uc.pt/retrieve/276322/Vers%C3%A3o%20Final%20do%20Relat%C3%B3rio%20de%20Est%C3%A1gio_Marco%20Fernandes_2018263816.pdf. Acesso em: 12 mar. 2025.

FERREIRA, Isabela Gobbo; CARAN, Nara da Cruz Carolli. O papel do gerenciamento ambiental na garantia da qualidade da água hospitalar. **Rev Qualidade HC**, Ribeirão Preto, 2023. Disponível em: https://hcrp.usp.br/revistaqualidade/uploads/Artigos/478/478.pdf. Acesso em: 7 nov. 2024.

FRANCO, Andrea *et al*. A review of sustainable energy access and technologies for healthcare facilities in the Global South. **Sustain. Energy Technol**. Assess., v. 22, p. 92-105, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.02.022. Acesso em: 16 maio 2025.

HOCAOGLU, Selda Murat *et al*. Treatment-based hospital wastewater characterization and fractionation of pollutants. **J Water Process Eng**., v. 43, 2021. Disponível em: https://sci-hub.se/uptodate/S2214714421002920.pdf. Acesso em: 13 fev. 2025.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 20887:2020**. Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance. Geneva: ISO, 2020. Disponível em: https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/ISO-20887_2020_01.pdf. Acesso em: 5 maio 2025.

KARLINER, Josh *et al*. Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. **Health Care Without Harm; ARUP**, 2019. p. 43. Disponível em: https://global.noharm.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf. Acesso em: 29 abr. 2025.

KENNY, Christina; PRIYADARSHINI, Anushree. Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health. **Healthcare**, v. 9, n. 3, p. 284, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/healthcare9030284. Acesso em: 1º abr. 2025.

KUMARI, Astha; MAURYA, Nityanand Singh; TIWARI, Bhagyashree. Hospital wastewater treatment scenario around the globe. In: TYAGI, R.D. *et al*. (eds.). **Current developments in Biotechnology and Bioengineering.** Elsevier, 2020. cap. 15, p. 549-570. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7252247/. Acesso em: 13 fev. 2025.

KWAKYE, Gifty; BRAT, Gabriel A.; MAKARY, Martin A. Green surgical practices for health care. **Archives of surgery**, v. 146, n. 2, p. 131-136, 2011. Disponível em: https://jamanetwork.com/journals/jamasurgery/article-abstract/406778. Acesso em: 8 abr. 2025.

LAWSON, Mark; OGDEN, Ray; GOODIER, Chris. **Design in modular construction**. London: CRC Press, 2014, 280 p. Disponível em: https://doi.org/10.1201/b16607. Acesso em: 2 jun. 2025.

LIMA, Isabelle Cardoso Alves de. **Efluentes hospitalares e sua relação com as estações de tratamento de esgoto com ênfase na composição microbiológica**. 2023. 100 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2023. Disponível em: https://hdl.handle.net/11449/251609. Acesso em: 11 ago. 2025.

LOPES, Amanda dos Santos. **Processo de projeto de uma arquitetura sustentável para edificações de saúde**. 2014. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014. Disponível em: http://poscivil.sites.uff.br/wp-content/uploads/sites/461/2018/10/dissertacao_formatada.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia *et al*. Industrialização da construção no Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS): A construção dos hospitais da Rede Sarah: uma tecnologia diferenciada através do Centro de Tecnologia da Rede Sarah – CTRS. **Arquitextos Vitruvius**, São Paulo, v. 134, n. 12, jul. 2011. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.134/3975. Acesso em: 3 jun. 2025.

MACNEILL, Andrea J. *et al*. Transforming the medical device industry: road map to a circular economy: study examines a medical device industry transformation. **Health Affairs**, [S.l.], v. 39, n. 12, p. 2088-2097, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1377/hlthaff.2020.01118. Acesso em: 13 mar. 2025.

MAJUMDER, Abhradeep *et al*. A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. **J Environ Chem Eng.**, v. 9, n. 2, 2021. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33251108/. Acesso em: 13 fev. 2025.

MORALES, Matteo Antonio S. Modular Construction: A Sustainable Solution For Carbon Emission Reduction In The Construction Industry. **Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.**, v. 8, p. 393-401, ISSN 2455-2143, 2023.

OLIVEIRA, Márcio N. de. Reduzindo a pegada de carbono do setor de saúde. **Ambiente Hospitalar**, São Paulo, v. 11, n. 15, p. 5-9, 2021.

OLIVEIRA, Rafael de Freitas *et al*. Estratégias de economia circular no tratamento de esgotos sanitários: o uso de câmaras de vácuo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 11, p. 76584-76592, 2022. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/54865. Acesso em: 5 ago. 2025.

OLIVEIRA, Sarah M. da S. *et al*. Análises microbiológicas da água utilizada em um hospital público no município de Quixeramobim, Ceará. **Brazilian J of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 44092-44098, maio 2021. DOI 10.34117/bjdv.v7i5.29192. Disponível em: https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.29192. Acesso em: 14 nov. 2024.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Hospitais Saudáveis, Planeta Saudável, Pessoas Saudáveis**: Abordando as mudanças climáticas em ambientes de saúde. Geneva: OMS, 2009. 32 p. Disponível em: https://www.who.int/docs/default-source/climate-change/healthy-hospitals-healthy-planet-healthy-people.pdf?sfvrsn=8b337cee_1. Acesso em: 12 maio 2025.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Resíduos de cuidados de saúde**. Geneva: OMS, 2024. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste. Acesso em: 4 abr. 2025.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília: Portal Nações Unidas Brasil, 2025. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br. Acesso em: 6 ago. 2025.

OPS – Organización Panamericana de la Salud. **Agua, saneamiento e higiene en establecimientos de atención de salud de siete países de América Latina.** Washington: OPS, 2021. DOI 10.37774/9789275324653. Disponível em:https://doi.org/10.37774/9789275324653. Acesso em: 24 out. 2024.

OR, Zeynep; SEPPÄNEN, Anna-Veera. The role of the health sector in tackling climate change: A narrative review. **Health Policy**, v. 143, p. 105053, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2024.105053. Acesso em: 1º ago. 2025.

PALIWAL, Shreyansh. **Opportunities and Challenges of Modular Construction in a Hospitality Centric Environment.** 2019. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) - University of Nevada, Las Vegas, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.34917/15778516. Acesso em: 30 maio 2025.

PRADA, Marcela *et al*. New solutions to reduce greenhouse gas emissions through energy efficiency of buildings of special importance - Hospitals. **Science of the Total Environment**, v. 718, p. 137446, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137446. Acesso em: 27 mar. 2025.

PRIYALAL, W. G. S. S. *et al*. Strategies for Effective Water Management in Health Care (HC) Sector in Sri Lanka. **IC-SD**, 2019. Disponível em: https://ic-sd.org/wp-content/uploads/2019/11/sabrina_nazeer.pdf. Acesso em: 17 jul. 2025.

SAJID, Zeerak Waryam *et al*. Climate change mitigation through modular construction. **Smart Cities**, v. 7, n. 1, p. 566-596, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/smartcities7010023. Acesso em: 3 jun. 2025.

SANOFI. **Circular Economy and Waste Management**: Sanofi, 2024. Disponível em: https://www.sanofi.com/assets/dotcom/content-app/documents/2024/Circular-Economy-and-Waste-Management.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

SANTOS, Jagna Stefani dos; TORRES, Maurício C. A. Design biofílico e eficiência energética em centros de saúde: uma revisão bibliográfica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2024. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/5919. Acesso em: 4 jun. 2025.

SCHROEDER, Patrick; ANGGRAENI, Kartika; WEBER, Uwe. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 77-95, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1111/jiec.12732. Acesso em: 18 mar. 2025.

SEPETIS, Anastasios; GEORGANTAS, Konstantinos; NIKOLAOU, Ioannis. A Proposed Circular Economy Model for Hospital Bio-Waste Management in Municipal Settings. **Sustainability**, v. 17, n. 1, p. 20, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su17010005. Acesso em: 19 mar. 2025.

SHARMA, Hari Bhakta *et al*. Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. **Sci. Total Environ**., v. 800, p. 149605, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605. Acesso em: 7 abr. 2025.

SILVA, Alice Marina de Lima da *et al*. Reuse of greywater and rainwater in health units: case study in upas in the municipality of São Gonçalo. **Rev. Gest. Soc. Ambient.**, Miami, v. 19, n. 1, p. 1-11, 2024. Disponível em: https://search.proquest.com/openview/e7b2fae31650392f8ab40ee9096d2115/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2031968. Acesso em: 23 jul. 2025.

SMAS-Sintra – **Serviços Municipalizados de Sintra**, PO. Disponível em: https://www.smas-sintra.pt/sensibilizacao-ambiental/economia-circular/. Acesso em: 17 ago. 2025.

SUSZANOWICZ, Dariusz; RATUSZNY, P. **Energy efficiency improvement in hospital buildings**, based on the example of a selected type of hospital facility in Poland. In: IOP CONFERENCE SERIES: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, v. 564, p. 012129, 2019. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/564/1/012129. Acesso em: 26 mar. 2025.

TABIBI, Alex. Recycling Initiatives in the Healthcare Sector. **Green.Org**, 2024. Disponível em: https://green.org/2024/01/30/recycling-initiatives-in-the-healthcare-sector/. Acesso em: 23 maio 2025.

TEKE, Ahmet; TIMUR, Oğuzhan. Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, v. 33, p. 224-235, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.002. Acesso em: 14 maio 2025.

TEKE, Ahmet; TIMUR, Oğuzhan. Lighting Systems at the Hospitals: An Overview. **Majlesi Journal of Energy Management**, v. 2, n. 2, p. 39-51, 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/download/80313690/pdf.pdf. Acesso em: 28 maio 2025.

TESLIM, Badrudeen. Water Management and Conservation Strategies in Hospitals. **ResearchGate**, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/383784162_WATER_MANAGEMENT_AND_CONSERVATION_STRATEGIES_IN_HOSPITALS. Acesso em 17 jul. 2025.

TOMANEK, Michał. Energy Efficiency in Hospitals–towards Sustainable Healthcare. **Builder**, v. 28, n. 3, p. 38-42, 2024. Disponível em: https://publisherspanel.com/api/files/view/2399802.pdf. Acesso em: 11 jun. 2025.

ULTRERAS-RODRÍGUEZ, Andrés *et al*. Circular Economy in the Health Sector: Sustainable Management of Hospital Waste and Its Environmental Impact. **Seminars in Medical Writing and Education**, v. 3, p. 663, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.56294/mw2024663. Acesso em: 22 maio 2025.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Kigali cooling efficiency programme 2019**. Disponível em: https://www.unep.org/ozonaction/kigali-cooling-efficiency-programme. Acesso em: 22 maio 2025.

VERLICCHI, Paola *et al*. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. **Journal of hydrology**, v. 389, n. 3-4, p. 416-428, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.005. Acesso em: 15 jul. 2025.

VICTORIAN GOVERNMENT DEPARTMENT OF HEALTH. **Guidelines for Water Reuse and Recycling in Victorian Health Care Facilities**. Victoria: Melbourne, 2009. Disponível em: https://vgls.sdp.sirsidynix.net.au/client/search/asset/1161347. Acesso em: 15 jul. 2025.

VIET, H. M. **Reciclagem de metais metálicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/reciclagem-mm/pag4.php. Acesso em: 25 jul. 2025.

VILAS-BOAS, Doris. Sustentabilidade em estabelecimentos assistenciais de saúde: soluções de projeto arquitetônico. **Ambiente Hospitalar**, São Paulo, v. 5, n. 8, p.11-19, 2011.

VOUDRIAS, Evangelos A. Healthcare waste management from the point of view of circular economy. **Waste Management**, v. 75, p. 1-2, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.020. Acesso em: 1º abr. 2025.

VOURDOUBAS, John. Possibilities of using sustainable energy technologies including CHP systems, solar photovoltaics and heat pumps in hospitals. **EJ-Energy**, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.24018/ejenergy.2022.2.2.52. Acesso em: 27 maio 2025.

VOURDOUBAS, John. Use of renewable energy sources for heat and cooling generation in hospitals. **ASRJETS**, v. 79, n. 1, p. 98-112, 2021. Disponível em: https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/6840. Acesso em: 31 mar 2025.

WIPRO LIGHTING. Integrating Smart Lighting Systems in Modern Hospitals: A Bright Future for Healthcare. **Wipro Lighting**, 2024. Disponível em: https://www.wiprolighting.com/blog/integrating-smart-lighting-systems-in-modern-hospitals-a-bright-future-for-healthcare. Acesso em: 28 maio 2025.

ZAZA, Paraskevi N.; SEPETIS, Anastasios; BAGOS, Pantelis G. Prediction and optimization of the cost of energy resources in Greek public hospitals. **Energies**, v. 15, n. 1, p. 14, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/en15010381. Acesso em: 21 mar. 2025.

ZHAO, Yang; ZHAN, Qinchuan; XU, Tiancheng. Biophilic design as an important bridge for sustainable interaction between humans and the environment: Based on practice in Chinese healthcare space. **Comput. Math. Methods Med.**, v. 2022, n. 1, p. 14, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2022/8184534. Acesso em: 11 jun. 2025.

ZHONG, Weijie; SCHRÖDER, Torsten; BEKKERING, Juliette. Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. **Frontiers of Architectural Research**, v. 11, n. 1, p. 114-141, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.07.006. Acesso em: 8 maio 2025.

Autores

Antonio Pedro Alves de Carvalho Arquitecto e ingeniero civil, con posdoctorado por la Universitat Politècnica de Catalunya. Profesor titular de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Federal de Bahía, coordinador del Consejo Editorial de la Asociación Brasileña para el Desarrollo del Edificio Hospitalario (ABDEH), e investigador en las áreas de arquitectura hospitalaria, metodología del proyecto arquitectónico, medio ambiente y salud.

Jair de Jesus Lima Licenciado en Ciencia y Tecnología. Actualmente cursa estudios de grado en Ingeniería Sanitaria y Ambiental en la Universidad Federal de Bahía.

Artículo

Iluminación natural y proceso proyectual de Siegbert Zanettini: Hospital Ermelino Matarazzo

Autores
Danielly Marcianny Silva Eulário Universidad de São Paulo
Paulo Sergio Scarazzato Universidad de São Paulo
Ludmila Cardoso Fagundes Mendes Universidad Federal de Minas Gerais

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.04

Resumen

Este artículo analiza el enfoque de la iluminación natural en el proceso de diseño del arquitecto Siegbert Zanettini, centrándose en el Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, en São Paulo. La investigación parte de la discusión contemporánea sobre los beneficios de la luz natural en los entornos de atención de la salud, especialmente relacionados con el bienestar, la recuperación de los pacientes y la regulación del ritmo circadiano. El estudio se desarrolló mediante una revisión de la literatura, el análisis del diseño arquitectónico y una entrevista con el arquitecto. Los resultados evidencian que las soluciones arquitectónicas como los atrios con claraboyas, los dispositivos de sombreado y la orientación adecuada de las fachadas contribuyen a la distribución de la luz natural en los ambientes internos. Se concluye que el proceso de diseño desempeña un papel fundamental en la incorporación de estrategias pasivas de iluminación natural, capaces de promover entornos hospitalarios más humanizados, eficientes y alineados con las condiciones climáticas locales.

Palabras clave:

arquitectura hospitalaria, iluminación natural, proceso de diseño, ecoeficiencia, evaluación de post-ocupación.

Introducción

El entorno hospitalario se ha venido adaptando a los cambios ocurridos en función de su rol, complejidad y las actividades de sus ocupantes. El desafío para dichos entornos es contribuir a atenuar el sufrimiento (Lisboa, 2021). Sin embargo, el inicio del ordenamiento de los hospitales no surge de la búsqueda de "una acción positiva del hospital sobre el enfermo o la enfermedad", según Lisboa, 2021:

> El primer factor de la transformación fue, no la búsqueda de una acción positiva del hospital sobre el enfermo o la enfermedad, sino simplemente la anulación de los efectos negativos del hospital. No se buscó primero medicalizar el hospital, sino purificarlo de los efectos nocivos del desorden que este conllevaba. Y desorden aquí significa las enfermedades que podía suscitar en las personas internadas y propagar en la ciudad en la que estaba situado, como también el desorden económico-social del que era un foco perpetuo [...]. (Lisboa, 2021, pág.78)

Los edificios hospitalarios difieren de otras tipologías, como señaló Jarbas Karman (Bitencourt; Saccomori, 2021), fundador del Instituto de Investigaciones Hospitalarias.

> "Creo que pocos saben "ver" un hospital, porque el hospital, desafortunadamente, es muy poco conocido entre nosotros; muchos ni siquiera entran en el fondo de las soluciones presentadas, sin importarles que estas sean sumarias y superficiales, con tal de que el aspecto de la planta sea "limpio" y el exterior monumental. Este modo de evaluar la obra arquitectónica tal vez sirva para edificios comerciales, pero nunca para un hospital. El hospital es muy diferente, ya que, al mismo tiempo que cada departamento y pieza integrante forzosamente tienen que observar dimensiones exactas, es necesario que estos departamentos y piezas estén dispuestos en conformidad con las interconexiones ideales. Cualquier concesión se reflejará en la elevación del costo de mantenimiento del hospital" (Jarbas Karman, Folha da Manhã, 24 de agosto de 1958. IPH, 2016)

La postura de Zanettini con respecto a los proyectos hospitalarios está plenamente en consonancia con la de Jarbas Karman ya que, al trabajar conscientemente con el potencial de la iluminación natural en tales edificios, contribuye a su eficiencia energética. Además, la correcta utilización de la iluminación natural, que pasa por el control de la insolación y del deslumbramiento potencialmente presentes en ella, contribuye a un mayor bienestar, confort y promoción de la salud de los pacientes y del personal.

La literatura temática sobre edificaciones hospitalarias indica que las formas convencionales pueden promover un estrés innecesario en el paciente y en el equipo asistencial. Una alternativa para reducir dicho problema es la aplicación de la metodología del diseño basado

en la evidencia, la cual puede dar como resultado proyectos con configuraciones físicas capaces de reducir la fatiga, a fin de hacer más eficientes los cuidados, además de viabilizar entornos de seguridad y de calidad para los ocupantes (Ulrich *et al*., 2004).

El contacto de los pacientes hospitalizados con la naturaleza, a través del acceso visual al exterior desde la cama, puede resultar en una recuperación más rápida, con una reducción del estrés y del dolor. Las distracciones positivas, como el acceso a vistas de la naturaleza, además del acceso a la luz natural, ayudan al paciente a percibir el espacio más allá de su dolor o angustia (Ulrich, 1991). En este contexto, la buena arquitectura hospitalaria contemporánea busca, a través de la metodología del Diseño Basado en Evidencias, muy conocido en el ámbito técnico por su nombre y siglas en inglés, *Evidence-Based Design* (EBD), atender las necesidades de los diferentes grupos de ocupantes de los entornos hospitalarios, lo que a veces puede resultar conflictivo. Se requiere sensibilidad y creatividad. Ulrich propone evaluar las ganancias y pérdidas para el diseño de un proyecto arquitectónico "psicológicamente solidario".

Aspectos como la geometría de los espacios, la orientación del edificio, la transmitancia de los vidrios y las reflectancias de las superficies internas son relevantes. Factores externos, como la latitud y la longitud de la localidad, los datos climáticos y los tipos de cielos, también impactan en la cantidad y la calidad de la luz natural en los ambientes. Estos factores deben ser considerados en el diseño arquitectónico con el fin de optimizar la captación y distribución de la iluminación natural, para la promoción del confort visual y del bienestar de los usuarios (Garcia *et al*., 2020).

Objetivo

Este artículo tiene como objetivo principal analizar el enfoque de la iluminación natural en el proceso de diseño del arquitecto Siegbert Zanettini, adoptado en el Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, en una época anterior al uso de los principios que hoy se debaten en el campo del Diseño Basado en Evidencias. Adelantado a su tiempo, Zanettini comprendió la importancia de la conexión visual con el exterior y el uso de atrios en sus proyectos hospitalarios, como recursos para la reducción del estrés y el soporte psicológico defendidos por Ulrich.

Revisión de la literatura

La contribución de la iluminación natural en los espacios de atención de la salud

La luz da ritmo a la vida a través de efectos visuales o no visuales (Brandston, 2010). La contribución esencial de la luz del día está directamente ligada al bienestar general del ser humano y relacionada con la fisiología humana, al contribuir a la regulación del ciclo circadiano, además de reducir el consumo de energía y hacer que el entorno sea más humano y acogedor (Heschong, 2021).

Desde el punto de vista fisiológico, la luz del día ejerce un impacto significativo sobre el sistema circadiano humano, responsable de la regulación de diversos procesos biológicos, tales como el ciclo de sueño y vigilia, el estado de ánimo y los niveles de alerta. La luz que llega a la retina actúa como el principal sincronizador de estos ritmos biológicos en relación con el ciclo natural de 24 horas del día y de la noche. Cuando las personas permanecen largos periodos en entornos con baja exposición a la luz natural, puede producirse una desregulación circadiana, lo que puede dar lugar a diversos problemas de salud, como trastornos del sueño, alteraciones metabólicas e impactos negativos en el bienestar psicológico (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

La iluminación natural es ampliamente reconocida como un atributo ambiental fundamental en los entornos de atención de la salud, debido a sus beneficios para la salud humana, el bienestar y el rendimiento en las actividades cotidianas. Históricamente, el concepto de "hospital terapéutico" en el siglo XVIII ya vinculaba las tasas de curación con la calidad espacial, destacando la ventilación y la luz solar como factores cruciales para la recuperación. Con el avance de las investigaciones contemporáneas, se ha comprendido que la luz no es solo una necesidad visual, sino un elemento que influye en el reloj biológico, ayudando a la regulación endocrina y a la mitigación del estrés y la fatiga (Ribeiro *et al*, 2020).

Tanto la luz solar directa como la luz del día contribuyen a la recuperación de los pacientes, especialmente cuando les permiten visualizar el exterior o, al menos, percibir el transcurso de las horas del día. Las buenas prácticas en la atención de la salud empleadas a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, como el uso de terrazas, solárium y el contacto con el aire fresco en los hospitales para el tratamiento de la

tuberculosis, pueden considerarse un medio para la recuperación (Cooper-Marcus y Barnes, 1995).

Otro aspecto relevante se refiere al impacto de la iluminación natural en el rendimiento y la productividad de los profesionales de la salud. Los

estudios indican que los entornos de trabajo adecuadamente dotados de iluminación natural pueden mejorar la concentración, reducir la fatiga visual e incluso contribuir a la disminución de errores por parte de los profesionales de la salud. La presencia de luz diurna en las estaciones de trabajo y áreas de atención, por lo tanto, no solo beneficia a los pacientes, sino que también mejora las condiciones de trabajo de los equipos médicos y técnicos (Capolongo *et al*, 2016).

Además de los efectos fisiológicos, la iluminación natural contribuye a los aspectos psicológicos y emocionales de los usuarios. La presencia de ventanas y la posibilidad de visualizar el entorno externo promueven una sensación de conexión con el mundo exterior, reduciendo la sensación de aislamiento que frecuentemente experimentan los pacientes hospitalizados. Este contacto visual con el exterior puede contribuir a la reducción del estrés y a la creación de entornos más humanizados, favoreciendo el proceso terapéutico (Acosta, Leslie e Figueiró, 2017).

En entornos hospitalarios, la presencia de iluminación natural se considera un factor determinante de la salud, ya que promueve la sincronización de la fisiología humana. Los estudios indican que la existencia de ventanas y el acceso a la luz solar reducen significativamente la aparición de dolor, fiebre y depresión posoperatoria en los pacientes. Además, la iluminación natural contribuye a mejorar el ciclo del sueño y acelera la recuperación en tratamientos prolongados, como los oncológicos, y en unidades de cuidados intensivos (UCI). La privación de este contacto visual con el exterior puede llevar al individuo a situaciones de malestar, dado que el contacto con el entorno externo responde a una necesidad biológica de información visual (Ribeiro *et al*, 2020).

Además de los beneficios para la salud y la experiencia del usuario, el aprovechamiento de la iluminación natural también presenta ventajas desde el punto de vista energético y ambiental. La reducción de la dependencia de la iluminación artificial durante el día puede disminuir el consumo energético de los edificios hospitalarios, contribuyendo a las estrategias de sostenibilidad y eficiencia energética. Al considerar cuidadosamente

aspectos como la orientación, el dimensionamiento de las aberturas, los materiales y la organización espacial, es posible crear ambientes que maximicen los beneficios de la luz del día, promoviendo espacios más saludables y eficientes (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

Influencia del diseño arquitectónico en la percepción de la luz del día en el espacio construido

Las directrices presentes en las normativas determinan las condiciones y atributos de los espacios de atención médica, así como las relaciones entre

las ventanas, el medio externo, el interno y los ocupantes, aunque todavía no existe una definición unificada sobre la calidad de la visualización a través de una ventana aplicada a diversos tipos de ocupaciones y edificaciones. El proceso de diseño de edificaciones hospitalarias debe, por lo tanto, comprometerse con la calidad de vida de quienes trabajarán o recibirán tratamiento en ellas, puesto que entornos como las habitaciones de hospitalización pueden requerir aberturas diferentes a las de los espacios de trabajo, dada la especificidad de la ocupación (Ko *et al*., 2021).

El estudio de implantación, la volumetría de los edificios y la configuración de las fachadas son aspectos de la mayor importancia en el proceso de diseño arquitectónico, ya que tienen una relación directa con la calidad de la iluminación natural, incluyendo el control de la insolación. Cuando el arquitecto es consciente de ello, además de estar en el camino correcto para la obtención de resultados apropiados, facilita la labor de la consultoría especializada, encargada de asegurar una adecuada iluminación natural en el interior del edificio, con el control correcto del deslumbramiento y de las ganancias de calor. (Ko *et al*., 2021).

Desde el punto de vista de la comodidad ambiental, la iluminación natural también influye en la percepción estética y la calidad espacial de los entornos hospitalarios. La variación de la luz a lo largo del día crea ambientes más dinámicos y agradables, contribuyendo a la percepción positiva del espacio construido. En este sentido, la planificación efectiva de la iluminación natural debe considerar aspectos como la orientación solar, el dimensionamiento de las aberturas, los materiales internos y las estrategias de control de la luz, garantizando niveles adecuados de iluminación sin provocar deslumbramiento o incomodidad visual (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

La orientación de las fachadas también altera la percepción espacial de la luz. Las fachadas orientadas al norte o al sur, en latitudes tropicales, presentan comportamientos distintos de uniformidad e ingreso de luz directa, lo que exige soluciones de diseño específicas para cada caso. La ausencia de elementos de protección solar, como parasoles fijos o móviles, por ejemplo, es un fallo común de diseño que resulta en malestar visual debido al exceso de luz directa y al calor. Por lo tanto, el proceso de diseño debe equilibrar la necesidad de altas iluminancias con la calidad de la vista y el control del deslumbramiento, entendiendo que las soluciones de sombreado y el correcto dimensionamiento de las aberturas son esenciales para garantizar espacios internos saludables y atractivos (Ribeiro *et al*, 2020).

Entre los elementos arquitectónicos más importantes para la entrada y distribución de la luz natural destacan el tamaño y la posición de las ventanas, la proporción entre el área acristalada y la fachada, la

orientación del edificio, así como las características de las superficies internas. El dimensionamiento correcto de las aberturas se considera un factor esencial para permitir que la iluminación natural alcance diferentes áreas del entorno, a fin de ofrecer tanto la iluminación visual como los estímulos necesarios para el sistema circadiano (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

La presencia de ventanas permite la visualización de la luz del día, lo que resulta en un ambiente más agradable, con vistas y distracciones (Lam, 1977). Una arquitectura basada en la luz natural es una arquitectura condicionada a las condiciones ambientales. Durante el proceso de diseño, existen características que deben ser consideradas para lograr el resultado adecuado. Por lo tanto, la integración de la iluminación natural en el diseño arquitectónico de edificios hospitalarios constituye una estrategia esencial para promover ambientes más saludables, humanizados y eficientes. Al considerar los efectos fisiológicos, psicológicos y funcionales de la luz del día, los arquitectos y otros profesionales del diseño pueden contribuir significativamente a la mejora de la calidad de los espacios de atención y al bienestar general de sus usuarios (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

La altura del antepecho es un elemento de diseño representativo para el confort lumínico y la vista del entorno. Las ventanas con antepechos altos tienden a propiciar un mayor alcance en la distribución y uniformidad de la luz, lo que disminuye la posibilidad de deslumbramiento directo en el plano de trabajo. Sin embargo, por encontrarse por encima del campo visual, estas aberturas a menudo restringen la vista del paciente hacia el cielo, impidiendo el contacto con la línea del horizonte. En contrapartida, las ventanas con antepechos bajos optimizan el contacto visual con el paisaje, pero pueden generar una iluminación poco uniforme y aumentar el riesgo de deslumbramiento, especialmente para pacientes encamados (Ribeiro *et al*, 2020).

Estudos de simulação em ambientes hospitalares demonstram que a relação entre a área da janela e a fachada pode influenciar significativamente os níveis de estímulo circadiano recebidos pelos ocupantes. Em determinados contextos, uma maior proporção de área envidraçada permite que níveis adequados de iluminação natural atinjam áreas mais profundas do ambiente, aumentando a probabilidade de que os usuários recebam estímulos luminosos suficientes para a sincronização dos ritmos biológicos (Acosta, Leslie y Figueiró, 2017).

Los desafíos de los hospitales del siglo XXI, por João Filgueiras Lima, Lelé

Zanettini es un admirador del trabajo del arquitecto João Filgueiras Lima (Lelé) y su contribución a la arquitectura en el ámbito de la salud en Brasil. Este tema aborda parte del pensamiento de dicho arquitecto a partir de su

libro: **Arquitetura, uma experiência na área da saúde**. En una entrevista concedida a los autores, Zanettini destacó la influencia de la obra de Lelé en su trayectoria profesional, especialmente en lo que respecta a la relación entre arquitectura, tecnología y condiciones ambientales.

> (...) Yo tuve una relación muy estrecha con él (Lelé), porque también pensaba en la industrialización. Y él era realmente muy bueno. Era el mejor arquitecto de la época. De alguna manera, caminé de forma un tanto paralela a todo el proceso de construcción brasileña, junto a Lelé. Siempre con un sentido crítico. (Fragmento de entrevista concedida por el arquitecto, profesor y Dr. Siegbert Zanettini a los autores en 7/4/2024.)

El modelo de hospital tecnológico se consolidó en el siglo XX, caracterizándose por la integración de diferentes especialidades médicas en una misma unidad y por el uso intensivo de tecnologías. Tras la Segunda Guerra Mundial, el avance científico y la participación de grandes empresas en el sector médico-hospitalario ampliaron significativamente la oferta de equipos y sistemas especializados. Este proceso contribuyó a la automatización de diversos servicios hospitalarios y a transformaciones en la organización de los espacios y de las instalaciones físicas (Lima, 2012). El desarrollo de la bacteriología y de las técnicas de control de infecciones también influyó directamente en el diseño de los edificios hospitalarios. En este contexto, la iluminación y la ventilación naturales, comunes en los hospitales de tipo pabellones, fueron sustituidas gradualmente por sistemas artificiales de climatización e iluminación. Como consecuencia, los entornos hospitalarios se volvieron más herméticos y técnicamente controlados.

> El exhibicionismo tecnológico de la época volvió el ambiente hospitalario artificial y deshumano, al punto de influir en el estado depresivo del paciente provocando su estado psicológico, de modo que pasó a dificultar los propios procesos de curación. En 1960, se realizaban esfuerzos para cambiar este modo de pensar el hospital en la Fundação Hospitalar de Brasília, en un intento de establecer un modelo hospitalario extensible y flexible, que facilitara las innovaciones, pero que promoviera hospitales menos herméticos, con integración a espacios exteriores ajardinados, para que los pacientes tuvieran terapias al aire libre y baños de sol (Lima, 2012, p. 41).

Método

Sobre la base de la revisión de la literatura presentada, la presente investigación se dividió en dos etapas principales: (1) análisis del diseño arquitectónico del Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, con énfasis en las estrategias adoptadas para la disponibilidad y el control de la luz natural; y (2) entrevista con el arquitecto Zanettini.

El punto de partida de la investigación fue la búsqueda y lectura de referencias sobre proyectos hospitalarios, con especial atención a los aspectos de percepción visual e iluminación natural. La bibliografía se discute con otros autores que evidencian la importancia de la iluminación natural en los establecimientos de atención de la salud, como Ko *et al*., Ulrich, Cooper-Marcus, Barnes y Lima, entre otros relevantes en el contexto abordado.

La investigación se caracteriza por ser un estudio de caso cualitativo con enfoque exploratorio, en el que se analizaron la orientación azimutal y la morfología visual. Se analizó el proyecto arquitectónico del Hospital Municipal Ermelino Matarazzo, haciendo hincapié en las estrategias de diseño relacionadas con el aprovechamiento de la iluminación natural. El análisis se llevó a cabo con base en criterios identificados en la literatura, tales como la orientación de las fachadas, la presencia de dispositivos de sombreado, la configuración de atrios y la relación entre las aberturas y los espacios internos. Asimismo, se realizó una entrevista semiestructurada al arquitecto Ziegbert Zanettini, autor del proyecto, quien confirmó que las soluciones propuestas para la

iluminación natural y el control de la insolación se adoptaron de manera consciente por los beneficios que aportan.

Resultados

Análisis del diseño

El edificio objeto de este artículo está ubicado en la región este de la ciudad de São Paulo y fue inaugurado en 1991. Se destaca por la participación comunitaria lograda, ya que fue desarrollado, planificado y ejecutado en concertación con representantes de la comunidad local, además de técnicos de la alcaldía y miembros de la comisión de salud, “escuchando sugerencias y aceptando modificaciones”. Para la comprensión de todos respecto a lo que se iba a construir, fue necesario explicar a los miembros de la comisión qué era un proyecto arquitectónico, la necesidad de la elaboración de un proyecto y cómo se desarrollaría el proceso de diseño del espacio hospitalario (Zanettini, 2002).



Figura 1 . Hospital Municipal Ermelino Matarazzo. Fuente: Zanettini, 2000.

El Hospital Municipal Ermelino Matarazzo se distingue en su concepción por ser el resultado de una dinámica colaborativa. Desde el seguimiento de la obra hasta su inauguración, la comisión de salud participó en todo el proceso, en el cual el arquitecto buscó responder a las necesidades de la población local, de acuerdo con la realidad de quienes viven y utilizan el espacio.

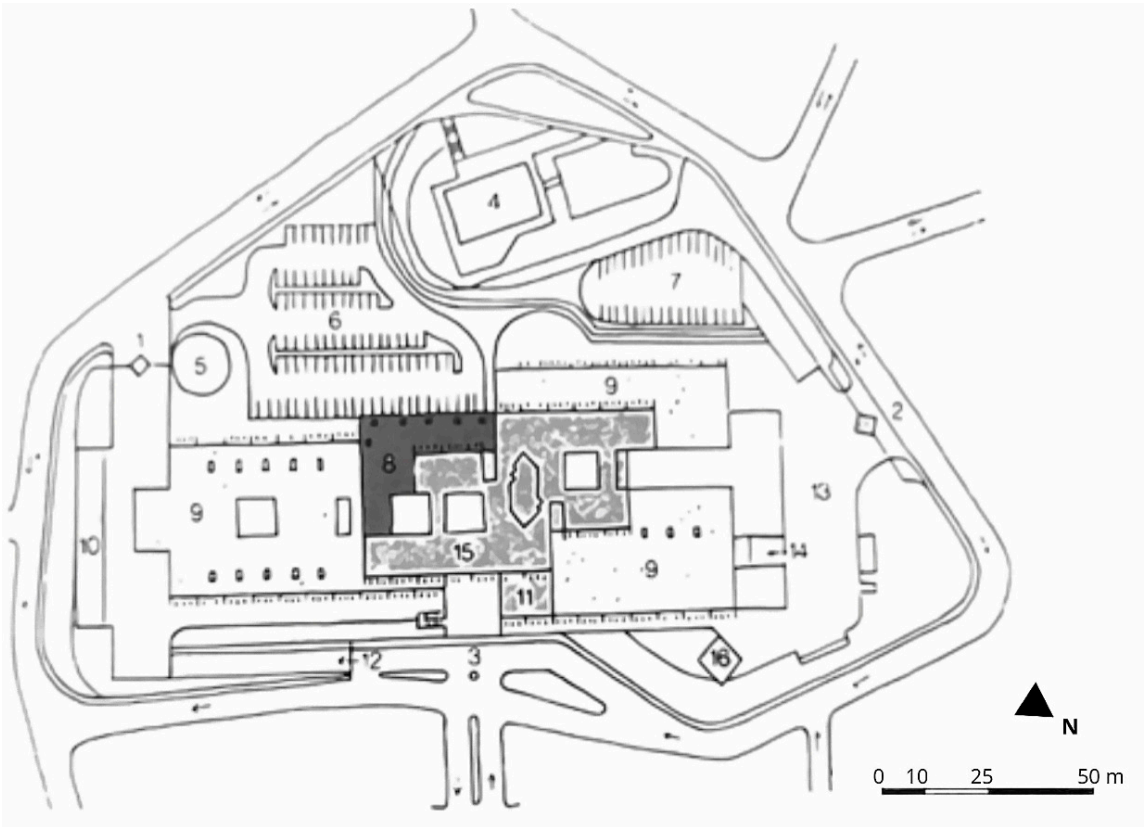
> "Nuestro hospital es diferente porque en él los detalles de funcionamiento y de arquitectura fueron concebidos a partir de sugerencias y reivindicaciones de los usuarios. Subimos a los pisos para acompañar el desarrollo de la obra, para que no se retrasara, opinamos sobre los acabados y fuimos entendiendo de pisos, contrapisos y altura libre". (Texto de la comisión de salud para la población). Zanettini, 2000, p. 214.)

La humanización del hospital se inició en el proceso participativo y se materializó en la calidad del objeto arquitectónico, valorizado por la adecuada captación y distribución de la iluminación natural, asociadas a un criterioso control de la insolación.

Análisis arquitectónico basado en la bibliografía de apoyo

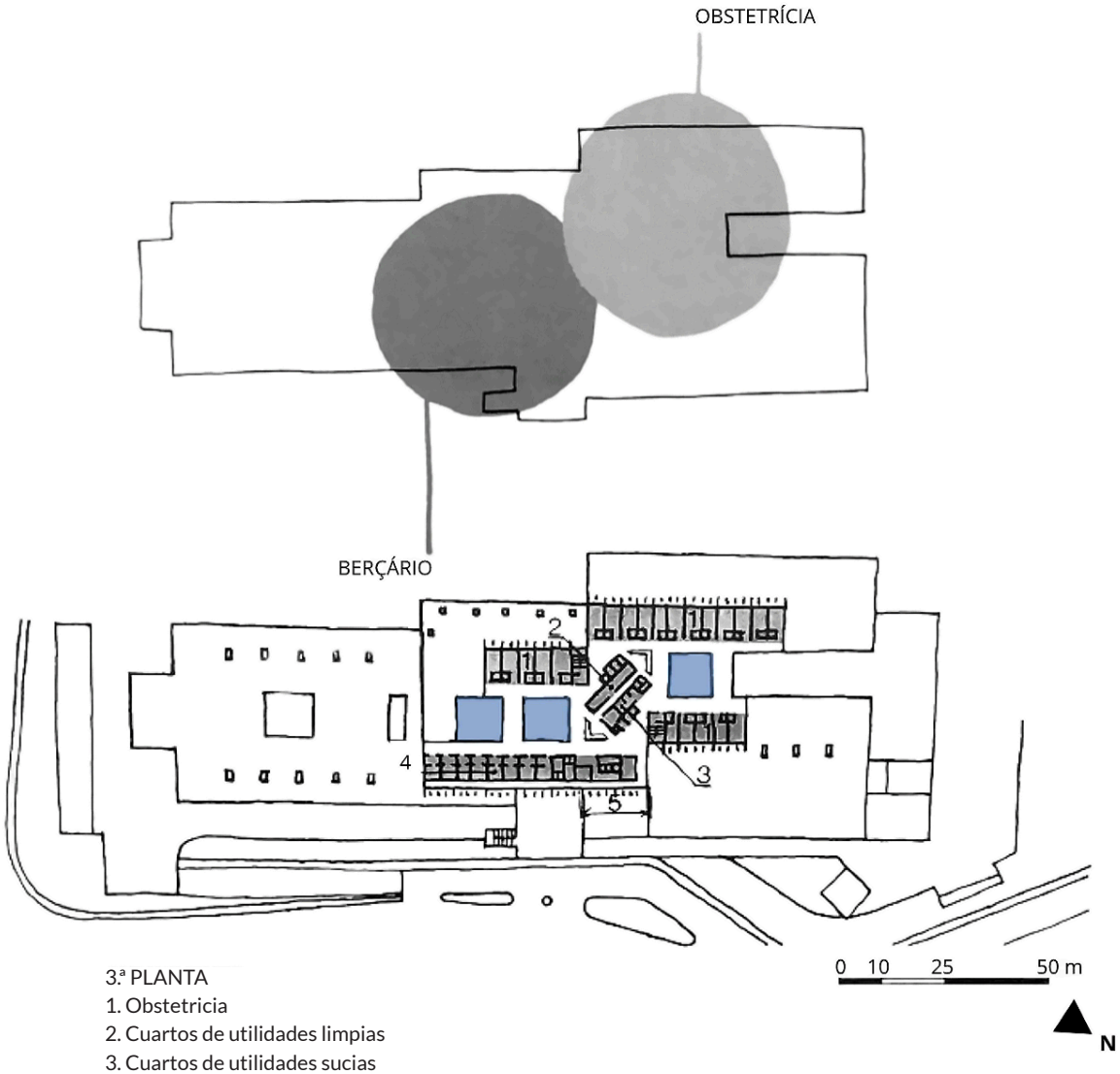
El Hospital Municipal Ermelino Matarazzo presenta soluciones en materia de iluminación natural, tales como el uso de claraboyas ubicadas en atrios y parasoles (brise-soleil) en las fachadas noreste y suroeste. Para la elaboración de este artículo, se consideraron el tercer piso, destinado a

obstetricia y sala de recién nacidos (o de la unidad de neonatología), y el cuarto piso, donde se encuentran obstetricia y pediatría, de acuerdo con los planos presentados a continuación (Figuras 2 a 4):



IMPLEMENTACIÓN
1. Acceso para pacientes ambulatorios
2. Acceso de servicio
3. Acceso principal
4. Guardería
5. Helipuerto
6. Estacionamiento para el público general
7. Estacionamiento para el personal
8. Centro Quirúrgico y Obstétrico
9. Cubierta verde
10. Base de ambulancias
11. Salón de actos
12. Acceso para ambulancias
13. Patio de servicio
14. Muelles de carga y descarga
15. Bloque de hospitalización vertical
16. Área de carga, limpieza y mantenimiento de vehículos

Figura 2 . Implementación del hospital Municipal Ermelino Matarazzo. Fonte: Zanettini, 2000.



3.ª PLANTA
1. Obstetricia
2. Cuartos de utilidades limpias
3. Cuartos de utilidades sucias
4. Nursery (Sala de recién nacidos)
5. Área común / Shaft de instalaciones

Figura 3 . Diagrama y plano de sectorización de las unidades de atención del tercer piso, con localización de obstetricia y de la sala de recién nacidos. Fuente: Zanettini, 2000.

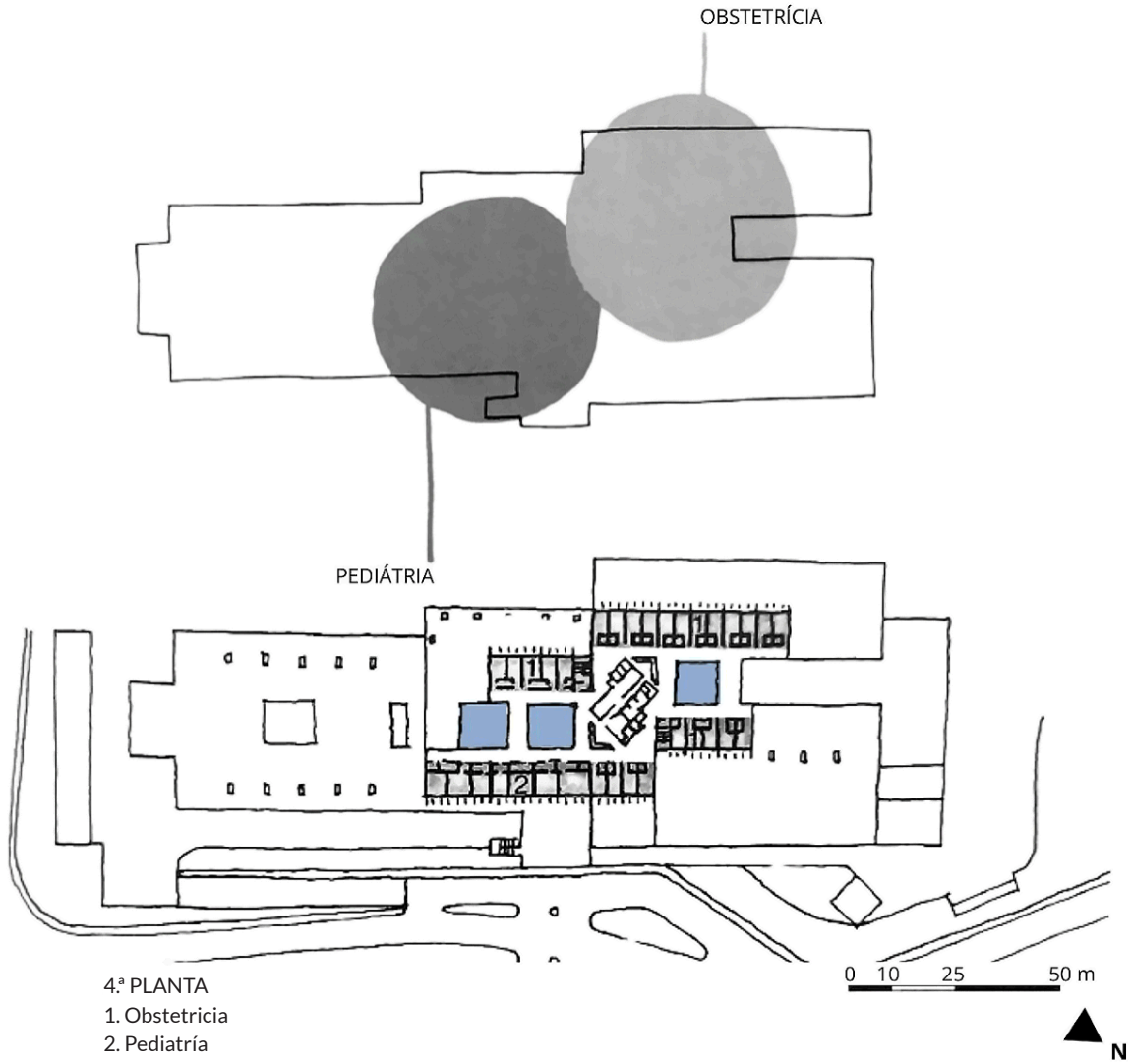
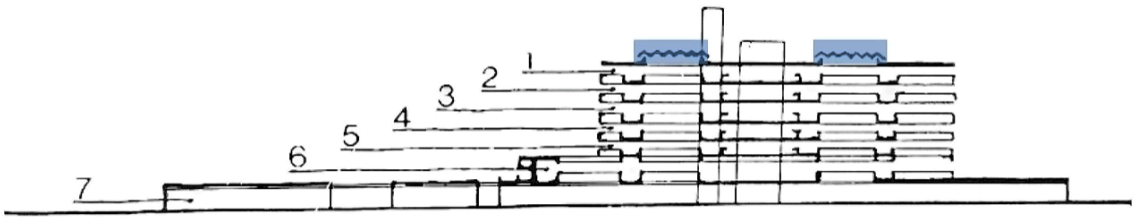


Figura 4 . Diagrama y plano de sectorización de las unidades de atención del cuarto piso [o cuarta planta], con ubicación de obstetricia y pediatría. Fuente: Zanettini, 2000.



Atrios
1. Sala de hospitalización quirúrgica
2. Sala de hospitalización médica
3. Obstetricia / Pediatría
4. Obstetricia / Sala de recién nacidos
5. Área administrativa
6. Centro Quirúrgico y Obstétrico / UCI (Unidad de Cuidados Intensivos)
7. Servicio de Urgencias / Servicios Generales

Figura 5 . Corte esquemático con indicación de la sectorización de las unidades por piso, con la ubicación de Obstetricia y Pediatría y de Obstetricia y Sala de Recién Nacidos. Fuente: Zanettini, 2000.

En las plantas, es posible observar tres atrios cubiertos por claraboyas translúcidas, las cuales están presentes en todos los pisos. La solución adoptada permite percibir la variación de la iluminación natural a lo largo del día y de las estaciones del año, lo que favorece el equilibrio del ritmo circadiano de todos los usuarios, dado que los pacientes, acompañantes, el personal médico y asistencial tienen acceso visual a los atrios cubiertos e iluminados. Además, esta solución puede contribuir al ahorro de energía en iluminación eléctrica, ya que todos los pisos tienen acceso a la luz del día de forma indirecta.

Los atrios cuentan con deflectores, que controlan la incidencia de la radiación solar directa, lo que se traduce en un mayor confort visual. La presencia de atrios con claraboyas permite la distribución de la iluminación natural en zonas profundas de la planta hospitalaria, estrategia que contribuye a lograr niveles de iluminancia más homogéneos y reduce la dependencia de la iluminación artificial durante el período diurno.

Otra solución adoptada por Zanettini es el uso de elementos de sombreado en las aberturas de las fachadas, mediante parasoles fijos, los cuales proporcionan un mayor control del deslumbramiento y una mejor distribución de la luz difusa, aumentando así el confort de los pacientes. Los parasoles están situados a lo largo de todas las fachadas noroeste y sudoeste, considerando que en el tercer piso se encuentra la sala de recién nacidos y en el cuarto, el servicio de pediatría.



Figura 6 . Solución de sombreado en las fachadas noroeste y suroeste del Hospital Municipal Ermelino Matarazzo. Fuente: Zanettini, 2000.



Figura 7 . Atrio con cubierta translúcida que permite la percepción de la luz natural. Fuente: Zanettini, 2000.

Entrevista

En una entrevista concedida a los autores en 2024, Zanettini enfatizó la importancia de la tecnología en el diseño arquitectónico y, en consecuencia, en la percepción de la luz en los espacios interiores.

> No se hace arquitectura sin tecnología. (...) El mundo de las artes y el mundo de las ciencias, la arquitectura es el encuentro de ambos. Yo explico por qué ella, la arquitectura, busca responder a todos los condicionantes técnicos, visuales y ambientales posibles. (...) Esa es mi lucha, la de entender nuestro clima, más tarde entender claramente nuestros biomas, y cada uno con sus características. Entender los regímenes de vientos, la densidad, la apertura de la luz, toda la manera de entender esto en el lugar, con su suelo determinado, con su subsuelo también. (Fragmento de la entrevista concedida por el arquitecto, profesor y Dr. Siegbert Zanettini en 7/4/2024.)

La crítica del arquitecto a los hospitales "cerrados y pesados" de la década de de 1960 se refleja en su proceso de diseño, con énfasis en la utilización de la "ecoeficiencia" aplicada en el Hospital Ermelino Matarazzo.

> (...) En la década de 1960 comencé a cuestionar esa arquitectura. Empecé a abordar algunos conceptos de ecoeficiencia, comenzó a surgir la cuestión de la sostenibilidad. La ecoeficiencia que planteé en la década de 1960 se preocupaba, originalmente, por entender cómo nuestra realidad, nuestro medio ambiente, contribuía a nuestra arquitectura. Y cómo este, de cierta manera, era determinante en esa arquitectura. Por lo tanto, este concepto mío viene de hace muchos años. Viene de hace 60 años. En la época lo llamaba ecoeficiencia, pero ya empezaba a discutir en las propuestas esta cuestión de por qué las obras eran tan cerradas, tan pesadas, tan marcadas en el sentido de preocuparse por su belleza, pero no respondían, principalmente, a las condiciones ambientales brasileñas (Fragmento de la entrevista concedida por el arquitecto, profesor y Dr. Siegbert Zanettini en 7/4/2024.)

Durante la entrevista, el arquitecto también habló sobre la importancia de considerar las condiciones climáticas locales durante la concepción de proyectos arquitectónicos.

> Soy brasileño. Y entiendo mi clima; el proyecto también debe comprender este clima. Para mí, es fundamental. Sin esto, en mi opinión, ya nace errado. No considero que la arquitectura sea independiente del lugar. El lugar es un determinante de la arquitectura, es fuerte. El costo inicial de producción, de pensamiento, eso ya no existe. Ahora es momento de producir. (Fragmento de la entrevista concedida por el arquitecto, profesor y Dr. Siegbert Zanettini em 7/4/2024.)

Discusión

Por tratarse de un proyecto con participación social, el Hospital Municipal Ermelino Matarazzo posee especificidades que lo convierten en un edificio singular en el ámbito de la arquitectura para la salud. Conforme a lo presentado por el arquitecto Zanettini en su libro **Arquitetura, Razão, Sensibilidade**, en algunos períodos, las reuniones para la discusión del proyecto eran semanales y contaban con una "pauta previamente discutida en asambleas con los vecinos". El análisis del Hospital Municipal Ermelino Matarazzo evidencia que las estrategias de diseño adoptadas por Siegbert Zanettini anticipan discusiones contemporáneas sobre el "hospital terapéutico", donde la luz no es solo una necesidad visual, sino un elemento de sincronización biológica. Siendo condicionantes técnicos: la integración de la luz natural al ambiente construido, la comprensión del clima y del bioma.

La presencia de atrios centrales cubiertos por claraboyas constituye un elemento fundamental para la distribución de la luz natural en los pisos internos del edificio. Esta solución permite que la iluminación diurna penetre en áreas más profundas de la edificación, reduciendo la dependencia de la iluminación eléctrica durante el día, de manera que

contribuye a la percepción de la variación lumínica a lo largo del tiempo. Según lo discutido por Acosta, Leslie y Figueiró (2017), la exposición a la iluminación natural desempeña un papel relevante en la regulación del sistema circadiano e influye directamente en el bienestar y el ritmo circadiano de pacientes y profesionales de la salud.

Además, los atrios funcionan como elementos de orientación espacial y de conexión visual entre las diferentes plantas del edificio. Esta estrategia contribuye a la creación de ambientes más abiertos y menos institucionalizados, lo que concuerda con los planteamientos propuestos por Ulrich (1991) sobre entornos hospitalarios capaces de reducir el estrés psicológico de los usuarios. Otro aspecto relevante se refiere a la adopción de dispositivos de sombreamiento en las fachadas, mediante el uso de brise-soleil (parasoles). Estos elementos permiten controlar la incidencia de la radiación solar directa, evitando el deslumbramiento y la ganancia térmica excesiva, al mismo tiempo que mantienen la entrada de luz difusa en los ambientes internos. De acuerdo con Ribeiro *et al*. (2020), las estrategias de control solar son fundamentales para garantizar el confort visual y la calidad ambiental en los espacios hospitalarios.

Las soluciones adoptadas en el proyecto también demuestran una fuerte relación con las condiciones climáticas locales, un aspecto enfatizado por el propio arquitecto en una entrevista. Este enfoque evidencia una postura de diseño basada en la comprensión del clima y del contexto ambiental brasileño, acercándose a las reflexiones propuestas por João Filgueiras Lima (2012) sobre la importancia de integrar arquitectura, tecnología y condiciones ambientales en la concepción de edificios hospitalarios. Así, se observa que el proyecto del Hospital Municipal Ermelino Matarazzo incorpora estrategias positivas de iluminación natural que no solo responden a cuestiones técnicas y ambientales, sino que también contribuyen a la calidad espacial y a la humanización de los entornos de atención de la salud.

Conclusiones

Esta investigación demostró que las soluciones de diseño arquitectónico centradas en el aprovechamiento de la iluminación natural son fundamentales para la creación de entornos hospitalarios humanizados y eficientes. El uso de elementos de sombreado y la correcta orientación de las fachadas pueden ser eficaces para mitigar el deslumbramiento y mejorar el confort térmico, permitiendo una interacción positiva entre el usuario y su entorno. Se concluye que el proceso de diseño, cuando se basa en la lectura del lugar y en la ciencia de la luz, es capaz de promover espacios que van más allá de la funcionalidad técnica, actuando como agentes activos en la humanización y la acogida.

Agradecimientos

Los investigadores agradecen al arquitecto Siegbert Zanettini y a sus hijas Adriana y Luciana Zanettini el apoyo y la colaboración prestados a la investigación, la entrevista concedida y el hecho de compartir los archivos de los proyectos. Agradecemos también al profesor e investigador Erick Vicente, profesor del curso de Postgrado en Arquitectura Hospitalaria del Ensino Einstein – Centro de Educação em Saúde Abram Szajman, por propiciar el contacto con el estudio Zanettini Arquitetura.

Referencias

ACOSTA, Ignacio; LESLIE, Russell P.; FIGUEIRÓ, Mariana G. **Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms**. Lighting Research & Technology, v. 49, n. 1, p. 49–61, fev. 2017. DOI: https://doi.org/10.1177/1477153515592948

BITENCOURT, Fábio; SACCOMORI, Danilo. **A ergonomia, a cidade e os ambientes interiores: reflexões sobre ambiências, espaço e saúde para o idoso**. Revista da arquitetura - cidadania e habitação, Brasília, v. 1, n. 1. p.12-20, 2021.

BRANDSTON, Howad M. **Aprender a ver: A essência do design de iluminação**. Tradução Paulo Sergio Scarazzato. 1ª ed., De Maio Comunicação e Editora, 2010.

APOLONGO, Stefano *et al*. **Social sustainability in healthcare facilities: a rating tool for analysing and improving social aspects in environments of care**. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità, v. 52, n. 1, p. 15–23, 2016. DOI: https://doi.org/10.4415/ANN_16_01_06

COOPER-MARCUS, Clare e BARNES, Marni. **Gardens in healthcare facilities: Uses, therapeutic benefits, and design recommendations**. The Center for Health Design, Inc. 1995.

GARCIA, M. S.; SOUZA, R. V. G.; MARTINS, M. L.; VELOSO, A. C. O. **Integrando simulação de iluminação natural no processo de projeto: análise comparativa entre duas plataformas computacionais**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v.15, n. 2, p.69-83, 2020.

IPH, Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman. **O desenho de hospitais de Jarbas Karman**. Livro digital. Exposição realizada durante o VII Congresso Brasileiro para o Desenvolvimento do Edifício Hospitalar, entre os dias 28 e 30 de setembro de 2016 - Salvador - BA - Brasil. 1ª edição São Paulo Julho de 2017.

LAM, William M. **And lighting for architecture**. Library of Congress Cataloging in Publication Data. New York, 1977.

LIMA, João Filgueiras. **Arquitetura: uma experiência na área da saúde**. São Paulo: Romano Guerra Editora, 2012.

LISBOA, Teresinha Covas. **História dos hospitais** / Teresinha Covas Lisboa; prefácio Erick Vicente — São Paulo: IPH, 2021. ISBN 978-85-93958-02-1

RIBEIRO, P. V. S.; SANTOS, D. M. L.; VASCONCELLOS, L. T. DE M.; CAVALCANTI, F. A. DE M. S.; CABÚS, R. C. Influência do peitoril de janelas na luz natural e visão de céu em enfermarias. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 11, p. e020009, 13 jul. 2020. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8654728

ULRICH, R. S. Effects of interior design on wellness: Theory and recent scientific research. **Journal of Health Care Interior Design**, v. 3, 97-109, jan. 1991.

ULRICH, R; QUAN, X; ZIMRING, C.; JOSEPH, A.; CHOUDHARY, R. **The Role of the Physical Environment in the Hospital of the 21st Century**: A Once-in-a-Lifetime Opportunity. Concord, CA: The Center for Health Design. 2004

KO, W. H., Schiavon, S., Altomonte, S., Andersen, M., Batool, A., Browning, W., ... Wienold, J. (2022). **Window View Quality: Why It Matters and What We Should Do**. LEUKOS, 18(3), 259–267. https://doi.org/10.1080/15502724.2022.2055428

HESCHONG, Lisa. **Visual Delight in Architecture: daylight, vision, and view**. 1º ed, Abingdon, Oxon; New York: Routledge, 2021

ZANETTINI, Siegbert. **Siegbert Zanettini: Arquitetura, razão, sensibilidade** – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

Autores

Danielly Marcianny Silva Eulário es estudiante de maestría en el Programa de Posgrado en Arquitectura y Urbanismo de la Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad de São Paulo (FAU-USP). Tiene un posgrado en Arquitectura Hospitalaria del Centro de Educación en Salud Ensino Einstein Abram Szajman. Es arquitecta y urbanista, graduada por la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG) y el Instituto Politécnico de Bragança (IPB). También está afiliada a la ABDEH, Asociación Brasileña para el Desarrollo de Edificios Hospitalarios.

Correo electrónico: danielly.eulario@usp.br

Paulo Sergio Scarazzato es profesor asociado en el Programa de Arquitectura, Urbanismo y Diseño de la Universidad de São Paulo (FAU-USP), donde se graduó en Arquitectura y Urbanismo en 1979, inició su carrera académica en 1981 y obtuvo los títulos de maestría (1988), doctorado (1995) y profesor asociado (2018). Sus intereses se centran especialmente en temas relacionados con la iluminación —natural y eléctrica— aplicada al proceso de diseño del espacio arquitectónico y a su enseñanza en la formación de arquitectos. Como representante de la FAU-USP, participa en comités técnicos de la Asociación Brasileña de Normas Técnicas (ABNT), la Commission Internationale de l'Éclairage (CIE) y la Illuminating Engineering Society (IES), entidad de la que es miembro desde 2010. También es miembro de la Society of Light and Lighting (SLL) desde 2015. En su trayectoria profesional fuera del ámbito académico, ha realizado proyectos de arquitectura e iluminación de autor para distintos tipos de edificios y en diferentes escalas: pequeña, mediana y grande.

Correo electrónico: pasezato@usp.br

Ludmila Cardoso Fagundes Mendes tiene una maestría y es estudiante de doctorado en Ambiente Construido y Patrimonio Sostenible en la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG). Es becaria de CAPES y actualmente realiza un doctorado sándwich en la Universidad Politécnica de Gdansk (Polonia). Además, es especialista en Sistemas Tecnológicos y Sostenibilidad Aplicados al Ambiente Construido por la UFMG. Se graduó en Arquitectura y Urbanismo en la Universidad Federal de Viçosa (UFV). También es investigadora del Laboratorio de Confort Ambiental y Eficiencia Energética en el Ambiente Construido (LABCON-UFMG). Está afiliada a la ABDEH, Asociación Brasileña para el Desarrollo de Edificios Hospitalarios.

Correo electrónico: ludmilamendes@ufmg.br

Artículo

Percepción de gestores hospitalarios sobre la incorporación de tecnologías emergentes y sus impactos en la infraestructura física de los hospitales de Santa Catarina

Autores
João Paulo Lucchetta Pompermaier Universidad Federal de Santa Catarina – UFSC
Lizandra Garcia Lupi Vergara Universidad Federal de Santa Catarina – UFSC
Patrícia Biasi Cavalcanti Universidad Federal de Santa Catarina – UFSC

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.05

Resumen

El avance de las innovaciones tecnológicas ha transformado los hospitales; sin embargo, muchas instituciones aún enfrentan dificultades para adecuar su infraestructura física, regulatoria y organizacional. Este estudio investiga la percepción de los gestores hospitalarios de Santa Catarina sobre la incorporación de tecnologías emergentes y su relación con la infraestructura física. Se realizó una revisión de la literatura y entrevistas semiestructuradas a gestores de hospitales públicos y privados, las cuales se sometieron al análisis de contenido según Bardin (2016). Los resultados evidenciaron desafíos como edificaciones antiguas, mantenimiento preventivo insuficiente, limitación de espacio, exigencias regulatorias, tecnologías de la información (TI) inadecuadas, costos elevados y escasez de profesionales con visión sistémica. Las áreas más impactadas fueron las de quirófano (centro quirúrgico), diagnóstico por imagen, unidad de cuidados intensivos (UCI), farmacia, urgencias y administración. En conclusión, se evidencia que la adopción de estas tecnologías requiere planificación estratégica, reformas físicas, capacitación continua y políticas públicas de modernización hospitalaria.

Palabras clave:

salud 4.0; tecnologías emergentes; arquitectura hospitalaria; infraestructura hospitalaria; gestión hospitalaria.

Introducción

El creciente avance de las innovaciones tecnológicas ha impulsado transformaciones significativas en los hospitales a nivel global, impactando la gestión, la infraestructura y la prestación de los servicios de salud (Marques; Ferreira, 2020; Raimo *et al*., 2023). La adopción de las tecnologías digitales ha evolucionado a un ritmo sin precedentes en todos los ecosistemas de salud (Dal Mas *et al*., 2023) y, a menudo, la velocidad de la innovación tecnológica supera la capacidad de respuesta de las instituciones hospitalarias. Además, según datos recientes, el 65% de las organizaciones de salud aumentaron la adopción de tecnologías digitales tras la pandemia de COVID-19 (Deloitte, 2020).

Este proceso también está impulsado por la Salud 4.0, un concepto emergente derivado de la Industria 4.0 que ha evolucionado considerablemente en la última década (Ahsan; Siddique, 2022). El objetivo principal consiste en aplicar los principios de la Industria 4.0 a los sistemas de salud, integrando tecnologías emergentes como el Internet de las Cosas (IoT), la Inteligencia Artificial (IA), el *big data*, la robótica, la computación en la nube y la telesalud, entre otras (Gupta; Singh, 2022; Pompermaier *et al*., 2024; Tortorella *et al*., 2019). Sin embargo, para que los servicios de salud incorporen estos principios, se requieren directrices y una infraestructura adecuada (Chanchaichujit *et al*., 2019)

Estudios recientes han buscado comprender los impactos de estas tecnologías emergentes en la infraestructura física de los hospitales. Machry (2010) constató que la realización de reformas en edificaciones hospitalarias existentes es causada, principalmente, por la incorporación de innovaciones tecnológicas que alteran de manera variada la configuración físico-espacial. Bause *et al*. (2019) señalan la importancia de rediseñar los procesos hospitalarios, mientras que Al-Jaroodi *et al*. (2022) destacan la importancia del Plan Maestro Hospitalario para transformar y adaptar las soluciones actuales de infraestructura. Pompermaier (2024) analizó los impactos de las tecnologías emergentes en los establecimientos de salud de Brasil, concluyendo que estos impactos trascienden el espacio físico y se manifiestan en cambios en la estructura organizacional en su conjunto.

Incorporar tecnologías emergentes puede aportar innumerables beneficios para la salud, tales como: agilidad, servicios de alta calidad, atención más precisa y personalizada, mayor confiabilidad y reducción de costos, entre otros (Al-Jaroodi *et al*., 2020; Bause *et al*., 2019; Gupta; Singh, 2022). Sin embargo, también existen desafíos asociados a la modernización tecnológica de los hospitales que involucran barreras técnicas y de infraestructura, factores psicológicos y personales, preocupaciones relativas al aumento de la jornada o de la carga de

trabajo (Nascimento *et al*., 2023), la interoperabilidad y la resistencia organizacional (Dal Mas *et al*., 2023), entre otros.

A pesar de la creciente literatura sobre la Salud 4.0, existe una brecha en la investigación empírica sobre cómo los gestores hospitalarios brasileños perciben y enfrentan los desafíos de la incorporación tecnológica en contextos de infraestructura antigua y recursos limitados. Ante este contexto de transformación, este estudio tiene como objetivo investigar la percepción de los gestores de hospitales del estado de Santa Catarina sobre la incorporación de tecnologías emergentes, centrándose en la relación entre estas innovaciones y la infraestructura física hospitalaria.

Santa Catarina cuenta con una red hospitalaria reconocida en el escenario nacional por su excelencia en innovación y gestión en el área de la salud, impulsada en los últimos años por iniciativas gubernamentales que buscan modernizar el parque tecnológico y promover la transformación digital del sistema público por medio de inversiones significativas en tecnología e innovación (FAPESC, 2025; SES-SC, 2025). Este contexto ofrece un entorno propicio para la investigación empírica de los desafíos de incorporación tecnológica en hospitales, con la posibilidad de un análisis profundo de un sistema de salud estatal en proceso activo de modernización. Además, la delimitación regional favorece un enfoque profundo y contextualizado, lo que permite una comprensión más precisa de los desafíos y oportunidades de la Salud 4.0 en un contexto regional específico y transferible.

El estado también se destaca por sus características socioeconómicas y de infraestructura hospitalaria, lo que viabiliza una evaluación más realista de la implementación de estas innovaciones. Al enfocarse en este recorte geográfico, la investigación busca proporcionar información que pueda aplicarse tanto al contexto local como a otras regiones con perfiles similares, contribuyendo a la formulación de estrategias más eficaces para la adopción de tecnologías emergentes en el ámbito de la salud.

Método

La investigación se caracteriza por ser de naturaleza aplicada, enfocada en la generación de soluciones prácticas para problemas específicos a partir de la recolección de datos en campo. Adopta un enfoque cualitativo y un diseño exploratorio, con el fin de profundizar en la comprensión del fenómeno investigado (Gil, 2023). El proceso metodológico se estructuró en tres etapas secuenciales: (1) revisión de la literatura; (2) entrevistas semiestructuradas; y (3) análisis de los datos recolectados.

La revisión de la literatura (Etapa 1) se llevó a cabo mediante una búsqueda exhaustiva de artículos científicos, tesis, disertaciones y libros,

tanto a nivel nacional como internacional. El objetivo de esta etapa fue profundizar en el conocimiento sobre la Salud 4.0 y su relación con la infraestructura física hospitalaria, sirviendo como base para la elaboración de la guía de entrevista.

Las entrevistas semiestructuradas (Etapa 2) se realizaron con gestores hospitalarios de instituciones públicas y privadas del estado de Santa Catarina. Este tipo de entrevista se lleva a cabo sobre la base de una guía previamente elaborada, manteniendo, no obstante, la flexibilidad necesaria para que el investigador profundice, reformule o explore los temas según el desarrollo de la conversación. Esta característica otorga una mayor libertad en la conducción de la entrevista y posibilita una investigación más amplia y detallada de las cuestiones de interés de la investigación (Marconi; Lakatos, 2017).

La selección de los participantes se realizó mediante un muestreo no probabilístico intencional, en el cual los individuos fueron elegidos deliberadamente con base en criterios previamente definidos para la investigación (Creswell, 2009; Marconi; Lakatos, 2017). Los criterios de inclusión adoptados fueron: (i) ser gestor(a) hospitalario(a) en funciones en una institución pública o privada de Santa Catarina; (ii) ejercer funciones de dirección, coordinación, gerencia, superintendencia o cargo equivalente; (iii) aceptar participar voluntariamente y firmar el Formulario de Consentimiento Informado. Para la operacionalización de esta estrategia, se realizó un mapeo de los hospitales a partir del

Registro Nacional de Establecimientos de Salud (CNES), con consultas específicas para el estado de Santa Catarina. Con base en este relevamiento, se contactó directamente a los hospitales y se invitó a sus gestores a participar voluntariamente en el estudio.

Las entrevistas se realizaron a 12 gestores entre septiembre y octubre de 2024, previamente programadas con los participantes y llevadas a cabo de forma remota, mediante videoconferencia (plataforma Google Meet), con una duración promedio de 45 minutos, siguiendo la guía predefinida (Cuadro 1). Antes del inicio de cada entrevista, los participantes firmaron el Consentimiento Informado (CI), el cual contenía información sobre los procedimientos éticos y legales adoptados, así como su acuerdo para participar en la investigación. Las entrevistas fueron grabadas y posteriormente transcritas en su totalidad, garantizando la confiabilidad de la información recopilada.

Parte I: Datos sociodemográficos	
1	Formación
2	Tiempo de experiencia profesional
3	Institución (pública o privada)
4	Cargo desempeñado
5	Tiempo en el cargo
Parte II: Datos específicos	
1	¿Cuáles son las principales barreras que enfrenta su hospital en la incorporación de tecnologías emergentes en términos de infraestructura física?
2	¿Cómo han impactado las tecnologías emergentes en el entorno físico de su hospital?
3	¿Qué áreas hospitalarias considera que se verán más impactadas por la adopción de tecnologías emergentes y cómo influye esto en la planificación arquitectónica?
4	¿Cómo considera que las tecnologías emergentes impactarán a corto, mediano y largo plazo en la planificación arquitectónica hospitalaria, y cómo se ha venido preparando su hospital?

Cuadro 1 . Guía de las entrevistas semiestructuradas. Fuente: Autores, 2024.

Según datos de diciembre de 2024 del Observatorio de Política y Gestión Hospitalaria (OPGH) de la Fundación Oswaldo Cruz (FIOCRUZ), extraídos del CNES (Registro Nacional de Establecimientos de Salud), Santa Catarina cuenta con 306 hospitales. Estos establecimientos se distribuyen entre diferentes categorías (hospital de día independiente, hospital especializado, hospital general, policlínica/centro de especialidades, centros de parto de bajo riesgo y servicio de urgencias/atención de emergencias) y diferentes regímenes jurídicos (privado con y sin fines de lucro, público y universitario/de enseñanza). La muestra de la investigación, compuesta por 12 gerentes hospitalarios, cada uno de los cuales representa a una institución distinta, equivale al 3,92% del total de hospitales del estado. Aunque este porcentaje es reducido, la naturaleza cualitativa y exploratoria del estudio no busca representatividad estadística, sino profundidad analítica (Creswell, 2009). En la investigación cualitativa, una muestra de 12 participantes se considera frecuentemente suficiente para alcanzar la “saturación”, punto a partir del cual las nuevas entrevistas no producen información sustantivamente diferente de la ya obtenida (Boddy, 2016; Guest; Bunce; Johnson, 2006).

Por último, para el análisis de los datos obtenidos (Etapa 3), se utilizó la técnica de análisis de contenido, según lo recomendado por Bardin (2016). Este método permite organizar e interpretar la información recopilada, transformando los datos brutos en categorías y patrones que evidencian las principales características del contenido analizado.

El análisis de contenido se llevó a cabo en tres etapas principales: (i) preanálisis; (ii) exploración del material; y (iii) tratamiento de los resultados, inferencia e interpretación. En el preanálisis, los datos fueron organizados, transcritos y sometidos a una lectura inicial, lo que permitió la familiarización con el material y la identificación de aspectos relevantes. En esta fase, también se definieron los criterios y las categorías preliminares que orientaron el análisis posterior. En la etapa de exploración del material, las respuestas fueron codificadas y clasificadas en unidades de análisis, con base en la identificación de patrones, recurrencias y temas emergentes. Este proceso permitió la estructuración de la información de manera sistemática, facilitando la interpretación de los hallazgos. Por último, en la etapa de tratamiento de los resultados, inferencia e interpretación, los datos organizados se analizaron críticamente a la luz del marco teórico adoptado.

Resultados y discusión

Esta sección presenta y analiza los resultados obtenidos mediante las entrevistas semiestructuradas realizadas a 12 gestores hospitalarios de Santa Catarina, organizados en cuatro ejes temáticos: (1) barreras para la incorporación tecnológica; (2) impactos de las tecnologías emergentes en el entorno físico hospitalario; (3) sectores hospitalarios más impactados; y (4) perspectivas futuras. Los participantes estaban distribuidos en nueve municipios (Araranguá, Blumenau, Chapecó, Florianópolis, Ibirama, Joaçaba, Joinville, Rio do Sul y São José), lo que amplió la diversidad del conjunto empírico y permitió captar diferentes realidades institucionales y territoriales del estado. Este alcance geográfico contribuyó a enriquecer el análisis al incorporar percepciones provenientes de diferentes contextos y, de este modo, ofrecer un panorama más plural y representativo del escenario investigado.

En cuanto al perfil de los participantes, se observó que el 58,3% se desempeña en instituciones públicas y el 41,7% en instituciones privadas, lo que permitió contemplar diferentes modelos de gestión hospitalaria. La formación profesional de los gestores fue diversa, con un predominio de profesionales de enfermería, lo que refleja la fuerte inserción de esta categoría en la gestión de los servicios de salud. El tiempo de experiencia profesional presentó variaciones entre los participantes, lo que contribuyó a la incorporación de diferentes niveles de vivencia y madurez en el

análisis de las cuestiones investigadas. En la Figura 1 se presenta una infografía con la distribución geográfica y los datos sociodemográficos de la muestra, destacando sus principales características.

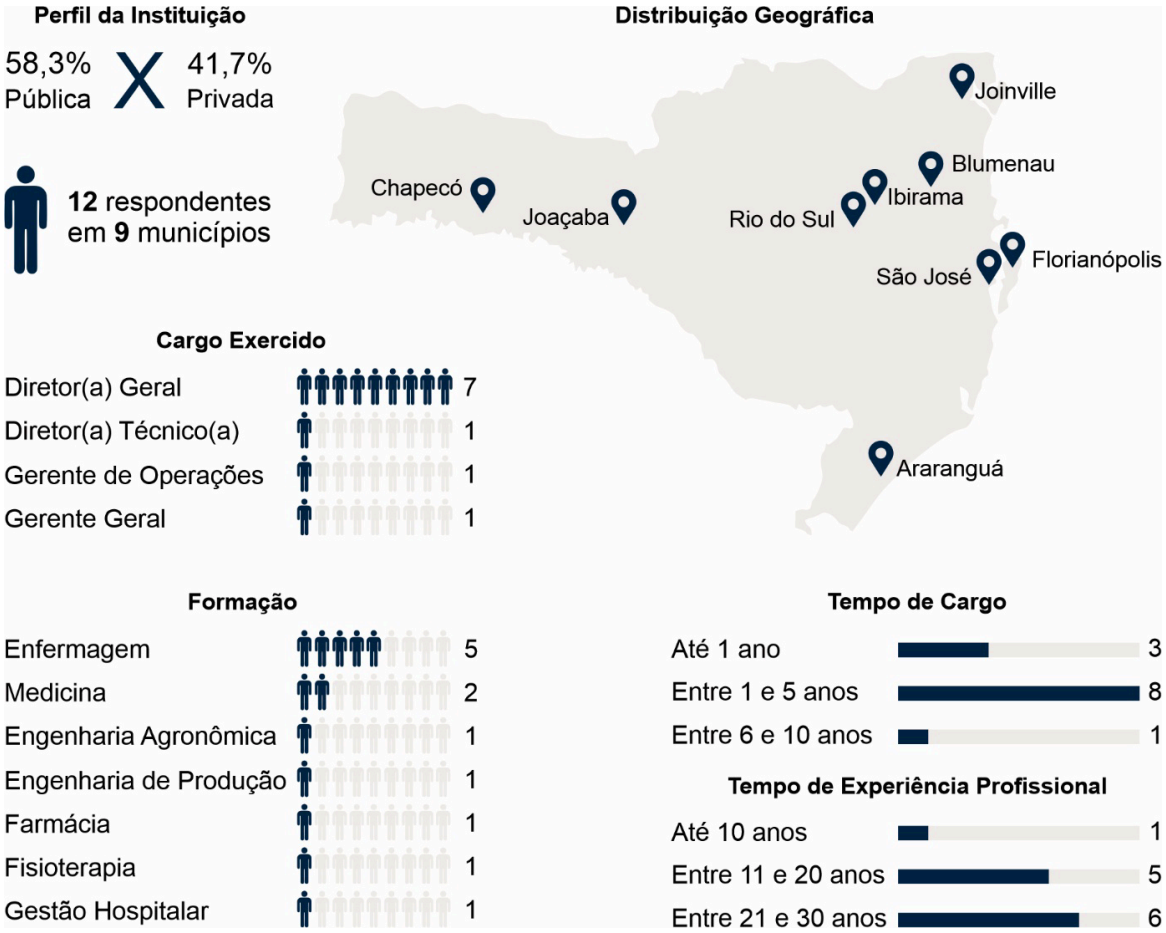


Figura 1 . Infografía sociodemográfica de los participantes. Fuente: Autores, 2025.

Barreras para la incorporación tecnológica

En primer lugar, se consultó a los participantes sobre las principales barreras que enfrenta el hospital para la incorporación de tecnologías emergentes en materia de infraestructura física. Se evidenció una convergencia en las respuestas, pero también matices importantes, sintetizados en el Cuadro 2.

Barrera	Descripción	Encuestado
Infraestructura obsoleta y falta de mantenimiento preventivo	Las edificaciones hospitalarias antiguas, muchas de ellas sin reformas significativas desde hace décadas, dificultan la adaptación a las nuevas tecnologías. La falta de mantenimiento preventivo agrava los problemas estructurales, lo que da lugar a intervenciones esencialmente correctivas y costosas	E1, E2, E4, E7, E9, E10, E11
Espacio físico limitado	El crecimiento de la demanda hospitalaria superó la capacidad física de las edificaciones, limitando la instalación de nuevos equipos y tecnologías.	E4, E7
Dificultad con los patrones regulatorios	El crecimiento de los hospitales dio lugar a estructuras que no cumplen con las normativas actuales, lo que exige reformas para su adecuación.	E8
Problemas en la infraestructura de TI	Los hospitales no fueron diseñados para soportar redes modernas, lo cual compromete la implementación de tecnologías.	E6, E10, E11
Alto costo de incorporación	Las inversiones necesarias para la incorporación son elevadas, y muchos hospitales no disponen de presupuesto suficiente para dichas mejoras.	E5, E6, E8, E9, E12
Falta de profesionales con visión sistémica de los procesos hospitalarios	La falta de profesionales calificados para planificar y gestionar la implantación de nuevas tecnologías dificulta la modernización de los hospitales. Esta situación se ve agravada por la rotación de los contratos temporales, que interrumpe la curva de aprendizaje.	E3, E4

Cuadro 2 . Barreras para la incorporación de tecnologías emergentes en los hospitales. Fuente: Autores, 2025.

Como se ha evidenciado, la adopción de tecnologías emergentes en los hospitales estudiados enfrenta desafíos estructurales, regulatorios y financieros. La infraestructura antigua representa uno de los mayores obstáculos, ya que las edificaciones proyectadas hace décadas no contemplaban las necesidades actuales de modernización tecnológica,

lo cual se evidenció en 7 de los 12 hospitales. La amplitud de las edades de las edificaciones en la muestra es, de por sí, reveladora: los relatos varían desde estructuras de 30 años, como la de E7, hasta los 45 años, mencionada por E4, pasando por una edificación centenaria de 115 años, citada por E6, hasta llegar al caso de E9, que describe un hospital con 164 años de existencia. Estos casos apuntan a contextos muy distintos de desafíos arquitectónicos, los cuales no pueden ser abordados de forma homogénea por la planificación de la salud. Además, la limitación del espacio físico agrava la situación. E4, por ejemplo, menciona que, debido a la falta de áreas disponibles para la expansión, la solución ideal sería la construcción de nuevas unidades.

Sin embargo, se observa que, en la práctica, la estrategia más recurrente de la gestión pública de la salud ha sido la realización de reformas y ampliaciones en establecimientos existentes para absorber la creciente demanda de atención, en lugar de la construcción de nuevos hospitales. Esta opción, aunque necesaria en determinados contextos, a menudo compromete la calidad arquitectónica original, genera sobrecarga en los espacios y no resuelve de manera estructural las demandas de modernización de la infraestructura física. Dicho proceso contrasta, además, con la tendencia global de descentralización de la salud, en la cual se prioriza la planificación de establecimientos más pequeños y cercanos a la comunidad a atender (Mahmood *et al*., 2024; Nunes; Ferreira, 2022).

Otro factor limitante es la necesidad de adecuación regulatoria. Normas de la Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa) y de las autoridades sanitarias estatales y municipales exigen adaptaciones específicas en las estructuras hospitalarias para garantizar la seguridad y la calidad de los servicios prestados. E8 señala que, en el caso de su hospital, inaugurado en 1979, el crecimiento a lo largo de las décadas se produjo de forma poco planificada, sin tener debidamente en cuenta los requisitos normativos. En la actualidad, sin embargo, la institución cuenta con una arquitecta contratada para planificar nuevas ampliaciones y servicios que ya cumplan con las normas de la vigilancia sanitaria, lo que pone de manifiesto tanto la complejidad del proceso de modernización como la necesidad de una planificación técnica más rigurosa.

La infraestructura de tecnologías de la información (TI) es otra barrera significativa. Muchos hospitales no cuentan con el cableado adecuado ni con la capacidad para soportar redes de alto rendimiento, lo que inviabiliza la implementación de sistemas de monitoreo remoto, historias clínicas electrónicas y automatización de procesos. Sin embargo, también existen ejemplos positivos, como menciona E6, que recientemente superó esta limitación e implementó la verificación a pie de cama para

la administración de medicamentos, demostrando que la modernización es viable con inversiones dirigidas. El caso más grave identificado en la investigación, no obstante, es el de E11, que relata la pérdida completa de los registros de la historia clínica electrónica acumulados entre 2018 y 2021, debido a un apagón ocurrido en 2021. El colapso se atribuyó al uso continuo de un centro de datos instalado en 2008, que debería haber sido reemplazado cada cinco años. Al momento de la investigación, el equipo aún no había sido sustituido, lo que ilustra cómo la fragilidad de la infraestructura de TI puede tener consecuencias irreversibles para la continuidad de la atención y para la seguridad del paciente.

El alto costo de adquisición e incorporación de nuevas tecnologías constituye una barrera transversal a todos los retos anteriores. Los hospitales que desean incorporar equipos de última generación, como robots quirúrgicos o sistemas inteligentes de gestión hospitalaria, a menudo se topan con la falta de recursos financieros, lo cual es aún más evidente en los hospitales públicos (E5, E8, E12). El E8 destaca explícitamente que, en su centro, la principal barrera es financiera, y no física: "la mayor dificultad es, de hecho, financiera... la implantación de estas tecnologías acaba viéndose limitada mucho más por la cuestión de la financiación que por una limitación de la infraestructura física en sí". Esta postura es relevante, ya que revela que, incluso cuando la infraestructura física es favorable (E8 describe un hospital horizontal con buena capacidad instalada), la ausencia de previsión presupuestaria para la inversión constituye el principal obstáculo. Este escenario refuerza la necesidad de políticas públicas e incentivos para facilitar la modernización tecnológica en el ámbito de la salud.

Finalmente, la falta de profesionales con una visión sistémica de los procesos hospitalarios compromete la eficacia de la implementación de nuevas tecnologías. La gestión hospitalaria moderna exige un enfoque integrado que combine el conocimiento técnico con la planificación estratégica para optimizar las inversiones en innovación. E3 destaca esta brecha, resaltando la necesidad de capacitación de los profesionales para liderar procesos de transformación digital en salud. Del mismo modo, E4 señaló la dificultad de mantener profesionales capacitados debido a la rotación de contratos, lo que compromete la curva de aprendizaje necesaria para el uso eficiente de las tecnologías. Estos hallazgos están alineados con Dal Mas *et al*. (2023), que identifican la resistencia organizacional y la falta de competencias digitales como barreras centrales para la transformación digital en el sector de la salud, así como con Fogaça (2025), quien destaca la alta rotación y el ausentismo de los profesionales de la salud, además de la importancia de la retención de talento. En este sentido, la retención se perfila como una estrategia fundamental

para garantizar la continuidad de los procesos, consolidar el aprendizaje institucional y favorecer la incorporación sostenible de las tecnologías en los servicios sanitarios.

Impactos de las tecnologías emergentes en el entorno físico hospitalario

A continuación, se preguntó a los entrevistados sobre cómo las tecnologías emergentes han impactado en el entorno físico del hospital. A partir de las respuestas recopiladas, fue posible identificar patrones comunes entre los hospitales.

Varios hospitales mencionaron la necesidad de realizar adaptaciones estructurales para incorporar las nuevas tecnologías. El E6, por ejemplo, destacó que el plan director actual ya prevé adecuaciones para albergar tecnologías de vanguardia, mientras que el E7 resaltó la necesidad de un redimensionamiento físico para equipos como los de resonancia magnética y *búnkeres* de radioterapia.

En términos de integración tecnológica, los hospitales enfrentan desafíos para actualizar sus instalaciones. E9 mencionó dificultades en la implementación de redes *wifi* debido a la infraestructura antigua, lo que exige inversiones muy elevadas. E10 también destacó que, ante la falta de preparación del edificio para albergar cableado estructurado, fue necesario instalar sistemas externos y simplificados, con cables expuestos en diversos sectores. Esta solución, aunque funcional, compromete la higiene y puede impactar en la seguridad del paciente, aumentando el riesgo de infecciones asociadas a la atención de la salud, además de evidenciar las limitaciones de las edificaciones que no fueron diseñadas para las demandas tecnológicas actuales. Por otro lado, E8 destacó que la arquitectura horizontal de su hospital favorece la incorporación de nuevas tecnologías, lo que facilita los ajustes en la infraestructura eléctrica y de red.

La adquisición de equipos modernos ha tenido un impacto directo en los procesos hospitalarios. E2 mencionó la implementación de un arco en C de R$ 500 000 y la introducción de ecógrafos portátiles que permiten realizar exámenes a la cabecera del paciente. La evolución de las tecnologías de diagnóstico por imagen se destacó como una de las áreas de mayor crecimiento, lo que corrobora los hallazgos de Topol (2019) sobre la centralidad de la imagenología en el proceso de digitalización hospitalaria.

La modernización también ha llevado a un rediseño de los procesos hospitalarios, como menciona E3. El uso de sistemas digitales para la

verificación de medicamentos fue un factor diferencial, según E9, ya que involucra recursos como la prescripción electrónica, la historia clínica electrónica del paciente y la verificación a pie de cama. E6 describe una implementación equivalente en la que el profesional realiza la lectura del código de barras de la pulsera del paciente antes de administrar cualquier medicamento, automatizando tanto la comprobación como el movimiento de inventario. Estas herramientas permiten automatizar prescripciones, reducir los errores de administración, optimizar los inventarios de medicamentos y aumentar la seguridad asistencial del paciente.

Algunos participantes señalaron ciertas limitaciones en el acceso a tecnologías emergentes; por ejemplo, el participante E5 mencionó que su institución no dispone de estos recursos. Asimismo, el participante E10 destacó que la lentitud de los procesos de licitación pública representa un obstáculo para la implementación de innovaciones, lo que evidencia desafíos administrativos que pueden afectar la modernización, independientemente del tamaño o del modelo de gestión del hospital.

Servicios hospitalarios más afectados

Para comprender con mayor profundidad los impactos de la incorporación de tecnologías emergentes, se consultó a los participantes sobre qué sectores hospitalarios consideran más afectados, así como sobre la influencia de este proceso en la planificación arquitectónica hospitalaria. El Cuadro 3 presenta una síntesis de los sectores más recurrentes y sus principales consideraciones.

Sector	Influencia en la planificación arquitectónica	Encuestado
Quirófano	Necesidad de adecuación de los quirófanos para nuevos equipos de alta tecnología (robótica, inteligencia artificial, entre otros). La heterogeneidad de tamaños y diseños de los quirófanos existentes es un obstáculo concreto.	E2, E6, E7, E10
Central de Esterilización	Necesidad de adecuación de las salas para nuevos equipos de alta tecnología y flujos más eficientes en la esterilización.	E1
Diagnóstico por Imagen	Necesidad de salas amplias e infraestructura para soportar equipos avanzados, como aparatos de resonancia magnética, tomografía computarizada, sistemas de monitoreo continuo y conectividad digital para la historia clínica electrónica, la telemedicina y la integración de dispositivos inteligentes.	E2, E7, E9
Farmacia	Necesidad de sistemas automatizados para el control de inventarios y de espacios adaptables a tecnologías de rastreo, como etiquetas RFID, códigos de barras y sensores de localización de equipos y materiales hospitalarios.	E4, E12
Unidad de Cuidados Intensivos (UCI)	Exigencia de una infraestructura moderna para soportar las tecnologías de monitoreo y asistencia digital al paciente.	E4, E10
Servicio de Urgencias y Emergencias	Adaptación de los flujos de atención e integración con sistemas de triaje digital.	E8
Administración	Necesidad de espacios para centros de monitoreo y modernización de la infraestructura para respaldar la digitalización de los procesos.	E5, E11
Hospitalización	Necesidad de habitaciones más inteligentes y automatizadas para mejorar la experiencia del paciente.	E6
Oncología y tratamientos especializados	Los sectores dedicados al tratamiento oncológico requieren infraestructura especializada, que incluye salas de radioterapia con *búnkeres* de protección radiológica, equipos de PET-TC para la estadificación del cáncer y, en perspectiva, unidades para la realización de la terapia CAR-T, una modalidad innovadora de inmunoterapia que consiste en la modificación genética de linfocitos T para el tratamiento de tumores específicos, la cual es aún incipiente en Brasil.	E7, E9, E12

Cuadro 3 . Sectores hospitalarios más impactados por las tecnologías emergentes y la influencia en la planificación arquitectónica Fuente: Autores, 2025.

Los resultados del análisis revelan que la adopción de tecnologías emergentes tiene un impacto significativo en diversos servicios hospitalarios, destacando el quirófano (centro quirúrgico), imagenología y diagnóstico, la unidad de cuidados intensivos (UCI), la farmacia y el servicio de urgencias. La modernización de estos espacios exige una infraestructura adecuada para dar soporte a equipos avanzados, tales como la robótica quirúrgica, el monitoreo mediante inteligencia artificial y los sistemas de trazabilidad digital de insumos. Asimismo, la digitalización de la gestión hospitalaria y la implementación de la telemedicina requieren la creación de espacios específicos para centrales de monitoreo y la optimización de los flujos operativos. Dos hallazgos merecen especial atención: (a) la emergencia del sector oncológico como un área de creciente presión tecnológica y de infraestructura – E7 describe

una "demanda oncológica abrumadora" derivada de los cambios en el perfil epidemiológico regional, lo que impulsa la necesidad urgente de búnkeres de radioterapia y equipos de alta complejidad; y (b) el surgimiento de tecnologías de vanguardia aún incipientes en Brasil, como la terapia CAR-T, mencionada por E12 como un proyecto futuro de la institución, lo que indica que la frontera de incorporación tecnológica en los hospitales estudiados va más allá de las tecnologías convencionales de la Salud 4.0 discutidas en la literatura.

En la planificación arquitectónica, estos avances exigen un enfoque más flexible y adaptable, garantizando que los espacios hospitalarios puedan evolucionar junto con las nuevas demandas tecnológicas. La necesidad de ampliar salas, reconfigurar los flujos internos e integrar sistemas inteligentes son aspectos fundamentales para la eficiencia y la calidad de la atención. Así, las transformaciones tecnológicas no solo impactan en la eficiencia clínica, sino que también remodelan la organización espacial de los hospitales. Este hallazgo respalda el argumento de Al-Jaroodi *et al*. (2022) de que el Plan Director Hospitalario debe incorporar una visión a largo plazo sobre las futuras demandas tecnológicas.

Perspectivas futuras

Finalmente, también se consultó a los entrevistados sobre las perspectivas futuras. Los participantes evaluaron el impacto que tendrán las tecnologías emergentes en la planificación arquitectónica hospitalaria a corto, mediano y largo plazo. Las respuestas convergieron en un conjunto de tendencias y factores condicionantes interrelacionados, pero también revelaron un marcado contraste entre las instituciones con una planificación estratégica estructurada y aquellas que operan de manera predominantemente reactiva; una diferencia que no es meramente de capacidad financiera, sino también de gobernanza organizacional.

En términos generales, las tecnologías emergentes se perciben como transformadoras de las operaciones hospitalarias, con el potencial de acelerar los diagnósticos, optimizar los flujos asistenciales y aumentar la seguridad de la atención. E3, por ejemplo, destacó que los principales cambios deberían ocurrir en los sectores de diagnóstico por imagen, apuntando a equipos más precisos y a la posibilidad de conectividad a través de dispositivos móviles que agilicen la emisión de informes y la devolución de resultados. Sin embargo, E4 evidenció una limitación concreta para la efectividad de esta transformación digital: la falta de integración entre los sistemas de salud municipales y estatales. De este modo, a pesar del monitoreo de datos internos, muchas instituciones aún no tienen acceso a la información de los pacientes atendidos en unidades de atención médica de urgencias o centros de atención primaria de salud, lo que reduce la continuidad de la atención y el valor agregado por la digitalización. E4 añade que los sistemas vigentes suelen estar fragmentados y ser de navegación compleja, lo que evidencia que la transformación digital hospitalaria no se limita a la existencia de sistemas digitales, sino que también exige que estos sistemas estén integrados, sean intuitivos e interoperables con las demás redes de salud.

Paralelamente, los entrevistados identificaron que la modernización no implica solamente la incorporación de tecnologías, sino también cambios físicos en la infraestructura hospitalaria. Diversas instituciones informaron sobre la necesidad de reformas o ampliaciones para dar cabida a las nuevas tecnologías, desde la adecuación de las áreas de diagnóstico por imagen hasta la creación de unidades especializadas. E2 mencionó que su plan director prevé ampliaciones, tales como la modernización del servicio de urgencias y la creación de una nueva unidad de cuidados intensivos neonatales (UCIN), lo que ejemplifica planes documentados que, sin embargo, tropiezan con las limitaciones de la estructura física existente. E7 subrayó la necesidad de mantenimiento y modernización de la edificación y planifica la construcción de un nuevo edificio a lo largo de la próxima década, lo que evidencia que, para algunos hospitales, la solución a mediano plazo implica nuevas construcciones, mientras que otros aún dependen de reformas internas. El caso más ambicioso identificado en la investigación es el de E9, que describe la construcción de una torre de 10 pisos, diseñada con un enfoque en tecnologías de punta (robótica, transporte neumático y monitoreo en tiempo real). Esta iniciativa representa una estrategia a largo plazo que se destaca por el volumen de planificación y el grado de ambición tecnológica, lo cual contrasta con la realidad de la mayoría de las instituciones de la muestra.

Es importante destacar que la estandarización de los entornos surge como una condición facilitadora para la incorporación de tecnologías de punta. Como señaló E6, quien observó que la existencia de nueve quirófanos con tamaños y diseños distintos dificulta la adopción de equipos, como la cirugía robótica, e impide la optimización de flujos y costos operativos.

E6 proyecta que la estandarización de los entornos quirúrgicos, además de viabilizar la cirugía robótica en múltiples salas, traerá una "reducción de costos absurda" por la ganancia de escala en los procesos, argumento que articula directamente la arquitectura, la eficiencia operativa y la sostenibilidad económica de la incorporación tecnológica.

La digitalización, aunque en curso, se manifiesta con diversos grados de madurez entre los hospitales estudiados. Algunos ya cuentan con sistemas de monitoreo avanzado e iniciativas organizadas para la gobernanza de la innovación. Otros, sin embargo, enfrentan dificultades para integrar plataformas heterogéneas y garantizar la interoperabilidad. E11 llamó la atención sobre el hecho de que la velocidad de la evolución tecnológica fue muy superior a la capacidad de algunos hospitales para seguir el ritmo de tales cambios, lo que dio lugar a procesos reactivos en lugar de proactivos, situación que refuerza la necesidad de políticas institucionales claras para orientar la adopción de nuevas tecnologías. E10 respalda este diagnóstico al afirmar que "las tecnologías llegaron de manera muy rápida y no las acompañamos a la misma velocidad", y agrega que la ausencia de una política institucional clara de incorporación de tecnología hace que las adquisiciones se realicen por demanda y no por planificación.

El contraste entre las formas de gestión de la innovación es uno de los hallazgos más relevantes del estudio. Mientras que E8 describe la creación de una Comisión de Innovación estructurada para evaluar y planificar la incorporación de nuevas tecnologías, y E12 informa de la contratación de una empresa externa para llevar a cabo la planificación estratégica en tres horizontes temporales (corto, medio y largo plazo), E11 describe una realidad opuesta: "funcionamos apagando incendios a diario", sin poder elaborar una planificación a medio o largo plazo, ya que los recursos financieros son insuficientes incluso para cubrir las necesidades operativas básicas. Esta asimetría entre instituciones revela que la madurez en la gobernanza de la innovación no viene determinada únicamente por el tamaño o el perfil jurídico del hospital, sino, sobre todo, por la estabilidad y la suficiencia de la financiación recibida.

Un aspecto recurrente en las declaraciones fue la centralidad del financiamiento y de la gobernanza en la viabilidad de las transformaciones previstas. La mayoría de los hospitales señaló dificultades financieras que limitan tanto la modernización de la infraestructura como la implementación de sistemas digitales integrados. Los hospitales públicos, en particular, informaron de una dependencia de transferencias de recursos y contratos de gestión cuyos montos no siempre cubren las demandas operativas y de inversión; el E10 ejemplificó esta condición al afirmar que la unidad "trabaja constantemente en números rojos". Por otra parte, E5 declaró no contar con preparación alguna para implementar tecnologías emergentes, lo que refuerza que la falta de planificación financiera y estratégica constituye un obstáculo concreto para el avance.

Estos testimonios indican que, más allá de las decisiones de diseño, la incorporación de innovaciones requiere políticas públicas más robustas, mecanismos de financiamiento diversificados y alianzas público-privadas que puedan viabilizar intervenciones estructurales y garantizar la continuidad de las inversiones en tecnología.

Las estrategias adoptadas por algunas instituciones señalan vías para mitigar los obstáculos identificados: además de la ya mencionada Comisión de Innovación, señalada por E8, prácticas como la estandarización de los entornos quirúrgicos (E6), el plan director que contempla ampliaciones estratégicas (E2) y la adaptación de los servicios a las expectativas de las nuevas generaciones de pacientes (E9) demuestran que las medidas organizativas y de planificación pueden favorecer transiciones más ordenadas. E9 señala, en este sentido, una tendencia aún poco explorada en la literatura nacional: la necesidad de adaptar el producto hospitalario al perfil tecnológico de las generaciones más jóvenes de pacientes, quienes llegan al sistema de salud con expectativas de experiencia digital que los hospitales hoy no están preparados para satisfacer, tanto en términos de interfaz como de procesos asistenciales mediados por la tecnología.

Por último, la Figura 2 sintetiza, en capas concéntricas, la relación de interdependencia entre las tecnologías emergentes (capa interna), los requisitos físicos y procesales necesarios para su incorporación (capa intermedia) y los condicionantes externos que viabilizan o limitan este proceso (capa externa).

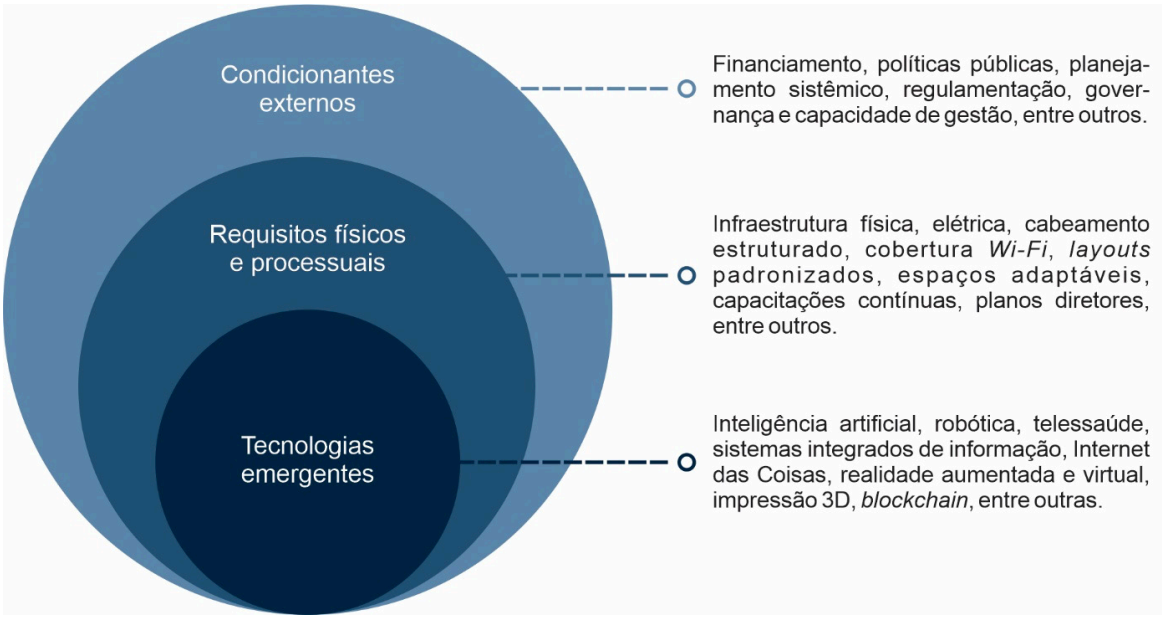


Figura 2 . Diagrama conceptual. Fuente: Autores (2025).

El diagrama refleja la evidencia central del estudio: los avances en tecnologías emergentes solamente se materializan cuando están respaldados por una infraestructura adecuada (salas estandarizadas, cableado, redes, áreas de imagenología), por procesos

institucionales (planes directores, comisiones de innovación, estandarización) y por determinantes macro vinculados a la gestión y la planificación de la red de salud (financiamiento, políticas públicas y gobernanza).

Los hallazgos también permiten afirmar que la incorporación tecnológica hospitalaria, cuando se analiza desde la perspectiva de los gestores, es un fenómeno multicapa: no se reduce a la disponibilidad del equipo o del sistema, sino que involucra la adecuación física del espacio (dimensiones, materiales de construcción, instalaciones eléctricas y de red), la readecuación de los procesos operativos, la capacitación y retención de profesionales, la sostenibilidad financiera del modelo de gestión y, en última instancia, la existencia de una política pública que oriente y financie este conjunto de transformaciones de forma coordinada y continua.

El diagrama pretende no solo resumir los hallazgos, sino también destacar que la transición hacia un modelo hospitalario más tecnológico exige acciones coordinadas en múltiples niveles y depende simultáneamente de inversiones, planificación arquitectónica consciente, gobernanza institucional y políticas públicas articuladas.

Consideraciones finales

Este estudio examinó la incorporación de tecnologías emergentes en el contexto de la Salud 4.0 en los hospitales del estado de Santa Catarina, centrándose en la relación entre estas innovaciones y la infraestructura física hospitalaria. A partir del análisis de los datos recopilados, se concluye que la incorporación de tecnologías emergentes en los hospitales enfrenta desafíos multifacéticos, que incluyen una infraestructura inadecuada, limitaciones financieras y la necesidad de políticas públicas más integrales que garanticen la calidad de la atención de salud y orienten la planificación estratégica de la red hospitalaria. La superación de estas barreras requiere reformas estructurales, capacitación y formación continua de los gestores, además de políticas de fomento de la modernización y la incorporación de tecnología en el ámbito hospitalario.

Los hallazgos de este estudio muestran que la incorporación tecnológica en la red hospitalaria estatal es heterogénea. Una proporción reducida de instituciones ya ha implementado tecnologías avanzadas y planifica incorporaciones más ambiciosas. Sin embargo, la mayoría de las instituciones enfrenta limitaciones estructurales y financieras

significativas, lo que restringe la adopción generalizada de tecnologías de punta. Además, los testimonios de los gestores revelan una distinción perceptible entre sectores: los hospitales

públicos tienden a reportar una mayor dependencia de las transferencias de fondos, obstáculos en los procesos de adquisición y restricciones presupuestarias; las instituciones privadas, aunque también enfrentan desafíos, frecuentemente poseen una mayor capacidad de inversión y agilidad para incorporar innovaciones. Sin embargo, esta diferenciación no es absoluta. Existe una variación interna en ambos sectores.

Los hospitales, tanto públicos como privados, que ya han invertido en la modernización de su infraestructura de TI demuestran que es posible superar estas dificultades, siempre que exista un direccionamiento adecuado de recursos y esfuerzos. De esta manera, la adopción de tecnologías emergentes puede contribuir significativamente a la eficiencia y la calidad de los servicios de salud en el Brasil.

Ante este escenario, resulta evidente que la transformación hospitalaria no es solo una cuestión de modernización tecnológica, sino de reestructuración profunda de los procesos hospitalarios, la gestión financiera y la cultura organizacional. Como evidencian los testimonios de los gestores, la falta de un financiamiento adecuado no solo restringe la adquisición de equipos, sino que produce efectos sistémicos sobre la capacidad de planificación, la motivación de los equipos de gestión y la seguridad del paciente. Esta cadena de consecuencias refuerza que la modernización tecnológica hospitalaria no puede tratarse como una política sectorial aislada, sino que debe integrarse en agendas más amplias de financiamiento, regulación y gobernanza del sistema de salud. La construcción de un entorno hospitalario más tecnológico exige un esfuerzo conjunto de gestores, profesionales de la salud y formuladores de políticas públicas, garantizando que las innovaciones beneficien, de hecho, la calidad de la atención y la experiencia del paciente.

Si bien el estudio se limita al estado de Santa Catarina, los desafíos identificados, **infraestructura obsoleta, restricciones financieras, vacíos regulatorios y escasez de profesionales capacitados**, son compartidos por otras regiones brasileñas con un perfil socioeconómico similar, lo que otorga una mayor relevancia a los hallazgos. Las investigaciones futuras podrían ampliar el alcance geográfico, incluir análisis comparativos entre estados y adoptar un enfoque mixto que combine métodos cualitativos y cuantitativos. Esta estrategia permitiría, por un lado, profundizar en la comprensión contextual de las experiencias y percepciones de los actores involucrados y, por el otro, medir con mayor precisión los indicadores de madurez digital, lo que aportaría una mayor robustez analítica y ampliaría el potencial de generalización de los resultados.

Referencias

AHSAN, M. M.; SIDDIQUE, Z. Industry 4.0 in health care: a systematic review. **arXiv**, 2022. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.06999. Acesso em: 30 abr. 2026.

AL-JAROODI, J. *et al*. Healthcare 4.0 – managing a holistic transformation. In: IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE (SYSCON 2022), 2022. **Proceedings [...]**. IEEE, 2022. DOI: https://doi.org/10.1109/SysCon53536.2022.9773863. Acesso em: 30 abr. 2026.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.

BAUSE, M. *et al*. Design for Health 4.0: exploration of a new area. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN (ICED19), 22., 2019. **Proceedings [...]**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. p. 887–896. DOI: https://doi.org/10.1017/dsi.2019.93. Acesso em: 30 abr. 2026.

BODDY, C. R. Sample size for qualitative research. **Qualitative Market Research: An International Journal**, v. 19, n. 4, p. 426–432, 2016. DOI: https://doi.org/10.1108/QMR-06-2016-0053. Acesso em: 30 abr. 2026.

CHANCHAICHUJIT, J. *et al*. An introduction to Healthcare 4.0. In: CHANCHAICHUJIT, J. *et al*. Healthcare 4.0: next generation processes with the latest technologies. Cham: Palgrave Pivot, 2019. cap. 1. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8114-0_1. Acesso em: 30 abr. 2026.

CRESWELL, J. W. **Research design**: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2009.

DAL MAS, F. *et al*. The challenges of digital transformation in healthcare: an interdisciplinary literature review, framework, and future research agenda. **Technovation**, v. 123, p. 102716, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102716. Acesso em: 30 abr. 2026.

DELOITTE Centre for Health Solutions. **Digital transformation**: shaping the future of European healthcare. 2020. Disponível em: https://www.deloitte.com/dk/en/Industries/government-public/research/shaping-the-future-of-european-healthcare.html. Acesso em: 30 abr. 2026.

FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina. **Governo de Santa Catarina firma acordo inédito de R$ 40 milhões para transformar a saúde pública com tecnologia e inovação**. 6 jun. 2025. Disponível em: https://fapesc.sc.gov.br/governo-de-santa-catarina-firma-acordo-inedito-de-r-40-milhoes-para-transformar-a-saude-publica-com-tecnologia-e-inovacao/. Acesso em: 30 abr. 2026.

FOGAÇA, I. R. Ambientes de trabalho para profissionais da saúde: ergonomia, bem-estar e retenção de talentos. In: POMPERMAIER, J. P. L.; NUNES, T. F. B. (org.). **Temas emergentes em arquitetura e engenharias no contexto hospitalar**. Santa Maria: Arco Editores, 2025. DOI: https://doi.org/10.48209/978-65-5417-541-2. Acesso em: 30 abr. 2026.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

GUEST, G.; BUNCE, A.; JOHNSON, L. How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability. **Field Methods**, v. 18, n. 1, p. 59–82, 2006. DOI: https://doi.org/10.1177/1525822X05279903. Acesso em: 30 abr. 2026.

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: 30 abr. 2026.

MACHRY, H. S. **O impacto dos avanços da tecnologia nas transformações arquitetônicas dos edifícios hospitalares**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. DOI: https://doi.org/10.11606/D.16.2010.tde-15062010-130613. Acesso em: 30 abr. 2026.

MAHMOOD, S. *et al*. Decentralization of the health system – experiences from Pakistan, Portugal and Brazil. **Health Research Policy and Systems**, v. 22, p. 61, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s12961-024-01145-3. Acesso em: 30 abr. 2026.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARQUES, I. C. P.; FERREIRA, J. J. M. Digital transformation in the area of health: systematic review of 45 years of evolution. **Health and Technology**, v. 10, p. 575–586, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s12553-019-00402-8. Acesso em: 30 abr. 2026.

NASCIMENTO, I. J. B. *et al*. Barriers and facilitators to utilizing digital health technologies by healthcare professionals. **npj Digital Medicine**, v. 6, p. 161, 2023. DOI: https://doi.org/10.1038/s41746-023-00899-4. Acesso em: 30 abr. 2026.

NUNES, A. M.; FERREIRA, D. C. A critical analysis of decentralizing the Portuguese public healthcare provision services. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 20, p. 13390, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph192013390. Acesso em: 30 abr. 2026.

POMPERMAIER, J. P. L. **Arquitetura e Saúde 4.0: tecnologias emergentes nas edificações hospitalares do Brasil**. 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/254480. Acesso em: 30 abr. 2026.

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, 2024. DOI: https://doi.org/10.51891/rease.v10i10.15956. Acesso em: 30 abr. 2026.

RAIMO, N. *et al*. The drivers of the digital transformation in the healthcare industry: an empirical analysis in Italian hospitals. **Technovation**, v. 121, p. 102558, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102558. Acesso em: 30 abr. 2026.

SES-SC – Secretaria de Estado da Saúde de Santa Catarina. **Com investimento superior a R$ 2,8 milhões, Governo SC inicia modernização do parque tecnológico da rede hospitalar**. 6 jul. 2025. Disponível em: https://www.saude.sc.gov.br/index.php/pt/component/content/article/com-investimento-superior-a-r-2-8-milhoes-governo-sc-inicia-modernizacao-do-parque-tecnologico-da-rede-hospitalar?catid=84&Itemid=101. Acesso em: 30 abr. 2026.

TOPOL, E. J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. **Nature Medicine**, v. 25, n. 1, p. 44–56, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7. Acesso em: 30 abr. 2026.

TORTORELLA, G. L. *et al*. Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 15, p. 1245–1260, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1702226. Acesso em: 30 abr. 2026.

Consideraciones éticas

La investigación fue sometida al Comité de Ética en Investigación con Seres Humanos (CEPSH) de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC) (CAAE 81424924.0.0000.0121) y fue aprobada mediante el dictamen n.º 7.157.381.

Los participantes firmaron el Término de Consentimiento Libre e Informado (TCLE), por el que aceptaron participar de manera voluntaria, anónima y confidencial.

Agradecimientos

El presente trabajo se realizó con el apoyo de la Coordinación de Perfeccionamiento de Personal de Nivel Superior – Brasil (CAPES), mediante el Código de Financiamiento 001.

Autores

João Paulo Lucchetta Pompermaier Doctorando en el Programa de Posgrado en Arquitectura y Urbanismo (PósARQ) de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC). Máster en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC). Cursando un posgrado en Innovación, Tecnologías Emergentes e Inmersivas para la Salud Digital (UFG). Especialista en Neuroarquitectura (UNISUL), en Docencia en la Educación Superior (UNICSUL) y en Diseño de Interiores. Graduado en Arquitectura y Urbanismo por la Faculdade Empresarial de Chapecó (FAEM/UCEFF). Miembro del grupo de investigación GMETTA – Grupo Multidisciplinar de Ergonomía del Trabajo y Tecnologías Aplicadas (UFSC/CNPq) y del Grupo de Estudios en Arquitectura e Ingeniería Hospitalaria (GEA-hosp/UFBA).

Correo electrónico: joaopaulopompermaier@gmail.com

Lizandra Garcia Lupi Vergara Arquitecta, urbanista e ingeniera de Seguridad en el Trabajo. Posee un doctorado y una maestría en el área de Ergonomía por el Programa de Posgrado en Ingeniería de Producción (PPGEP) de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC, Brasil), así como una estancia posdoctoral en la Universidad de Illinois en Urbana-Champaign (EE. UU.). Es profesora titular del Departamento de Ingeniería de Producción de la UFSC, donde imparte docencia en la carrera de grado (DEPS) y en los programas de posgrado en Ingeniería de Producción (PPGEP) y Arquitectura y Urbanismo (PósARQ). Desempeña el cargo de supervisora del Laboratorio de Ergonomía (LABERGO) y del Laboratorio de Tecnología Asistiva y Ergonomía (LABTAE). Es líder del grupo de investigación GMETTA – Grupo Multidisciplinario de Ergonomía del Trabajo y Tecnologías Aplicadas (UFSC/CNPq).

Correo electrónico: l.vergara@ufsc.br

Patrícia Biasi Cavalcanti Doctora en Arquitectura por el Programa de Posgrado en Arquitectura (PROARQ/FAU) de la Universidad Federal de Río de Janeiro (UFRJ), con una estancia doctoral (doctorado sándwich) en la California Polytechnic State University (California, EE. UU.). Es licenciada en Arquitectura y Urbanismo por la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC) y posee una maestría en Arquitectura, específicamente en el área

de Tecnología y Habitabilidad, por la Universidad Federal de Rio Grande do Sul (UFRGS). Es profesora adjunta del Departamento de Diseño y Expresión Gráfica de la Universidad Federal de Santa Catarina (UFSC).

Correo electrónico: patibiasi@yahoo.com

Artículo

Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo: contexto y proyecto

Autores
Sérgio Luiz Salles Souza
Ângelo Bucci

Curaduría de imágenes y diagramas: **Gabriela Pedini**

DOI: 10.62558/2358-3630/23.02.06

Resumen

El artículo presenta un estudio de caso sobre la intersección entre la arquitectura de alta complejidad, el diálogo y la resiliencia urbana en el proyecto del Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo (HUSBC), donde un establecimiento de salud de 20.600 m² funciona como infraestructura crítica en un terreno con severas restricciones hidrológicas y alta densidad urbana. La metodología se basa en el análisis del proceso de co-diseño participativo y en la validación técnica de estrategias bioclimáticas pasivas. La adopción del concepto de "hospital-dique" (o *hospital defensivo*), junto con la elevación de los sistemas vitales, garantiza la continuidad operativa en escenarios de estrés ambiental. El rigor técnico y estructural, combinado con el Diseño Basado en la Evidencia (Evidence-Based Design, EBD), sitúa al HUSBC no solo como un edificio destinado a la atención clínica, sino también como un dispositivo de adaptación urbana y de promoción de la dignidad social.

Palabras clave:

arquitectura hospitalaria; resiliencia urbana; diseño basado en la evidencia; infraestructura crítica; salud pública.

1. Introducción – El desafío de la alta complejidad en territorios vulnerables

Uno de los grandes desafíos de la arquitectura para la salud pública contemporánea en Brasil es conciliar programas de alta densidad tecnológica con contextos urbanos, frecuentemente marcados por la carencia de infraestructura y la vulnerabilidad ambiental. El Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo (HUSBC) se sitúa en el epicentro de esta discusión. Diseñar un hospital de urgencias y emergencias – un establecimiento que, por definición, no admite interrupciones – en un terreno estrecho (185 m x 40 m), con un historial de inundaciones recurrentes y un nivel freático poco profundo, exige que el proyecto trascienda la función médica para convertirse en una "infraestructura de resiliencia".

Este artículo tiene como objetivo demostrar cómo la elección del partido arquitectónico fue fundamental para resolver los conflictos entre las necesidades del programa funcional y las restricciones del emplazamiento. De acuerdo con el *Manual de Proyectos y Obras Sostenibles de SBC*, la resiliencia urbana debe constituir el pilar de las intervenciones públicas en áreas de riesgo. En el HUSBC, esta directriz se materializó en un concepto arquitectónico que puede denominarse "hospital-dique", en el que el propio edificio actúa como una barrera técnica y logística.

Según la definición de Roger Ulrich (1984), en sus estudios pioneros sobre el impacto del entorno construido en la recuperación de los pacientes, la arquitectura puede contribuir a reducir el estrés de los pacientes y acelerar los procesos clínicos de recuperación. A diferencia de una memoria descriptiva tradicional, este análisis se fundamenta en el **Diseño Basado en Evidencia** (Evidence-Based Design, EBD). En el contexto del HUSBC, el EBD constituye, por tanto, una estrategia de gestión.

> La integración de la luz natural y la conexión visual con el exterior no son solo elementos de confort, sino componentes activos en la regulación del ritmo circadiano y en la reducción del delirio en entornos críticos. (Adaptado de la Memoria de Arquitectura - ARQ-PE-0020.)

El autor propone una inmersión técnica sobre cuatro ejes fundamentales: la metodología de diseño participativo; las soluciones de flujos pautadas por protocolos de clasificación de riesgo, como el Protocolo de Manchester; el desempeño bioclimático validado por simulaciones (Informe Mitsidi); y la tectónica del hormigón pretensado con un intercolumnio de diez metros y losas sin vigas que garantizan la flexibilidad futura. Este análisis evidencia cómo la arquitectura pública de excelencia está alineada con la resiliencia operativa y la humanización de la atención en el Sistema Único de Salud (SUS).

2. Metodología – La praxis do co-diseño y la toma de decisiones basada en la evidencia

La complejidad programática de un establecimiento de urgencias y emergencias exige una metodología que trascienda el "tablero de dibujo" aislado y se establezca como un proceso de diálogo. En el desarrollo del HUSBC, se adoptó el co-diseño (diseño participativo), no solo como una herramienta de escucha, sino como un mecanismo de validación técnica rigurosa. Tal como se documenta en la *Memoria del Proyecto Ejecutivo* (PE-0010), el proceso se construyó en ciclos semanales de colaboración multidisciplinaria.

El enfoque encontró respaldo en la teoría de Sanders y Stappers (2008), quienes definen la cocreación como un cambio de paradigma en el que el usuario, en este caso el personal clínico y técnico, se convierte en el experto de su propia experiencia, mientras que el arquitecto actúa como facilitador de esta sinergia espacial. La práctica del "proyecto como investigación" permite que el diseño anticipe las deficiencias operativas y optimice el flujo de trabajo. En sus reflexiones sobre los métodos de participación, Henry Sanoff (2000) señala que la inclusión de las partes interesadas en las fases iniciales del proyecto reduce la resistencia institucional y aumenta la eficacia funcional del edificio público.

En el HUSBC, esta dinámica fue fundamental para la definición de la columna vertebral técnica y de la logística de suministros. Cada especialidad (intensivistas,

traumatología, neurología, pediatría) contribuyó con flujogramas de atención que se tradujeron en diseños espaciales, garantizando que el diseño no fuera solo una respuesta formal, sino un "algoritmo de atención". El proceso metodológico siguió cuatro etapas rigurosas:

1. Inmersión y diagnóstico – Análisis de las demandas de la red local de salud.

2. Síntesis y prototipado de flujos – Creación de simulaciones espaciales basadas en el Protocolo de Manchester.

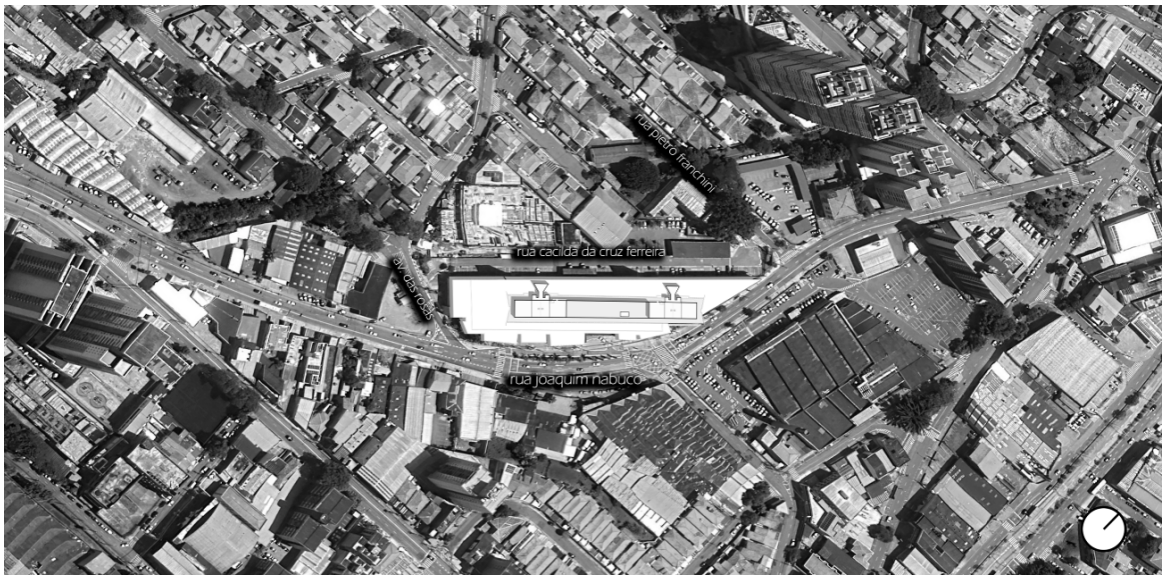
3. Interacción técnica – Reuniones sistemáticas de compatibilización multidisciplinaria (estructura e instalaciones de edificios).

4. Validación final – Homologación de modelos a escala por la Secretaría de Salud.



3. El emplazamiento: el "hospital-dique" como manifestación de la urbanidad infraestructural.

El mayor desafío del proyecto fue la implantación del HUSBC en un lote de 185 metros por 40 metros, en un suelo hidromórfico y de baja pendiente. La respuesta arquitectónica – el concepto de "hospital-dique" – no es una mera solución de ingeniería, sino una afirmación teórica sobre la arquitectura como infraestructura urbana.



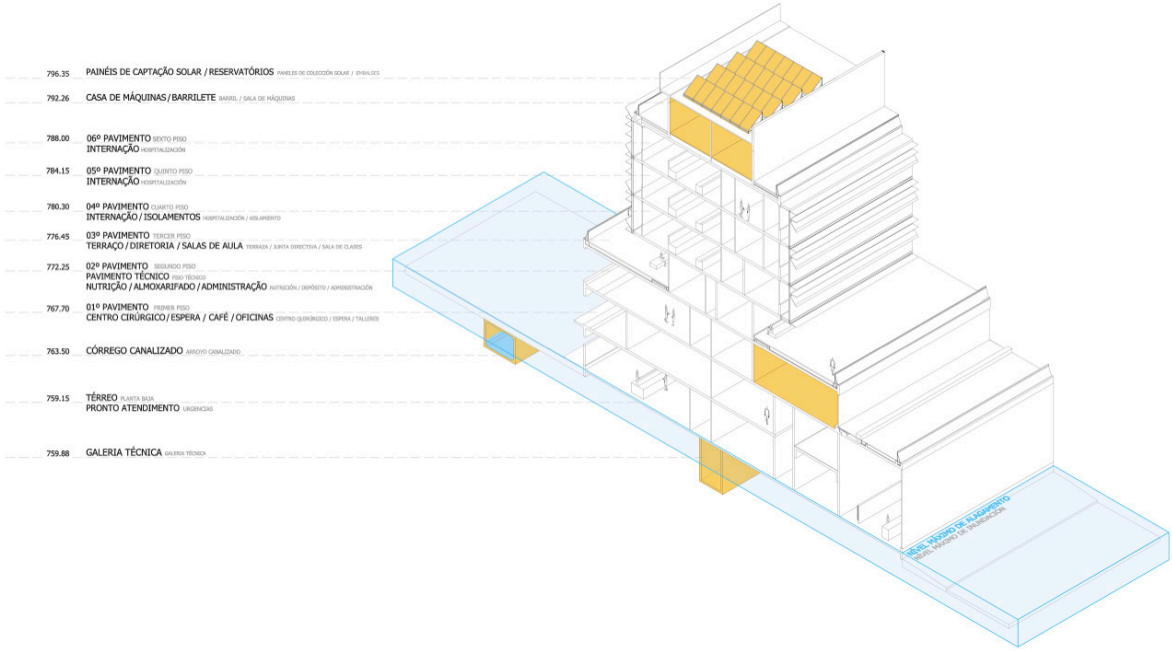
Este enfoque dialoga con el concepto de *infrastructural urbanism* (urbanismo de infraestructuras) propuesto por Stan Allen (1999), en el cual el edificio no se concibe como un objeto aislado, sino como un sistema que organiza el territorio y genera flujos ambientales. El HUSBC actúa como un dispositivo de ajuste urbano que, en lugar de negar la vulnerabilidad del terreno, la utiliza para definir su partido tectónico. En consonancia con el *Manual de Proyectos y Obras Sostenibles de SBC*, el proyecto elevó la cota de la planta baja por encima de la cota histórica de inundación, transformando el basamento – que define el nivel de acceso – en una barrera protectora activa.





La decisión de ubicar las centrales de servicios (enfriadoras/chillers, generadores y gases) en plantas técnicas suspendidas (segunda planta técnica) subvierte la tipología hospitalaria tradicional, que históricamente entierra su "corazón técnico" en sótanos vulnerables. Aquí, la arquitectura asume una resiliencia crítica, según lo discutido por Kenneth Frampton, en la que la forma responde al lugar por medio de una "carpintería" estructural clara y funcional. Como destaca la Memoria Descriptiva (ARQ-PE-0020):

> La elevación de la maquinaria a la parte superior del edificio garantiza que, en caso de colapso del sistema de drenaje urbano, el hospital mantenga su autonomía energética y funcione como un refugio de infraestructura resiliente para la ciudad.

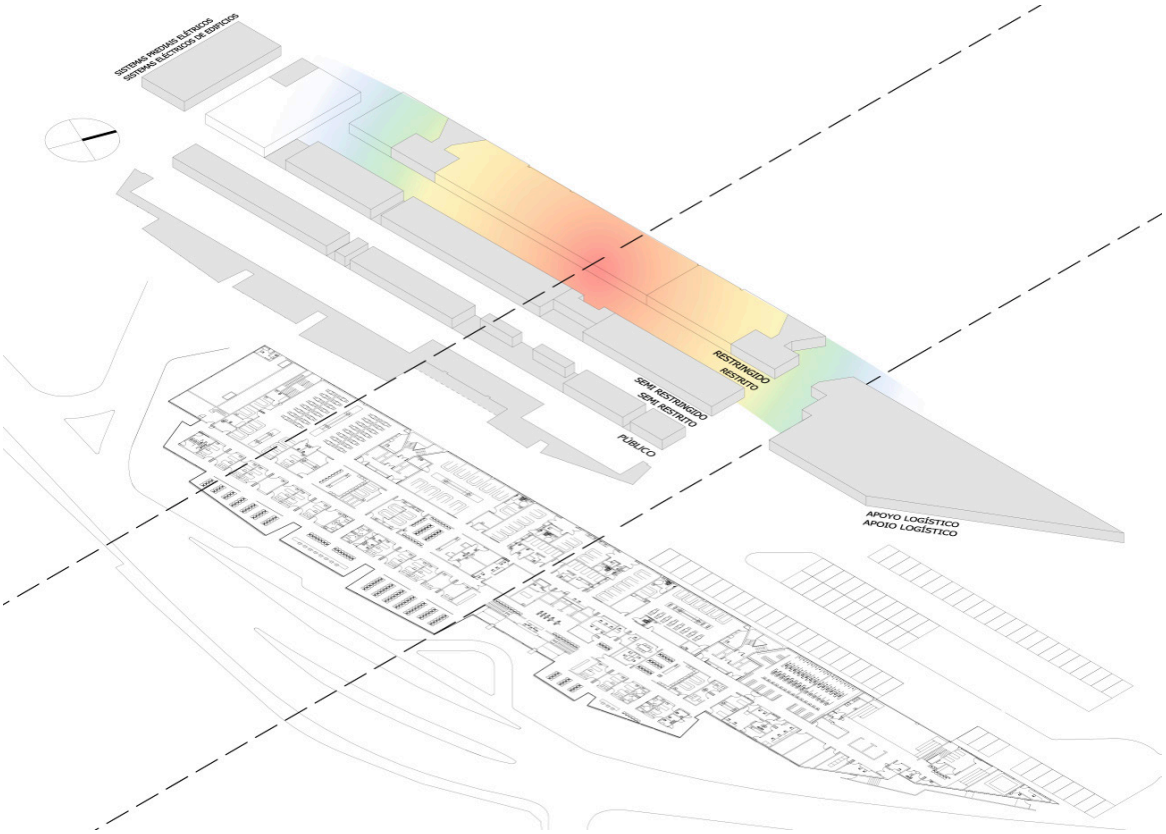


Esta resiliencia se materializa a través de la estructura de losas planas de concreto pretensado que, al no tener vigas, otorga al hospital una plena libertad en el entretecho (pleno). Esta flexibilidad es lo que permite al edificio hacer frente a lo que Keller Easterling (2014) define como el "espacio de infraestructura": un sistema en constante evolución que debe albergar actualizaciones tecnológicas sin comprometer la continuidad del servicio público esencial.



4. La arquitectura como algoritmo de triaje – El Protocolo de Manchester

La organización espacial del HUSBC no es meramente funcionalista, sino la traducción física del Protocolo de Manchester, un sistema de triaje que clasifica el riesgo clínico en colores (rojo, naranja, amarillo, verde y azul). En el proyecto, la arquitectura asume el papel de gestora de flujos, minimizando cruces y optimizando el tiempo de respuesta, factor crítico en una unidad de urgencias.



A diferencia del modelo hospitalario de "'pasillo infinito", el partido arquitectónico adoptado organiza los flujos a través de una sectorización clara en el basamento. El flujo de emergencia (rojo y naranja)[1] cuenta con acceso directo y segregado de la recepción general, lo que permite que el paciente crítico llegue a la sala de estabilización sin interferencias.[2] Esta lógica, ampliamente discutida en la literatura contemporánea de gestión hospitalaria y denominada internacionalmente Fast Track, se materializa mediante una columna vertebral de circulación técnica que conecta verticalmente las plantas de diagnóstico y cirugía.

La eficacia de este sistema radica en la claridad de las barreras físicas y visuales. Conforme al Manual de Confort de los Espacios (o *Manual de Confort Ambiental*), la señalización y la iluminación actúan como dispositivos de orientación (mapa cognitivo o *wayfinding*), lo que reduce

1 Para profundizar: MALKIN, Jain. Hospital Interior Architecture: Creating Healing Environments for Special Patient Populations.

2 HERD Journal (Health Environments Research & Design): Buscar artículos con el término "Emergency Department Throughput" e "Triage Spatial Configuration".

la ansiedad del usuario y aumenta la precisión del personal médico. La arquitectura, por lo tanto, no solo alberga el protocolo, sino que lo ejecuta cuando el paciente se deja guiar por la ruta asistencial de manera intuitiva.

5. La unidad de hospitalización – El modelo 4 en 2 y la dignidad de la escala

Uno de los puntos clave de atención en el diseño arquitectónico del HUSBC radica en la tipología de las salas de hospitalización, el denominado modelo **4 en 2**. Mientras que el estándar convencional del SUS suele adoptar salas comunes con seis o más camas - lo que compromete la privacidad y la prevención y control de infecciones -, el documento de términos de referencia del HUSBC, atento a esta problemática, exigía un límite de cuatro camas por habitación. La solución arquitectónica propuesta subdividió el espacio de cada habitación en dos ambientes mediante la disposición central del núcleo sanitario.

Esta solución se vincula directamente con la tradición del modernismo humanista. Es posible trazar un paralelo con el Sanatorio de Paimio, de Alvar Aalto (1933), cuyo diseño partía de la unidad celular del paciente para definir la forma del edificio. En el HUSBC, la reducción de la escala de la sala de hospitalización busca minimizar lo que la literatura sobre Diseño Basado en la Evidencia (EBD) identifica como “estrés ambiental”. Al fragmentar la percepción visual de la habitación, se reduce el ruido y se incrementa la sensación de control del paciente sobre su entorno.

La precisión técnica de esta unidad se ve reforzada por la eliminación del falso techo, lo que permite que cada cama cuente con una infraestructura independiente de gases medicinales y electricidad, ubicada siempre en los muros. Esto posibilita un entorno sin cielo raso, con una altura libre más generosa y de fácil mantenimiento. El diseño de la sala de hospitalización también prioriza la transparencia y la luz natural a lo largo de toda la fachada, elementos que, según Roger Ulrich (1984), son determinantes para reducir el tiempo de estancia hospitalaria. El proyecto recupera la pureza funcional de Jan Duiker en el Sanatorio Zonnestraal (1928), donde la luz y el aire no son meros complementos, sino materiales de construcción fundamentales para la salud.

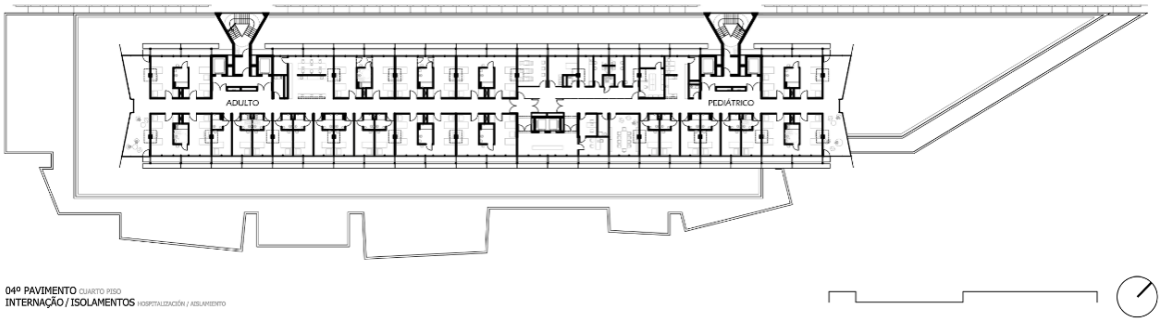
> La propuesta de ventanas bajas y la garantía de vistas al exterior transforman la sala de hospitalización en un espacio de reconexión con el mundo exterior, esencial para el mantenimiento del ritmo circadiano y la estabilidad psíquica del paciente en estado de urgencia. (Adaptado de la Memoria de Arquitectura - ARQ-PE-0020).

Además del beneficio clínico, el modelo - 4 en 2 - ofrece una ventaja de flexibilidad operativa: en escenarios de aislamiento por patologías

específicas, el hospital puede bloquear únicamente dos camas en lugar de un ala entera, optimizando así la tasa de ocupación del establecimiento público.



Aunque los sectores de adultos y pediátrico tienen sus áreas de acceso para el público estrictamente separadas desde el acceso en la planta baja, la barrera que los separa en las tres plantas de hospitalización puede abrirse a fin de integrar todo el pasillo de habitaciones en una misma unidad. La estrategia de esta propuesta consiste en aprovechar la demanda estacional característica del hospital pediátrico para liberar camas destinadas al hospital de adultos, tanto para responder a la demanda como para viabilizar el mantenimiento ordinario de las salas de hospitalización.

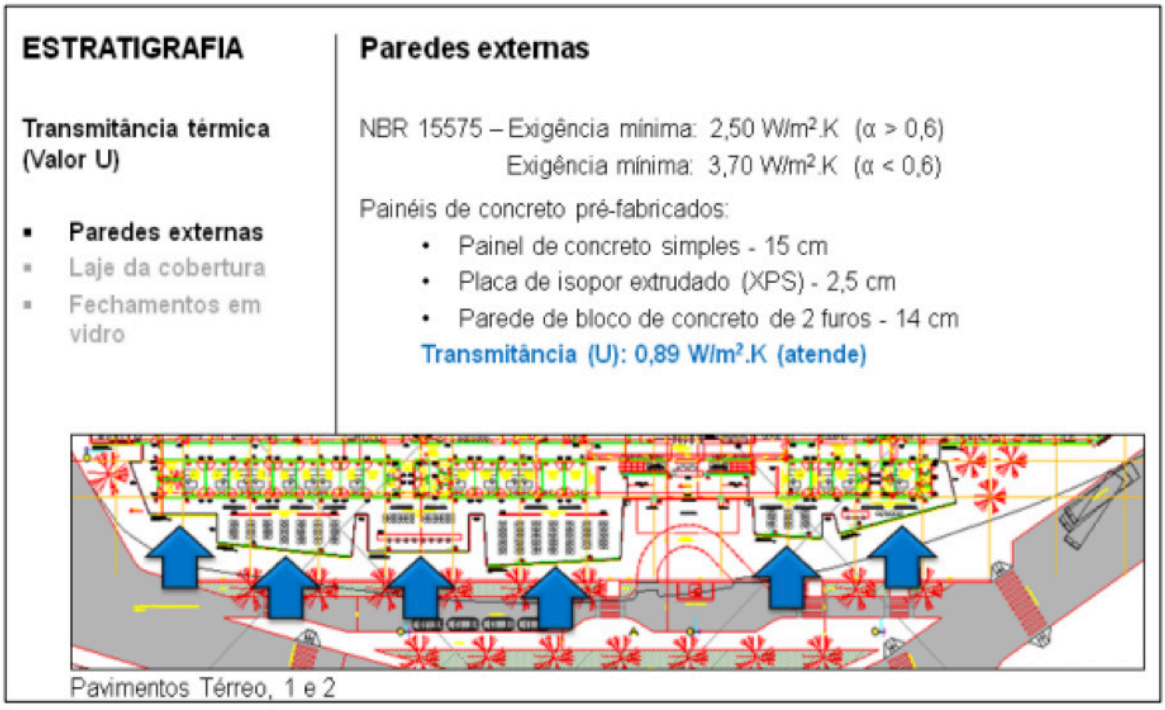


04º PAVIMENTO CUARTO PISO
INTERNAÇÃO / ISOLAMENTOS HOSPITALIZACIÓN / AISLAMIENTO

6. Desempeño bioclimático: la ciencia detrás del confort pasivo

Uno de los pilares de la sostenibilidad operativa del HUSBC es su capacidad para proporcionar confort térmico mediante estrategias pasivas, es decir, con una dependencia mínima de los sistemas mecánicos de climatización, especialmente en las áreas de hospitalización, lo que se traduce en un bajo consumo de energía. De acuerdo con las directrices del *Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de São Bernardo do Campo*, la reducción del consumo energético en los edificios públicos constituye un indicador de la eficiencia de la gestión. En el HUSBC, este objetivo se alcanzó mediante un análisis riguroso de la envolvente del edificio.

El informe elaborado por la empresa Mitsidi (2017), que sirvió de base para el proyecto ejecutivo, incluyó simulaciones termoenergéticas que validaron la eficacia del sistema de parasoles (*brises-soleil*) en las fachadas con mayor incidencia solar (este y oeste). Estos parasoles se dimensionaron para impedir la radiación solar directa sobre las fachadas acristaladas, permitir el paso de la luz natural, bloquear el ingreso de calor y garantizar que la carga térmica interna se mantuviera dentro de las zonas de confort establecidas por la norma NBR 15575.



ESTRATIGRAFIA

Fator Solar (FS)
Transmitância térmica (Valor U)

- Paredes externas
- Laje da cobertura
- **Fechamentos em vidro**

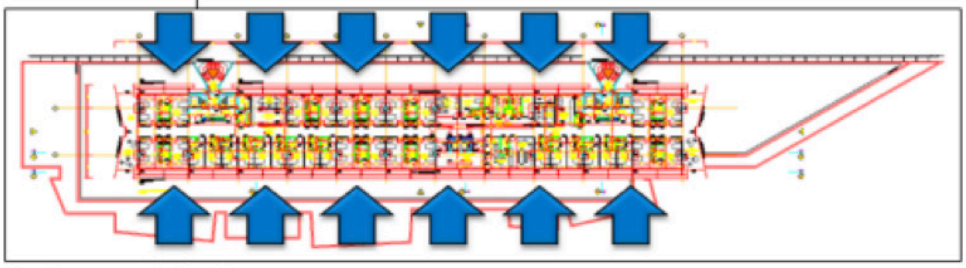
Fechamentos em vidro

NBR 15575 – Não há exigência mínima para vidros

Vidro laminado simples:

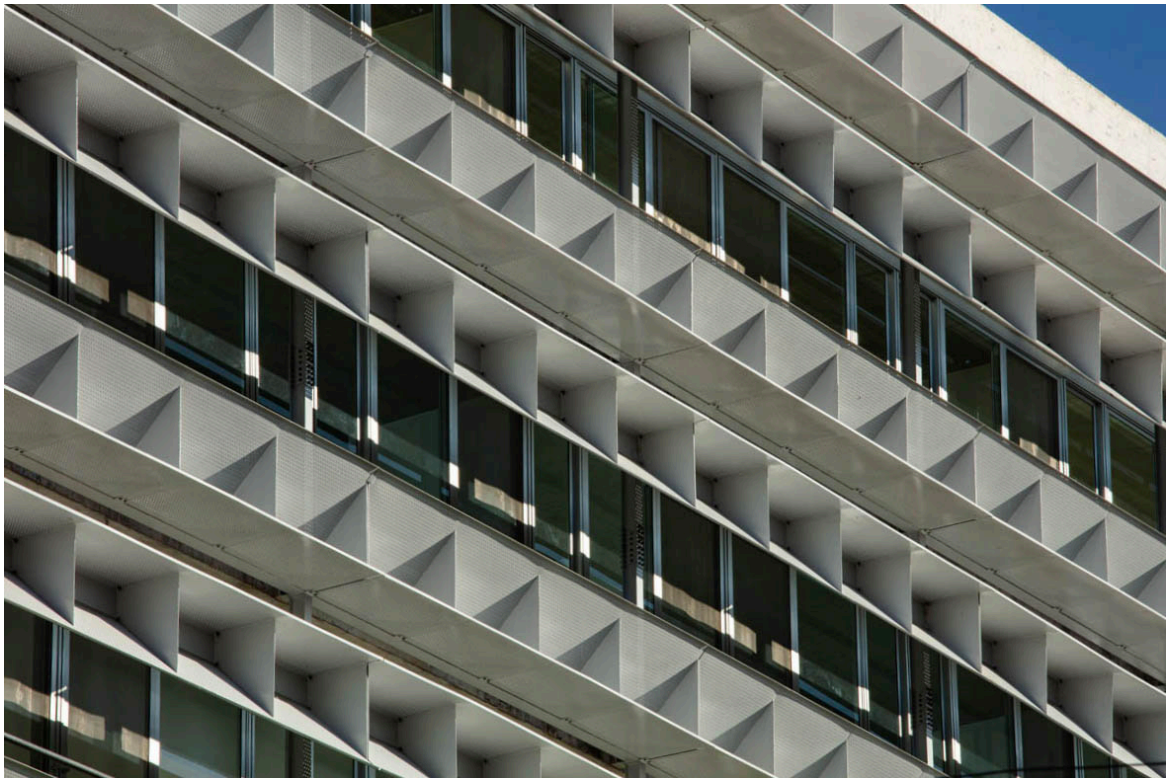
- Laminado (4mm / 4mm)

Fator Solar (FS): 82,0%
Transmitância térmica: 5,63 W/m².K
Sombreamento com brise horizontal

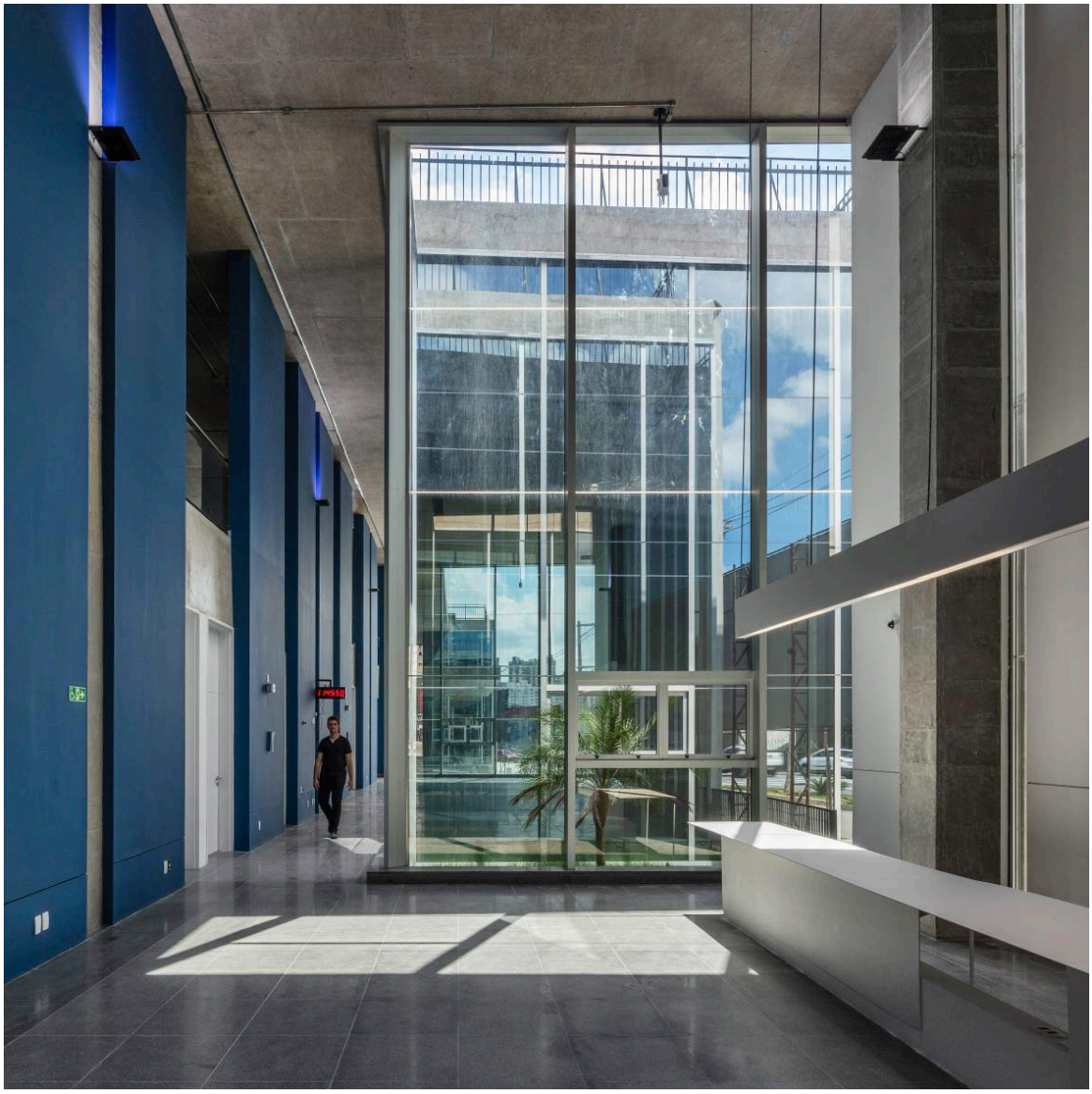


Pavimentos 4, 5 e 6





La estrategia bioclimática se basa en el concepto de ventilación natural inducida y en el uso de la inercia térmica de la estructura de hormigón. Como señala Victor Olgyay (1963) en su teoría del diseño bioclimático, el edificio debe actuar como un filtro entre el clima exterior y las necesidades metabólicas internas. En el contexto hospitalario, esta "filtración" adquiere un nivel de complejidad adicional: garantizar la renovación del aire para la prevención y el control de infecciones. El uso de ventanas practicables y el doble puntal con aberturas cenitales, estratégicamente ubicadas en las áreas de recepción y de estar en la planta baja, permiten que el hospital "respire", reduciendo la proliferación de patógenos y, simultáneamente, prescindiendo del uso de aire acondicionado en áreas de baja criticidad, lo que genera un ahorro significativo en costos de mantenimiento y energía.

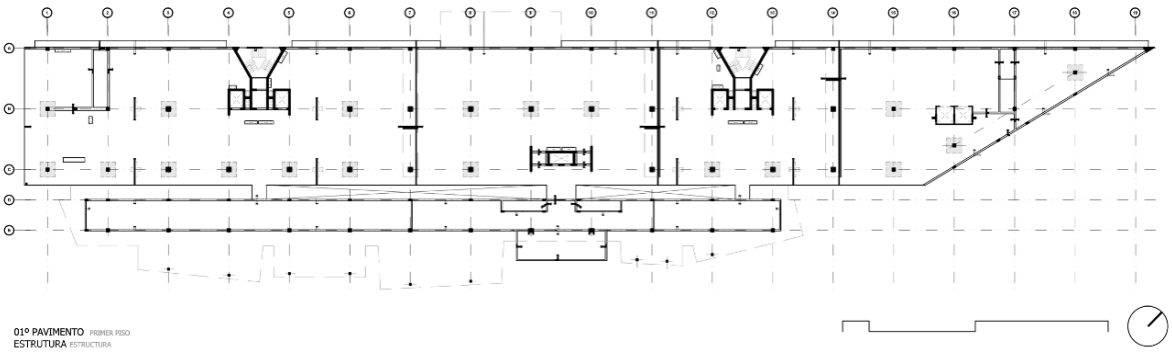


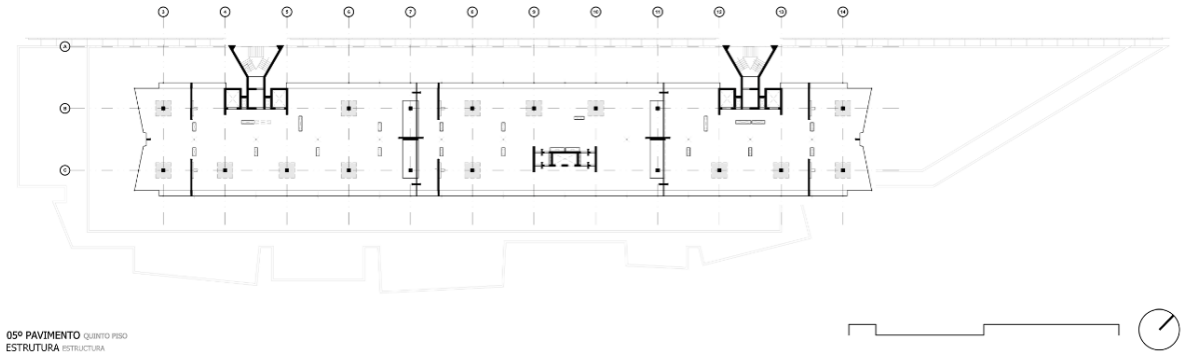
7. Tectónica y longevidad – El hormigón pretensado como ética constructiva

La materialidad del HUSBC se define por la reducción de la paleta, mediante el uso extensivo de hormigón armado y pretensado para la estructura que, por regla general, se mantiene visto para evitar la superposición innecesaria de trabajos que a menudo se realizan por puro hábito (diseño sin crítica). Esta elección responde a una decisión pragmática orientada a la velocidad de ejecución, al bajo mantenimiento y a la durabilidad, o simplemente a la tectónica, como fue teorizado por Kenneth Frampton (1995). En un edificio público, el bajo mantenimiento es un imperativo ético.



El sistema estructural de hormigón pretensado permitió la ejecución de grandes luces y, en consecuencia, la creación de una plena libertad en el entretecho, sin la interferencia de vigas. El intercolumnio de diez metros, considerando la profundidad y el tipo de cimentación, también constituye una decisión económica. Esta solución técnica, detallada en la Memoria ARQ-PE-0020, garantiza la flexibilidad sistémica del hospital. Al concentrar las instalaciones en un vacío técnico generoso (pleno), entre la losa y el falso techo, el diseño permite que las futuras actualizaciones tecnológicas de la infraestructura médica se realicen sin necesidad de intervenciones destructivas en la estructura principal.





La piel del edificio, compuesta por paneles prefabricados y carpinterías de aluminio, responde a la necesidad de estanqueidad y aislamiento acústico en un entorno urbano ruidoso. La columna vertebral técnica - el eje vertical que concentra los ductos de instalaciones (*shafts*) y la circulación de servicios públicos - fue diseñada para ser accesible externamente en puntos estratégicos, facilitando el mantenimiento preventivo sin interferir en las áreas estériles o de atención médica.

> La claridad técnica del montaje del edificio, en el que la estructura, la infraestructura y los cerramientos se conciben como sistemas independientes, confiere al HUSBC una inteligencia constructiva que prolonga su vida útil y minimiza la obsolescencia funcional. (Adaptado de la Memoria del Proyecto Ejecutivo).

Esta integración arquitectónica, que conjuga el rigor de la ingeniería con la sensibilidad del diseño hospitalario, da lugar a un edificio que no solo cumple eficazmente su función, sino que también establece un diálogo con la ciudad mediante su solidez y transparencia, reforzando el papel de la arquitectura pública como un bien cultural perdurable.






50

8. Evaluación posocupación (EPO) – La resiliencia en la operación real

La transición del proyecto al edificio construido es el momento en el que las hipótesis de diseño se ponen a prueba. En el caso del HUSBC, la evaluación post-ocupación (EPO) se revela como un instrumento fundamental de gestión. Según Wolfgang Preiser (1995), la EPO no debe ser vista únicamente como un diagnóstico de fallas, sino como un proceso cíclico que alimenta el conocimiento para futuras intervenciones. En el HUSBC, la operación iniciada en 2020 permitió observar cómo la infraestructura crítica respondió a demandas extremas.

La sectorización vertical y la claridad de los flujos de suministros (columna vertebral técnica) reducen drásticamente el tiempo de transporte interno de materiales y residuos. La eficiencia logística, prevista en la *Memoria del Proyecto ARQ-PE-0020*, se materializó en una operación más eficiente y segura. La separación estricta entre el flujo sucio (residuos y materiales contaminados) y el flujo limpio (insumos y pacientes) - facilitada por el diseño arquitectónico - demostró ser un factor diferenciador clave en la gestión de riesgos biológicos.

El sistema de escaleras de seguridad abiertas y ventiladas naturalmente atiende simultáneamente las demandas de seguridad y la agilidad del desplazamiento vertical, brindando a los colaboradores la vista de la ciudad desde diversos niveles de observación.



9. La pandemia de COVID-19 como la prueba de estrés definitiva

Inaugurado en mayo de 2020, el HUSBC fue convertido de forma inmediata en un centro de referencia para la atención de pacientes con COVID-19. Este contexto de crisis constituyó una prueba de máxima exigencia para la solución arquitectónica adoptada. La flexibilidad de la unidad de hospitalización con configuración 4-en-2 demostró un desempeño superior al de los modelos tradicionales de salas de hospitalización colectivas. La posibilidad de subdividir las habitaciones de cuatro camas

en unidades independientes de dos camas permitió aislar grupos de pacientes con diferentes niveles de gravedad y distintos perfiles infecciosos, sin comprometer la capacidad operativa total del área de hospitalización.

La resiliencia de la infraestructura, mencionada anteriormente bajo el concepto de hospital-dique (o *hospital defensivo*), fue validada por la autonomía de los sistemas. La ubicación de los pisos técnicos suspendidos garantizó que los equipos de mantenimiento pudieran intervenir en los sistemas de gases medicinales y de climatización sin acceder a las áreas rojas contaminadas. Esta capacidad de mantenimiento desde el exterior redujo el riesgo de contaminación cruzada entre el personal de apoyo y los equipos asistenciales.

> La capacidad del edificio para adaptarse a una patología desconocida y de alta transmisibilidad, sin requerir reformas estructurales de emergencia, demuestra que la flexibilidad de diseño es, en última instancia, una estrategia de salud pública. (Informe de la Dirección Clínica, 2021).

10. Humanización y percepción del usuario – El impacto del diseño basado en la evidencia (EBD)

Además de la eficiencia técnica, la APO (Evaluación Post-Ocupación) buscó medir la percepción de bienestar de los usuarios (pacientes y personal). Con base en el Diseño Basado en la Evidencia (EDB), el proyecto priorizó la luz natural y la conexión visual con la línea del horizonte y la trama urbana.



Los informes cualitativos de los pacientes indican una reducción de la percepción de confinamiento, un fenómeno frecuente en los hospitales de urgencias con iluminación exclusivamente artificial. La estrategia de incorporar ventanas de antepecho bajo en las salas de hospitalización, que permite la visión del horizonte incluso a los pacientes encamados, respalda las tesis de Roger Ulrich sobre la disminución de los niveles de cortisol y la mejora del estado de ánimo.

Para el personal de enfermería y médico, la ergonomía de los puestos de trabajo - ubicados de manera que garantizan la visibilidad directa hacia las camas, pero con un aislamiento acústico adecuado - dio como resultado una disminución de la fatiga laboral. La arquitectura, por lo tanto, dejó

de ser un escenario pasivo para convertirse en un agente activo en la recuperación del paciente y en la salud mental de los trabajadores. Conforme al *Manual de Confort Ambiental*, la integración de colores sobrios, ventilación natural controlada y acústica eficiente ha transformado al HUSBC en un paradigma de que "el edificio público puede y debe ofrecer la misma calidad ambiental que los centros de excelencia privados".

11. Análisis comparativo – Del hospital de pabellones al hospital de torre y basamento

La evolución de las tipologías hospitalarias refleja el cambio en las concepciones de higiene, medicina y urbanismo. Para comprender la relevancia científica del HUSBC, es necesario situarlo en el debate entre el modelo de pabellones, el monobloque vertical y la solución híbrida de basamento y torre.

Históricamente, el modelo de pabellones (como el Hospital Lariboisière en París)[3] priorizaba la ventilación cruzada y el aislamiento de patologías, pero resultó ineficiente en términos de flujos y logística en terrenos urbanos escasos. Con el advenimiento de los sistemas de climatización y ascensores, la arquitectura hospitalaria migró hacia el monobloque, una caja compacta de alta densidad. Sin embargo, el monobloque frecuentemente padece de una ceguera tecnológica: el corazón del edificio se vuelve inaccesible y las áreas técnicas terminan comprimidas en sótanos, lo que compromete el mantenimiento y la adaptabilidad del sistema – una falla crítica que el HUSBC busca corregir.

El HUSBC opta por la tipología de torre y basamento, con una planta técnica de transición. Esta solución permite la disociación de dos ritmos temporales distintos dentro del edificio:

1. **Basamento (*podium*)**: de carácter logístico y diagnóstico, que exige grandes superficies horizontales y conexiones directas con la trama urbana.

2. **Bloque de hospitalización (*tower*)** – que requiere repetición, silencio y contacto con el exterior (luz y vistas).

La superioridad de esta elección para el HUSBC radica en la introducción de la planta técnica intermedia. Mientras que los hospitales urbanos densos suelen verse afectados por el conflicto de infraestructuras (vigas que obstruyen los conductos, ductos de instalaciones (*shafts*) insuficientes), el HUSBC genera una tregua espacial. Como argumenta Stephen Verderber (2010) en *Innovations in Hospital Architecture*, la longevidad de un hospital está vinculada a su "capacidad de actualización sistémica sin trauma". Al elevar la torre sobre un piso técnico, el HUSBC

3 Para profundizar: BOUDON, Françoise. "Système de la brique et de la pierre : l'hôpital Lariboisière". In: Revue de l'Art, n. 29, 1975. Un artículo técnico detallado sobre la construcción y el simbolismo de los materiales (ladrillo y piedra) en el proyecto de Gauthier.

permite que toda la complejidad de las redes (gases medicinales, electricidad, climatización/HVAC) se gestione de manera horizontal e independiente; una solución significativamente más resiliente que el apilamiento rígido del monobloque tradicional.

12. La dialéctica de la vía rápida (fast-track) – Eficiencia asistencial frente a calidad espacial

Otro punto de inflexión en el debate técnico es la implementación del sistema de vía rápida (*fast-track*) en la atención de urgencias[4]. Si el Protocolo de Manchester[5] organiza el flujo por colores y gravedad; el *fast-track* (vía rápida) es el algoritmo de aceleración para casos de baja complejidad pero con alta rotación.

Científicamente, la literatura sobre gestión hospitalaria demuestra que el cuello de botella en los servicios de urgencias no radica únicamente en la escasez de camas, sino en la gestión deficiente de los flujos de salida[6]. La arquitectura del HUSBC da respuesta a esto mediante la creación de circuitos de circulación independientes que operan en paralelo. En el HUSBC, el diseño no es simplemente un contenedor; constituye un "dispositivo de flujo".

En comparación con proyectos contemporáneos internacionales, como los hospitales de Herzog & de Meuron (Rehab Basel) o las clínicas de Alvar Aalto, el HUSBC mantiene el rigor funcionalista europeo, aunque adaptado a la realidad de la salud pública brasileña. Mientras que Aalto utilizaba la forma para "curar" al individuo por medio de la fenomenología del espacio, el HUSBC utiliza la estructura para "curar" la gestión pública mediante la eficiencia logística.

> "El hospital urbano moderno debe operar como una 'fábrica de salud' en su base, pero como un 'espacio de humanidad' en su nivel superior. El éxito del HUSBC radica en no permitir que la lógica industrial del diagnóstico contamine la dignidad del espacio de reposo". (Extraído del marco teórico del proyecto participativo).

Esta dualidad refuerza la tesis de que la arquitectura hospitalaria de alta complejidad debe entenderse como un sistema sociotécnico. La elección del hormigón pretensado, analizada anteriormente, no responde únicamente a criterios estructurales; constituye el elemento que hace posible esta dialéctica entre la base logística y la torre de hospitalización, al eliminar las limitaciones impuestas por una retícula excesivamente densa de pilares y permitir que los flujos asistenciales de urgencias se desarrollen con la fluidez espacial y funcional que requieren.

4 Para profundizar: ZILM, Frank. "The Future of Emergency Department Design". In: Journal of Ambulatory Care Management. GROUP2 ARCHITECTURE. "Lean Design in Healthcare: Emergency Department Case Studies".

5 Para profundizar: MACKWAY-JONES, Kevin; MARSDEN, Janet; WINDLE, Jill. Emergency Triage: Manchester Triage Group. BMJ Books.

6 BOSCH, Sheila J. *et al.* "The Effects of Healthcare Design on Patient Outcomes".

13. La ética de la materialidad: durabilidad y mantenibilidad

En el contexto de la salud pública, la selección de los materiales trasciende la dimensión visual para convertirse en una decisión de gestión de activos. En el HUSBC, la especificación siguió el trinomio durabilidad-mantenibilidad-inmunidad material. Dado que el hospital opera en un régimen de 24/7, la interrupción por reformas de mantenimiento correctivo genera perjuicios sociales y financieros incalculables.

La adopción del hormigón armado y pretensado visto como lenguaje y estructura refleja lo que Kenneth Frampton (1995)7 describe cómo la "ontología de la construcción". Al exponer la estructura, el proyecto elimina capas de revestimiento (como revoques e imprimaciones o pinturas) que representarían puntos vulnerables a patologías y requerirían repintados periódicos. El hormigón, tratado con barnices hidrófugos y protección superficial, ofrece una envolvente robusta e inmune a la agresividad del entorno urbano.

14. La envolvente de alto rendimiento – Parasoles, prefabricados y estanqueidad

La envolvente del HUSBC se diseñó como un sistema multicapa. Para los cerramientos exteriores del zócalo que da a la calle, se optó por paneles de hormigón prefabricado (concreto prefabricado), los cuales garantizan una mayor rapidez de montaje y un control de calidad superior al de la mampostería convencional. Estos paneles poseen un alto índice de aislamiento acústico, elemento esencial para el confort del paciente en un predio colindante con vías de alto tráfico.

Las carpinterías de aluminio con vidrio laminado de altas prestaciones fueron especificadas para cumplir los criterios de estanqueidad y de aislamiento térmico. El principal elemento técnico corresponde a los brise-soleil metálicos fijos, cuya geometría fue definida a partir de las simulaciones realizadas por la consultoría especializada en confort ambiental Mitsidi. La elección del aluminio con pintura electrostática para los elementos de protección solar se justifica por su resistencia a la corrosión y su ligereza estructural.

A diferencia de los sistemas de parasoles móviles, que con frecuencia presentan fallas mecánicas en los edificios públicos debido a la falta de mantenimiento, los parasoles fijos del HUSBC garantizan la eficacia del sombreado pasivo de manera permanente. Conforme al *Manual de Proyectos y Obras Sostenibles de SBC*, esta solución pasiva reduce la carga térmica hasta en un 30%, lo que permite que el sistema de climatización opere en regímenes de menor potencia y, en consecuencia, prolongue la vida útil de los compresores y enfriadoras (chillers).

7 Vide: FRAMPTON, Kenneth. Estudos sobre a cultura tectônica: a poética da construção na arquitetura dos séculos XIX e XX. São Paulo: Cosac Naify, 2012.

15. Materiales de interiores y conformidad con la RDC 50

Internamente, la especificación de materiales siguió rigurosamente la RDC 50 de la Anvisa, pero con un enfoque orientado a la humanización. En áreas críticas, como el centro quirúrgico y las UCI, se utilizó piso vinílico conductor y monolítico para evitar la acumulación de suciedad y facilitar la asepsia.

Para las áreas de circulación y recepción, el uso de piedras naturales (granito) y paneles melamínicos de alta densidad (en áreas controladas) busca romper con la frialdad clínica tradicional. La interfaz entre la arquitectura y la ingeniería se manifiesta en el diseño detallado de los cielorrasos modulares y desmontables, instalados exclusivamente en las áreas técnicas y de circulación. Esta elección permite el acceso inmediato al entretecho (pleno de instalaciones), lo que posibilita la instalación de nuevas redes de datos o gases medicinales sin necesidad de romper paredes ni generar polvo.

> La especificación técnica en el HUSBC no constituye un acto aislado, sino una articulación entre la normativa sanitaria y la eficiencia operativa. Cada junta, cada material y cada encuentro entre superficies fueron diseñados para resistir un uso intensivo y facilitar la limpieza y desinfección, que constituyen la primera línea de defensa para la prevención y el control de las infecciones asociadas a la atención de la salud (IAAS). (Extraído de la Memoria de Especificaciones - ARQ-PE-0030).

16. La interfaz con las instalaciones – La columna vertebral como objeto arquitectónico

La mayor interfaz entre arquitectura e ingeniería en el HUSBC es su columna vertebral técnica. Se trata de un eje vertical de ductos registrables que atraviesa el edificio. Mientras que, en los hospitales convencionales, las instalaciones se “ocultan” en espacios inaccesibles, en el HUSBC estas constituyen el corazón de la organización espacial.

Esta estrategia de diseño permite el mantenimiento predictivo. El personal técnico puede acceder a los tableros eléctricos, válvulas de gases y columnas montantes hidráulicas sin ingresar a las salas de hospitalización ni a las áreas restringidas. Esta evidencia técnica eleva al hospital al estatus de infraestructura flexible, garantizando que el edificio pueda evolucionar tecnológicamente a lo largo de las décadas.

17. El ritual del proyecto: de la escucha cualitativa a la formalización técnica

En el HUSBC, la metodología de co-diseño no consistió en una consulta pasiva, sino en una serie de talleres de simulación de flujos. Durante la fase de anteproyecto, las reuniones semanales no se enfocaron únicamente en "qué" quería el médico, sino en "cómo" el espacio podía mediar el error humano.

Un ejemplo práctico de esta iteración metodológica ocurrió en la definición de las salas de urgencias y de reanimación. Inicialmente previstas en una distribución convencional, las discusiones con el equipo de traumatología revelaron que la disposición de las camas debía permitir una visión de 360 grados desde la central de enfermería, pero con la posibilidad de un aislamiento rápido en caso de procedimientos invasivos. Esto dio lugar al diseño de islas de atención con columnas de techo suspendidas (estativos), liberando el suelo para la libre circulación de los carros de emergencias y de los equipos multidisciplinarios.

Esta metodología de transposición, en la que la demanda clínica se traduce en métricas espaciales, se fundamenta en los principios de E.T. Hall (1966) sobre la proxémica. La arquitectura del HUSBC manipula las distancias para garantizar que, en situaciones de estrés por urgencias, el espacio funcione a favor del profesional, reduciendo lo que la ergonomía denomina carga cognitiva. Cada decisión de diseño y distribución (*layout*) se sometió a pruebas de recorrido virtual en las que se cronometró el tiempo de traslado del paciente de trauma al quirófano, lo que dio lugar a la creación de ascensores exclusivos de código rojo.

18. Arquitectura en tiempos del Antropoceno – El hospital como nodo de resiliencia

Al vincular el HUSBC con el *Manual de Proyectos y Obras Sostenibles de SBC*, se observa que el proyecto se anticipa a un debate crucial: la resiliencia de las edificaciones críticas frente a los fenómenos climáticos extremos. El concepto de hospital-dique adquiere aquí una dimensión política y ambiental. En el contexto del Antropoceno, en el que las inundaciones urbanas son cada vez más frecuentes y graves, el hospital no puede ser una víctima del territorio, sino que debe constituir su punto de anclaje.

La estrategia de elevar el núcleo técnico del hospital al segundo piso - protegiendo transformadores, generadores y centrales de gases medicinales -, además de establecer la cota de la planta baja en un nivel seguro, dialoga con el concepto de **arquitectura anfibia**. Mientras que la infraestructura urbana del entorno puede fallar debido al desbordamiento de canales o a la saturación del suelo (nivel freático superficial documentado en los informes de sondeo), el HUSBC permanece como una isla de funcionalidad.

Este enfoque se fundamenta en la teoría de la **resiliencia evolutiva** de C. S. Holling, adaptada a la arquitectura por investigadores contemporáneos. Un edificio resiliente no es aquel que se caracteriza por ser rígido e indestructible, sino el que posee redundancia y capacidad para mantener sus funciones vitales ante una perturbación. Al adoptar el hormigón pretensado y las grandes luces, el HUSBC permite que, en caso de que un ala se vea comprometida, otra pueda absorber su función sin que se produzca un colapso sistémico.

> La sostenibilidad en el HUSBC no se mide únicamente por sellos verdes, sino por su capacidad de no interrumpir la atención. En un escenario de cambio climático, la mayor virtud de un hospital es su resiliencia operacional. (Fundamento teórico basado en el Manual de Obras Sostenibles).

La integración de sistemas de drenaje propios, con cuencas de amortiguación y reutilización de aguas pluviales, permite que el hospital actúe como un dispositivo de compensación hídrica para el barrio. De este modo, el edificio devuelve a la ciudad una regulación que la urbanización densa e impermeable de São Bernardo do Campo había eliminado.El HUSBC, por lo tanto, deja de ser solo un edificio de salud para convertirse en una pieza de infraestructura azul[8] y verde[9], esencial para la supervivencia urbana en el siglo XXI.

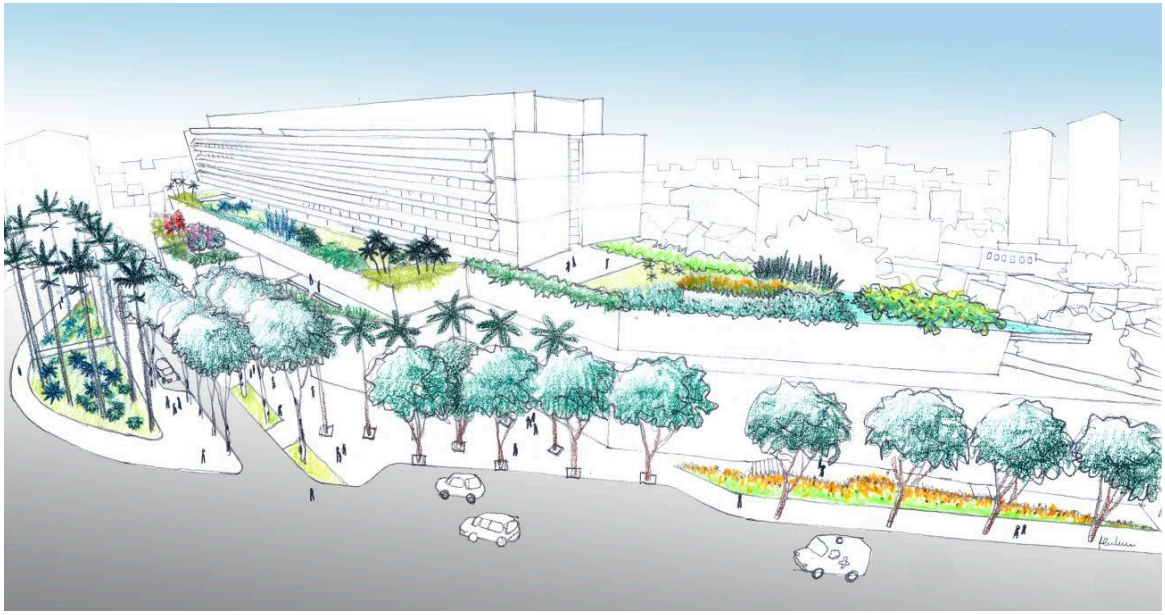
19. La escala humana en el equipamiento metropolitano – El hospital y la calle

La inserción de un edificio de 20.600 m² en un lote estrecho y densamente poblado exige una sensibilidad que trasciende el programa hospitalario. El HUSBC no se comporta como un *búnker* institucional; por el contrario, dentro de sus límites, busca establecer una nueva urbanidad para São Bernardo do Campo. Alineado con las directrices del *Manual de Proyectos y Obras Sostenibles de SBC*, el proyecto cualifica el espacio público al tratar el retiro frontal no como un vacío residual, sino como una extensión de la acera, promoviendo lo que Jane Jacobs (1961) define como los "ojos de la calle".

A diferencia de la tipología de los hospitales amurallados, el HUSBC utiliza la transparencia del zócalo y el diseño del paisajismo para suavizar la transición entre el dominio público y el entorno de alta complejidad. La plaza de acceso, protegida por el voladizo de la estructura postensada, ofrece sombra y cobijo, funcionando como una sala de espera urbana que acoge no solo a los usuarios del hospital, sino también a los peatones que transitan por la zona. Esta estrategia de arquitectura de la acogida es fundamental para desestigmatizar el espacio de salud pública, transformándolo en un nodo de civilidad y cuidado.

8 Para aprofundamento: DREISEITL, Herbert. Waterscapes: Planning, Building and Designing with Water. Birkhauser, 2001.

9 BENEDICT, Mark A.; MCMAHON, Edward T. Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities. Island Press, 2006.



20. El paradigma de la hospitalidad – El espacio como agente de sanación

El concepto de hospitalidad hospitalaria[10], ampliamente debatido en la literatura contemporánea sobre arquitectura para la salud, propone que el entorno debe actuar como un soporte psicológico para el paciente y para el acompañante. En el HUSBC, esta hospitalidad se materializa en la calidad del aire, la abundancia de luz natural y el control acústico.

Basado en el **Manual de Confort Ambiental**, el proyecto utiliza el color, las texturas y la iluminación como componentes del entorno terapéutico (*healing environment*). Como señala Roslyn Lindheim (1985), la pérdida de control y la desorientación constituyen las principales fuentes de estrés en los hospitales. En el HUSBC, la claridad de la circulación vertical y la conexión visual permanente con el exterior ayudan a los pacientes a orientarse en el tiempo y el espacio, preservando su vínculo con la realidad externa al proceso de enfermedad.

La hospitalidad se extiende al personal asistencial. Los ambientes de descanso para médicos y enfermeros fueron diseñados bajo las mismas premisas de confort bioclimático que las salas de hospitalización. Reconocer que la arquitectura debe cuidar de quienes cuidan es uno de los pilares de la sostenibilidad social del equipamiento. Un entorno que reduce la fatiga y el error humano es, por definición, un entorno más eficiente y económico para la gestión pública.

10 MALKIN, Jain. A Healing Architecture. New York: McGraw-Hill, 1992.

21. "Hospital-ciudad" – Redundancia y diversidad programática

El HUSBC opera como una microciudad. Además de las áreas clínicas, el edificio alberga una compleja red de servicios: desde la gestión de residuos y las centrales de esterilización hasta auditorios de enseñanza y áreas de convivencia. Esta diversidad programática exige una infraestructura que soporte el uso intensivo sin colapsar.

La solución de pisos técnicos registrables, ya descrita, permite que esta "microciudad" se adapte de manera continua. En el contexto de la salud pública, donde la demanda aumenta de forma constante y los recursos son limitados, la flexibilidad sistémica constituye la estrategia más eficiente para optimizar los recursos. El HUSBC demuestra que una arquitectura pública de excelencia no representa un lujo, sino una estrategia de gestión y optimización de los recursos públicos. Al invertir en una estructura robusta y flexible, el Estado evita la obsolescencia prematura del edificio y garantiza su capacidad para responder a las necesidades de múltiples generaciones, adaptándose a nuevas tecnologías médicas que, en la actualidad, aún no es posible prever.

22. Síntesis – La ética de la técnica en la arquitectura para la salud

Es evidente que el Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo (HUSBC) representa una ruptura con el modelo de asistencia hospitalaria puramente descriptivo y funcionalista. El proyecto plantea una reflexión para la arquitectura pública brasileña, en la cual la técnica – manifestada en la estructura postensada, el hormigón visto y los sistemas de barrera hidrológica – no es un fin en sí misma, sino un medio para viabilizar la atención y la dignidad humana.

En respuesta a los desafíos planteados por un terreno vulnerable y una demanda social urgente, el HUSBC demuestra que la arquitectura actúa como una infraestructura crítica. El diseño de hospital-dique y la elevación de los sistemas vitales hacia plantas técnicas suspendidas no son meras soluciones de ingeniería, sino manifestaciones de una responsabilidad ética con la continuidad del servicio público.

23. Contribuciones y consideraciones para el campo científico y proyectual

La experiencia del HUSBC durante la pandemia de COVID-19 constituyó la validación empírica definitiva de estos principios. La flexibilidad del modelo de hospitalización 4 en 2 y la independencia técnica de las plantas garantizaron que el hospital no fuera únicamente un edificio, sino un instrumento estratégico para la respuesta a la crisis sanitaria.

Las contribuciones potenciales de este artículo al debate contemporáneo sobre la arquitectura hospitalaria se sintetizan en tres pilares:

1. Validación del co-diseño – La demostración de que el proceso participativo con el personal clínico da como resultado flujos operativos más eficientes y espacios más humanizados.

2. Eficacia del Diseño Basado en Evidencia (EBD) – La demostración de que las estrategias bioclimáticas pasivas, validadas mediante simulaciones térmicas y lumínicas, garantizan el confort ambiental y la sostenibilidad operativa, sin depender de manera excesiva de sistemas mecánicos.

3. Resiliencia como atributo arquitectónico: la propuesta de una tipología hospitalaria urbana que anticipa los desafíos climáticos e hidrológicos, manteniendo su autonomía operativa en escenarios de estrés ambiental.

Estos tres pilares adquieren una relevancia aún mayor en un equipamiento público de gran escala y alta complejidad como este, ya que orientan y actualizan la agenda de la arquitectura en el contexto contemporáneo, especialmente frente a los desafíos de la sostenibilidad y del cambio climático. En consecuencia, constituyen también los fundamentos que sustentan lo que actualmente se reconoce como calidad arquitectónica. Pero el juicio que atribuye el peso específico a cada una de las especialidades que finalmente componen el hecho arquitectónico no se basa en ninguna de ellas. Es decir, ninguna de las especialidades, tampoco ninguno de los tres pilares, tiene, por principio, el protagonismo. Puesto que el juicio que establece la adecuada jerarquía entre ellos depende de cada caso y de todas las variables que lo definen. Este juicio ético, en efecto, corresponde a la propia definición de arquitectura.

La conclusión es que el HUSBC reafirma el papel del arquitecto como articulador de conocimientos complejos. En la intersección entre la medicina, la ingeniería, el urbanismo y las ciencias sociales, surge un edificio que no solo alberga la atención y la recuperación de la salud, sino que también contribuye a la regeneración del entorno urbano al ofrecer a la ciudad un referente de excelencia, resiliencia y calidad arquitectónica. El rigor académico adquirido en la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de São Paulo (FAU-USP), unido a una práctica proyectual de vanguardia, deja como legado para este hospital la convicción de que la salud pública brasileña merece lo mejor que la arquitectura puede ofrecer.

Referencias

ALLEN, Stan. **Points + Lines: Diagrams and Projects for the City**. New York: Princeton Architectural Press, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 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. Brasília, DF, 2002.

EASTERLING, Keller. **Extrastatecraft: The Power of Infrastructure Space**. London: Verso, 2014.

FRAMPTON, Kenneth. **Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture.** Cambridge: MIT Press, 1995.

HALL, Edward T. **The Hidden Dimension**. Garden City: Doubleday, 1966.

HOLLING, Crawford S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 4, n. 1, p. 1-23, nov. 1973.

JACOBS, Jane. **The Death and Life of Great American Cities**. New York: Random House, 1961.

LINDHEIM, Roslyn. **New Design Parameters for Health Care Facilities**. New York: National Academy Press, 1985.

MITSIDI PROJETOS. **Relatório de Eficiência Energética e Desempenho Térmico: Hospital de Urgências de São Bernardo do Campo**. São Paulo: Mitsidi, 2017.

OLGYAY, Victor. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

PREISER, Wolfgang F. E. **Post-Occupancy Evaluation**. New York: Routledge, 1995.

SANDERS, Elizabeth B.-N.; STAPPERS, Pieter Jan. Co-creation and the new landscapes of design. **Co-design**, v. 4, n. 1, p. 5-18, mar. 2008.

SANOFF, Henry. **Community Participation Methods in Design and Planning**. New York: John Wiley & Sons, 2000.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Secretaria de Obras. **Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de SBC**. São Bernardo do Campo: PMSBC, 2017.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Secretaria de Saúde. **Manual de Conforto Ambiental Hospitalar**. São Bernardo do Campo: PMSBC, 2018.

ULRICH, Roger S. View through a window may influence recovery from surgery. **Science**, v. 224, n. 4647, p. 420-421, abr. 1984.

VERDERBER, Stephen. **Innovations in Hospital Architecture**. New York: Routledge, 2010.

ANEXO A – Ficha técnica

Hospital Público de Urgência

São Bernardo do Campo, SP, Brasil

Projeto I Proyecto: **2014 - 2015**

Construção I Construcción: **2015 – 2016**

Arquitetos I Arquitectos

SPBR Arquitetos

Angelo Bucci

Tatiana Ozzetti, Nilton Suenaga, Beatriz Marques, Victor Próspero

Lucas Roca, Martha Bucci, Beatriz Brandt

ARQLAB

[Consultoria em arquitetura hospitalar I Consultoría de arquitectura hospitalaria]

Sérgio Salles

Ivan Portero, Priscila Segala, Vinicius M. Oliveira, Fernanda V. Santos

SIC ARQUITETURA

[Apoio à produção de desenhos em Autocad I Apoyar la producción de dibujos en Autocad]

Fabio Kassai

Bruno Taiar de Carvalho, Ana Carolina Artuzi Aipp, George Ferreira, Renata Ribeiro Lopes, Mariana Ginesi

Consultores:

Estrutura I Estructura

Kurkdjian Fruchtengarten

Fundações I Cimientos

ENGEOS Engenharia e Geotecnia

Instalações prediais I Instalaciones del edificio

MHA Instalações

Paisagismo I Paisajismo

Raul Pereira Arquitetos Associados

Orçamento e custos I Presupuesto y Costos

Alberto Costa Neto

Engenharia de especificações I Ingeniería de especificaciones

Leonardo Katori

Luminotécnica I Iluminación

LUX Projetos - Ricardo Heder

Eficiência energética I Eficiencia Energética

MITSIDI - João Leal, Arthur Cursino, Edward Borgstein

Impermeabilização I Impermeabilización

PROASSP

Cozinhas industriais I Cocinas Industriales

NUCLEORA

Elevadores I Ascensores

ZAPP Consultoria

Incêndio I Protección contra incendios

Cel. Altino Gianesini

Cliente

Fundação do ABC/ Prefeitura da cidade de São Bernardo do Campo

Programa

Hospital Público de Urgência

Área do terreno

17.548,16 m²

Área construída total I Área total construida

21.831,81 m²

Sistema estrutural I Sistema Estructural

Concreto armado convencional e protendido I Hormigón Armado Convencional y Pretensado

Principais materiais I Materiales principales

Concreto, aço, vidro e alumínio I Hormigón, Acero, Vidrio y Aluminio

Modelo 3D I Modelos electrónicos

Ricardo Canton

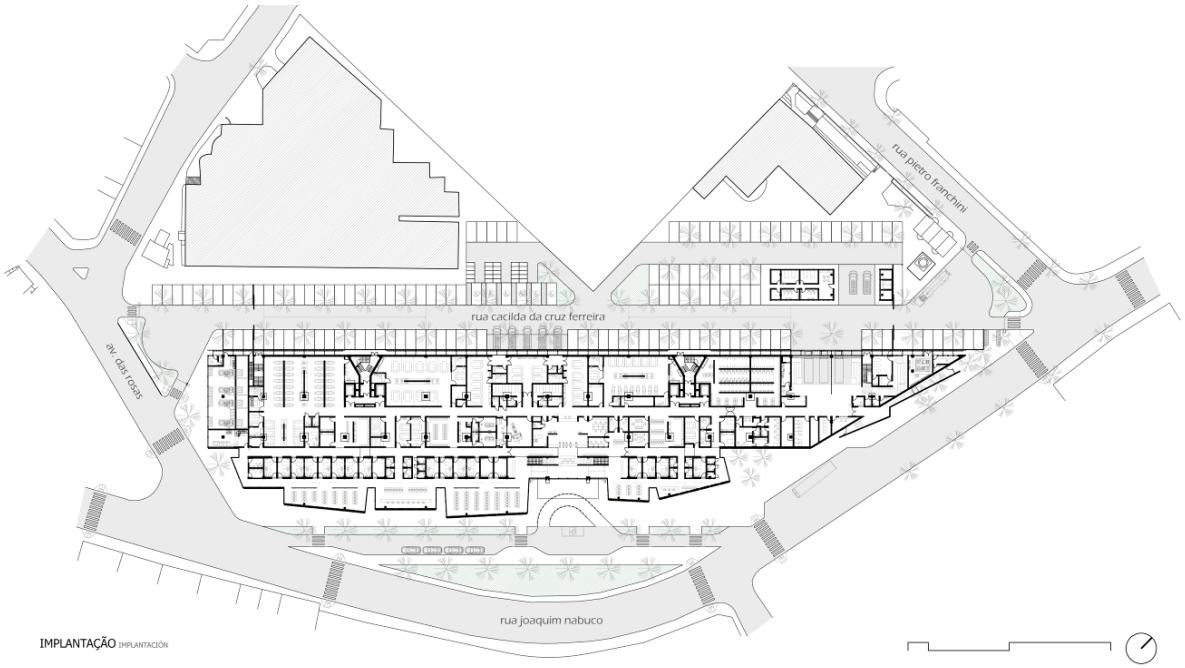
Maquete I Modelo

Triviño Maquetes

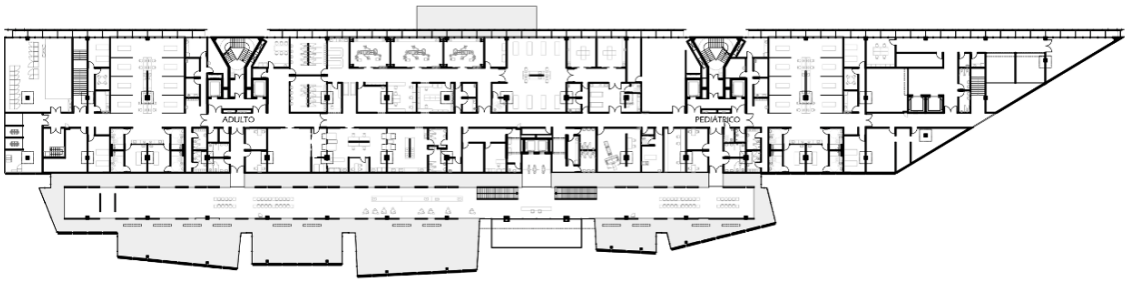
Fotos da obra e fotos da maquete I Fotos de la obra y fotos de la modelo

Nelson Kon

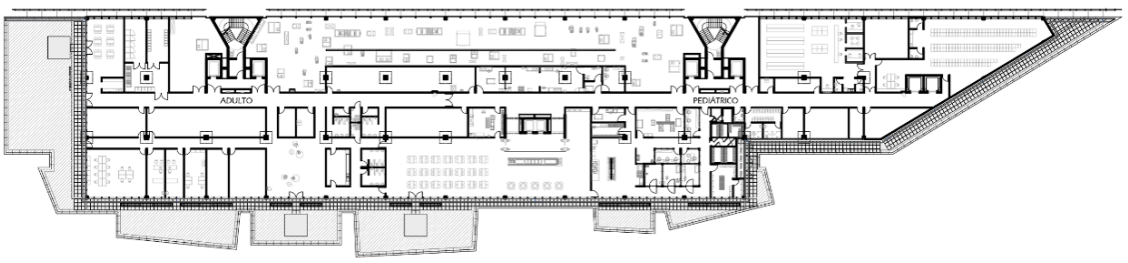
ANEXO B – Piezas gráficas



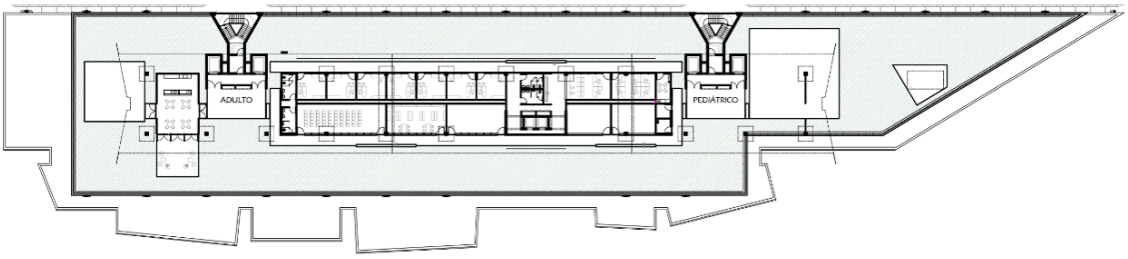
IMPLANTAÇÃO IMPLANTACIÓN



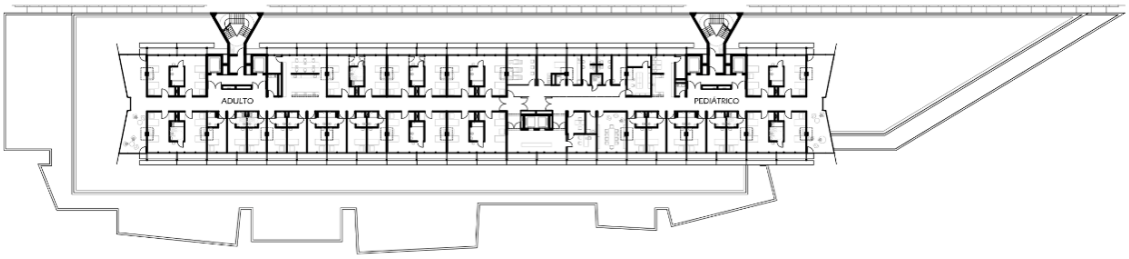
01º PAVIMENTO PRIMER PISO
CENTRO CIRÚRGICO / ESPERA / CAFÉ / OFICINAS CENTRO QUIRÚRGICO / ESPERA / TALLERES



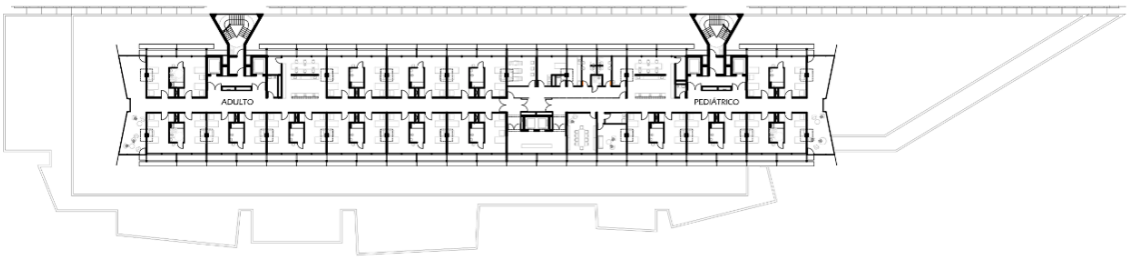
02º PAVIMENTO SEGUNDO PISO
PAVIMENTO TÉCNICO PISO TÉCNICO
NUTRIÇÃO / ALMOXARIFADO / ADMINISTRAÇÃO NUTRICIÓN / DEPÓSITO / ADMINISTRACIÓN



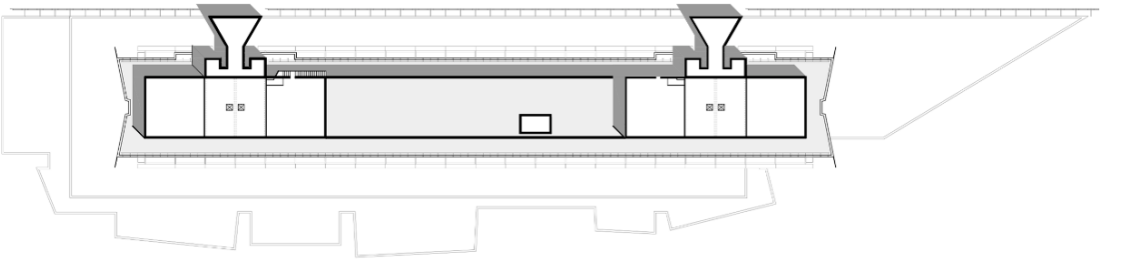
03º PAVIMENTO TERCER PISO
TERRAÇO / DIRETORIA / SALAS DE AULA TERRAZA / JUNTA DIRECTIVA / SALA DE CLASES



04º PAVIMENTO CUARTO PISO
INTERNAÇÃO / ISOLAMENTOS HOSPITALIZACIÓN / AISLAMIENTO



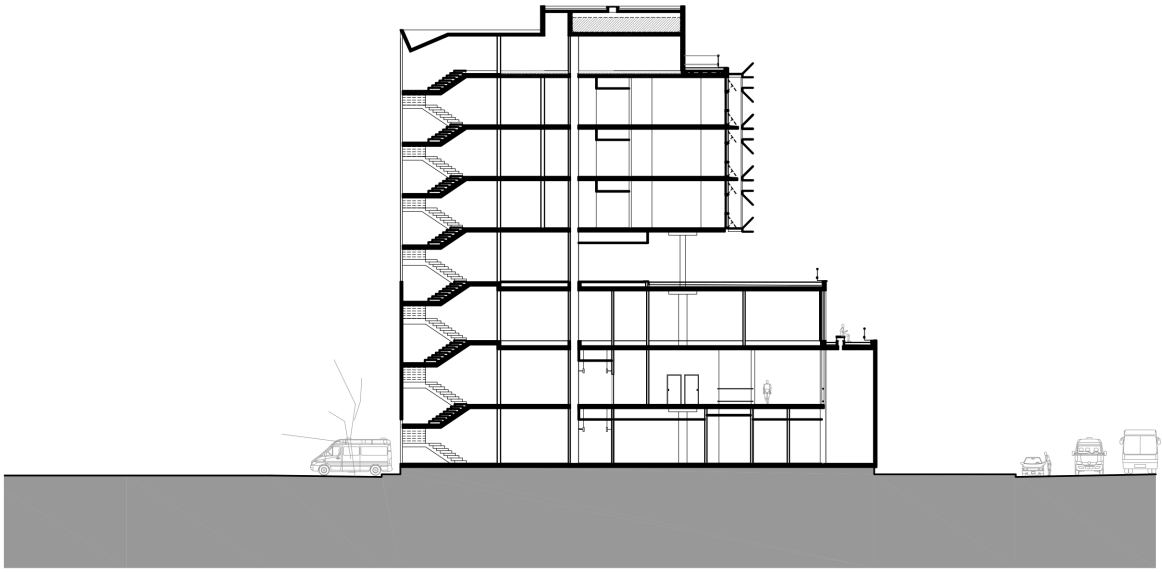
05º PAVIMENTO QUINTO PISO
06º PAVIMENTO SEXTO PISO
INTERNAÇÃO HOSPITALIZACIÓN



COBERTURA COBERTURA



CORTE LONGITUDINAL SECCIÓN LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL SECCIÓN TRANSVERSAL

Autores

Angelo Bucci Fundador y director del estudio SPBR Arquitetos desde 2003. Es profesor de la FAUUSP, en São Paulo, Brasil, y Professor of the Practice del MIT, en Massachusetts, Estados Unidos. También ha impartido clases en Argentina, Chile, Ecuador, Italia y Suiza. En 2011 fue nombrado miembro honorario del Instituto Americano de Arquitectos.

Sérgio Luiz Salles Souza especialista en arquitectura hospitalaria, con más de 30 años de experiencia práctica y enfocado en proyectos de alta complejidad para centros de salud. Su experiencia incluye la coordinación de proyectos como el Hospital de Urgencias de São Bernardo do Campo, donde aplicó principios de diseño basado en evidencia (Evidence-Based Design, EBD) para optimizar los flujos asistenciales y reducir el riesgo de infecciones hospitalarias.

ENGLISH

october 2026
IPH Magazine

VERSION

IPH Magazine

23th edition
October 2026

Editorial board

Fabio Bitencourt
Jorgeny Catarina Gonçalves
Marilena Pacios
Ricardo Karman diretoria@iph.org.br

Editor

Marcio Nascimento de Oliveira marcio@iph.org.br

IPH team

Rita Moraes secretaria@iph.org.br
Terezinha Vendramini karman@karman.com.br

Graphic Design

Nathalia Duran

Translation

Spanish Martin y Claudia Cadillo
English Marina Jarouche

Cover Image

São Bernardo do Campo Emergency Hospital
Architecture Angelo Bucci (SPBR Arquitetos)
Photographer Nelson Kon

ISSN 2358-3630
DOI 10.62558/2358-3630/23.03

Mailing address

IPH - Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman
Rua Piracuama, 21 térreo - sala 02
Sumaré, São Paulo - SP
CEP 05017-040
telefone (11) 989059107
e-mail revista@iph.org.br
endereço eletrônico www.iph.org.br/revista

Summary

Editorial 314

Marcio Nascimento de Oliveira

Article 317

Hospital building maintenance: Challenges, critical variables, and guidelines for workforce sizing

Aline Neves Gomes, Prof. Marcelo J. Meiriño and Prof. Fábio Aquino

Article 332

The contribution of digital technologies to develop projects that ensure the necessary information to run and maintain hospital assets

Adriana Tonani Mazzieiro

Article 353

Circular economy in healthcare facilities

Antonio Pedro Alves de Carvalho and Jair de Jesus Lima

Article 382

Natural lighting and design process employed by Siegbert Zanettini: Ermelino Matarazzo Hospital

Danielly Marcianny Silva Eulário, Paulo Sergio Scarazzato and Ludmila Cardoso Fagundes Mendes

Article 401

Hospital managers perceptions of the incorporation of emerging technologies and their impact on the physical infrastructure of hospitals in Santa Catarina

João Paulo Lucchetta Pompermaier, Lizandra Garcia Lupi Vergara and Patrícia Biasi Cavalcanti

Article 423

Emergency Hospital of São Bernardo do Campo: context and project

Sérgio Luiz Salles Souza and Ângelo Bucci. Curator of images and diagrams: Gabriela Pedini

Editorial

IPH Magazine reaches its 23rd edition reaffirming the historical commitment of IPH – Institute of Hospital Research Architect Jarbas Karman with the production and dissemination of technical-scientific knowledge focused on healthcare establishments' architecture, engineering, management and operation. In the current context of rapid technological transformation, increasing sustainability demands, and lifelong need of improving Brazilian hospital infrastructures, the works gathered in this issue are relevant to deepen the discussions regarding the future of health environments.

The chosen articles form an interconnected net by addressing different dimensions of hospital buildings' life cycle, from the planning and design to the operation, maintenance and adaptation of physical structures in the face of new care and technological demands. This edition highlights the importance of integrating multidisciplinary knowledge, strategic management and innovation to ensure more efficient, resilient and humanized environments.

Opening this issue, the article "Hospital building maintenance: challenges, critical variables and guidelines for workforce sizing" discusses one of the most sensitive topics for the operational sustainability of hospitals: the maintenance of physical and technological infrastructure. In a context in which the complexity of hospital building systems grows continuously, the study underlines the need for more precise methodologies to size technical teams, considering operational variables, criticality of systems and the requirements for follow-up care.

Next, the article “The contribution of digital technologies to develop projects that ensure the necessary information to run and maintain hospital assets” shows how digital tools have been transforming the processes of designing and managing assets. The incorporation of methodologies based on structured information, interoperability and digital models represents a significant step towards the efficiency of hospital operation throughout the life cycle of buildings.

The debate on sustainability gains particular emphasis in the article “Circular economy in healthcare facilities”, by Antonio Pedro Carvalho and Jair de Jesus Lima, presenting important reflections on the rational use of resources, waste management, and new strategies to reduce environmental impacts in the health sector. The incorporation of circular economy principles into healthcare facilities points to a necessary shift in paradigm considering contemporary environmental challenges.

Also adding to this edition, the study “Natural lighting and Siegbert Zanettini’s design process: Ermelino Matarazzo Hospital”, by Danielly Eulário and collaborators, revisits the work of one of the main names in contemporary Brazilian architecture, analyzing the relationship between natural lighting, environmental comfort and spatial quality in hospital design. The work puts in evidence how architectural solutions oriented towards climate and human well-being remain fundamental even in the face of advancing construction technologies.

The transformations caused by emerging technologies in the hospital environment are addressed in the article “Perception of hospital managers on the incorporation of emerging technologies and their impacts on the physical infrastructure of hospitals in Santa Catarina”, by João Paulo Lucchetta Pompermaier and collaborators. The study reveals the challenges faced by managers to adapt existing buildings to new operational, digital and care requirements, stressing the need for greater flexibility and upgradability of healthcare buildings.

Closing this issue, the article “Healthcare architecture – Public Emergency Hospital, São Bernardo do Campo”, by guest authors Sergio Salles and Ângelo Bucci, presents a reflection on contemporary hospital architecture from the perspective of a public hospital building of great relevance, emphasizing the relationship between architectural features, functionality, urbanity and humanized care.

We hope that the works published here will contribute to broaden the technical and scientific debate on the direction of hospital architecture and infrastructure in Brazil, prompting new research, innovative practices and solutions capable of responding to the present and future challenges of health environments.

We thank the authors, researchers, reviewers and collaborators who made it possible to publish this edition of IPH Magazine. Moreover, we invite our readers to continue actively participating in this network of knowledge built throughout the Institute's trajectory.

Arch. Marcio Nascimento de Oliveira, MSc.

Editor

Article

Hospital building maintenance: Challenges, critical variables, and guidelines for workforce sizing

Authors

Aline Neves Gomes Fluminense Federal University

Prof. Marcelo J. Meiriño, D.Sc Fluminense Federal University

Prof. Fábio Aquino, D.Sc. Federal Center for Technological Education

DOI: 10.62558/2358-3630/23.03.01

Abstract

Hospital building maintenance is a strategic macro-process essential for patient safety and the continuity of healthcare services. Despite its relevance, a significant gap exists in the scientific literature, especially in the Brazilian context. This study conducted a systematic review and bibliometric analysis of 185 publications indexed in the Scopus database (1989–2023), using the R software and the Bibliometrix package, a widely used tool for scientific mapping and quantitative analysis of academic production. The results showed that most studies are concentrated in developed countries, while the national literature remains limited. Critical variables for sizing the workforce in hospital building maintenance were identified, including system complexity, maintenance frequency, physical area, number of assets, and team training level. Based on these findings, the study proposes guidelines based on work orders, operational indicators, and technical standards applicable to the sector. Strengthening maintenance management is essential for promoting safer, more efficient, and sustainable hospital environments.

Keywords

hospital building maintenance; workforce sizing; hospital infrastructure management.

1.Introduction

Building maintenance aims for the building to perform its functions in a way that does not hinder use or occupancy, ensuring the functionality, safety, and well-being of the users of a building. In the hospital environment, the consequences of failures in building maintenance can be serious and irreparable, besides causing hospital infection, accident or worsening of the condition of a debilitated patient. Therefore, the responsibility, discipline and technical knowledge of the team become vital elements. Each intervention requires meticulous planning, with the rigorous application of protection and signage measures. Separating dirty or contaminated and clean materials is crucial, preventing the spread of risks. The execution process should be carried out with the least possible disruption to hospital routines, minimizing any impact on patients, companions, physicians, and staff. (EBSERH, 2022).

Planning hospital building maintenance from the beginning is crucial to ensure the longevity, efficiency, and safety of the hospital building, ensuring that it continues to fulfill its fundamental mission: to care for human life (Karman, Fiorentini, and Karman, 1995).

In countries such as the United States and the United Kingdom, where healthcare systems are highly developed, investment in hospital building maintenance is seen as critical. Studies by the National Health Service (NHS), in the United Kingdom, show that, in order to reduce incidents and long-term costs, regular preventive maintenance is carried out in critical areas such as ventilation and power supply systems (Dejaco, Gramigna, and Moretti, 2019). Investment in these processes has reduced the number of corrective work orders, increasing the safety and reliability of operations.

The sizing of maintenance teams is also a well-founded practice to meet the specific needs of hospitals, considering the complex demands of hospital systems. In medium and large hospitals in developed countries, maintenance teams are organized with specialized technicians, allocated to critical sectors, which facilitates incident response in an agile way and minimizes the risks of interruptions (Chen *et al*., 2020).

However, the Brazilian scientific literature still has important gaps in how to objectively and data-based design hospital building maintenance teams. While developed countries already apply models based on performance indicators, in Brazil, reactive practices and the lack of methodologies suitable for the reality of the Unified Health System (SUS) predominate.

This article proposes an analysis of the national and international scientific production on hospital building maintenance, with emphasis on the dimensioning of the workforce. For this, we use bibliographic review and bibliometric analysis techniques, to identify the main technical, operational

and normative variables that influence the composition of maintenance teams. Therefore, we hope to contribute to the development of safer, more efficient and sustainable practices in the management of hospital infrastructure.

A preliminary version of the bibliometric results presented in this study was published in the Annals of the X CBDEH (Gomes, 2024). However, the present article includes expanded analyses, a re-examined systematic review, and an in-depth discussion of critical variables.

2. Theoretical Foundation

2.1 Building Maintenance

From the moment a building comes to life, its aging process begins. It is at this point that maintenance activities take on a crucial role, transcending the mere correction of failures to become a strategic area for the lasting performance of the structure. Effective maintenance ensures that the building's occupancy achieves organizational goals and objectives, ensuring its functionality and appreciation over time (Cisne and Albuquerque Junior, 2021).

Negligence in building maintenance planning can generate a domino effect with negative consequences. Significant capital investments can be wasted when equipment and structures deteriorate prematurely, leading to lost warranties and the need for costly repairs. In addition, the lack of proper maintenance can compromise the safety of users, negatively impact productivity in the environment and, ultimately, discourage new investments in the system, creating a vicious cycle of decline (Lavy and Bilbo, 2009).

Building maintenance is organized into three pillars: safety, functionality and comfort, ensuring that the building offers adequate conditions to users and that investments are preserved in the long term (Guimarães, 2012). Hospital building maintenance is closely intertwined with the health service chain, assuming a strategic and multifaceted role. Its primary mission is to guarantee the safety and longevity of care buildings, ensuring an environment conducive to the recovery and well-being of patients. Hospital maintenance is an essential activity, requiring technical expertise, meticulous planning, impeccable organization, and efficient management (EBSERH, 2022).

Given this scenario, it is imperative to rethink the management of hospital maintenance, adopting effective measures to secure the full operational capacity of equipment and facilities. Investing in qualified professionals, optimizing procurement processes, and improving infrastructure are essential actions to avoid wasting resources and, above all, save lives.

Hospital building maintenance management, in addition to seeking the integrity and efficiency of systems, needs to make sure that the continuity of operations occurs without interference in clinical care. Karman and Fiorentini (1995) point out that, in hospitals, interventions need to be carefully planned and executed, preferably carried out at times and in areas that reduce the impact on patient care as much as possible. Performing scheduled maintenance at times of lower flow of people or closing sectors is a common practice, aiming to reduce the risk of service interruption and user discomfort (Dejaco, Gramigna, and Moretti, 2019).

In addition, hospital building maintenance involves specific challenges, such as managing potentially contaminating materials and guaranteeing that there will be no cross-contamination between clean and wasted areas. Studies show that, when well performed, hospital building maintenance contributes to the improvement of hospital safety and health indicators, in addition to generating savings by avoiding emergency repair costs and increasing the longevity of equipment (Wong, Olanrewaju, and Lim, 2021).

Therefore, hospital building maintenance is a complex and highly specialized process, which involves detailed planning, continuous training of the professionals involved, and constant monitoring of performance indicators. In this way, effective management of hospital building maintenance not only protects assets, but also promotes the safety and well-being of users, contributing to the sustainability and efficiency of health services.

2.2 Bibliometrics

Bibliometrics is an essential technique for organizing, cataloging and analyzing academic productions in a way that is systematic and statistic driven. This method makes it possible to map the evolution of a topic over time, identifying relevant changes, trends, and connections in the existing literature (Aria and Cuccurullo, 2017). It is widely used to structure information in areas that require in-depth understanding, such as hospital building maintenance, an essential field for the functioning of health institutions, but still lacking detailed research.

According to Aria and Cuccurullo (2017), scientific mapping not only contributes to research but also plays a strategic role in formulating effective policies and practices. To this end, bibliometrics is based on three classic laws: Bradford's Law, which investigates the productivity of journals; Lotka's Law, focused on the productivity of authors; and Zipf's Law, which examines the frequency of terms in scientific texts (Guedes and Borschiver, 2005).

3. Methodology

This study adopts a methodological approach composed of a quantitative bibliometric analysis and a descriptive literature review, with the objective of mapping the scientific production on hospital building maintenance and identifying the main variables that influence the sizing of the workforce in this context.

For the bibliometric analysis, the classic indicators available in the Bibliometrix package were used, including productivity of authors, journals and countries; analysis of co-authorship networks; bibliographic coupling; occurrence and co-occurrence of keywords; in addition to the temporal evolution of publications. The database was standardized with the removal of duplicates, harmonization of author names, and unification of keywords. Bradford, Lotka, and Zipf metrics were also applied to identify core journals, author productivity, and term frequency. The results were generated by Biblioshiny, Bibliometrix's graphical interface, which allowed the construction of scientific maps, trend graphs and thematic clusters.

Data collection was carried out in the Scopus database, widely recognized for the quality and scope of its scientific publications. The research combined two prompts, "building maintenance" and "health", along with the logical operator "AND" to identify documents that addressed both themes in a correlated way. The collected data was processed using the R software and the Bibliometrix package, providing a robust and visually understandable quantitative analysis (Aria and Cuccurullo, 2017).

Moreover, there was a qualitative synthesis of the most relevant publications, identifying the methods, indicators and recommended practices for the dimensioning of the workforce in hospital maintenance. Variables such as technical complexity of the systems, frequency of preventive and corrective maintenance, physical area of the hospitals, location of critical equipment, average response time to failures and performance indicators (KPIs) were extracted. The triangulation between quantitative and qualitative data allowed for a more comprehensive and grounded understanding of existing practices and gaps in the field.

4. Results

4.1 Bibliometrics Analysis

Data collection covered the period from 1989 to 2023, adding up to 185 publications distributed into 120 different sources (Illustration 1). This number of studies, over three decades, shows a significant lack of research in the area, especially in view of the rapid technological advancement and its direct implications for hospital management.



Illustration 1 . General Information. Source: author's production using the "R" and "Bibliometrix" software.

Annual scientific production showed moderate and irregular growth (Illustration 2), reaching its peak in 2012, with 17 articles published. However, the average increase of 5.41% per year remains insufficient given the complexity and importance of the issue. Fewer than 03 publications were recorded during 20 of the 34 years analyzed, evidencing the absence of a continuous and consistent evolution.

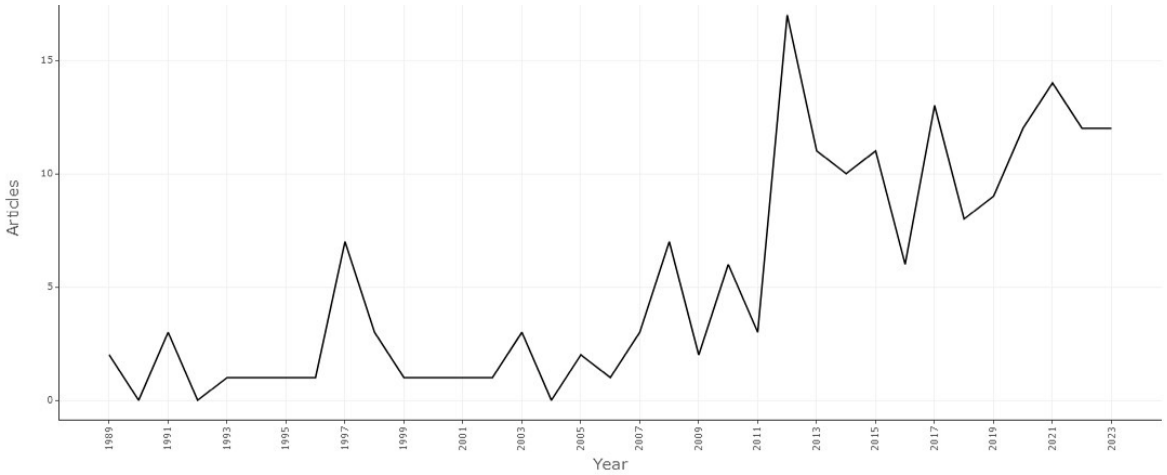


Illustration 2 . Annual scientific production. Source: author's production using the "R" and "Bibliometrix" software.

The most influential sources identified were, for the most part, health institutes, with a higher concentration of publications from 2010 onwards (Illustration 3). Authors such as Igal Shohet and Sarel Lavy, although recognized for high-quality and impactful work, have not actively published in the area since 2010, which may suggest a stagnation in recent and most relevant contributions (Illustration 4).

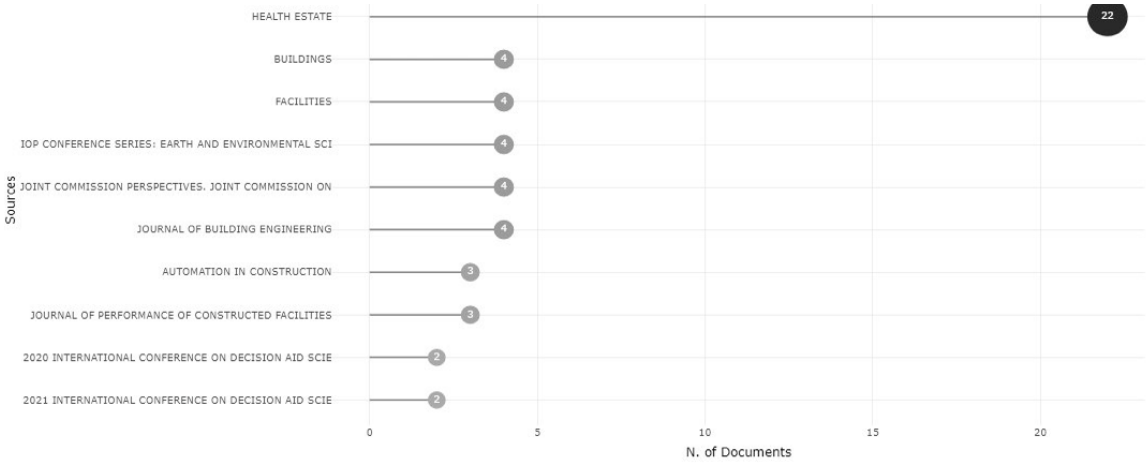


Figure 3 . Relevant sources. Source: author's production using the "R" and "Bibliometrix" software.

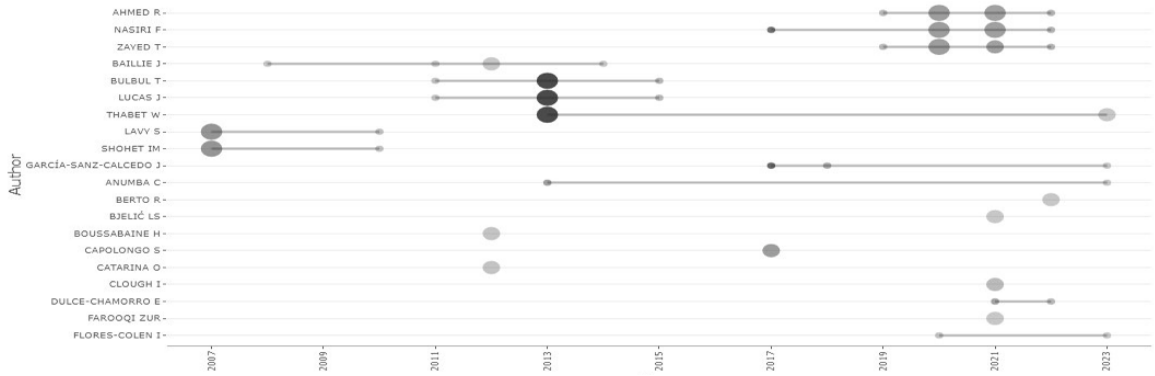


Illustration 4 . Scientific production over the years. Source: author's production using the "R" and "Bibliometrix" software.

The analysis revealed a significant geographic concentration of scientific production, with 156 of the 185 articles originating in the United States, which restricts the global applicability of the results. This inequality particularly affects countries such as Brazil, where technological, cultural, and socioeconomic differences directly influence practices and demands related to hospital building maintenance.



Illustration 5 . Scientific production by country. Source: author's production using the "R" and "Bibliometrix" software.

The study demonstrates the lack of up-to-date and in-depth research on hospital building maintenance, a key area for the safety and efficiency of operations. The concentration of publications in a few authors and regions reinforces the urgent need for new studies that contemplate the specificities of different realities and contexts.

4.2 Variables to Consider for a Sizing Methodology

According to the literature review regarding hospital building maintenance, the sizing of teams is a key element to ensure the operability, efficiency and safety of hospital facilities. This need becomes even more evident due to the importance of preventive maintenance and the urgency in meeting corrective demands, which, if not addressed in a timely manner, can directly impact patient safety and continuity of care (Chen *et al*., 2020; Guimarães, 2012). For the adequate dimensioning of these teams, some critical variables were identified in the literature that need to be considered.

Therefore, the first critical variable that influences the sizing of the building maintenance team is the complexity of the installed systems. In hospitals, in addition to conventional building infrastructure systems, such as lighting, electricity, and hydraulics, there is a set of specialized systems that require continuous and highly qualified attention, such as air conditioning systems, infection control systems, medical gas systems, pressurized ventilation systems in operating rooms, as well as redundant electrical networks and power generation systems for hydraulic emergency (Karman, Fiorentini and Karman, 1995; Lavy and Bilbo, 2009).

The presence of these systems requires professionals with specific training for each technical area, which means that the sizing of the team should not be based only on the number of professionals, but also on their level

of technical qualification. In a hospital environment, systems such as ventilation, medical gases, and electrical networks require specialized technicians in each area. Failures in these systems can have serious consequences, such as the interruption of critical procedures or health risks to patients and employees, which reinforces the need for a highly specialized and trained building maintenance team (Dejaco, Graigna, and Moretti, 2019; Jesumoroti, Olanrewaju and Khor, 2022).

On that ground, an additional relevant aspect in the sizing of the team is the necessary specialization of the professionals. Consequently, the sizing of the team must also prioritize the technical qualification and continuous training of the professionals involved, in accordance with national regulations, such as the NR-4, NR-10, NR-12 and NR-33 standards of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT, 2018; 2019; 2020; 2021).

Another fundamental factor highlighted by Xenos (1998) is the frequency of preventive and corrective maintenance. To keep a hospital operating efficiently and safely, it is crucial to take a proactive approach through regular preventative maintenance. With regard to hospital building maintenance teams, key factors must be considered, such as the workload associated with preventive and corrective maintenance, the average response time to failures, and the technical qualification required to deal with the various systems present in the hospital (Fotovatfard and Heravi, 2021). In addition, in hospitals, the response time to correct unforeseen failures is critical, especially when they involve systems that directly impact the lives of patients, such as life support systems or electricity supply. Therefore, the number of technicians available must be sufficient to handle not only preventive activities, but also to respond quickly to any emergency or operational failure that requires immediate intervention.

The size of the built area and the dispersion of critical equipment in the different sectors of the hospital are fundamental variables in the dimensioning of hospital maintenance teams, especially in large hospitals. The complexity and physical extent of the facilities, which include intensive care units, surgical centers, laboratories and support areas, require strategic planning to secure that the maintenance team is sized and positioned in order to serve all these areas efficiently (Guimarães, 2012; Dejaco, Gramigna and Moretti, 2019). According to Xenos (1998), the distribution of the maintenance team must consider both the criticality of the equipment and the physical location of the assets, which can significantly reduce the response time in cases of failure. This approach is corroborated by studies that indicate that the creation of specialized teams, allocated according to the importance of the systems and the proximity to critical hospital sectors, allows for greater speed and effectiveness in interventions (Fotovatfard and Heravi, 2021). In

addition, the dispersion of teams based on geographical zones within the hospital, as suggested by Wong, Olanrewaju, and Lim (2021), facilitates the execution of maintenance in an agile manner and minimizes the impact of interruptions in essential services, reinforcing the importance of structured maintenance management to optimize resources and improve the operational safety of hospital environments.

The use of performance indicators (KPIs) is widely recommended as a tool for the continuous evaluation of the effectiveness of maintenance teams. Indicators such as **average response time to corrective work orders, frequency of preventive maintenance**, and **failure recurrence rate** allow adjustments in the sizing and allocation of the team according to operational needs (Fotovatfard and Heravi, 2021). According to studies conducted by Xenos (1998), the analysis of these indicators is crucial to ensure that the maintenance team meets the demands of the hospital efficiently and that it is prepared for rapid interventions in critical systems. Additionally, recent studies have shown that hospitals that adopt automated monitoring systems are able to identify and resolve problems more quickly, increasing staff efficiency and reducing the number of corrective work orders (Ebiloma, Aigbavboa, and Anumba, 2023).

The study by Enshassi and El Shorafa (2015), carried out in the Gaza Strip, highlights that the dimensioning of manpower for hospital building maintenance should be based on performance indicators, such as the **Maintenance Efficiency Indicator (MEI)**, which measures the efficiency of the resources allocated in relation to the physical condition of the buildings. According to the authors, "MEI provides a quantitative indication of the efficiency with which maintenance activities are implemented, allowing adjustments in the allocation of resources and prioritization of preventive strategies" (Enshassi and El Shorafa, 2015, p. 222). This approach is essential to ensure a balance between corrective and preventive demands, avoiding overloads and optimizing the performance of maintenance teams. The approach considers the variability in the conditions of buildings and the complexity of hospital systems, demonstrating that inadequate planning can overload professionals with emergency demands, compromising the efficiency and functionality of the facilities. The use of KPIs allows you to optimize the performance of teams, adjusting human resources according to the specific needs of health institutions, enabling more effective and cost-effective maintenance.

A design methodology must comply with applicable national and international regulatory standards, such as NR-4, NR-12 and NR-33, which establish safety standards and specific procedures for building maintenance facilities and activities. Specific regulations for hospital environments, such as those of the National Health Surveillance Agency (Anvisa), also guide the planning and execution of maintenance (ABNT, 2018; ABNT, 2019; ABNT, 2020; ABNT, 2021).

The literature also suggests that the dimensioning of the hospital maintenance team should be a dynamic process, regularly reviewed to adapt to changes in the hospital environment, such as the introduction of new equipment and the expansion of care areas (Chen *et al*., 2020). In this sense, it is essential that the dimensioning includes a safety margin, given the unpredictable nature of many hospital interventions, in addition to the possibility of health and emergency crises, which may require quick and accurate responses (Xenos, 1998; Karman, 1994).

According to Picchiai (2009), a researcher at the Program for Advanced Studies in Hospital and Health Systems Administration (PROAHSA), Coelho (2006) emphasizes the strategic importance of dimensioning building maintenance to ensure the continuous operation of hospital infrastructures. In this context, outsourcing is pointed out as an efficient practice, and the presence of professionals, such as civil engineers, electricians and bricklayers, is recommended, in the proportion of one group for every 200 hospital beds, with the objective of meeting both routine and emergency demands (Picchiai, 2009, p. 142). Picchiai (2009) also reports that Coelho (2006) highlights the need to plan the maintenance sector considering the specificities of hospital infrastructures, such as the technological park installed and the qualification of the professionals involved. In addition, technical supervision, often performed by engineers, is considered essential to coordinate building and equipment maintenance activities, avoiding impacts on hospital services (Picchiai, 2009, p. 142).

Anvisa's RDC No. 2/2010 (BRASIL, 2010) establishes essential requirements for the physical infrastructure in health services, with the objective of ensuring safety, functionality and adequate hygienic-sanitary conditions. Although it deals with aspects related to building maintenance, the resolution does not offer specific guidelines aimed at the sizing of maintenance teams. This gap reinforces the need for specific methodologies that consider the particularities of the hospital environment.

In turn, ABNT NBR 5462:1994, which addresses reliability and maintenance, presents definitions of terms and concepts that are fundamental to the management and analysis of systems, equipment and facilities. Although this standard does not directly address team sizing, it does provide a valuable theoretical basis for decision-making in this field. However, its applicability is often more aligned with industrial contexts than with the hospital environment.

5. Final Considerations

Hospital building maintenance is an essential activity to guarantee patient safety, service continuity, and the efficiency of health infrastructure. This study showed a significant gap in the national scientific production on the sizing of the workforce in this sector, especially in large public institutions. The bibliometric analysis demonstrated the concentration of the literature in developed countries, which makes it difficult to apply its models directly to the Brazilian context, marked by specific technical, operational and regulatory challenges.

In view of this scenario, the proposal is to develop its own methodologies, based on historical data, performance indicators and applicable regulations, with a view to guiding the efficient planning of maintenance teams. In addition, it future research must deepen the empirical analysis in Brazilian hospitals, contributing to the formulation of guidelines that are more adapted to the local reality. Therefore, the effective management of hospital maintenance must be recognized as a structuring strategy for the quality of care and the sustainability of health services.

Bibliography

ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. **Bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis**. Journal of Informetrics, v. 11, n. 4, p. 959-975, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007. Acesso em: 05 jul. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462: Confiabilidade e manutenção**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5674: Manutenção de edificações** – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro, 2012.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **RDC nº 2, de 25 de janeiro de 2010. Dispõe sobre os requisitos mínimos para a infraestrutura física de serviços de saúde**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 26 jan. 2010. Disponível em: https://www.in.gov.br. Acesso em: 5 jul. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-4 – Serviços Especializados em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho**. Brasília, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília, 2021.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-33 – Segurança e Saúde no Trabalho em Espaços Confinados**. Brasília, 2020.

CHEN, Dan *et al*. **An indicator system for evaluating operation and maintenance management of mega infrastructure projects in China**. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 17, n. 24, p. 9589, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph17249589. Acesso em: 5 jul. 2025.

CISNE, Vandeilson do Nascimento; ALBUQUERQUE JUNIOR, Carlos Roberto Falcão. **Planejamento estratégico para implantação de uma gestão de excelência de manutenção predial e facilities com o aporte do PPCGM**. In: XLI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2021, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Foz do Iguaçu, 2021. Disponível em: https://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_354_1822_41893.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

DEJACO, M. C.; GRAMIGNA, M.; MORETTI, N. **Plant maintenance in hospitals facilities**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 296, p. 012030, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1088/1755-1315/296/1/012030. Acesso em: 5 jul. 2025.

EBSERH – Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares. **Gestão de manutenção predial hospitalar para os hospitais da rede Ebserh**. 1. ed. Brasília: EBSERH, 2022.

ENSHASSI, Adnan Ali; EL SHORAFA, Farida. **Key performance indicators for the maintenance of public hospitals buildings in the Gaza Strip**. Facilities, v. 33, n. 3/4, p. 206-228, 2015.

FOTOVATFARD, Armaghan; HERAVI, Gholamreza. **Identifying key performance indicators for healthcare facilities maintenance**. Journal of Building Engineering, v. 42, p. 102838, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.102838. Acesso em: 5 jul. 2025.

GOMES, Aline Neves. **Gestão na manutenção predial hospitalar: uma análise bibliométrica**. In: CONGRESSO BRASILEIRO PARA O DESENVOLVIMENTO DO EDIFÍCIO HOSPITALAR – CBDEH, 10., 2024, Rio de Janeiro. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABDEH, 2024. p. 74-82.

GUEDES, Vânia L. S.; BORSCHIVER, Suzana. **Bibliometria: uma ferramenta estatística para a gestão da informação e do conhecimento em sistemas de informação, comunicação e avaliação científica**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO, 6., 2005, Salvador. Anais [...]. Salvador: ICI/UFBA, 2005. Disponível em: https://cinform-nteriores.ufba.br/vi_anais/docs/VaniaLSGuedes.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

GUIMARÃES, José Mauro Carrilho. **A problemática da manutenção predial e de equipamentos em estabelecimentos de saúde pública do município do Rio de Janeiro**. 2012. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Profissional em Saúde) – Escola Politécnica de Saúde Joaquim Venâncio, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/handle/icict/8811. Acesso em: 5 jul. 2025.

JESUMOROTI, Christtestimony; OLANREWAJU, AbdulLateef; KHOR, Soo Cheen. **Defects in Malaysian hospital buildings**. International Journal of Building Pathology and Adaptation, 2022. DOI: 10.1108/IJBPA-12-2021-0166.

KARMAN, Jarbas. **Manual de manutenção hospitalar – Manutenção Preditiva**. São Paulo: Pini, 1994.

KARMAN, Jarbas; FIORENTINI, Domingos; KARMAN, Jarbas N. M. **Manutenção incorporada à arquitetura hospitalar**. Brasília: Ministério da Saúde/SAS, 1995. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/manut_hospit.pdf. Acesso em: 5 jul. 2025.

LAVY, Sarel; BILBO, David L. **Facilities maintenance management practices in large public schools.** Facilities, v. 27, n. 1/2, p. 5-20, 2009.

LI, Yongkui *et al*. **Automated analysis and assignment of maintenance work orders using natural language processing**. Automation in Construction, v. 165, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105501. Acesso em: 5 jul. 2025.

PICCHIAI, Djair. **Parâmetros e indicadores de dimensionamento de pessoas em hospitais**. Relatório de pesquisa. São Paulo: Fundação Getúlio Vargas, 2009.

PRITCHARD, Alan. **Statistical bibliography or bibliometrics?** Journal of Documentation, v. 25, n. 4, p. 348-349, 1969.

WONG, Wai Fang; OLANREWAJU, AbdulLateef; LIM, Poh Im. **Value-Based Building Maintenance Practices for Public Hospitals in Malaysia**. Sustainability, v. 13, n. 11, p. 6200, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su13116200. Acesso em: 5 jul. 2025.

XENOS, Harilaus G. P. **Gerenciando a manutenção produtiva**. Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial, 1998.

Authors

Aline Neves Gomes Holds a degree in Architecture and Urbanism from the Federal University of Pará (UFPA), a degree in Mathematics from the State University of Pará (UEPA) and a Master's degree in Management Systems from the Fluminense Federal University (UFF). Six years work experience at the Beneficencia Portuguesa Hospital of Pará, also in the area of hospital architecture. Currently manages the Construction Work and Facilities Service of the National Cancer Institute (INCA), focusing on the integrated management of hospital building maintenance.

E-mail: ang@alprojetos.com

Marcelo J. Meiriño Architect and Urban Planner from the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), with a Master's and Doctorate in Civil Engineering from the Fluminense Federal University (UFF). Occupational Safety Engineer and specialist in Energy Efficiency, working in the development of innovative and sustainable solutions. Marcelo is a professor at UFF in the master's and doctoral programs in Management Systems and coordinates the Center for Innovation and Technology for Sustainability (NITS/UFF). Coordinator of the Research Group on Innovations and Sustainability (CNPq/UFF) and of the National Congress of Excellence in Management. Marcelo was an exchange student at the IVLP, of the US Department of State. Marcelo works as a consultant in R&D projects (ANEEL) and in indexed scientific journals.

E-mail: marcelojm@id.uff.br

Fábio Aquino Business Administrator graduated from the Federal Rural University of Rio de Janeiro (UFRRJ), with a Master's and Doctorate in Management Systems from the Fluminense Federal University (UFF). Worked for 12 years in the private sector, in the financial and real estate sectors, as head of the Purchasing Department and Research Division at UFF, where he currently is a Chancellor. Served as a public contract manager in the Olympic legacy (2021–2023), taught at the Paraíso College, and is currently a professor at CEFET/RJ. Author of several articles published in congresses and scientific journals.

E-mail: faquin98@gmail.com

Article

The contribution of digital technologies to develop projects that ensure the necessary information to run and maintain hospital assets

Author

Adriana Tonani Mazzieiro Federal University of Minas Gerais – UFMG

DOI: 10.62558/2358-3630/23.03.02

Abstract

Hospitals are complex buildings that require systematized and highly accurate operation and maintenance management. This research aims to discuss the specificities of these healthcare units and understand how digital technologies can contribute to the development of projects that aim to answer the information requirements necessary for this phase of their life cycle. The methodology is exploratory and begins with a literature review, followed by a study of two examples that consider different digital technologies for project development and the recording of information necessary for facility management. Although the cases apply diverse digital technologies, they are similar in their understanding that the information to be preserved and recorded for future use is present since the design at the initial phase of the asset's life cycle, throughout the construction phase, until it is handed over to the operation and maintenance phase.

Keywords:

digital technologies, hospitals, facilities management, operation and maintenance.

1. Introduction

Hospitals are complex functional facilities, that demand great attention from those involved in their administration regarding the both the infrastructure and medical equipment. With the development and ever-growing specialization of the various areas of medicine, hospital buildings increasingly need to meet diversified architectural spatial needs, to keep a high quality of care.

Due to the specific needs of healthcare settings, architects and urban planners must employ a systemic view, in order to respond to the physical-functional complexities of the buildings. At the same time, they must ensure that the qualities of humanization and environmental comfort necessary for the well-being of patients, take into account the shift in the contemporary paradigm of hospitals, now viewed as more than places of healing.

The amount of information to be stored, both in relation to physical infrastructures and hospital medical equipment, has grown exponentially, and the need to organize this information in an objective and systematized way is imperative for the effective operation and maintenance of a hospital.

The advancement of digital technologies used for designing, recording and storing information about built assets, already facilitated with the emergence of CAD – *Computer-Aided Design* – platforms has been significantly increased with the emergence of BIM – *Building Information Modeling platforms*, to the extent that not only the geometric data of the buildings are recorded, but also the pertinent information for future use, which can be made available in the three-dimensional model.

More assertiveness in the activities pertaining to maintenance of hospital buildings means that this crucial operation has become more effective, since the information necessary to remedy any complication that may occur is now available more directly to the user, increasing both the speed and the quality of response in the services provided to patients.

2. Rationale

The basis for this study was the realization of the importance of the management of the operation and maintenance activities of hospital assets. This fact was identified in the direct observation of the processes in several healthcare units where the author was able to work, and on a bibliographic review on the subject, where it was demonstrated how digital technologies could contribute to the improvement of such management.

This research also was based on the understanding that the life cycle of a hospital building begins with the feasibility study, and develops according to the following phases of architectural design and other engineering projects, such as construction, commissioning, operation and maintenance, until it must undergo renovations, be dismantled and/or demolished.

Given their high level of complexity, hospitals are buildings where the management of the built environment needs to be aligned with the most advanced operation and maintenance processes, in order not only to deliver a good operational result, but, mainly, to meet the demand of urgency presented in some of the maintenance situations. As quoted by Professor Jarbas Karman, in his book *Manutenção e Segurança Hospitalar Preditivas*:

> The hospital is considered one of the most complex projects from the point of view of architecture, engineering, facilities, equipment, security, as well as technology and administration. Their equipment, appliances, installations and supplies are of continuous and constant use (Karman, 2011, p.41).

From the earliest stages of hospital design, architects and urban planners should establish design principles that facilitate the future management of hospital assets by operation and maintenance teams. These principles should be consistently incorporated throughout the development of detailed design documents across all disciplines and carried forward into the construction phase. During construction, all modifications made to the original design should be accurately documented through as-built records, ensuring that the resulting information remains current and reliable. This updated documentation provides a trustworthy foundation for the efficient operation, maintenance, and long-term management of hospital facilities.

In recent years, several serious fires have occurred in Brazilian hospitals, highlighting the critical importance of effective facility management and fire safety systems. One of the most significant incidents took place in September 2019 at Badim Hospital in Rio de Janeiro, resulting in the deaths of 25 patients. Other major events followed, including a fire at Lourenço Jorge Municipal Hospital in October 2020, caused by a short circuit in the main electrical switchboard. Although the incident was successfully contained without fatalities, it underscored the vulnerability of critical infrastructure. In the same year, another fire broke out in Building 1 of the Federal Hospital of Bonsucesso, also in Rio de Janeiro, requiring the evacuation of approximately 200 patients and resulting in two fatalities. More recently, at Santa Casa de Misericórdia in Belo Horizonte, the state's largest hospital with approximately 1,200 beds, a fire in the intensive care unit on the tenth floor—reportedly triggered by an oxygen leak associated

with medical equipment—forced the emergency evacuation of patients on stretchers and in wheelchairs. The incident resulted in the deaths of three patients and the hospitalization of 25 staff members due to smoke inhalation[1].

Given the severity of these incidents and the recurring operational emergencies observed in Brazilian hospitals, it is imperative that healthcare facility projects incorporate the information requirements necessary for the operation and maintenance phase from the earliest stages of design. This includes establishing design principles and management strategies supported by methodologies that ensure the accuracy, integrity, and continuity of information throughout the building lifecycle. Such an approach enables maintenance teams to respond more effectively to routine operational demands as well as emergency situations, thereby reducing risks, improving decision-making, and minimizing potential human, operational, and financial losses.

3. Objectives

The primary objective of this article is to demonstrate how digital technologies can support the operation and maintenance of hospital facilities throughout their lifecycle, both in existing buildings undergoing renovation and physical modernization and in newly constructed healthcare facilities.

4. Methodologies

This study adopted an exploratory research approach (Gil, 2002, p. 41), based on a qualitative literature review addressing the importance of the operation and maintenance phase within the life cycle of hospital assets and the role of digital technologies in supporting the information requirements associated with this stage. Subsequently, case examples were analyzed to illustrate the importance of incorporating asset information requirements during the early stages of architectural design, thereby ensuring that the data necessary for effective operation, maintenance, and facility management are systematically considered throughout the project development process.

1 All the occurrences mentioned attest to the need to consider the importance of immediate access to information about the facilities of physical infrastructures and an integrated monitoring system for maintenance and operation, increasing the quality and efficiency of operations.

5. Literature Review

Hospital buildings require constant operation and maintenance processes, given their complexity and the intensity of use of their physical-functional structures. Many existing hospital buildings need constant actions to requalify their spaces, due to their physical negligence or their inadequacy

to the new functional demands, and do not have minimum records of sufficient information to provide adequate support to the operation and maintenance phase.

> More and more the hospital reveals itself to be a *permanent construction site and institution waiting for completion* - changes, innovations, technological advances, changes, renovations and new works follow one another; equipment and facilities are more frequently replaced; the useful life of products and the fight against physical and functional obsolescence become more present - generating the need for answers, planning, actions and investments that are always more agile (Karman, 2011, p.45).

Providing the information necessary for asset management should be a concern of the senior management[2] of hospital institutions, which should determine, within their organizational structure, the necessary information requirements for the operation and maintenance processes to occur effectively (ABNT NBR ISO 19650-1:2025).

When projects are developed using CAD-based[3] workflows, they must be fully coordinated across all design disciplines and comprehensively document the information required for the operation and maintenance phase. Even when documentation is limited to 2D drawings, schedules, or tabular records, it should accurately identify the location, characteristics, and specifications of the building's critical infrastructure systems and assets. Such documentation facilitates access to essential operational data by providing a complete and reliable record of the existing networks, equipment, and building systems, thereby supporting effective facility management throughout the asset's lifecycle.

The use of CAD (Computer-Aided Design) as the primary platform for project documentation remains the prevailing reality in most Brazilian hospitals. The transition to BIM (Building Information Modeling) requires substantial investments in hardware, software, and workforce training, as well as long-term strategic planning and dedicated financial resources for successful implementation. Consequently, many healthcare institutions continue to rely on conventional CAD-based documentation despite the recognized advantages of BIM.

Once BIM has been implemented, however, and provided that the information model has been properly structured to support facility management, it can serve as a comprehensive repository of asset information throughout the building's lifecycle. By integrating architectural, engineering, and asset data with operation and maintenance systems, BIM enables more efficient maintenance planning, improved decision-making, enhanced traceability of building components, and more effective management of healthcare facilities, representing a significant advancement over traditional documentation methods.

2 According to the ABNT NBR ISO19650 standard, senior management must determine the AIR – Asset Information Requirement, so that the asset information requirements in the AIM – Asset Information Model are met, in the operation and maintenance phase, when using the BIM methodology.

3 Although the construction industry is evolving towards the implementation of BIM in all sectors of the economy, the healthcare sector still faces several difficulties to adopt it. Nonetheless, that cannot compromise the registration of the information necessary for the operation and maintenance phase of hospitals, that is why CAD technologies are also necessary.

The operation and management phase constitutes the longest stage in the life cycle of a building and, consequently, accounts for the largest share of its total lifecycle costs. Therefore, improving the quality, accessibility, and reliability of asset information during this phase has a direct impact on operational efficiency, maintenance performance, and the long-term sustainability of healthcare facilities.

> Focusing on the use and operation phase of the life cycle of an enterprise, it is understood that it is the most expensive because it is the longest in relation to the others. Consequently, it is the stage that benefits the most from the history of information in a structured way, as it accumulates data on the evolution of the enterprise from the conception stage. In this phase, specific information is generated, which can be used to improve the performance of the projects, such as service requests, maintenance schedules, inspection reports, downtime and operations costs. (Mota; Moreira, 2025)

Due to the characteristic longevity of constructed buildings and, especially, the high costs of global investments in construction and equipment installations in hospital buildings, enhancing an efficient management of its physical assets and medical equipment becomes essential, not only to preserve its operational results, but, mainly, to respond to the safe and quality care of its users.

Asset management in Brazil is addressed by a series of technical standards translated from the international ISO 55000X series. Assets can include something that has real or potential value, tangible or intangible, financial or not[4]. The Brazilian standard ABNT NBR ISO 55000 defines terminology, overview and principles aimed at the expected results for an effective asset management process (ABNT NBR ISO 55000, 2024).

> Asset management can be understood as the management of inventories, plants, and equipment through records that list information. [...] These assets, which consist of the physical building, systems, surrounding environment, and equipment, must be maintained, upgraded, and operated with an efficiency that satisfies both the owner and the users in the most cost-effective way possible. (Mota; Moreira, 2025)

Facilities and clinical engineering are the assets whose management is strategically the most important for the operation and maintenance phase, since they directly affect safety, physical integrity of users and quality of healthcare performance. The processes for recording information about physical infrastructures and medical equipment may vary according to the digital technology applied, but the types of information to be stored can be systematized and standardized in any methodology adopted.

According to IFMA – *International Facility Management Association*, the management of facilities "is an area of knowledge whose organizational

4 In the case of this work, assets with real and tangible values stand out as the most important for recording projects, both in 2D and in BIM models, since the main focus of hospital operation and maintenance, in this research, is centered on the physical infrastructures of buildings and medical equipment necessary for quality care in health institutions.

function is to integrate people, places and processes within the built environment with the purpose of improving people's quality of life and the productivity of the main business" (IFMA, 2025).

In Brazilian Standard ABNT NBR ISO 41018:2023, the concept of facilities management is "one that integrates multiple disciplines to have an influence on the efficiency and productivity of the economies of organizations, societies, and communities, as well as the way in which individuals interact with the built environment".

At operational level, the management of facilities is responsible for handling all the physical infrastructures necessary for a building to function at its maximum efficiency and safety.

Clinical engineering management, according to Abeclin – Brazilian Association of Clinical Engineering is...

> "...the area of knowledge that must deal with engineering techniques in the management of health equipment in order to ensure the traceability, usability, quality, efficacy, effectiveness, safety and performance of this equipment, in order to promote patient safety". (ABECLIN, 2025)

At operational level, clinical engineering ensures the perfect functioning of medical equipment.

Regarding the information of the assets that must be managed in the operation and maintenance phase, the British Standard BS 8210:2012 establishes a list of the main records to be managed. According to the standard, asset data must include information such as the cataloguing of the identification number, location, useful life expectancy, discrimination, model and manufacturer, date of manufacture, supplier, date of acquisition and installation, cost, parts and cycle for replacement, energy consumption, depreciation and the final post-depreciation value, the maintenance cycle and the cost and type of training required for the maintenance operator (BS 8210:2012 *apud* Mota; Moreira, 2025, p.188).

This information can be recorded in hospital maintenance management systems, CAFM – Computer *Aided Facility Management/CMMS – Computerized Maintenance Management Systems*, which manage infrastructures and maintenance work orders in an ordinary way, or integrated into more advanced systems, which create the connection between FM – *Facility Management* systems and BIM modeling for asset management. The advantage of having an AIM model – *Asset Information Model* of the building, defined in the Brazilian Standard ABNT NBR ISO 19650-1:2025 as the information model related to the operation phase of an asset is that it associates geometric data with non-geometric data, in addition to being loaded with the information necessary for a more systematic management of the processes involved (ABNT NBR ISO 19650-1:2025).

FM – *Facility Management* systems, which enable integration with AIM – *Asset Information Model*, can enable this connection in different ways: directly, in which BIM models, in native or open formats ".ifc" – *Industry Foundation Classes*, can be inserted into the systems; through a connection through the development of an API – *Application Programming Interface*, an interface that facilitates the exchange of information and the integration of functionalities; or indirectly, using COBie – *Construction Operations Building Information Exchange*, an MVD – *Model View Definition*, a subset of the ".ifc" that selects from the model only the information necessary for the operation and maintenance phase, providing the non-geometric data interchangeable between the AIM model and the FM – *Facility Management systems*.

> COBie (Construction Operations Building Information Exchange) is a specification for the capture and delivery of design/ construction information to **Facility Managers**. COBie **Specifications** can be collated using a spreadsheet template or a COBie-enabled software solution. (BIM Dictionary, 2025)

In the following examples, it is be possible to understand the assumptions that can be adopted from the initial phase of the architectural project to meet the information requirements necessary for the operation and maintenance phase of assets and the different contributions of digital technologies that can help in this phase of the life cycle of hospital enterprises.

6. Project strategies to meet the information requirements for the operation and maintenance phase of hospital assets

6.1 Case A – Requalification of the building of the former Hilton Rocha Hospital – digital technology adopted: CAD – Computer-Aided Design

The Hilton Rocha Hospital, in Belo Horizonte, was designed by architect and professor Jarbas Karman in the 70s. The building functioned as the Hilton Rocha Institute, a hospital dedicated to ophthalmological treatments and ended its activities in 2002, years after the death of Dr. Hilton Rocha in 1993, for economic reasons. In 2009, it was purchased at a public auction by a group of doctors and, as of 2017, it went through a process of construction of the approved renovation and expansion project for its physical restructuring. Illustration 1 shows the existing hospital before its renovation and expansion.



Illustration 1 . Hilton Rocha Hospital before the renovation and expansion. Source: collection of the architects responsible for the renovation and expansion of the hospital, 2011.

Although, in the construction industry, the digital transformation with the use of BIM already occurred when the plans for the renovation and expansion of the hospital began, by decision of the owners, the projects were developed in CAD. Even using digital technology, without the use of geometric models, some design premises were adopted to meet the hospital's planning requirements, with the focus on the operation and maintenance phases of the building, distributed in the following steps:

a. Topographic and architectural survey of the existing hospital: aiming at registering the previous constructive potential to define the capacity of the old building to receive the necessary infrastructures to serve the different areas and equipment of the new hospital, as well as the structural feasibility for the construction of the required expansions. The analysis provided by these surveys aimed to investigate the pre-existing qualities of the building and its correspondence to the new operational configuration, making the most of its physical characteristics. The registration of the original structure, with information on dimensions and heights of the existing built elements, served as a basis for the establishment of locations of drilling for shafts of installations and horizontal distributions of infrastructures, in such a way that their positioning was governed by a structured organization, aiming at the as-built registration for future operation.

Therefore, the projects resulting from the surveys could be superimposed on plans and sections of the new proposal, to understand the technical feasibility of this strategy (Illustration 2).

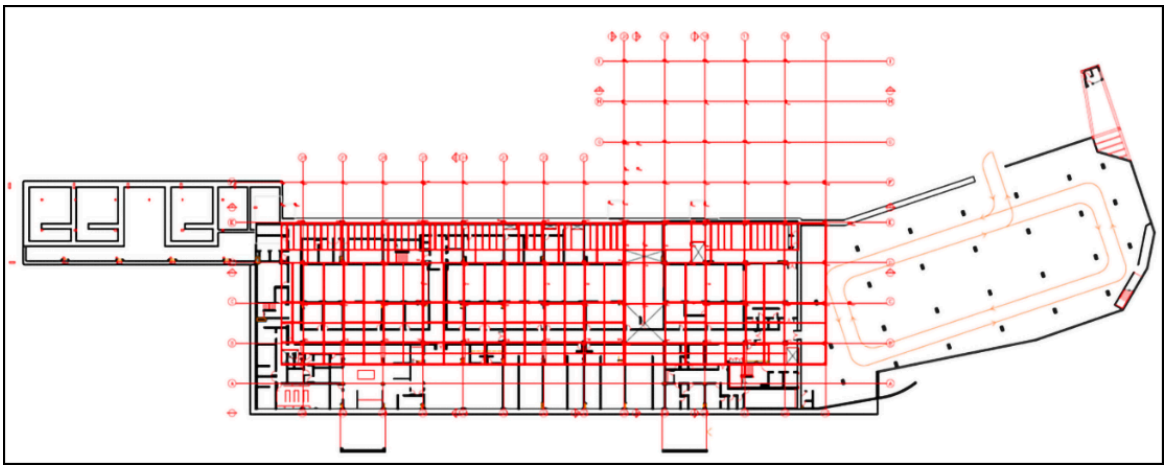


Illustration 2 . Superposition of the existing concrete structure and the expansion areas on the second floor. Source: technical collection of the architects responsible for the renovation and expansion of the hospital, 2017.

b. Master plan: from the survey and registration of the existing conditions, and the functional requirements established by the owners, the planning of the location of the hospital's care sectors was initiated, establishing a logic of spatial correspondences between the pre-existing built areas and the new areas programmed for the expansion of the services offered, considering the proximity between areas of related functions, and privacy for units to be more preserved from the public.

With the location of the new sectors of the hospital, it was possible to determine, from the initial phase of the project, the location of the strategic areas of building infrastructures and the main medical equipment, which require intense operation and maintenance processes. Consequently, the new sectors have already been designed to facilitate access to maintenance, positioning and dimensioning of technical areas, as well as proximity to the areas served and the choice of infrastructure systems appropriate to the new hospital configuration (Illustration 3).

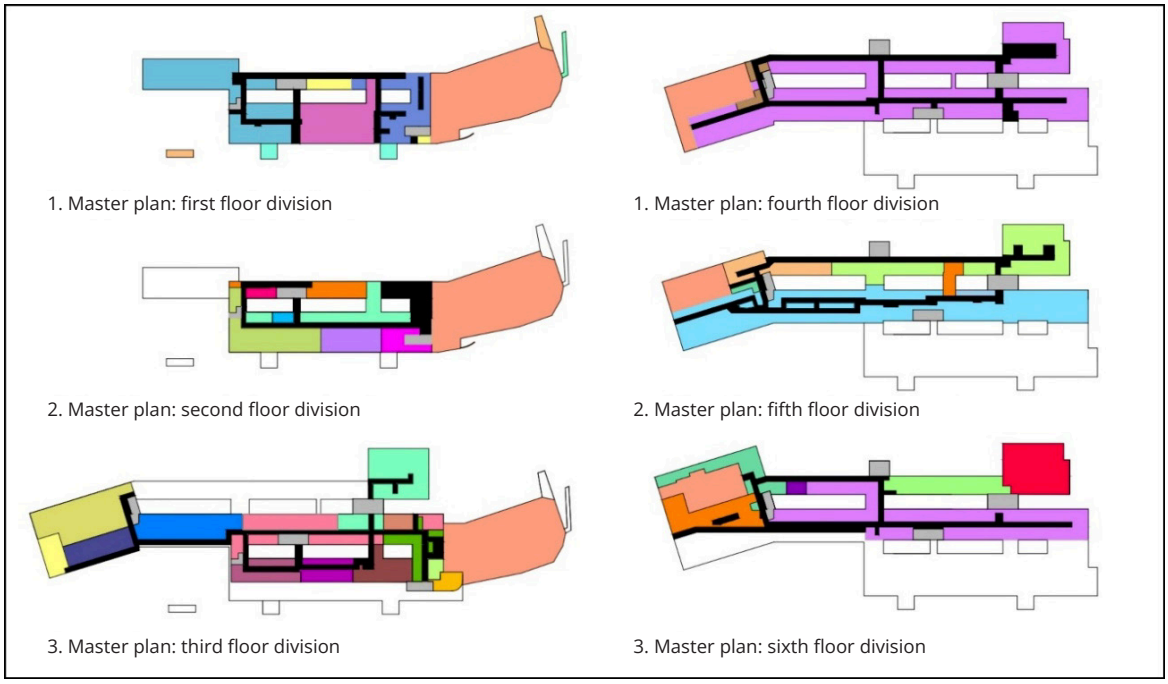


Illustration 3 . Master plan with the forecast of the location of all functional sectors and circulations. Source: technical collection of the architects responsible for the renovation and expansion of the hospital, 2017.

c. Development of the architectural preliminary project and simultaneous compatibility process with the other disciplines: although developed in CAD, the Autodoc project management platform was used for the information exchange processes, in order to manage all deliverables and communications between the architectural team, the project coordinator and the other designers, avoiding losing relevant data and allowing an agile and efficient exchange of information. The files made available in Autodoc followed a nomenclature standardization and had stages of development, even if prior to the standard, as recommended for a common data environment ABNT NBR ISO 19650:1-2025: work in progress, shared, published and archived.

The compatibility processes, duly managed by the architect responsible for the coordination, were recorded in overlapping files of plans and sections of various disciplines involved in the functional sectors, in addition to being documented in the shared repository of files in Autodoc, in such a way that all those responsible for the disciplines had the necessary information to solve the interferences between them and communicate the changes simultaneously through the system (Illustration 4).

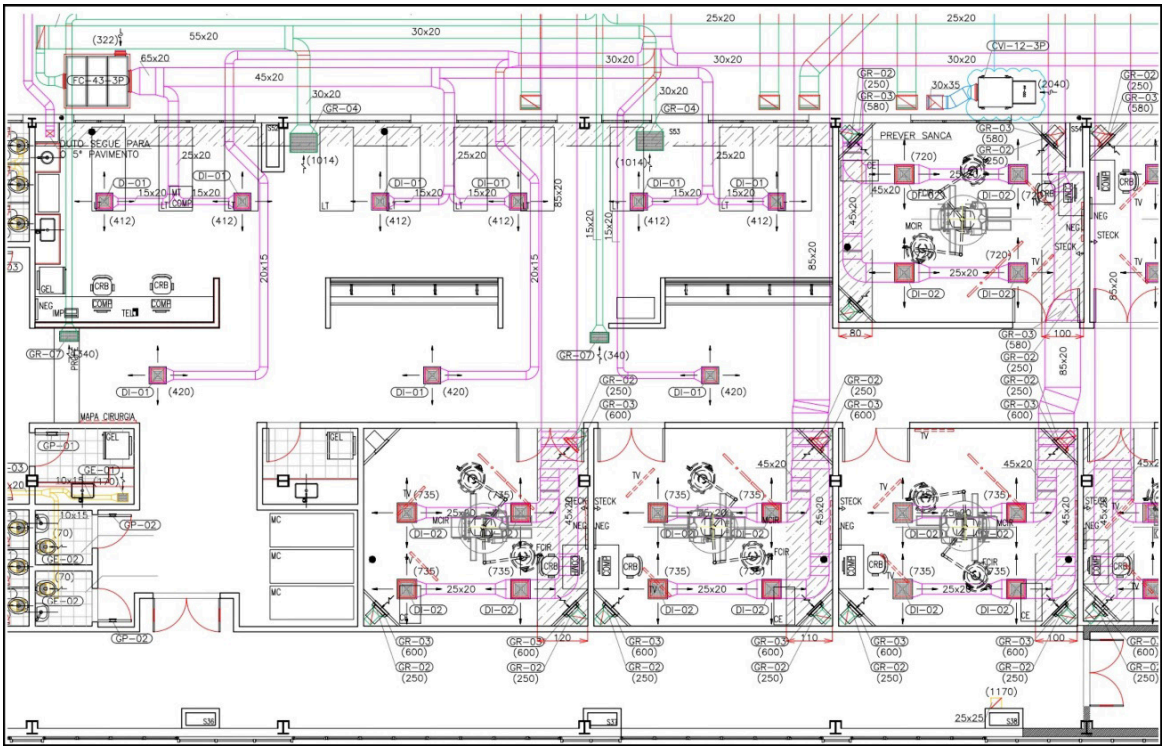


Illustration 4 . Example of the compatibility of part of the Outpatient Surgical Center sector: architecture x structure x air conditioning system. Source: technical collection of the architects responsible for the renovation and expansion of the hospital, 2018.

d. In the preliminary design phase, the interaction of the architectural team with the other designers ensured the determination of vertical routes for the distribution of the infrastructures, the shafts, throughout the building, providing for their future characterization with the registration of all pipes named by location in the built structure, in order to facilitate the identification of the assets to be managed in the operation and maintenance phase. Another premise given from the beginning by the architectural team to the other designers was the determination of horizontal plans for the distribution of infrastructure power supply networks, through the passage of relevant pipes through the ceilings of the main circulations and, when possible, not limited by the existing ceiling heights, at different heights, avoiding collisions between the various disciplines as much as possible (Illustration 5).

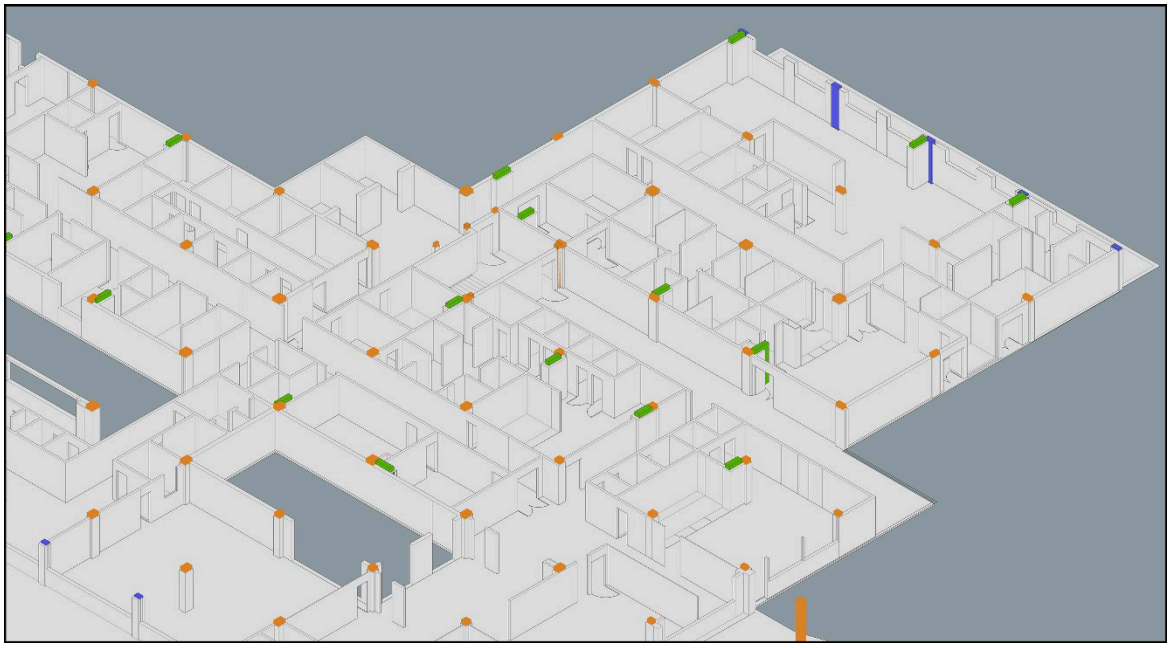


Illustration 5 . Illustration of the positioning of the shafts in green, and pillars in orange, determining the vertical passages of infrastructures. Source: technical collection of the architects responsible for the renovation and expansion of the hospital, 2017.

e. With the development of the executive projects, the architectural team created a file in Excel format with all the existing infrastructures in each of the shafts, already identified by their location in the building, in order to record the type of existing infrastructure, the dimensions of the corresponding pipes and the final sizes of the shafts (Table 1).

TAG SHAFT	PAVIMENTOS	ESTRUTURA	EIXO	MAPEAMENTO E TAG DOS SHAFTS - PRUMADAS HIDRÁULICAS / GASES													
				AF	AFV	AQ	RT	IRR	TQ	TV	TG	TS	END	AS	AP	APA	API
S1	3º	2	12-B	1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ40	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ28	1XØ22	1XØ40	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2						1XØ25	-		1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S2	3º	2	11-B	1XØ40	-	1XØ40	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ75	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ28	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2						1XØ25	-		1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S3	3º	2	10-B	1XØ40	1XØ25	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	2º	2		1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2		1XØ40	-	1XØ35	1XØ22	1XØ25	-	1XØ75	1XØ100	-	-	-	-	1XØ100	-
S4	3º	2	9-B	1XØ40	1XØ40			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1x Ø100	-
	2º	2		1XØ40	1XØ40			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-
	1º	2		1XØ32	1XØ25			1XØ25	-	1XØ75	-	-	-	-	-	1XØ100	-

Table 1 . Example of part of the identification spreadsheet of the 140 shafts created in the building, since the preliminary architectural design phase, and filled in with the locations and installations contained therein. Source: technical collection of the architects responsible for the renovation and expansion of the hospital, 2018.

Although the projects were developed in CAD, the premises of initial indication of the infrastructure passage routes in shafts and in predetermined horizontal planes and located with systematized naming

ensured that the data was not lost throughout the construction process and subsequent operation of the hospital.

The hospital has been operating since October 2020.

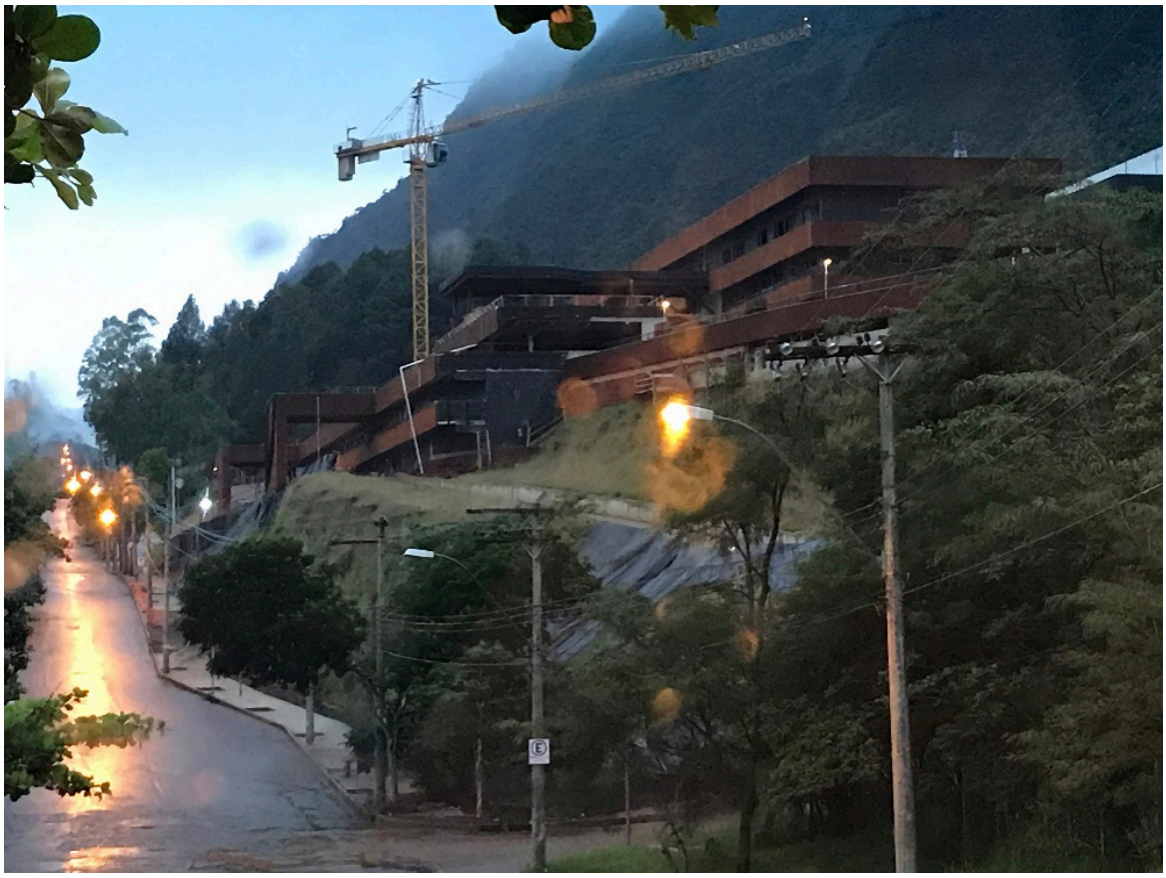


Illustration 6 . Photograph of the final phase of the work. Source: authorship, 2019.

6.2 Case B – Identification of information requirements for asset management in a hospital – digital technology adopted: BIM – Building Information Modeling

The use of BIM for FM – *Facility Management* has been incorporated into highly complex projects more frequently, based on the understanding that the AIM – *Asset Information Model* becomes a great ally for the efficient operational management of the building.

The case presented in this research is under development and is the joint construction of researchers, users, owners and engineers who are studying a way to make the data of physical infrastructures and medical equipment of a hospital can be identified and stored in the model for its future use in its operation and maintenance phase in an FM – *Facility Management* system to be implemented.

The methodology adopted so far is composed of the following steps:

1. Identification of the assets of the most relevant systems of the building to be considered in the models of physical infrastructures and clinical engineering: from the physical infrastructure projects of electrical, air conditioning and hydrosanitary systems and medical equipment, the corresponding assets were extracted in Excel tables, from the models of each discipline, to identify the criticality and importance of each of them for the operation and maintenance phase.

2. Selection of assets by the teams responsible for the operation and maintenance of the hospital: with the tables prepared for each system, they were submitted to those responsible for the operation and maintenance of the building so that, based on their understanding, the strategic assets were selected, with the objective of delimiting exactly the number of assets to be managed[5].

Besides submitting the asset tables, a list of information concerning each asset was sent, which was developed as described by Mota *et al*. (2023), based on the British Standard BS 8210:2012, together with another list, containing the information identified by the team responsible for managing the processes in the reality of operation and maintenance, and deemed important to be recorded in the models.

Initially, among the important information resulting from the team's analysis, the following were chosen asset identification, code, description, condition, location, criticality, acquisition date, model, manufacturer, initial cost, dimensions, photograph, serial number and SOP – Standard Operating Procedure. These requirements should be applied to the parameters of the assets in their geometric models of each discipline of origin, as exemplified in Illustration 7, in the discipline of clinical engineering.

5 One of the prerogatives of using the BIM methodology is the assertive choice of the information necessary for the models to be loaded only with that strategic and essential information, avoiding excess information and, on the other hand, the absence of it. Therefore, the need for collaborative work, with the presence, mainly, of senior management and FM managers – Facility Management in the choice of information to be inserted in the model.

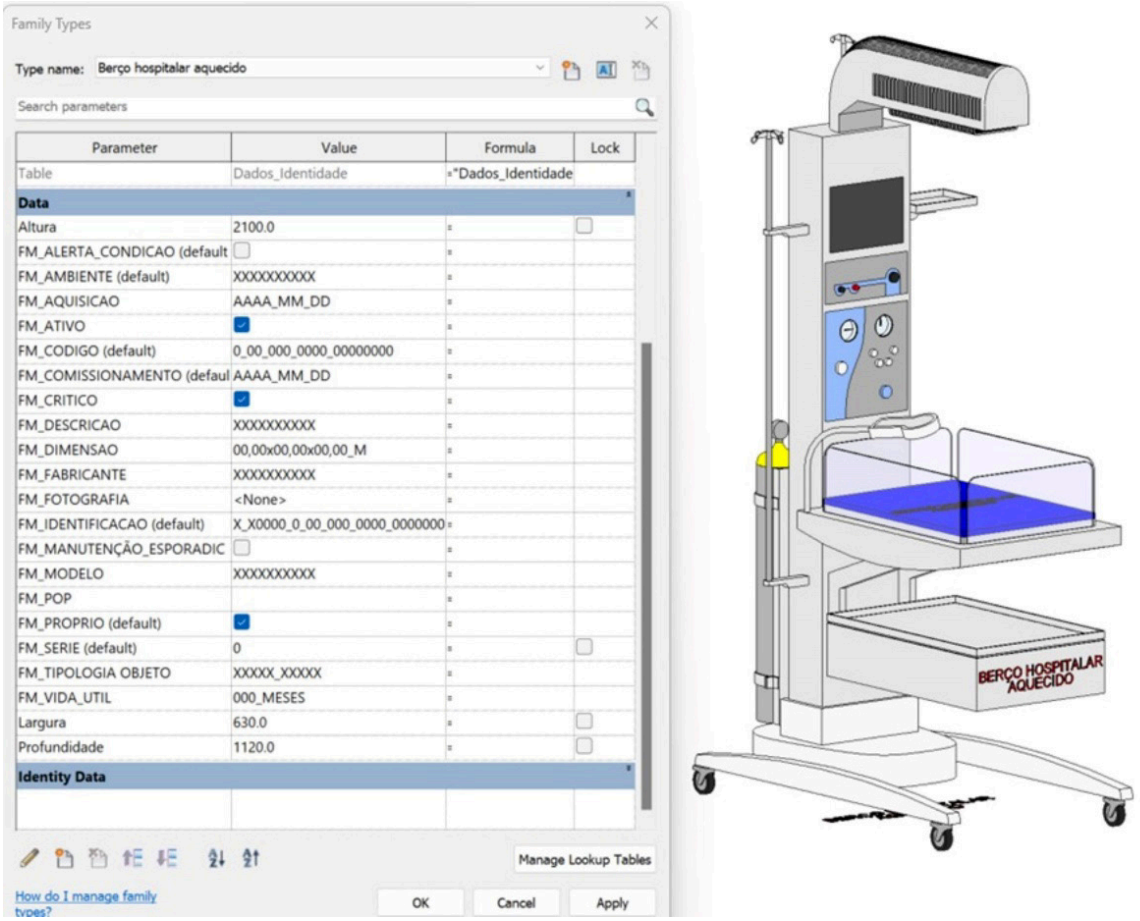


Illustration 7 . Example of the introduction of parameters in the clinical engineering model in a hospital equipment, based on the selection of the necessary information made together with the hospital team. Source: image courtesy of SIPPRO Engenharia, 2023.

3. Development of AIR – *Asset Information Requeriment.*

With the necessary information selected, a document was built with the standardization of the coding to identify each of the assets to be managed in a table to be completed from the beginning of the work, which should be updated as the assets are purchased, installed, commissioned and inserted in the model that accompanies the construction phase until the as-built model is completed and delivered to the operation phase, becoming the AIM – *Asset Information Model*. From this delivery, in the future, this model must always be updated, so that possible modifications in processes of renovations and asset replacements are recorded and the model continues to provide the necessary information for the continuous process of the building's life cycle.

4. In parallel with determining the information concerning assets, it was carried out research on FM – *Facility Management* systems capable of enabling integration with the BIM model, as described in the article by

Mota *et al* (2023). Of the existing FM systems selected and available in the Brazilian market, eight were exhaustively researched on the requirements to meet the demands of the hospital's operation and maintenance team in terms of implementation and use support, 2D and 3D visualization capacity, access to asset documentation, mobile and *offline* access to the system, platform and cloud storage limit, language, type of integration with the BIM model, type of collaboration and communication between users, data export possibilities, QR Code reader, connection to sensors, inventory control, registration of man-hours, generation of reports and *dashboards* and environment management. In addition to these general requirements, specific requirements for hospital buildings were added: clinical engineering management, cost center, integration with hospital care management systems, inventory of materials and medicines, and purchasing.

The systems are being tested by hospital users and, after choosing the system to be adopted, the next phase will be the integration of the asset model with the facilities management platform.

It is expected that, from the integration, the information loaded into the model will be shared with the hospital's operation and maintenance management system, consisting of a powerful tool for improving processes and the quality of services provided by the institution to all sectors and users of the hospital.

7. Conclusions

The lessons learned from the two approaches discussed above revealed both convergences and divergences in terms of methodology and outcomes.

In CAD-based workflows, it is possible to organize and structure information during the design phase so that essential asset data are preserved and made available for operation and maintenance activities. However, unlike BIM, this information is not intrinsically linked to the building geometry, preventing users from directly visualizing assets within a digital representation of the facility. Although the identification and organization of relevant information are feasible, the facility management (FM) system must be populated through the manual entry of data extracted from project documentation. This process duplicates data registration and increases the effort required for information management. Furthermore, throughout the operation and maintenance phase, the likelihood of inconsistencies and data loss increases substantially, since any modification to an asset must be updated both in the project documentation and separately within the FM system.

Conversely, when a BIM model is integrated with an FM platform from the design and construction stages onward, the model can be progressively populated with all the information required for the operation and maintenance phase, in accordance with the Asset Information Requirements (AIR). The subsequent step consists of selecting an FM platform capable of interoperating with the BIM model. This integration may occur through native software formats, the Industry Foundation Classes (IFC) open standard, application programming interfaces (APIs), or the exchange of structured asset information using the Construction Operations Building Information Exchange (COBie) format.

Among these alternatives, direct integration through native formats or fully interoperable platforms offers the greatest operational efficiency by minimizing data duplication and enabling bidirectional information exchange between the BIM model and the FM system. By contrast, integrations based on IFC, APIs, or COBie may be limited to unidirectional data transfer or require periodic re-export and re-import of updated datasets whenever assets are replaced or modified. Such procedures increase operational complexity and may compromise the consistency of information over time.

One of the principal advantages of BIM-enabled facility management is the integration of geometric and non-geometric information within a single digital environment. This integrated information repository facilitates rapid access to asset data, improves decision-making, enhances maintenance planning, and increases the responsiveness of operation and maintenance teams. As a result, healthcare organizations can achieve higher levels of operational efficiency, better asset performance, and improved quality of the services delivered.

Regardless of the technological platform adopted, recognizing the importance of preserving reliable asset information throughout the lifecycle of complex facilities such as hospitals is essential. The identification of Asset Information Requirements (AIR) from the earliest design stages through construction and handover should be understood as a shared responsibility among designers, contractors, facility managers, healthcare professionals, and project owners.

The adoption of BIM for facility management represents a significant advancement in the management of healthcare facilities and is gradually expanding in Brazil. As investments in digital transformation continue and BIM implementation becomes more widespread, it is expected that Brazilian hospitals will increasingly adopt integrated information management practices, leading to substantial improvements in operational efficiency, maintenance performance, and the overall quality and resilience of healthcare infrastructure.

8. Bibliography

ABECLIN – Associação Brasileira de Engenharia Clínica. Disponível em: https://abeclin.org.br/. Acesso em: 15 outubro 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 19650-1: Organização da informação acerca de trabalhos da construção – Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção – Parte 1: Conceito e princípios. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 41018:2023: Facility management – Desenvolvimento de uma política para facility management. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT NBR ISO 55000: Gestão de ativos – Terminologia, visão geral e princípio. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BIM Dictionary (2019), COBie, version 1. Disponível em: https://bimdictionary.com/en/cobie/1. Acesso em: 3 nov. 2025.

BOECKEL, C.; ROUVENAT, F.; Incêndio no Hospital Badim: vítimas morreram por asfixia e desligamento de aparelhos. **G1 Rio**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de janeiro/noticia/2020/10/27/bombeiros-sao-chamados-para-incendio-no-hospital-federal-de-bonsucesso.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

CAETANO, C.; MANSUR, R., Incêndio na Santa Casa de Belo Horizonte: o que se sabe até agora. **G1 Minas**, Belo Horizonte. Disponível em: https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2022/06/28/incendio-na-santa-casa-de-belo-horizonte-o-que-se-sabe-ate-agora.ghtml

COELHO, R. C. H., Incêndio atinge o Hospital Federal de Bonsucesso. **G1 Rio**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/10/27/bombeiros-sao-chamados-para-incendio-no-hospital-federal-de-bonsucesso.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

G1 Rio. Princípio de incêndio é controlado no Hospital Lourenço Jorge, na Barra da Tijuca. **G1**, Rio de Janeiro. Disponível em: https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2020/10/01/principio-de-incendio-e-controlado-no-hospital-lourenco-jorge-na-barra-da-tijuca.ghtml. Acesso em: 15 out. 2025.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. (ISBN 85-224-3169-8).

IFMA - International Facility Management Association. Disponível em: https://www.ifma.org/. Acesso em: 2025.

KARMAN, J. **Manutenção e Segurança Hospitalar Preditivas**. São Paulo: Estação Liberdade, IPH - Instituto de Pesquisas Hospitalares 2011, p.41 e p.45. (ISBN 978-85-7448-189-0).

MOTA, P.; MOREIRA, L. Modelagem da Informação na Gestão de Ativos. In: RUSCHEL, R. C.; LIMA, M. M. X.; BÖES, J.S.; (org.). **Bim**: concepção, construção e operação: ensino e prática. Rio de Janeiro: LTC, 2025, p.188. (ISBN 978-85-216-3901-5).

MOTA, P. P.; MAZZIEIRO, A.T; JOKO, C.; MOREIRA, L. C. S. Identificação das potencialidades de sistemas FM integrados ao BIM para uso em ambientes hospitalares. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 4., 2023. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2023. p. 1–8. DOI: 10.46421/sbtic.v4i00.2624. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/2624. Acesso em: 15 out. 2025.

Autora

Adriana Tonani Mazzieiro holds a bachelor's degree in Architecture and Urbanism, and a master's degree in Architecture and Urbanism, with research on Methodology for restructuring existing general hospitals (1998). Currently, she is a PhD student at the Federal University of Minas Gerais (UFMG), in the NPGAU Program of Architecture and Urbanism, with research in digital technologies, mainly focused on BIM. Adriana is a member of the UFMG BIM cell in the ANTAC Network – National Association of Built Environment Technology; worked as adjunct professor I of the Architecture and Urbanism course at Fumec University, from 2002 to 2022 and as substitute professor of the Architecture and Urbanism course at UFMG, from 2024 to 2025. Since 2025, Adriana has been a professor of the master program in BIM Management at the Zigurat Institute of Technology, in the discipline of BIM for Facility Management. Additionally, Adriana was the architect and urban planner responsible for the: (i) Santa Casa de Misericórdia de Belo Horizonte, from 1991 to 1995; (ii) the renovations and expansions of the Military Police Hospital of Minas Gerais, from 2000 to 2010; and (iii) for the renovation and expansion project of the former Hilton Rocha Hospital, from 2011 to 2019, where she assumed, from 2017 to 2019, the coordination and compatibility of executive projects concerning areas of 38,000 m2. Finally, Adriana has been founding partner of Quattromani Associated Architects since 2000, and BIM coordinator at SIPPRO Engineering since 2022.

Acknowledgement:

The present work was carried out with the support of the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Coordination for the Improvement of Higher Education Student Body) – Brazil (CAPES) – Financing Code 001.

Institution: Universidade Federal de Minas Gerais (Federal University of Minas Gerais)

Contact details: adtonani@gmail.com

Article

Circular economy in healthcare facilities

Authors
Antonio Pedro Alves de Carvalho Federal University of Bahia
Jair de Jesus Lima Federal University of Bahia

DOI: 10.62558/2358-3630/23.03.03

Abstract

The traditional linear economy—driven by an "extract-produce-discard" paradigm—has fostered technological growth at a severe environmental and social cost, including resource depletion, pollution, and waste accumulation. The healthcare sector significantly exacerbates these issues due to its intensive energy and water consumption, alongside a heavy reliance on single-use materials. To counter this, the Circular Economy (CE) offers a sustainable framework for healthcare by minimizing resource extraction and maximizing reuse and recycling. This study conducts a literature review on the application of CE principles in Healthcare Facilities (HFs). It explores sustainable design, energy and water efficiency, and waste management, highlighting successful case studies from Brazil and around the globe. Findings indicate that integrating CE into healthcare not only lowers operational costs and waste but also reduces greenhouse gas (GHG) emissions and supports the Sustainable Development Goals (SDGs). Ultimately, adopting circular strategies is crucial for harmonizing essential healthcare delivery with environmental stewardship.

Keywords:

circular economy, healthcare facilities, environment.

Introduction

Since the Industrial Revolution, society has adopted the linear economy model, heavily dependent on the extraction of natural resources, production of goods, distribution, consumption, and disposal of waste (Fernandes, 2024). Although this model has driven technological advances and economic growth, it has also significantly contributed to the generation of negative environmental impacts, such as excessive extraction of natural resources, increased pollution, and accumulation of waste, which have now become challenges that humanity must face (Barcelos, 2024) (Illustration 1).

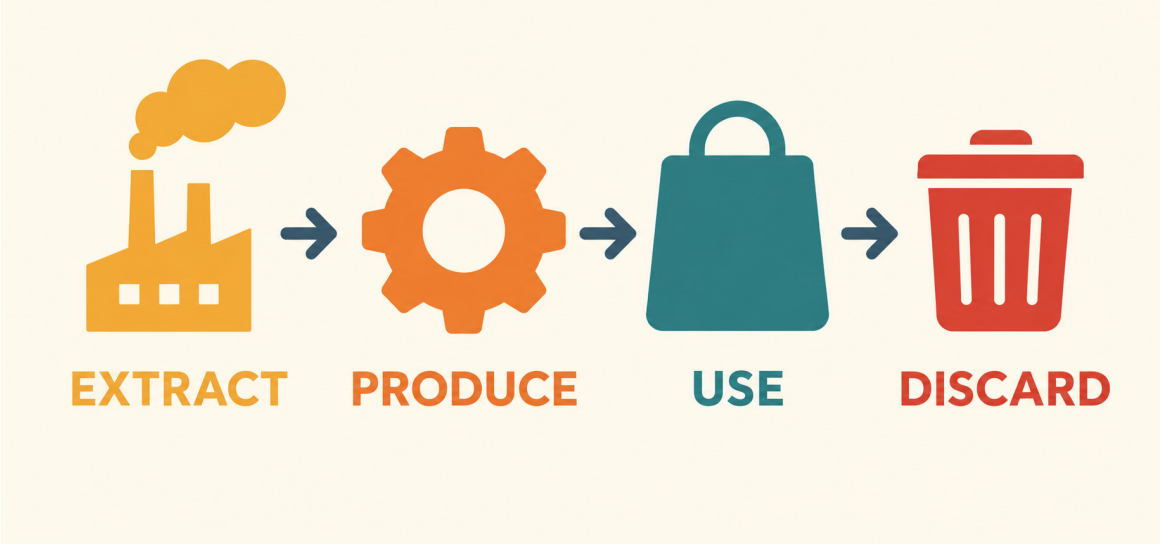


Illustration 1 . Linear economy structure. Source: AI-generated.

Among the main consequences of this system are depletion of natural resources, excessive generation of waste, emission of greenhouse gases (GHG) and other products that are harmful to the environment, putting human health at risk due to air pollution and soil and water contamination, in addition to causing phenomena such as ozone layer depletion, biodiversity loss and catastrophic climate change (MacNeill *et al*., 2020).

Such effects are linked to the various stages of the process of "extract, produce, use and discard". The unbridled exploitation of raw materials, such as minerals, water, and fossil fuels, with the consequent generation of waste, contributes to the depletion of natural resources and pollution of the environment. Pollution is linked to the production process because, to ensure the manufacture of goods in a consumerist society, the emission of by-products is increased, contaminating air, water, and soil. Early and inadequate disposal of products intensifies waste generation, aggravating environmental pollution (Barcelos, 2024).

When operating under the linear economy model, the health sector becomes responsible for a significant part of GHG emissions. Healthcare facilities (HFs) and the medical devices used are based on this model, being dependent on single-use disposable equipment (MacNeill *et al*., 2020). According to the Health Care Without Harm report, made in collaboration with Arup Consultoria (2019), in 2019, the health sector was responsible for about 4.4% of the total GHG generated in the world, which corresponds to two gigatons of carbon dioxide. This contribution is similar to the annual GHG emissions of 514 medium-sized coal-fired power plants. In addition, if it were considered a country, the health system would be the fifth largest emitter on the planet (Karliner *et al*., 2019).

GHG emissions resulting from healthcare occur by various means, especially energy consumption, transportation, manufacture, use, and disposal of products in general. Emissions occurring directly from health facilities and vehicles belonging to the sector correspond to about 17% of the area's global footprint. Approximately 12% are related to indirect emissions associated with purchased energy, such as electricity, steam, cooling, and heating. Most emissions – about 71% – are related to the supply chain, encompassing production, transportation, and disposal of inputs, such as medicines, chemicals, food, medical devices, and hospital equipment (Karliner *et al*., 2019).

The concept of circular economy (CE) emerges as an innovative solution, which seeks to implement a new production system, establishing significant structural changes and assuming a greater role by going against the traditional model of linear economy, known for its practices defined by the "open cycle" paradigm: extract-produce-discard (Abdalla; Sampaio, 2018).

CE aims to reduce the use of raw materials and their associated environmental impacts, with strategies that extend the useful life of resources. According to Viet (2012), this is made possible by the 3R principle, which consists of practices to be adopted with the objective of increasing the useful life of materials already processed, reducing the extraction of natural resources for use as raw materials:

- **Reduce** – apply management techniques to minimize the number of materials consumed for a given purpose, such as water, energy, and minerals.

- **Reuse** – to use again a material, either for the same purpose for which it was developed, or for a similar one, extending its useful life, before being discarded or sent to recycling.

- **Recycling** – set of techniques aimed at reusing waste, reinserting it back into the production cycle. This process includes a series of

activities, such as collecting, sorting and processing materials, to transform them into raw material for manufacturing new products (see Illustration 2).



Illustration 2 . Circular economy structure. Source: SMAS-Sintra (2025).

The adoption of a circular model in the health sector has the potential to promote significant reductions in operating costs, reduce the amount of waste generated and environmental impacts, in addition to contributing to the improvement of the quality of services and public health (Fernandes, 2024). At the same time, the adoption of circular practices contributes directly or indirectly to the advancement of the Sustainable Development Goals (SDGs) established by the United Nations (UN) to be met by 2030, such as SDG 3 (Good Health and Well-Being); SDG 6 (Clean Water and Sanitation); SDG 7 (Affordable and Clean Energy); SDG 8 (Decent Work and Economic Growth); SDG 11 (Sustainable Cities and Communities); SDG 12 (Responsible Consumption and Production); SDG 13 (Climate Action); and SDG 15 (Life on Land) (Azizuddin; Shamsuzzoha; Piya, 2021; Schroeder; Anggraeni; Weber, 2019).

The SDGs, along with sustainable finance, play an important role for the health sector. For government and healthcare facility administrations, it is critical that their financing prioritizes the inclusion of environmental, social, and governance (ESG) factors in investment decisions (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022).

HF infrastructure can play a key role in making the health sector less polluting and reducing its impact on climate change. However, due to high demand, achieving sustainability goals from carbon neutrality by 2030 will require a significant shift from healthcare providers. The GHG emissions generated by this sector are strongly related to its performance, the type of services and the place where they are provided, as well as policies aimed at strengthening best practices that contain the demand for services (Or; Seppänen, 2024).

According to the World Health Organization (WHO, 2009), by reducing the carbon footprint and moving towards neutrality, the health sector can become an example in the response to climate change, playing a leading role in advocating for a healthy and sustainable future. In this sense, it is essential to adopt a comprehensive approach based on the CE principle. This includes initiatives such as sustainable *design* strategies, energy efficiency procedures, water saving, sewage treatment, and waste management, reducing the environmental footprint of the sector, which has increasing importance in modern society.

Methodology

This article consists of a literature review aiming at gathering, analyzing, and synthesizing the existing knowledge regarding circular economy in healthcare establishments. The purpose is to present a review on how the transition to a circular model can be applied to HFs, addressing issues such as sustainable *design*, energy efficiency, water use and waste management.

To this end, we searched open-access databases of Google Scholar, CAPES Journals, Scielo, Scopus and SciSpace, using keywords related to the theme, such as *Circular Economy; Circular Economy and Healthcare Establishment; Circular Economy Strategies in Hospitals; Energy Efficiency in Hospitals; Sustainable architecture in hospitals; Water Saving Strategies in Hospitals; Hospital Wastewater; Circular Economy in Hospital Sewage Treatment; Hospital Waste Management* and its counterparts in Portuguese.

Also included in the review, there are materials that directly addressed the application of the circular economy in healthcare facilities published in the last five years, with full text available in Portuguese or English. In some cases, studies of greater relevance were considered, even if they did not meet the criterion of publication period. On the other hand, works that were not directly linked to the central theme, as well as documents from closed domains, were excluded.

Initially, 91 studies relevant to the theme were identified. For the selection of references, the inclusion and exclusion criteria were applied, and 76 were selected to compose the review.

Design strategies

The architecture of HFs is characterized by high complexity and functional requirements linked to medical procedures and practices, which undergo constant changes and updates (Lopes, 2014). According to Biro (2024), the construction sector, as well as the design, is responsible for more than 30% of the extraction of the planet's natural resources, making it essential that all constructions seek greater sustainability.

More than being a trend or competitive edge, sustainability in health-oriented buildings has become a must-have since the planning stage. The introduction of environmental sustainability in healthcare units can occur through the inclusion of sustainable construction principles in new projects, as well as in the modernization of existing hospitals (WHO, 2009).

For sustainable HF projects, it is essential to consider the following aspects:

- **Environmental** – e.g.: adapting to the environment using existing natural resources.
- **Economic** – e.g.: use of rational, standardized, flexible, modular construction systems with reuse of materials, to avoid waste and waste generation; qualification of labor and the adoption of technologies that contribute to the reduction of water and energy consumption.
- **Social** – e.g.: commitment to the well-being of all users involved in all stages of the construction, without neglecting aesthetic issues (Lopes, 2014).

There are several strategies related to healthcare buildings that cause it to have minimal environmental impact. It is essential to apply these strategies in all stages of the building's life cycle, such as planning, design, execution, occupation, maintenance, rehabilitation, and eventual disassembly (Vilas-Boas, 2011). In this sense, the application of sustainable design strategies can be considered as an effective approach, as it contributes to increasing the useful life cycle and reducing the maintenance costs of the building (Alsawaf; Albadry, 2022). These methods reduce environmental impact while improving social equity, patient comfort, and healthcare worker productivity (Biro, 2024).

An example of a sustainability strategy is the Design for Adaptability and Disassembly (DfAD). DfAD, when applied in the planning of the useful life of health buildings, can positively favor sustainable development (ISO, 2020). Disassembly, following the 3R principle – reduce, reuse, and recycling – is important for the recovery of construction materials, especially during maintenance, renovation, relocation, and reassembly

stages, enabling non-destructive recovery of these materials and their reintroduction into the production chain, either to perform the same function or to originate new products (Davis, 2024). The introduction of adaptability principles, on the other hand, can reduce demolitions and construction of new buildings by enabling the reuse or modification of existing structures, extending their useful life and allowing them to accommodate a greater variety of uses, ensuring the effective use of resources and the implementation of CE principles in buildings (ISO, 2020).

As a basic principle for the DfAD approach, modular building construction plays a key role in promoting sustainability by reducing building-related environmental impacts (Paliwal, 2019). This principle is particularly useful for healthcare buildings, which traditionally requires frequent changes of use. This construction model offers a potentially sustainable alternative to the building process, based on the use of prefabricated parts that are installed and connected on site for the assembling of buildings with high functional flexibility (Lawson; Ogden; Goodier, 2014). The use of modules in construction allows for the development of buildings with structures that reduce waste, optimize the use of materials, and take an efficient approach to address the challenges of industrialization and maintenance (Morales, 2023).

According to Morales (2023), the implementation of modular construction allows for more efficiency of the materials used and a reduction in waste generation – approximately 90%, when compared to the traditional construction model – since approximately 70% of the construction process can take place in a controlled environment. Using eco-labeled materials, as well as recycling and reusing modular components at the end of their life cycle, intensifies the reduction of losses.

Modular construction provides greater flexibility in the design of projects, facilitating adaptability and disassembly processes. Therefore, projects might meet different purposes during the use or recovery of products, parts, and materials, if a building must undergo renovation. After the deactivation of modular buildings, their components can be recycled or reused in new units more easily, contributing to decreased disposal of construction materials (Sajid *et al*., 2024).

A successful example of the applicability of the modular construction system in buildings aimed at the health sector are the SARAH hospitals, planned by architect João Filgueiras Lima, known as Lelé. Prefabricated systems in reinforced mortar and metal structure are widely used in all stages of the buildings (Illustration 3), from the superstructure to hospital objects, which provides more flexibility and facilitates the stages of construction, assembly and, especially, the maintenance and future expansions of hospitals (Lukiantchuki *et al*., 2011).



Illustration 3 . Outside view of SARAH Technology Center (CTRS). Source: Lukiantchuki *et al.* (2011).

The integration of biophilic design into HF architecture represents another efficient measure to promote sustainability in the health sector (Zhao; Zhan; Xu, 2022). This approach seeks to integrate natural elements into the configuration of built environments, with the potential both to favor users' well-being and promote greater sustainability in the building, by reducing energy consumption and encouraging environmentally responsible construction practices (Santos; Torres, 2024).

In the Brazilian context, Albert Einstein Hospital, located in São Paulo, is an example of the applicability of biophilic design. The green roof system (Illustration 4) helps to reduce the heating of the building, in addition to enabling the collection of rainwater, which is reused to water the gardens. Among the main results obtained with green roofs, the following stand out: reduction of urban heat islands, which increase the temperature in highly built places; electricity savings, due to reduced use of air conditioning systems; and control of rainwater flow, consequently reducing flooding in urban areas (Vilas-Boas, 2011)



Illustration 4 . Green roof at Albert Einstein Hospital, SP. Source: Vilas-Boas (2011).

The use of bioclimatic principles, such as ventilation, natural lighting, vegetation, and landscaping, can contribute significantly to reducing the urban heat island effect, improving biodiversity, mitigating air pollution, optimizing air quality, improving thermal comfort, and encouraging the use of certified materials, promoting indoor environments that favor the recovery of health. This practice directly supports the advancement of SDG 3 (Good Health and Well-being) and SDG 13 (Climate Action), the most enhanced by biophilic design (Zhong; Schröder; Bekkering, 2022).

The capture of natural ventilation and light in HFs can occur indirectly through different methods. Elements such as conveniently placed frames, *brises*, and windows that direct wind and sun can be adopted. As for lighting, methods such as openings on the roof, sheds, windows with *brises* and lounges with wider shaded openings stand out. Resources such as skylights or reflective pipes can be used in more complex situations, when it is not possible to incorporate large frames or open the environment to external areas, (Vilas-Boas, 2011).

Energy efficiency

HFs require energy consumption in a variety of forms, such as thermal, used for heating, hot water and steam generation, and cooling, for air conditioning systems, besides electricity cost to operate medical equipment, lighting, exhaust fan, and ventilation systems (Suszanowicz; Ratuszny, 2019). This demand is intensified due to the continuous growth in energy consumption in these facilities, since, unlike other types of buildings, the HFs often operate continuously during the 24 hours, receiving people with health problems, who are extremely vulnerable to small variations in environmental conditions. In treatment sites, it is

necessary to maintain specific parameters of temperature and indoor air quality, especially in highly specialized spaces, such as operating rooms, ICUs, and laboratories (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022).

Due to such a high energy demand, approximately 40% of the health sector's climate footprint comes from the use of electricity and thermal energy. This consumption includes energy purchased by health units and by manufacturers and suppliers of health goods and services (Karliner *et al*., 2019). Heating, ventilation, and air conditioning systems are the most important part of electricity consumption in hospitals, as they are considered essential for the health of patients, for increasing employee productivity, and for the proper functioning of medical equipment, which consume, on average, 50% of the total electricity in these buildings (Oliveira, 2021).

According to a study carried out by the *Kigali Cooling Efficiency Program* (UNEP, 2019), linked to the United Nations, which in 2018 analyzed global emissions related to air conditioning from HFs, approximately 365 million tons of CO_2 are released annually into the atmosphere due to the cooling and ventilation of buildings, equivalent to the emissions generated by more than 75 million cars or 110 coal-fired power plants during a year. The introduction of climatization systems managed by Artificial Intelligence (AI) in HF can lead to significant savings in energy consumption.

In addition to being manufactured using fossil fuels, air conditioning and cooling systems use hydrofluorocarbons (HFCs) and other cooling gases that, when released into the atmosphere, intensify the greenhouse effect (Oliveira, 2021). Besides the demands for air conditioning, HFs develop many activities that require high energy consumption, such as the use of medical equipment and specialized laboratories, sterilization, laundry, and food services (Zaza; Sepetis; Bagos, 2022). Due to these characteristics, AEs face two contradictory challenges: meeting the growing energy demand while reducing the carbon footprint in the sector (Tomanek, 2024).

Much of the environmental impacts on public health produced by energy consumption result from the burning of fossil fuels, such as oil, coal, and gas, generating GHG emissions and air pollution, influencing both climate change and health problems. In this sense, with the improvement of energy efficiency and the transition to clean and renewable energy sources, the health sector can play a vital role in mitigating GHG emissions and reducing the damage to public health caused by climate change and atmospheric pollution (Corvalan *et al*., 2020).

Various renewable energy sources can be introduced into hospital buildings for the generation of electricity, heat, and cooling, such as solar, wind, biomass, and geothermal energy. Low-carbon technologies, such

as cogeneration systems and heat pumps, can also be used for the same purpose (Vourdoubas, 2022). These alternative energy sources can be used in lighting, pumping and water heating systems, uses that correspond to a considerable part of the energy consumption of health buildings, both in developed and developing countries (WHO, 2009), contributing to the reduction of the climate footprint and to the increase of energy resilience, in addition to complying with current regulations and global goals related to the mitigation of environmental disasters (Vourdoubas, 2022)

Solar energy is considered one of the best options to ensure long-term energy sustainability, as it offers several advantages, such as being an abundant source, having reduced transmission and distribution losses, low operating costs, and being a clean source, reducing the intensity of fuel emissions in general (Duraivelu; Elumalai, 2021). This system can be used to produce solar energy through either photovoltaic or thermal technology, being used in small, medium, and large energy generation systems (Vourdoubas, 2022).

A study carried out by Al-Rawi, Bicer, and Al-Ghamdi (2023), in a hospital situated in the Gulf Cooperation Council (GCC) region, which employs a solar-powered water heating system, highlighted the potential of the combined integration of solar thermal and photovoltaic technologies into HFs in the region, enhancing benefits such as reduced energy costs, increasing energy security and promoting sustainability. The results showed that the solar thermal system used in the hospital contributes with about 12% of the energy costs of the hot water systems, with an efficiency of around 46%; the photovoltaic system collaborated with approximately 29.6% of the total HVAC load, evidencing the potential of both systems to promote energy efficiency and reduce the dependence on traditional energy sources in HFs.

In a study conducted in two hospitals located in Romania, Prada *et al*. (2020) show that the implementation of photovoltaic solar energy can meet 62.68% to 75.51% of the energy consumption needed for heating, air conditioning, and hot water production. In addition, the example demonstrated the reduction of 77% to 67% of CO_2 emissions, directly impacting global warming, pollution, and the reduction of GHG emissions.

In the global context, Vourdoubas (2021), in a review of several successful applications of renewable energy in hospitals around the world, highlighted that the use of solar energy can be energy efficient by 40% to 80%, when contributing to the cooling system, and 30% to 40% concerning hospital heating. Regarding geothermal energy, he showed that its application can obtain an efficiency of 70% to 90%, especially in the use of geothermal fluids for heating buildings.

Solar energy can also be applied together with other technologies with low or no carbon emissions, such as in cogeneration systems. In this case, at the same time that solar energy is converted into electrical energy in a central power plant, to be used to operate vapor compression coolers for the production of cooling, the waste heat rejected by the heat engine can be used to drive an absorption cooler, playing an important role in both energy savings and the reduction of environmental pollution (Çakir; Çomakli; Yüksel, 2012).

Cogeneration systems represent a promising solution to reduce GHG emissions and their operating costs. Cogeneration plants operate based on a single source of energy or fuel, the main one being natural gas (Franco *et al*., 2017). They may also utilize biomass, such as agricultural and forestry waste, by-products and waste, bioethanol, biodiesel, or biogas produced from organic waste (Vourdoubas, 2022). Its implementation aims at the simultaneous and integrated production of electrical and thermal energy, mitigating energy losses. Cogeneration can be classified into two types: combined heat and power (CHP) systems, which produce electricity and heat; and trigeneration, known as combined cooling, heating, and power (CCHP), which generates electrical and thermal energy in the form of heat and cold (Chen-Xu *et al*., 2024).

CHP and CCHP systems have higher efficiency compared to traditional generation methods. While conventional media have an efficiency of approximately 60%, CHP systems can have rates between 87% and 92%; CCHP systems, on the other hand, reach between 85% and 90%. These percentages may vary depending on the size of the project (Teke; Timur, 2014).

In the context of the use of cogeneration in HFs, Alexis and Liakos (2013) argue, through a study carried out in a hospital located in Greece, that the implementation of a cogeneration system can lead to a reduction in annual operating costs by 32%, in addition to a reduction in annual primary energy consumption by 28%. In addition, they attest to a significant annual reduction in pollutant emissions, with estimated decreases of between 46.5% and 48.6% for CO_2, between 75.9% and 82.8% for SO_2, between 2.3% and 7.5% for NOx, and between 75.9% and 82.9% for suspended particles.

The use of AI-managed lighting systems is another technological innovation that plays an important role in promoting energy efficiency in HFs (Tomanek, 2024). These systems use advanced mechanisms for lighting, such as sensors to detect occupancy, automation, and connectivity to control lighting more efficiently. Unlike traditional models, which work manually, these systems make it possible to significantly reduce energy consumption by automatically reducing or turning off lights

in unoccupied or sparsely occupied areas, adjusting brightness, color temperature, and even the direction of light depending on various factors, such as the presence of natural lighting, the time, the presence of people and the activities performed on site, in addition to the use of high energy efficiency lamps (Wipro Lighting, 2024).

According to Teke and Timur (2013), in a review of practical studies on energy efficiency and energy saving potentials in lighting systems in hospitals, the implementation of intelligent systems in HFs can contribute to savings of approximately 60% to 80% of the energy consumed, especially if used in indoor lighting and air conditioning, with an estimated payback time of between 1.5 and 5 years, varying according to the control systems and size of the establishment.

Water saving

The health sector has high water consumption, as it needs to keep environments and materials disinfected, operate medical equipment and ensure patient hygiene. Their unique characteristics mean that HFs consume significantly more water per square meter than other types of buildings, making it difficult to adopt circular economy principles in this sector (Teslim, 2024). The amount of water used depends on different factors, such as the profile of the establishment, number of beds, type of hospitalization, length of hospital existence, sources of access, general services present within the structure, including kitchen, laundry and air conditioning, institutional management policies and awareness in the management of the infrastructure in relation to the preservation of the environment, climate and cultural and geographical factors (Verlicchi *et al*., 2010).

A study conducted by the Victorian Government Department of Health (2009) related to water consumption in HFs, located in Victoria, Australia, highlighted that, within hospitals, the highest water consumption is related to: hygiene (cleaning and washing); sanitation (discharge of waste into the sewer); ingestion (drinking and food preparation); general processes (cleaning, sanitizing, sterilization, washing, heating, cooling, filtering and water treatment) and irrigation (ornamental gardens and lawns). The survey also points out that sanitary facilities (basins, showers, and sinks) represent between 20% and 40% of total consumption, while toilets (toilets and pan sanitizers) vary from 15% to 30%. Sterilization, laboratory, and cooling processes contribute about 15% to 40%, and food preparation, with 5% to 25% of total water consumption.

Water consumption in HFs also varies considerably both throughout the day and throughout the year. Regarding the average daily demand,

there may be an increase of up to 20% between the hours of 8 am and 4 pm and a decrease of 30% between 1 am and 8 am; in addition, higher average values may occur during warmer months (*Verlicchi et al*., 2010). The explanation for the high consumption of water during such morning and afternoon hours is associated with the fact that, it is throughout these periods that patient treatments and laboratory analyses are carried out (Altın; Altın, 2017).

Due to the variety of functions that require water consumption in HFs, the effective and efficient use of the resource is essential in these institutions. The implementation of water-saving routines in a hospital environment faces great restriction, since hygiene procedures and maintenance of water quality comply with strict and demanding standards (Priyalal, 2019). According to Oliveira *et al*. (2021), the water used in hospitals must be free of pathogenic microorganisms, as they represent a significant risk of severe infectious outbreaks, making it important to constantly wash hands with quality water, in addition to cleaning the environment, food production and consumption. Maintaining water quality, therefore, is fundamental, as its contamination may be related to the transmission of diseases, mainly affecting patients, who have different degrees, but always existing, of low resistance to infections (Ferreira; Caran, 2023).

Efficiency in water management in hospital buildings is achieved through the rigorous adoption of good practices and appropriate technologies, such as regular water audits, which aim to identify areas of high consumption and possible leaks. In line with this, the use of leak detection systems is essential to locate and correct as soon as possible problems that could cause significant water waste. Replacing old sanitary instruments, such as toilets, faucets, and showers, with more economical models can significantly reduce water consumption. Likewise, the use of newer dishwashers and washing machines, with low water consumption, helps to reduce waste in the kitchen and laundry areas (Teslim, 2024).

According to Silva *et al*. (2024), the introduction of greywater reuse systems and the use of rainwater are efficient solutions to promote water resource savings and environmental sustainability in HFs. These measures occur from the collection, treatment, and reuse of water from showers, washbasins, tanks and washing machines, in addition to the capture of rainwater through gutters installed on roofs, terraces and open areas. The collected water must undergo specific treatment processes, which include varying degrees of filtration, and disinfection. These waters, depending on the type of treatment, can even be used for potable purposes, making the process more expensive. The most common is the use of simple treatments, using this type of water for irrigation, cleaning, flushing toilets and washing surfaces.

Due to the complexity of the processes that use water in health, adequate technical planning is necessary for the reuse of greywater and rainwater use, such as the installation of separate pipes, efficient collection systems, as well as reservoirs protected against contamination and redistribution systems with specific pumps and pipes for these procedures. Water quality must also be inspected, and the efficiency of the systems must be ensured (Silva *et al*., 2024).

The implementation of water management and conservation strategies in HFs offers a few economic and environmental benefits. The reduction in water consumption contributes directly to the reduction of expenses in services, resulting in significant savings over time. The adoption of efficient technologies tends to reduce maintenance-related expenses and extend the lifespan of equipment. At the same time, these initiatives contribute significantly to the achievement of goals related to environmental sustainability, relieving pressure on local water resources and reducing the environmental footprint of this type of building (Teslim, 2024).

Sewage treatment

Access to sewage treatment is important for fighting water-related diseases in HFs (PAHO, 2021). As pointed out by Lima (2023), advances in the treatment of patients and the development of new drugs have contributed to the increase of liquid hospital waste generation, which ends up making it difficult to treat raw water from springs.

The amount and characteristics of wastewater generated by hospitals can vary considerably according to the services offered, such as the number of beds, the number of patients, and the availability of laboratories (Hocaoglu *et al*., 2021). In developed countries, each bed, on average, can generate more than 1,000 liters of wastewater per day, while for developing countries the estimated volume is 200 liters to 400 liters per bed per day (Kumari; Maurya; Tiwari, 2020).

Residual water from administrative areas, room bathrooms or normal wards are considered domestic. On the other hand, wastewater resulting from direct patient care, analysis and research activities, containing toxic substances, such as disinfectants, detergents, drug residues, infectious excrement, radioelements and other chemical products, such as acids, alkalis, solvents, benzene, hydrocarbons and coloring agents, are classified as specific residuals and must have their destination monitored (Chartier *et al*., 2014). Such effluents, when handled and disposed of improperly, represent a serious risk to human health and the environment, due to their ability to contaminate watersheds, pollute surface and groundwater (Majumder *et al*., 2021).

According to Lima (2023), contaminated hospital sewage, as a rule, must be treated in specialized Effluent Treatment Plants (ETR). These operations are divided into three types: physical, such as sorting, mixing, flocculation, sedimentation, flotation and filtration; chemical, which removes or converts contaminants through the addition of chemical products or reactions, such as precipitation, adsorption, and disinfection; and biological, which use microorganisms to remove organic and inorganic materials and carry out processes such as carbonaceous, nitrification and denitrification.

The purification process of HFs' effluents generally consists of five successive steps, including pre-treatment (physical and mechanical), primary treatment (physical and chemical), secondary treatment (chemical and biological), tertiary treatment (physical and chemical) and treatment of the formed sludge (supervised dumping, recycling or incineration) (Crini; Lichtfouse, 2019). Throughout these stages, suspended solid parts, sedimentable mineral matter, inorganic solids, suspended organic matter, pathogenic organisms are eliminated (Lima, 2023).

Common sewage treatment methods have disadvantages, such as excessive energy consumption, generation of large amounts of sludge and GHG emissions. These treatment processes follow a linear economy system, that is, their main objective is only to generate a treated effluent, but without providing the recovery of energy and resources (Oliveira *et al*., 2022).

According to Oliveira *et al*. (2022), the implementation of sewage treatment strategies focused on the principles of CE proposes a change in the way sewage is understood. Instead of being considered only an environmental liability, as occurs in the linear model, it becomes a resource capable of promoting revenues from its treatment, with a focus on the recovery and use of by-products. The components of the system are interpreted with a new look at sustainability, aligning with the principles of CE.

Efficient sewage treatment is a way to achieve the goals set by the UN for 2030, especially SDG 6 (Clean Water and Sanitation), which seeks to ensure the availability and sustainable management of water and sanitation for all. Within this objective, goals 6.2 and 6.3 stand out, which aim to ensure equitable access to sanitation and hygiene for all, as well as to promote improvement in water quality by reducing pollution, eliminating dumping, and minimizing the release of chemicals and hazardous materials. It also proposes to significantly decrease untreated wastewater, increasing recycling and safe reuse on a global scale (UN, 2025).

Besides SDG 6, other goals can be achieved directly or indirectly by promoting the circular economy and the sustainable development of sewage treatment systems. The generation of renewable energy from

gases from anaerobic ETR systems, the contribution to the development of sustainable cities, the control of GHG and waste from these treatments are some of the points that are associated with the goals aimed at Affordable and Clean Energy (SDG 7), Sustainable Cities and Communities (SDG 11), and Climate Action (SDG 13) (Oliveira *et al*., 2022).

Waste management

Worldwide, health is one of the fastest growing sectors, causing a significant generation of waste, due to the provision of a multitude of services for disease control and patient treatment (Kenny; Priyadarshini, 2021). Using the United States as an example, Voudrias (2018) highlighted that this country produces about 5.9 million tons of health service waste (HSW) per year. The COVID-19 pandemic was another determining factor for the increase in the generation of HSW, due to the use of significant amounts of masks and PPEs, with developing countries being the most affected by this hazardous and toxic waste, due to poor management systems (Dihan *et al*., 2023).

According to RDC no. 222, of March 28, 2018 (Anvisa, 2018), HSW are classified into five groups: A, B, C, D, and E. Group A corresponds to materials with possible presence of biological agents that, due to their characteristics, may present a risk of infection, such as laboratory materials, carcasses, anatomical specimens, tissues, transfusion bags containing blood, etc. Group B includes chemical substances that may present risks to public health or the environment, depending on its characteristics of flammability, corrosivity, reactivity and toxicity, such as medicines, disinfectants, waste containing heavy metals and laboratory reagents. Group C encompasses any materials containing radionuclides above the limits allowed by the National Nuclear Energy Commission (CNEN), including radioactive waste from research and teaching laboratories in the health area, clinical analysis laboratories, nuclear medicine and radiotherapy services. Group D covers waste that does not present a biological, chemical or radioactive risk to health or the environment, and can be compared with household waste, such as food leftovers, waste from administrative areas and materials used for hygiene, among others. Group E includes sharp or scarifying materials, such as razor blades, needles, glass ampoules, drills, diamond tips, scalpel blades, lancets, spatulas and other similar materials.

Such waste is mainly generated in hospitals, laboratories, research centers, blood banks, and nursing homes (WHO, 2024). Of the total waste generated by HFs, about 85% is general, non-hazardous, similar to domestic. The remaining 15% are considered hazardous due to biological, chemical, or radioactive contamination (WHO, 2024). For an economical

management of the treatment, however, a strict segregation at the time of production of this waste is necessary.

Inadequate management of HSW can aggravate climate change, due to open burning of garbage, which releases dangerous pollutants, including dioxins, furans and toxic metals such as lead, cadmium, and mercury, as well as considerable amounts of carbon dioxide. In addition, the disposal of biodegradable waste causes significant GHG emissions, such as methane, whose influence on the climate is even stronger than that of other gases (Deviyanti; Shahriar, 2022).

The traditional extract-produce-discard model has been predominant in waste management, resulting in increasingly visible environmental and economic impacts, especially in sectors such as health, where a significant portion of the waste generated is considered dangerous, making the process unsustainable in such environments (Sepetis; Georgantas; Nikolaou, 2025).

In this sense, the adoption of CE principles for HSW management is considered a measure that contributes to urban sustainability, as it contributes to the reduction of environmental impacts, increases resource efficiency, and strengthens circular material flows (D'Alessandro *et al*., 2024). Effective HSW management contributes significantly to the achievement of certain SDGs, especially: SDG 3 (Good Health and Well-being); SDG 6 (Clean Water and Sanitation); SDG 8 (Decent Work and Economic Growth); SDG 12 (Responsible Consumption and Production); and SDG 13 (Climate Action) (Sharma *et al*., 2021).

The implementation of CE in the HSW management system is more complex than in other sectors, due to the type of waste, especially due to the presence of hazardous substances, representing a challenge, since many materials employed in HFs are used just once, with very low possibility of recycling or reuse, even in other less demanding sectors (Dihan *et al*., 2023).

To implement a sustainable management scenario for the HSW management system, it is necessary to adopt CE strategies that involve minimizing waste generation, because the lower the waste production, the lower the costs for its management and the greater the efficiency in the use of materials. To this end, it is necessary for HFs to form teams that develop strategic procedures for waste management, such as making smart purchases based on the life cycle of products, predicting their environmental effects, such as toxicity, the cost of disposal, as well as the possibility of reusing and recycling materials (Dihan *et al*., 2023).

For CE, sustainable acquisition means, initially, a strategy that aims to reduce the consumption of natural resources and materials, as well as to minimize the environmental impacts of the inputs used, prioritizing

products composed of renewable materials or raw materials with recycled content (Sanofi, 2024). It is worth highlighting the purchase of recyclable plastic products, such as polyethylene or polypropylene, instead of tools composed of Polyvinyl Chloride (PVC), as well as the replacement of single-use face masks with others made of durable materials, which allow sterilization and reuse (Dihan *et al*., 2023).

To apply HSW treatment strategies, segregation in production becomes essential to ensure the safe handling, disposal, and minimization of environmental and health risks (Aquilina, 2025). Segregation consists of separating and selecting waste at the place of generation according to the classification adopted. Its main objectives are: to avoid contamination of waste considered common; to enable the implementation of management procedures for each separate group; to allow specific treatment for each category of waste; to minimize the risks of contamination of the responsible persons; to reduce expenses related to waste management; to enable the adoption of reuse and recycling of non-hazardous waste (Brasil, [n.d]).

Another strategy that seeks to mitigate the general effects of HSW on the environment is to extend the useful life of certain materials, either through reuse or other means, such as repair, refurbishment, or reuse. To adopt this practice, however, it is necessary to implement strict segregation techniques, accompanied by separate collections to distinguish hazardous, non-hazardous, reusable, and recyclable substances (Dihan *et al*., 2023). For the contaminated materials used in HFs to be considered reusable, it is essential that they undergo rigorous sterilization processes (Voudrias, 2018). Among the items that can be considered reusable, surgical gowns, curtains, table covers, surgical instruments, sharps containers, laparoscopic instruments, suction receptacles, and anesthetic trays stand out (Voudrias, 2018).

The reuse of materials contributes both to the reduction of cost and to the amount of waste generation. According to a survey conducted by Kwakye, Brat and Makary (2011), a reduction of approximately 15,422 kg/year of waste and savings of US$ 175,000/year was estimated in a hospital with 1,000 beds, only using reusable containers for sharps instead of disposable materials.

According to Voudrias (2018), recycling is another technique that can be undertaken at HFs before waste disposal. Due to the concerns and regulations associated with handling hazardous HSW, however, the use of recycling can be difficult, or even impossible, when it involves some types of waste. There is, however, a substantial number of non-hazardous materials in HFs that can be easily and safely recycled, contributing to environmental and financial savings. Among these materials there are blue

wrapping – a polypropylene-based material used to wrap sterile materials, and which represents approximately 20% of the waste generated in operating rooms –, cardboard, glass, paper, beverage cans, newspapers, magazines, PET plastics, batteries, and electrical and electronic equipment (Voudrias, 2018).

The implementation of recycling practices can significantly reduce the total waste generated in HFs, directly contributing to the reduction of GHG emissions associated with improper disposal and the mitigation of climate change. This initiative can promote substantial cost savings related to the disposal of this waste (Tabibi, 2024). According to Ultreras-Rodríguez *et al*. (2024), in an analysis of cases in hospitals and clinics, the adoption of recycling and reuse programs contributes to a reduction of up to 40% in the amount of waste sent to landfills or incineration. These authors also state that an 18% decrease in operating costs related to waste disposal in selected HFs was recorded.

According to MacNeill *et al*. (2020), the transition to CE in the health sector requires the collaboration of diverse groups of stakeholders, such as hospital administrators, medical providers, and equipment manufacturers, who must act with a shared goal of systemic transformation.

Conclusion

The introduction of CE in HFs is not only a viable alternative, but a necessary one in the face of the range of environmental, social, and economic challenges faced by the world population and the planet. By shifting from the linear model based on "extract, produce, use, and discard" to a practice that prioritizes reduction, reuse, and recycling, HFs can significantly minimize their environmental impacts, natural resource extraction, and generate operational and financial benefits. These practices are directly aligned with the fulfillment of the UN Sustainable Development Goals, demonstrating the importance of the health sector in this role.

The adoption of solutions such as sustainable design, energy efficiency, adequate water management, effluent treatment and responsible waste management, demonstrates that HFs can provide quality care services with environmental responsibility. The examples presented during this review reinforce the efficiency of these strategies, proving their environmental, economic, and social benefits.

Acknowledgments:

The authors thank the *Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico* (Brazilian National Council for Scientific and Technological Development) for their support to this research.

Bibliography

ABDALLA, Fernando Antônio; SAMPAIO, Antônio Carlos Freire. Os novos princípios e conceitos inovadores da Economia Circular. **Entorno Geográfico**, n. 15, p. 82-102, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.25100/eg.v0i15.6712. Acesso em: 25 jul. 2025.

ALEXIS, G. K.; LIAKOS, P. A case study of a cogeneration system for a hospital in Greece. Economic and environmental impacts. **Applied Thermal Engineering**, v. 54, n. 2, p. 488-496, 2013. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2013.02.019. Acesso em: 26 mar. 2025.

AL-RAWI, Omar F.; BICER, Yusuf; AL-GHAMDI, Sami G. Sustainable solutions for healthcare facilities: examining the viability of solar energy systems. **Front. Energy Res.**, v. 11, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fenrg.2023.1220293. Acesso em: 26 maio 2025.

ALSAWAF, Ebtisam S.; ALBADRY, Amjad M. Principles for the sustainable design of hospital buildings. **Int. J. Sustain. Dev. Plann**., v. 17, n. 6, p. 1797-1808, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.18280/ijsdp.170614. Acesso em: 11 abr. 2025.

ALTIN, Ahmet; ALTIN, Süreyya. Sustainable Water and Wastewater Management in Hospitals. **Turjoem**, Yozgat, v. 2, n. 1-3, p. 1-7, 2017. Disponível em: https://dergipark.org.tr/en/pub/turjoem/issue/31076/327724. Acesso em: 16 jul. 2025.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução da Diretoria Colegiada - RDC nº 222, de 28 de março de 2018. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2018.

AQUILINA, Jahel. **Public hospital waste segregation practices**: a scoping review. 2024. 96 p. Dissertação (Mestrado em Gestão Baseada em Evidências e Tomada de Decisão Eficaz) University of Malta, Malta, 2024. Disponível em: https://www.um.edu.mt/library/oar/handle/123456789/132878. Acesso em: 6 jun. 2025.

ARUP Global Consultancy. **Health Care's Climate Footprint**. 2019. Disponível em: https://www.arup.com/insights/healthcares-climate-footprint/. Acesso em: Acesso em: 6 jun. 2025.

AZIZUDDIN, Muhammad; SHAMSUZZOHA, Ahm; PIYA, Sujan. Influence of circular economy phenomenon to fulfil global sustainable development goal: Perspective from Bangladesh. **Sustainability**, v. 13, n. 20, p. 11455, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su132011455. Acesso em: 18 mar. 2025.

BARCELOS, Brenda Rodrigues. Economia Linear: Desafios e Soluções para um Futuro Sustentável. **Blog Crescendo Juntos**, São Paulo, 2024. Disponível em: https://cefsa.org.br/crescendojuntos/economia-linear-desafios-e-solucoes-para-um-futuro-sustentavel/. Acesso em: 29 jul. 2025.

BIRO, Andrew. 16 Sustainable Health Care Design Examples. **Green Building e Design**, 2024. Disponível em: https://gbdmagazine.com/sustainable-health-care-design-examples/. Acesso em: 15 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. **UNIDADE 05: Controle de resíduos de serviços de saúde**. Brasília, DF: Ministério da Saúde, [s.d]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/UNIDADE05.PDF. Acesso em: 06 jun. 2025.

ÇAKIR, Uğur; COMAKLI, Kemal; YÜKSEL, Fikret. The role of cogeneration systems in sustainability of energy. **Energy Convers. Manag**., v. 63, p. 196-202, 2012. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2012.01.041. Acesso em: 15 maio 2025.

CHARTIER, Yves *et al*. (eds.). **Safe management of wastes from health-care activities**. 2nd ed. Genebra: World Health Organization, 2014. Disponível em: https://www.who.int/iris/bitstream/10665/85349/1/9789241548564_eng.pdf. Acesso em: 1º nov. 2024.

CHEN-XU, José *et al*. Interventions for increasing energy efficiency in hospitals (Protocol). **Cochrane Library**, n. 3, p. 14, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1002/14651858.CD015693. Acesso em: 25 mar. 2025.

CORVALAN, Carlos *et al*. Towards climate resilient and environmentally sustainable health care facilities. **Int. J. Environ. Res. Public Health**, v. 17, n. 23, p. 8849, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph17238849. Acesso em: 31 jul. 2025.

CRINI, Grégorio; LICHTFOUSE, Eric. Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. **Environ Chem Lett**, v. 17, n. 1, p. 145-155, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9. Acesso em: 11 ago. 2025.

D'ALESSANDRO, Carlotta *et al*. Exploring circular economy practices in the healthcare sector: a systematic review and bibliometric analysis. **Sustainability**, v. 16, n. 1, p. 401, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su16010401. Acesso em: 2 abr. 2025.

DAVIS, Annette. Design for Disassembly. **Re-Dwell**, 2024. Disponível em: https://www.re-dwell.eu/concept-definition/51. Acesso em: 24 abr. 2025.

DEVIYANTI, Indah; SYAHRIAR, Irma. **Green hospitals for a healthier future.** Indonesia: OMS - World Health Organization, 2022. Disponível em: https://www.who.int/indonesia/news/detail/15-08-2022-green-hospitals-for-a-healthier-future. Acesso em: 9 maio 2025.

DIHAN, Musfekur Rahman *et al*. Healthcare waste in Bangladesh: Current status, the impact of Covid-19 and sustainable management with life cycle and circular economy framework. **Sci. Total Environ**., v. 871, p. 162083, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.162083. Acesso em: 3 abr. 2025.

DURAIVELU, Revati; ELUMALAI, Natarajan. Performance evaluation of a decentralized rooftop solar photovoltaic system with a heat recovery cooling unit. **Environ Sci Pollut Res**, v. 28, p. 19351–19366, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1007/s11356-020-12104-0. Acesso em: 27 mar. 2025.

FERNANDES, Marco Filipe Santos. **Economia Circular no Setor da Saúde**. 2024. 35 p. Dissertação (Mestrado em Economia) Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 2024. Disponível em: https://estudogeral.uc.pt/retrieve/276322/Vers%C3%A3o%20Final%20do%20Relat%C3%B3rio%20de%20Est%C3%A1gio_Marco%20Fernandes_2018263816.pdf. Acesso em: 12 mar. 2025.

FERREIRA, Isabela Gobbo; CARAN, Nara da Cruz Carolli. O papel do gerenciamento ambiental na garantia da qualidade da água hospitalar. **Rev Qualidade HC**, Ribeirão Preto, 2023. Disponível em: https://hcrp.usp.br/revistaqualidade/uploads/Artigos/478/478.pdf. Acesso em: 7 nov. 2024.

FRANCO, Andrea *et al*. A review of sustainable energy access and technologies for healthcare facilities in the Global South. **Sustain. Energy Technol**. Assess., v. 22, p. 92-105, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.seta.2017.02.022. Acesso em: 16 maio 2025.

HOCAOGLU, Selda Murat *et al*. Treatment-based hospital wastewater characterization and fractionation of pollutants. **J Water Process Eng**., v. 43, 2021. Disponível em: https://sci-hub.se/uptodate/S2214714421002920.pdf. Acesso em: 13 fev. 2025.

ISO – International Organization for Standardization. **ISO 20887:2020**. Sustainability in buildings and civil engineering works — Design for disassembly and adaptability — Principles, requirements and guidance. Geneva: ISO, 2020. Disponível em: https://www.steelconstruct.com/wp-content/uploads/ISO-20887_2020_01.pdf. Acesso em: 5 maio 2025.

KARLINER, Josh *et al*. Health care's climate footprint: How the health sector contributes to the global climate crisis and opportunities for action. **Health Care Without Harm; ARUP**, 2019. p. 43. Disponível em: https://global.noharm.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.pdf. Acesso em: 29 abr. 2025.

KENNY, Christina; PRIYADARSHINI, Anushree. Review of current healthcare waste management methods and their effect on global health. **Healthcare**, v. 9, n. 3, p. 284, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/healthcare9030284. Acesso em: 1º abr. 2025.

KUMARI, Astha; MAURYA, Nityanand Singh; TIWARI, Bhagyashree. Hospital wastewater treatment scenario around the globe. In: TYAGI, R.D. *et al*. (eds.). **Current developments in Biotechnology and Bioengineering.** Elsevier, 2020. cap. 15, p. 549-570. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7252247/. Acesso em: 13 fev. 2025.

KWAKYE, Gifty; BRAT, Gabriel A.; MAKARY, Martin A. Green surgical practices for health care. **Archives of surgery**, v. 146, n. 2, p. 131-136, 2011. Disponível em: https://jamanetwork.com/journals/jamasurgery/article-abstract/406778. Acesso em: 8 abr. 2025.

LAWSON, Mark; OGDEN, Ray; GOODIER, Chris. **Design in modular construction**. London: CRC Press, 2014, 280 p. Disponível em: https://doi.org/10.1201/b16607. Acesso em: 2 jun. 2025.

LIMA, Isabelle Cardoso Alves de. **Efluentes hospitalares e sua relação com as estações de tratamento de esgoto com ênfase na composição microbiológica**. 2023. 100 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências Letras e Ciências Exatas, São José do Rio Preto, 2023. Disponível em: https://hdl.handle.net/11449/251609. Acesso em: 11 ago. 2025.

LOPES, Amanda dos Santos. **Processo de projeto de uma arquitetura sustentável para edificações de saúde**. 2014. 69 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2014. Disponível em: http://poscivil.sites.uff.br/wp-content/uploads/sites/461/2018/10/dissertacao_formatada.pdf. Acesso em: 15 abr. 2025.

LUKIANTCHUKI, Marieli Azoia *et al*. Industrialização da construção no Centro de Tecnologia da Rede Sarah (CTRS): A construção dos hospitais da Rede Sarah: uma tecnologia diferenciada através do Centro de Tecnologia da Rede Sarah – CTRS. **Arquitextos Vitruvius**, São Paulo, v. 134, n. 12, jul. 2011. Disponível em: https://vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/12.134/3975. Acesso em: 3 jun. 2025.

MACNEILL, Andrea J. *et al*. Transforming the medical device industry: road map to a circular economy: study examines a medical device industry transformation. **Health Affairs**, [S.l.], v. 39, n. 12, p. 2088-2097, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1377/hlthaff.2020.01118. Acesso em: 13 mar. 2025.

MAJUMDER, Abhradeep *et al*. A review on hospital wastewater treatment: A special emphasis on occurrence and removal of pharmaceutically active compounds, resistant microorganisms, and SARS-CoV-2. **J Environ Chem Eng.**, v. 9, n. 2, 2021. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33251108/. Acesso em: 13 fev. 2025.

MORALES, Matteo Antonio S. Modular Construction: A Sustainable Solution For Carbon Emission Reduction In The Construction Industry. **Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol.**, v. 8, p. 393-401, ISSN 2455-2143, 2023.

OLIVEIRA, Márcio N. de. Reduzindo a pegada de carbono do setor de saúde. **Ambiente Hospitalar**, São Paulo, v. 11, n. 15, p. 5-9, 2021.

OLIVEIRA, Rafael de Freitas *et al*. Estratégias de economia circular no tratamento de esgotos sanitários: o uso de câmaras de vácuo. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 11, p. 76584-76592, 2022. Disponível em: https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BRJD/article/view/54865. Acesso em: 5 ago. 2025.

OLIVEIRA, Sarah M. da S. *et al*. Análises microbiológicas da água utilizada em um hospital público no município de Quixeramobim, Ceará. **Brazilian J of Development**, Curitiba, v. 7, n. 5, p. 44092-44098, maio 2021. DOI 10.34117/bjdv.v7i5.29192. Disponível em: https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.29192. Acesso em: 14 nov. 2024.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Hospitais Saudáveis, Planeta Saudável, Pessoas Saudáveis**: Abordando as mudanças climáticas em ambientes de saúde. Geneva: OMS, 2009. 32 p. Disponível em: https://www.who.int/docs/default-source/climate-change/healthy-hospitals-healthy-planet-healthy-people.pdf?sfvrsn=8b337cee_1. Acesso em: 12 maio 2025.

OMS – Organização Mundial da Saúde. **Resíduos de cuidados de saúde**. Geneva: OMS, 2024. Disponível em: https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/health-care-waste. Acesso em: 4 abr. 2025.

ONU – Organização das Nações Unidas. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Brasília: Portal Nações Unidas Brasil, 2025. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br. Acesso em: 6 ago. 2025.

OPS – Organización Panamericana de la Salud. **Agua, saneamiento e higiene en establecimientos de atención de salud de siete países de América Latina.** Washington: OPS, 2021. DOI 10.37774/9789275324653. Disponível em:https://doi.org/10.37774/9789275324653. Acesso em: 24 out. 2024.

OR, Zeynep; SEPPÄNEN, Anna-Veera. The role of the health sector in tackling climate change: A narrative review. **Health Policy**, v. 143, p. 105053, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2024.105053. Acesso em: 1º ago. 2025.

PALIWAL, Shreyansh. **Opportunities and Challenges of Modular Construction in a Hospitality Centric Environment.** 2019. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil e Ambiental) - University of Nevada, Las Vegas, 2019. Disponível em: http://dx.doi.org/10.34917/15778516. Acesso em: 30 maio 2025.

PRADA, Marcela *et al*. New solutions to reduce greenhouse gas emissions through energy efficiency of buildings of special importance - Hospitals. **Science of the Total Environment**, v. 718, p. 137446, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137446. Acesso em: 27 mar. 2025.

PRIYALAL, W. G. S. S. *et al*. Strategies for Effective Water Management in Health Care (HC) Sector in Sri Lanka. **IC-SD**, 2019. Disponível em: https://ic-sd.org/wp-content/uploads/2019/11/sabrina_nazeer.pdf. Acesso em: 17 jul. 2025.

SAJID, Zeerak Waryam *et al*. Climate change mitigation through modular construction. **Smart Cities**, v. 7, n. 1, p. 566-596, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.3390/smartcities7010023. Acesso em: 3 jun. 2025.

SANOFI. **Circular Economy and Waste Management**: Sanofi, 2024. Disponível em: https://www.sanofi.com/assets/dotcom/content-app/documents/2024/Circular-Economy-and-Waste-Management.pdf. Acesso em: 5 jun. 2025.

SANTOS, Jagna Stefani dos; TORRES, Maurício C. A. Design biofílico e eficiência energética em centros de saúde: uma revisão bibliográfica. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 20., 2024, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: ANTAC, 2024. Disponível em: https://eventos.antac.org.br/index.php/entac/article/view/5919. Acesso em: 4 jun. 2025.

SCHROEDER, Patrick; ANGGRAENI, Kartika; WEBER, Uwe. The relevance of circular economy practices to the sustainable development goals. **Journal of Industrial Ecology**, v. 23, n. 1, p. 77-95, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1111/jiec.12732. Acesso em: 18 mar. 2025.

SEPETIS, Anastasios; GEORGANTAS, Konstantinos; NIKOLAOU, Ioannis. A Proposed Circular Economy Model for Hospital Bio-Waste Management in Municipal Settings. **Sustainability**, v. 17, n. 1, p. 20, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.3390/su17010005. Acesso em: 19 mar. 2025.

SHARMA, Hari Bhakta *et al*. Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. **Sci. Total Environ**., v. 800, p. 149605, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.149605. Acesso em: 7 abr. 2025.

SILVA, Alice Marina de Lima da *et al*. Reuse of greywater and rainwater in health units: case study in upas in the municipality of São Gonçalo. **Rev. Gest. Soc. Ambient.**, Miami, v. 19, n. 1, p. 1-11, 2024. Disponível em: https://search.proquest.com/openview/e7b2fae31650392f8ab40ee9096d2115/1?pq-origsite=gscholar&cbl=2031968. Acesso em: 23 jul. 2025.

SMAS-Sintra – **Serviços Municipalizados de Sintra**, PO. Disponível em: https://www.smas-sintra.pt/sensibilizacao-ambiental/economia-circular/. Acesso em: 17 ago. 2025.

SUSZANOWICZ, Dariusz; RATUSZNY, P. **Energy efficiency improvement in hospital buildings**, based on the example of a selected type of hospital facility in Poland. In: IOP CONFERENCE SERIES: Materials Science and Engineering. IOP Publishing, v. 564, p. 012129, 2019. Disponível em: https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/564/1/012129. Acesso em: 26 mar. 2025.

TABIBI, Alex. Recycling Initiatives in the Healthcare Sector. **Green.Org**, 2024. Disponível em: https://green.org/2024/01/30/recycling-initiatives-in-the-healthcare-sector/. Acesso em: 23 maio 2025.

TEKE, Ahmet; TIMUR, Oğuzhan. Assessing the energy efficiency improvement potentials of HVAC systems considering economic and environmental aspects at the hospitals. **Renew. Sustain. Energy Rev.**, v. 33, p. 224-235, 2014. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.002. Acesso em: 14 maio 2025.

TEKE, Ahmet; TIMUR, Oğuzhan. Lighting Systems at the Hospitals: An Overview. **Majlesi Journal of Energy Management**, v. 2, n. 2, p. 39-51, 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/download/80313690/pdf.pdf. Acesso em: 28 maio 2025.

TESLIM, Badrudeen. Water Management and Conservation Strategies in Hospitals. **ResearchGate**, 2024. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/383784162_WATER_MANAGEMENT_AND_CONSERVATION_STRATEGIES_IN_HOSPITALS. Acesso em 17 jul. 2025.

TOMANEK, Michał. Energy Efficiency in Hospitals–towards Sustainable Healthcare. **Builder**, v. 28, n. 3, p. 38-42, 2024. Disponível em: https://publisherspanel.com/api/files/view/2399802.pdf. Acesso em: 11 jun. 2025.

ULTRERAS-RODRÍGUEZ, Andrés *et al*. Circular Economy in the Health Sector: Sustainable Management of Hospital Waste and Its Environmental Impact. **Seminars in Medical Writing and Education**, v. 3, p. 663, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.56294/mw2024663. Acesso em: 22 maio 2025.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Kigali cooling efficiency programme 2019**. Disponível em: https://www.unep.org/ozonaction/kigali-cooling-efficiency-programme. Acesso em: 22 maio 2025.

VERLICCHI, Paola *et al*. Hospital effluents as a source of emerging pollutants: an overview of micropollutants and sustainable treatment options. **Journal of hydrology**, v. 389, n. 3-4, p. 416-428, 2010. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.06.005. Acesso em: 15 jul. 2025.

VICTORIAN GOVERNMENT DEPARTMENT OF HEALTH. **Guidelines for Water Reuse and Recycling in Victorian Health Care Facilities**. Victoria: Melbourne, 2009. Disponível em: https://vgls.sdp.sirsidynix.net.au/client/search/asset/1161347. Acesso em: 15 jul. 2025.

VIET, H. M. **Reciclagem de metais metálicos**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2012. Disponível em: https://lume-re-demonstracao.ufrgs.br/reciclagem-mm/pag4.php. Acesso em: 25 jul. 2025.

VILAS-BOAS, Doris. Sustentabilidade em estabelecimentos assistenciais de saúde: soluções de projeto arquitetônico. **Ambiente Hospitalar**, São Paulo, v. 5, n. 8, p.11-19, 2011.

VOUDRIAS, Evangelos A. Healthcare waste management from the point of view of circular economy. **Waste Management**, v. 75, p. 1-2, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.04.020. Acesso em: 1º abr. 2025.

VOURDOUBAS, John. Possibilities of using sustainable energy technologies including CHP systems, solar photovoltaics and heat pumps in hospitals. **EJ-Energy**, v. 2, n. 2, p. 1-8, 2022. Disponível em: http://dx.doi.org/10.24018/ejenergy.2022.2.2.52. Acesso em: 27 maio 2025.

VOURDOUBAS, John. Use of renewable energy sources for heat and cooling generation in hospitals. **ASRJETS**, v. 79, n. 1, p. 98-112, 2021. Disponível em: https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/6840. Acesso em: 31 mar 2025.

WIPRO LIGHTING. Integrating Smart Lighting Systems in Modern Hospitals: A Bright Future for Healthcare. **Wipro Lighting**, 2024. Disponível em: https://www.wiprolighting.com/blog/integrating-smart-lighting-systems-in-modern-hospitals-a-bright-future-for-healthcare. Acesso em: 28 maio 2025.

ZAZA, Paraskevi N.; SEPETIS, Anastasios; BAGOS, Pantelis G. Prediction and optimization of the cost of energy resources in Greek public hospitals. **Energies**, v. 15, n. 1, p. 14, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/en15010381. Acesso em: 21 mar. 2025.

ZHAO, Yang; ZHAN, Qinchuan; XU, Tiancheng. Biophilic design as an important bridge for sustainable interaction between humans and the environment: Based on practice in Chinese healthcare space. **Comput. Math. Methods Med.**, v. 2022, n. 1, p. 14, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1155/2022/8184534. Acesso em: 11 jun. 2025.

ZHONG, Weijie; SCHRÖDER, Torsten; BEKKERING, Juliette. Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. **Frontiers of Architectural Research**, v. 11, n. 1, p. 114-141, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.07.006. Acesso em: 8 maio 2025.

Authors

Antonio Pedro Alves de Carvalho Architect and Civil Engineer, with a Ph.D from the Universitat Politècnica de Catalunya. Full Professor at the Faculty of Architecture of the Federal University of Bahia, coordinator of the Editorial Board of the Brazilian Association for the Development of Hospital Buildings (ABDEH), acting as a researcher in the areas of hospital architecture, architectural design methodology, environment and health.

Jair de Jesus Lima With an interdisciplinary bachelor's degree in Science and Technology, Jair is currently studying for an undergraduate degree in Sanitary and Environmental Engineering at the Federal University of Bahia.

Article

Natural lighting and design process employed by Siegbert Zanettini: Ermelino Matarazzo Hospital

Authors
Danielly Marcianny Silva Eulário University of São Paulo
Paulo Sergio Scarazzato University of São Paulo
Ludmila Cardoso Fagundes Mendes Federal University of Minas Gerais

DOI: 10.62558/2358-3630/23.03.04

Abstract

This article analyzes the approach to natural lighting in the design process of architect Siegbert Zanettini, focusing on the Ermelino Matarazzo Municipal Hospital in São Paulo. The research is grounded in contemporary discussions on the benefits of natural light in health care settings, particularly in relation to well-being, patient recovery, and circadian rhythm regulation. The study was conducted through a literature review, analysis of the architectural project, and an interview with the architect. The results show that architectural solutions such as atriums with skylights, shading devices, and appropriate façade orientation contribute to the distribution of natural light in indoor environments. It is concluded that the design process plays a fundamental role in the incorporation of passive natural lighting strategies, capable of promoting more humanized and efficient hospital environments aligned with local climatic conditions.

Keywords:

hospital architecture, natural lighting, design process, eco-efficiency, post-occupancy evaluation.

Introduction

The hospital environment has adapted to the changes that have occurred according to its function, complexity, and activities of the occupants. The challenge for such environments is to contribute to alleviating suffering (Lisbon, 2021). However, the beginning of the organization of hospitals does not arise from the search for "a positive action of the hospital on the patient or disease", according to Lisboa, 2021:

> The first factor of the transformation was not the search for a positive action of the hospital on the patient or the disease, but simply the annulment of the negative effects of the hospital. It was not first sought to medicalize the hospital, but to purify it from the harmful effects of the disorder it entailed. And disorder here means diseases that he could arouse in the hospitalized people and spread in the city in which he was situated, as well as the economic and social disorder of which he was the perpetual focus [...]. (Lisbon, 2021, p.78)

Hospital buildings differ from other typologies, as observed by Jarbas Karman (Bitencourt; Saccomori, 2021), founder of the Institute of Hospital Research.

> "I believe that few know how to 'see' a hospital, because the hospital, unfortunately, is very little known among us; Many do not even go into the merits of the solutions presented, not caring that they are summary and superficial, as long as the appearance of the plan is 'clean' and the exterior monumental. This way of evaluating the architectural work may lend itself to commercial buildings, but never to a hospital. The hospital is quite different because, while each department and integral part must observe exact dimensions, it is necessary that these departments and parts are arranged in accordance with the ideal interconnections. Any concession will be reflected in the increase in the cost of maintaining the hospital." (Jarbas Karman, Folha da Manhã, August 24, 1958. IPH, 2016)

Zanettini's approach concerning hospital projects is fully in line with that of Jarbas Karman because, by consciously working with the potential of natural lighting in such buildings, he contributes to their energy efficiency. In addition, the correct use of natural lighting that goes through the control of insolation and glare potentially present in it contributes to greater well-being, comfort, and health promotion of patients and employees.

The literature on hospital buildings indicates that conventional forms can cause unnecessary stress to patients and healthcare teams. An alternative to reduce this problem is employing evidence-based design methodology, which can result in projects with physical configurations capable of reducing fatigue, to make enhance care, in addition to enabling safety and quality environments for occupants (Ulrich *et al*., 2004).

The contact of hospital patients with nature, through visual outside access from the bed, can result in faster recovery, due to reduced stress and pain. Positive distractions, such as access to views of nature, in addition to access to daylight, help patients to feel the ambiance, overcoming their pain or anguish (Ulrich, 1991). In this context, good contemporary hospital architecture seeks, through the methodology of Evidence-Based Design (EBD), to meet the needs of distinct groups of occupants of hospital environments, which can sometimes be conflicting. It takes sensitivity and creativity. Ulrich proposes to evaluate gains and losses for the proportion of a "psychologically supportive" architectural project.

Aspects such as room geometry, building orientation, glass transmittance, and internal surfaces light reflection are relevant. External factors, such as the latitude and longitude of the location, climate data, and the types of skies, also impact the quantity and quality of natural light in environments. These factors must be considered in the architectural design to optimize the capture and distribution of natural lighting, to promote visual comfort and the well-being of users (Garcia *et al*., 2020).

Goals

The main goal of this article is to analyze the approach to natural lighting in the design process of architect Siegbert Zanettini, adopted at Ermelino Matarazzo Municipal Hospital, at a time before the use of principles discussed today in the field of Evidence-Based Design. Ahead of his time, Zanettini understood the importance of visual connection with the outside and the use of atriums in his hospital projects, as resources for stress reduction and psychological support advocated by Ulrich.

Literature review

The contribution of natural lighting in healthcare environments

Light gives rhythm to life through visual or non-visual effects (Brandston, 2010). The essential contribution of daylight is linked to the general well-being of human beings, related to human physiology, by contributing to the regulation of the circadian cycle, in addition to reducing energy use and making the environment more humane, welcoming (Heschong, 2021).

From a physiological point of view, daylight has a significant impact on the human circadian system, which is responsible for regulating several biological processes, such as the sleep-wake cycle, mood, and levels of alertness. The light that reaches the retina acts as the main synchronizer of these biological rhythms in relation to the natural 24-hour cycle of day and night. When people spend prolonged periods in environments with

little exposure to natural light, circadian dysregulation can occur, which can result in several health problems, such as sleep disorders, metabolic alterations, and negative impacts on psychological well-being (Acosta, Leslie, and Figueiró, 2017).

Natural lighting is widely recognized as a key environmental attribute in healthcare settings, due to the benefits that encompass human health, well-being, and performance in everyday activities. Historically, the conception of the "therapeutic hospital" in the 18th century already associated cure rates with spatial quality, highlighting ventilation and sunlight as crucial factors for recovery. With the advancement of contemporary research, it has been understood that light is not just a visual need, but an element that influences the biological clock, helping to regulate endocrine and mitigate stress and fatigue (Ribeiro *et al*, 2020).

Both direct sunlight and daylight contribute to the recovery of patients, especially when they have direct outside view or, at least, perceive the passage of time through the day. Good health care practices employed in the late 19th and early 20th centuries, such as the use of balconies, brises, and contact with fresh air in tuberculosis treatment hospitals, can be seen as recovery (Cooper-Marcus and Barnes, 1995).

Another relevant aspect refers to the impact of natural lighting on the performance and productivity of health professionals. Studies indicate that work environments adequately provided with natural lighting can improve concentration, reduce visual fatigue, and even contribute to the reduction of errors by health professionals. The presence of daylight at workstations and care areas, therefore, not only benefits patients, but also improves the working conditions of medical and technical staff (Capolongo *et al*, 2016).

In addition to the physiological effects, natural lighting contributes to the psychological and emotional aspects of users. The presence of windows and the possibility of viewing the outside environment promote a sense of connection with the outside world, reducing the sense of isolation often experienced by hospitalized patients. This visual contact with the outside can contribute to the reduction of stress and the creation of more humanized environments, favoring the therapeutic process (Acosta, Leslie and Figueiró, 2017).

In hospital environments, the presence of natural lighting is considered a determining factor of health, as it promotes the synchronization of human physiology. Studies indicate that the existence of windows and access to sunlight significantly reduce the occurrence of postoperative pain, fever, and depression in patients. In addition, natural lighting contributes to the improvement of the sleep cycle and accelerates recovery in prolonged treatments, such as oncology, and in intensive care units (ICU). The

deprivation of this visual contact with the outside can lead the individual to situations of discomfort, since contact with the external environment meets a biological need for visual information (Ribeiro *et al*, 2020).

In addition to the benefits for health and user experience, the use of natural lighting is also beneficial from an energy and environmental point of view. Reducing the dependence on artificial lighting during the day can reduce the energy consumption of hospital buildings, contributing to sustainability and energy efficiency strategies. By carefully considering aspects such as orientation, sizing of openings, materials, and spatial organization, it is possible to create environments that maximize the benefits of daylight, promoting healthier and more efficient spaces (Acosta, Leslie, and Figueiró, 2017).

Influence of architectural design on the perception of daylight in the built space

The guidelines present in regulations determine conditions and attributes of healthcare spaces, the connection between windows, outdoor and indoor environments, and occupants. Although there is still no common ground concerning the quality of viewing of a window applied to distinct types of occupations and buildings. The design process of hospital buildings must therefore be committed to the quality of life of those who will work or be treated, as environments such as inpatient rooms may require different openings than those in workspaces, given the specificity of the occupation (Ko *et al*., 2021).

The study of implantation, the volumetry of the buildings and the configuration of the facades are aspects of the utmost importance in the design process, as they are related to the quality of natural lighting, including the control of insolation. When the architect is aware of this, in addition to being on the right track to obtaining appropriate results, it facilitates the work of specialized consultancy, responsible for ensuring adequate natural lighting inside the building, with the correct control of glare and heat gain (Ko *et al*., 2021).

From the point of view of environmental comfort, natural lighting also influences the aesthetic perception and spatial quality of hospital environments. The variation of light throughout the day creates more dynamic and pleasant environments, contributing to the positive perception of the built space. In this sense, the effective planning of natural lighting must consider aspects such as solar orientation, sizing of openings, internal materials, and light control strategies, ensuring adequate levels of lighting without causing glare or visual discomfort (Acosta, Leslie and Figueiró, 2017).

The orientation of the facades also alters the spatial perception of light. Facades facing north or south, in tropical latitudes, present distinct behaviors of uniformity and direct light entry, requiring specific design solutions for each case. The absence of sun protection elements, such as fixed or mobile *brises*, for example, is a common design flaw that results in visual discomfort due to excess direct light and heat. Thus, the design process must balance the need for high illuminances with the quality of the view and the control of glare, understanding that shading solutions and the correct sizing of openings are essential to ensure healthy and attractive indoor spaces (Ribeiro *et al*, 2020).

Among the most important architectural elements for the entry and distribution of daylight are the size and position of the windows, the ratio between the glazed area and the façade, the orientation of the building, as well as the characteristics of the internal surfaces. The correct sizing of openings is considered an essential factor to allow natural lighting to reach different areas of the environment, to offer both visual lighting and the stimuli necessary for the circadian system (Acosta, Leslie and Figueiró, 2017).

The presence of windows enables daylight view, so as to result in a more pleasant environment, with views and distractions (Lam, 1977). An architecture based on natural light is an architecture conditioned by environmental conditions. During the design process, there are characteristics that need to be considered to achieve the appropriate result. Thus, the integration of natural lighting in the architectural design of hospital buildings is an essential strategy to promote healthier, more humanized, and efficient environments. By considering the physiological, psychological, and functional effects of daylight, architects and other design professionals can contribute significantly to improving the quality of healthcare environments and the overall well-being of their users (Acosta, Leslie, and Figueiró, 2017).

The height of the windowsill is a representative design element for luminous comfort and the view of the surroundings. Windows with high windowsills tend to provide a greater range in the distribution and uniformity of light, which reduces the possibility of direct glare in the work area. However, because they are above the visual field, these openings often restrict the patient's view of the sky, preventing contact with the horizon line. On the other hand, windows with low windowsills optimize visual contact with the landscape but might lead to uneven lighting and increase the risk of glare, especially for bedridden users (Ribeiro *et al*, 2020).

Simulation studies in hospital settings demonstrate that the connection between the window area and the façade may significantly influence the levels of circadian stimulation received by occupants. In certain contexts, a

higher proportion of glazed area allows adequate levels of natural lighting to reach deeper areas of the environment, increasing the probability that users receive sufficient light stimuli for the synchronization of biological rhythms (Acosta, Leslie and Figueiró, 2017).

The challenges of 20th century hospitals, by João Filgueiras Lima, Lelé

Zanettini is an admirer of the work of architect João Filgueiras Lima (Lelé) and his contribution to healthcare architecture in Brazil. This topic addresses some of Zanetti's ideas from his book **Arquitetura, uma experiência na área da saúde (Architecture, an experience in the health area)**. In an interview with the authors, Zanettini highlighted the influence of Lelé's work on his professional career, especially regarding the relationship between architecture, technology, and environmental conditions.

> (...) I had an extraordinarily strong relationship with him (Lelé), because I was also thinking about industrializing. And he was good. He was the best architect of the time. Somehow, I walked kind of parallel to the whole process of Brazilian construction, together with Lelé. Always in a critical sense. (Excerpt from an interview given by the architect, professor and Dr. Siegbert Zanettini to the authors on 4/7/2024.)

The model of a technological hospital was consolidated in the 20th century, characterized by the integration of different medical specialties in the same unit and by the intensive use of technologies. After World War II, scientific advances, and the participation of large companies in the medical-hospital sector significantly expanded the supply of specialized equipment and systems. This process contributed to the automation of several hospital services and to transformations in the organization of spaces and building facilities (Lima, 2012). The development of bacteriology and infection control techniques has also directly influenced the design of hospital buildings. In this context, natural lighting and ventilation, common in pavilion hospitals, were gradually replaced by artificial air conditioning and lighting systems. Consequently, hospital environments have become more hermetic and technically controlled.

> The technological exhibitionism of the time made the hospital environment artificial and inhumane, to the point of influencing the patient's depressive stage, causing such a psychological state, so that it began to hinder the healing processes themselves. In 1960, efforts were being made to change this way of thinking about the hospital at the Hospital Foundation of Brasília, in an attempt to establish an extensible and flexible hospital model, which would facilitate innovations, but which would promote less hermetic hospitals, with integration into landscaped outdoor spaces, so that patients could have outdoor therapies and sunbathing (Lima, 2012, p.41).

Method

Based on the literature review presented, the present research was divided into two main stages: (1) analysis of the architectural design of Ermelino Matarazzo Municipal Hospital, with emphasis on the strategies adopted for the availability and control of daylight; and (2) interview with Architect Zanettini.

The starting point for the research was the search and reading of references about hospital projects, with special attention to aspects of visual perception and natural lighting. The bibliography is discussed with other authors who highlight the importance of natural lighting in healthcare facilities, such as Ko *et al*., Ulrich, Cooper-Marcus, Barnes and Lima, among other authors relevant to the context addressed.

The research is characterized as a qualitative case study, with an exploratory approach, analyzing the azimuthal and visual morphological orientation. The architectural project of Ermelino Matarazzo Municipal Hospital was analyzed, with emphasis on design strategies related to the use of natural lighting. The analysis was conducted based on criteria identified in the literature, such as orientation of the facades, presence of shading devices, configuration of atriums and relationship between openings and internal spaces. In addition, a semi-structured interview was conducted with the architect Ziegbert Zanettini, author of the project, who confirmed that the proposed solutions for natural lighting and the control of insolation were conscious, due to the benefits they provide.

Results

Project analysis

The building studied by this article is in the eastern region of the city of São Paulo, Brazil, and was inaugurated in 1991. It stands out for the engagement it provided, since it was developed, planned and executed with representatives of the local community, technicians from the City Hall and members of the health commission, "listening to suggestions and accepting changes". For everyone to understand what was being built, it was necessary to explain to the members of the commission what an architectural project was, the need to prepare a project and how the design process of the hospital space would take place (Zanettini, 2002).



Illustration 1 . Ermelino Matarazzo Municipal Hospital. Source: Zanettini, 2000.

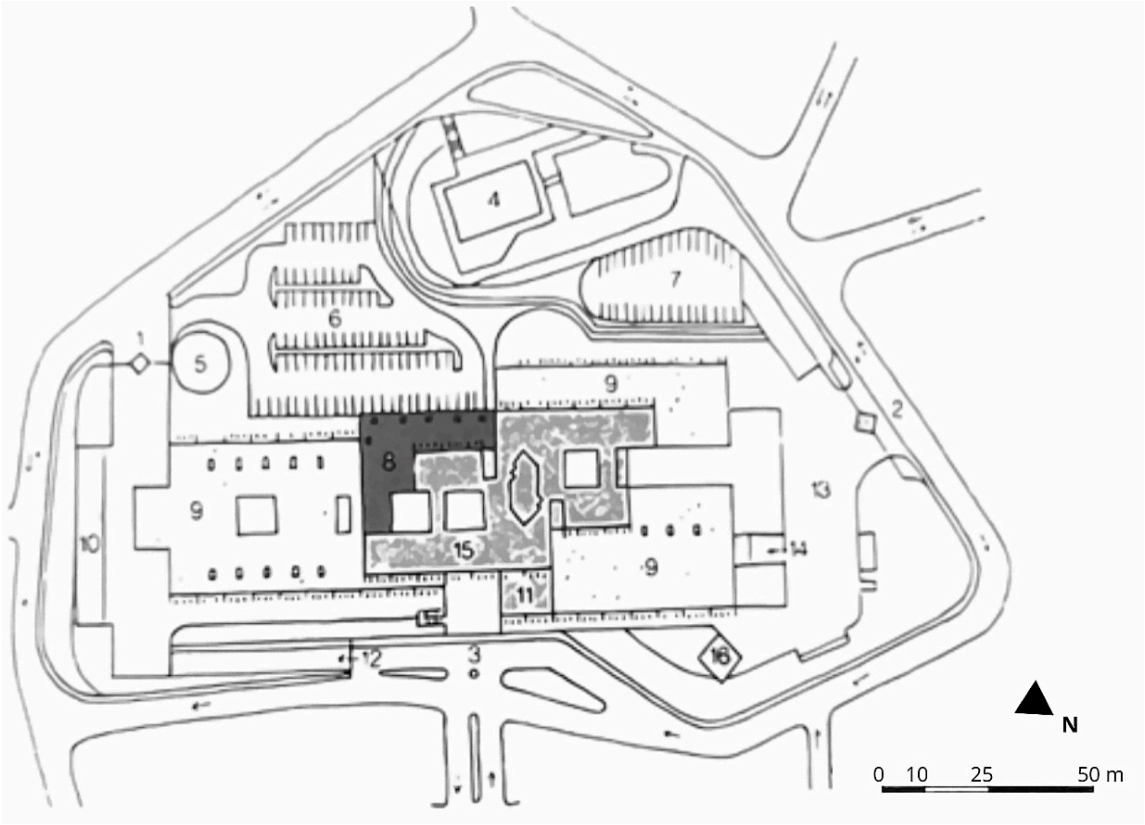
Ermelino Matarazzo Municipal Hospital differs in its conception because it is the result of a collaborative dynamic. From monitoring the work to its inauguration, there the health commission was engaged in the entire process, in which the architect sought to meet the needs of the local population, according to the reality of those who live and use the space.

> "Our hospital is different because in it the details of operation and architecture were conceived based on suggestions and demands from users. We went up to the floors to follow the development of the work, so that it would not be delayed, we gave our opinion on the finishing, and we understood the floor, subfloor and ceiling height". (Text of the health commission for the population. Zanettini, 2000, p.214.)

The humanization of the hospital began in the participatory process and materialized in the quality of the architectural object, valued by the adequate capture and distribution of natural lighting, associated with careful control of insolation.

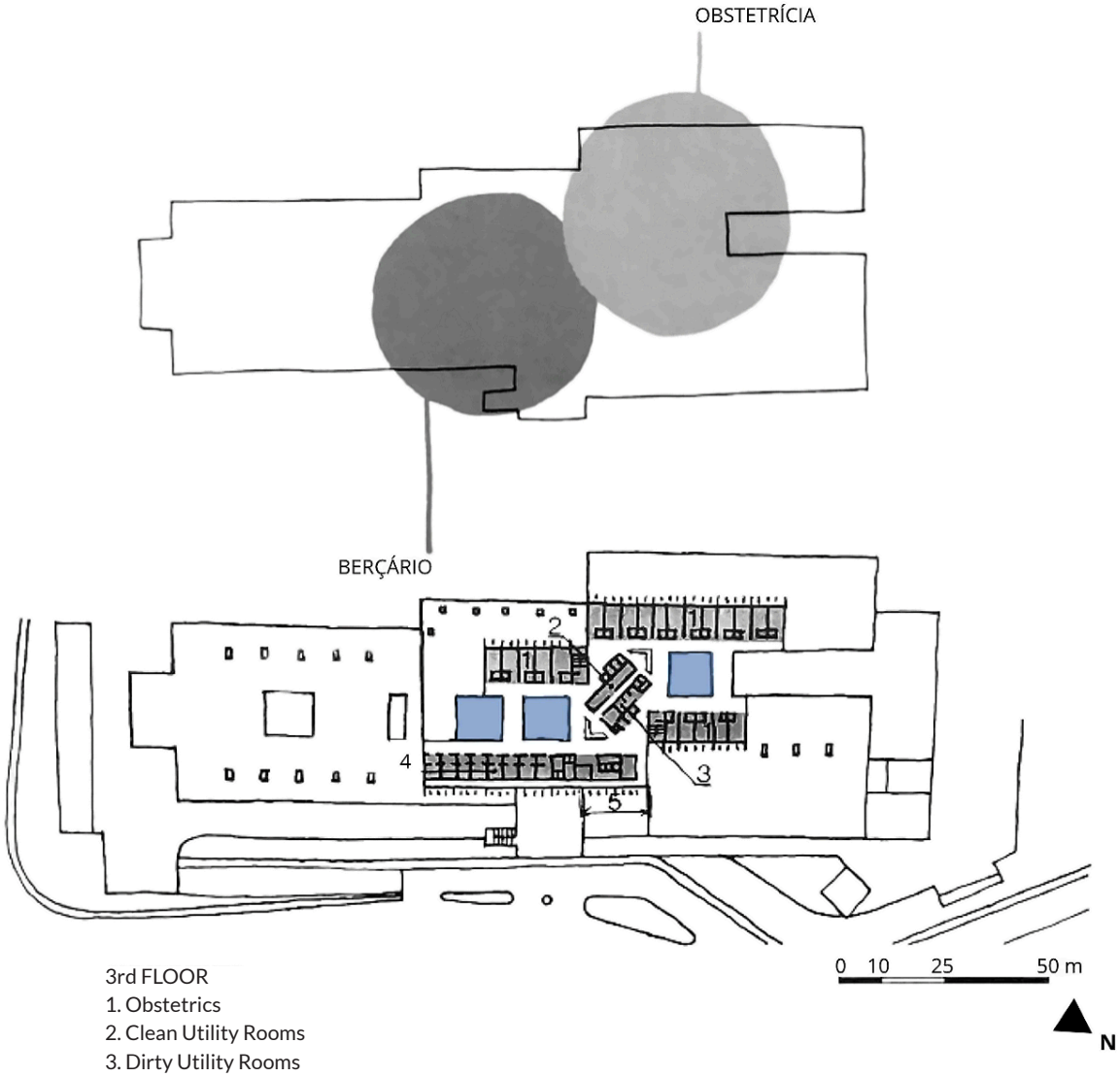
Architectural analysis based on bibliography

Ermelino Matarazzo Municipal Hospital presents solutions regarding natural lighting, such as the use of skylights, located in atriums, and *brises* on the northeast and southwest facades. For the preparation of this article, the third floor, intended for Obstetrics and Nursery, and the fourth floor, where Obstetrics and Pediatrics are located, were considered, as shown in the plans below (Illustrations 2 to 4):



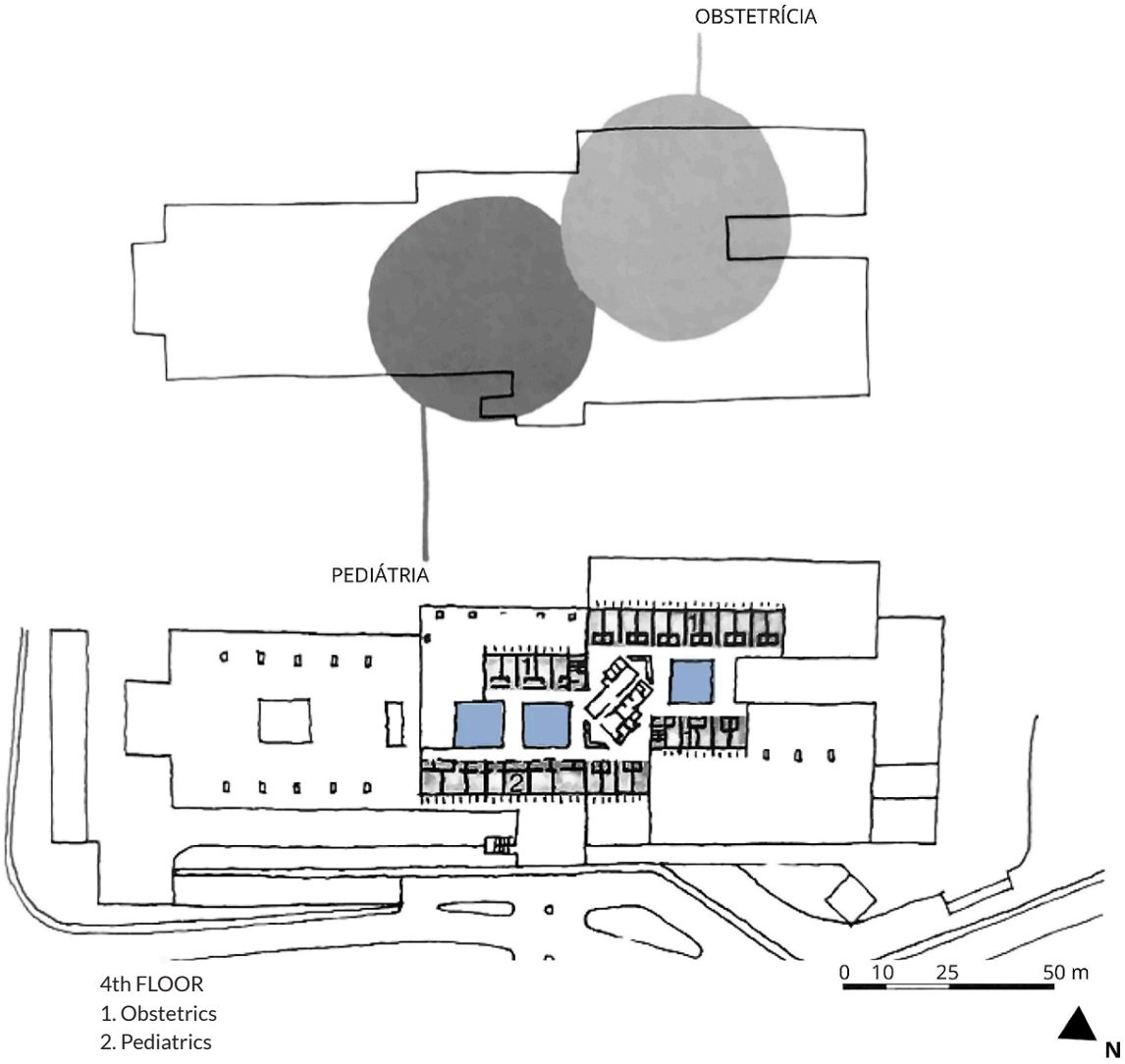
IMPLEMENTATION
1. Outpatient access
2. Service entrance
3. Main entrance
4. Daycare
5. Helipad
6. General public parking lot
7. Staff parking lot
8. Surgery and Obstetrics Center
9. Green roof
10. Ambulance station
11. Assembly hall
12. Ambulance entrance
13. Service court
14. Docking stations
15. Vertical block for inpatients
16. Vehicle loading, cleaning and maintenance

Illustration 2 . Implementation of Ermelino Matarazzo Municipal Hospital. Source: Zanettini, 2000.



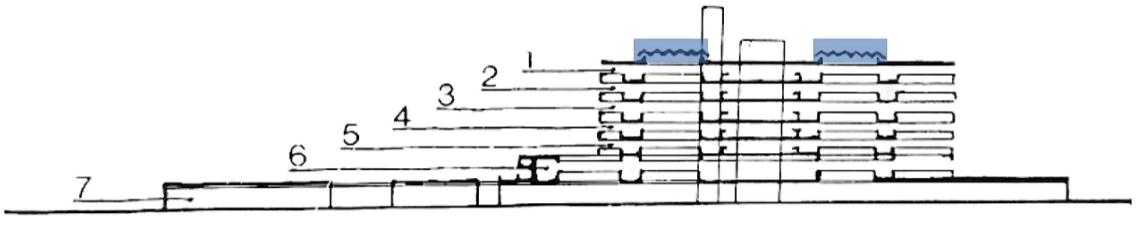
3rd FLOOR
1. Obstetrics
2. Clean Utility Rooms
3. Dirty Utility Rooms
4. Nursery
5. Common area/Service shaft

Illustration 3 . Diagram and plan of care units on the third floor, with the location of Obstetrics and Nursery. Source: Zanettini, 2000.



4th FLOOR
1. Obstetrics
2. Pediatrics

Illustration 4 . Diagram and plan of care units on the fourth floor, with the location of Obstetrics and Pediatrics. Source: Zanettini, 2000.



Atriums
1. Surgical ward
2. Medical ward
3. Obstetrics/Pediatrics
4. Obstetrics/Nursery
5. Administration office
6. Surgery and Obstetrics Center/ICU
7. Emergency Room/Services

Illustration 5 . Schematic view indicating the division of units by floor, with the location of Obstetrics and Pediatrics; and Obstetrics and Nursery. Source: Zanettini, 2000.

In the blueprints, it is possible to observe three atriums covered by translucent skylights, which are present on all floors. The adopted solution allows the perception of the variation of natural lighting throughout the day and the seasons, which favors the balance of the circadian cycle of all users, since patients, companions, medical and healthcare staff have visual access to the covered and illuminated atriums. In addition, this solution can contribute to the saving of electric lighting since all floors have indirect access to daylight.

The atria have fins, which control direct sunlight, resulting in greater visual comfort. The presence of atriums with skylights allows the distribution of natural lighting in deep areas of the hospital plant, a strategy that contributes to more homogeneous levels of illuminance and reduces the dependence on artificial lighting during the day.

Another solution adopted by Zanettini is the use of shading elements for the openings on the facades, with fixed *brises*, which provide more control of glare and distribution of diffuse light, increasing the comfort of patients. The *brises* are located along the entire length of the northwest and southwest facades, where there is the Nursery, on the third floor, and the Pediatrics, on the fourth floor.



Illustration 6 . Shading solution on the northwest and southwest facades of Ermelino Matarazzo Municipal Hospital. Source: Zanettini, 2000.



Illustration 7 . Atrium with a translucent roof that allows the perception of daylight. Source: Zanettini, 2000.

Interview

In an interview with the authors in 2024, Zanettini emphasized the importance of technology in architectural design and, consequently, in the perception of light in interior spaces.

> You can't do architecture without technology. (...) The world of arts and the world of sciences; architecture is where those two meet. I explain why architecture seeks to meet all possible technical, visual and environmental conditions. (...) This is my struggle: understanding our climate, clearly understanding our biomes, and each one with its characteristics. To understand the wind regimes, the density, the opening of light, the whole way to understand it in the place, with its determined soil, with its subsoil as well. (Excerpt from the interview given by the architect, professor Dr. Siegbert Zanettini on 4/7/2024.)

The architect's criticism of the "closed and heavy" hospitals of the 60s is reflected in his design process, with emphasis on the use of "eco-efficiency" applied in Ermelino Matarazzo Hospital.

> In the 1960s I began to question this architecture. I started to address some concepts of eco-efficiency; the issue of sustainability began to arise. The eco-efficiency that I launched in the 1960s was originally concerned with understanding our reality, our environment, contributing to our architecture. And how, in a way, it was decisive in this architecture. So, this concept of mine comes from many years. It comes from 60 years ago. At the time, I called it eco-efficiency, but I was already beginning to discuss why works were so closed, so heavy, so striking in the sense of worrying about their beauty but did not respond to the Brazilian environmental conditions. (Excerpt from the interview given by the architect, professor Dr. Siegbert Zanettini on 4/7/2024.)

During the interview, the architect also spoke about the importance of considering local climatic conditions during the design of architectural projects.

> I am Brazilian. And I understood my climate; the project also needs to understand this climate. In my opinion, it is fundamental. If you don't have that, in my opinion, the project is flawed from the beginning. I don't think architecture is independent from the place. The place defines architecture; that is how strong it is. The initial cost of production, of thinking, that no longer exists. Now it's time to produce. (Excerpt from the interview given by the architect, professor Dr. Siegbert Zanettini on 4/7/2024.)

Discussion

As it is a project with social participation, Ermelino Matarazzo Municipal Hospital has specificities that make it a unique building in the field of healthcare architecture. As presented by the architect Zanettini in his book **Arquitetura, Razão, Sensibilidade (Architecture, Reason, Sensitivity)**, there were some weekly meetings to discuss the project, besides "an agenda previously discussed in assemblies with the residents". The analysis of Ermelino Matarazzo Municipal Hospital shows that the design strategies adopted by Siegbert Zanettini anticipate contemporary discussions about "therapeutic hospital", where light is not only a visual need, but an element of biological synchronization. The following technical constraints are integration of natural light into the built environment, understanding the climate and the biome.

The presence of central atriums covered by skylights is a fundamental element for the distribution of natural light on the internal floors of the building. This solution allows daytime lighting to penetrate deeper areas of the building, reducing the dependence on electric lighting during the day,

contributing to the perception of light variation over time. As discussed by Acosta, Leslie and Figueiró (2017), exposure to natural lighting plays a relevant role in the regulation of the circadian system and directly influences the well-being and circadian rhythm of patients and healthcare professionals.

In addition, the atriums function as elements of spatial orientation and visual connection between the different floors of the building. This strategy contributes to the creation of more open and less institutionalized environments, which endorses the discussions proposed by Ulrich (1991) about hospital environments capable of reducing the psychological stress of users. Another relevant aspect refers to the adoption of shading devices on the facades, by means of *brise-soleil*. These elements make it possible to control the incidence of direct solar radiation, avoiding glare and excessive thermal gain, while maintaining the entry of diffused light into indoor environments. According to Ribeiro *et al*. (2020), solar control strategies are essential to ensure visual comfort and environmental quality in hospital spaces.

The solutions adopted in the project also demonstrate a strong relationship with the local climatic conditions, an aspect emphasized by the architect himself in an interview. This approach evidences a design approach based on the understanding of the climate and the Brazilian environmental context, emphasizing the reflections proposed by João Filgueiras Lima (2012) on the importance of integrating architecture, technology and environmental conditions in the design of hospital buildings. Thus, it is observed that the project of Ermelino Matarazzo Municipal Hospital incorporates positive natural lighting strategies that not only respond to technical and environmental issues but also contribute to the spatial quality and humanization of health care environments.

Conclusion

This research demonstrated that architectural design solutions focused on the use of natural lighting are fundamental for the creation of humanized and efficient hospital environments. The use of shading elements and the appropriate orientation of façades can effectively reduce glare and improve thermal comfort, fostering a positive interaction between users and their surroundings. It is concluded that the design process, when grounded in a careful reading of place and in the science of light, can promote spaces that go beyond mere technical functionality, acting as active agents in humanization and hospitality.

Acknowledgments

The researchers thank the architect Siegbert Zanettini and his daughters Adriana and Luciana Zanettini for their support and collaboration with the research, the interview granted and the sharing of the project files. We would also like to thank professor and researcher Erick Vicente, professor of the Postgraduate Course in Hospital Architecture at Einstein Education Center – Abram Szajman Health Education Center, for providing contact with *Zanettini Arquitetura* office.

Bibliography

ACOSTA, Ignacio; LESLIE, Russell P.; FIGUEIRÓ, Mariana G. **Analysis of circadian stimulus allowed by daylighting in hospital rooms**. Lighting Research & Technology, v. 49, n. 1, p. 49–61, fev. 2017. DOI: https://doi.org/10.1177/1477153515592948

BITENCOURT, Fábio; SACCOMORI, Danilo. **A ergonomia, a cidade e os ambientes interiores: reflexões sobre ambiências, espaço e saúde para o idoso**. Revista da arquitetura - cidadania e habitação, Brasília, v. 1, n. 1. p.12-20, 2021.

BRANDSTON, Howad M. **Aprender a ver: A essência do design de iluminação**. Tradução Paulo Sergio Scarazzato. 1ª ed., De Maio Comunicação e Editora, 2010.

APOLONGO, Stefano *et al*. **Social sustainability in healthcare facilities: a rating tool for analysing and improving social aspects in environments of care**. Annali dell'Istituto Superiore di Sanità, v. 52, n. 1, p. 15–23, 2016. DOI: https://doi.org/10.4415/ANN_16_01_06

COOPER-MARCUS, Clare e BARNES, Marni. **Gardens in healthcare facilities: Uses, therapeutic benefits, and design recommendations**. The Center for Health Design, Inc. 1995.

GARCIA, M. S.; SOUZA, R. V. G.; MARTINS, M. L.; VELOSO, A. C. O. **Integrando simulação de iluminação natural no processo de projeto: análise comparativa entre duas plataformas computacionais**. Gestão e Tecnologia de Projetos, São Carlos, v.15, n. 2, p.69-83, 2020.

IPH, Instituto de Pesquisas Hospitalares Arquiteto Jarbas Karman. **O desenho de hospitais de Jarbas Karman**. Livro digital. Exposição realizada durante o VII Congresso Brasileiro para o Desenvolvimento do Edifício Hospitalar, entre os dias 28 e 30 de setembro de 2016 - Salvador - BA - Brasil. 1ª edição São Paulo Julho de 2017.

LAM, William M. **And lighting for architecture**. Library of Congress Cataloging in Publication Data. New York, 1977.

LIMA, João Filgueiras. **Arquitetura: uma experiência na área da saúde**. São Paulo: Romano Guerra Editora, 2012.

LISBOA, Teresinha Covas. **História dos hospitais** / Teresinha Covas Lisboa; prefácio Erick Vicente — São Paulo: IPH, 2021. ISBN 978-85-93958-02-1

RIBEIRO, P. V. S.; SANTOS, D. M. L.; VASCONCELLOS, L. T. DE M.; CAVALCANTI, F. A. DE M. S.; CABÚS, R. C. Influência do peitoril de janelas na luz natural e visão de céu em enfermarias. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, v. 11, p. e020009, 13 jul. 2020. DOI: https://doi.org/10.20396/parc.v11i0.8654728

ULRICH, R. S. Effects of interior design on wellness: Theory and recent scientific research. **Journal of Health Care Interior Design**, v. 3, 97-109, jan. 1991.

ULRICH, R; QUAN, X; ZIMRING, C.; JOSEPH, A.; CHOUDHARY, R. **The Role of the Physical Environment in the Hospital of the 21st Century**: A Once-in-a-Lifetime Opportunity. Concord, CA: The Center for Health Design. 2004

KO, W. H., Schiavon, S., Altomonte, S., Andersen, M., Batool, A., Browning, W., ... Wienold, J. (2022). **Window View Quality: Why It Matters and What We Should Do**. LEUKOS, 18(3), 259–267. https://doi.org/10.1080/15502724.2022.2055428

HESCHONG, Lisa. **Visual Delight in Architecture: daylight, vision, and view**. 1º ed, Abingdon, Oxon; New York: Routledge, 2021

ZANETTINI, Siegbert. **Siegbert Zanettini: Arquitetura, razão, sensibilidade** – São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.

Authors

Danielly Marcianny Silva Eulário is a master's student in the Graduate Program in Architecture and Urbanism from University of São Paulo's Architecture and Urbanism and Design Undergraduate Course (FAU-USP). Danielly holds a postgraduate degree in Hospital Architecture from Ensino Einstein Abram Szajman Health Education Center. She owns a bachelor's degree in Architecture and Urbanism from the Federal University of Minas Gerais (UFMG) and Polytechnic Institute of Bragança (IPB). Danielly is also affiliated to ABDEH, Brazilian Association for the Development of Hospital Buildings.

E-mail: danielly.eulario@usp.br

Paulo Sergio Scarazzato is an associate Professor at University of São Paulo's Architecture and Urbanism and Design Undergraduate Program (FAU-USP), where he completed his degree in architecture and urbanism in 1979, began his academic career in 1981, and obtained the titles of master (1988), Ph.D (1995), and associate professor (2018). He has a special interest in topics associated with lighting (natural and electrical) applied to the design process of architectural space and its teaching in the training of the architect. As a representative of FAU-USP, he participates in technical committees of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT), the Commission Internationale de Léclairage (CIE), and the Illuminating Engineering Society (IES), an entity of which he has been a member since 2010. He has also been a member of the Society of Light and Lighting (SLL) since 2015. In his non-academic curriculum, he has authorial architectural and lighting projects for different types of buildings, at different scales (small, medium and large).

E-mail: pasezato@usp.br

Ludmila Cardoso Fagundes Mendes holds a master's degree and is a Ph.D. student in Built Environment and Sustainable Heritage at the Federal University of Minas Gerais (UFMG). CAPES scholarship holder with Sandwich Doctorate in progress at the Polytechnic University of Gdansk (Poland); specialist in Technological Systems and Sustainability Applied to the Built Environment at UFMG. Ludmila holds a bachelor's degree from the Architect and Urban Planner Course from the Federal University of Viçosa (UFV). She is also a researcher at the Laboratory of Environmental Comfort and Energy Efficiency in the Built Environment (LABCON-UFMG). Ludmila is affiliated to ABDEH, Brazilian Association for the Development of Hospital Buildings.

E-mail: ludmilamendes@ufmg.br

Article

Hospital managers' perceptions of the incorporation of emerging technologies and their impact on the physical infrastructure of hospitals in Santa Catarina

Authors
João Paulo Lucchetta Pompermaier Federal University of Santa Catarina – UFSC
Lizandra Garcia Lupi Vergara Federal University of Santa Catarina – UFSC
Patrícia Biasi Cavalcanti Federal University of Santa Catarina – UFSC

DOI: 10.62558/2358-3630/23.03.05

Abstract

The advancement of technological innovations has transformed hospitals, yet many institutions still face difficulties in adapting their physical, regulatory, and organizational infrastructure. This study examines the perceptions of hospital managers in Santa Catarina regarding the incorporation of emerging technologies and their relationship with physical infrastructure. A literature review and semi-structured interviews were conducted with managers from public and private hospitals, and the data were subjected to content analysis according to Bardin (2016). The results highlighted challenges such as aging buildings, insufficient preventive maintenance, space limitations, regulatory constraints, inadequate IT infrastructure, excessive costs, and a shortage of professionals with a systemic perspective. The most affected areas were the surgical center, imaging and diagnostics, ICU, pharmacy, emergency department, and administration. In conclusion, the adoption of emerging technologies requires strategic planning, physical renovations, continuous training, and public policies aimed at hospital modernization.

Keywords:

healthcare 4.0; emerging technologies; healthcare architecture; hospital infrastructure; hospital management.

Introduction

The growing advance of technological innovations has driven significant transformations in hospitals worldwide, impacting the management, infrastructure, and provision of healthcare (Marques; Ferreira, 2020; Raimo *et al*., 2023). The adoption of digital technologies has evolved at an unprecedented pace across healthcare ecosystems (Dal Mas *et al*., 2023) and, often, the speed of technological innovation exceeds the responsiveness of hospital institutions. Furthermore, according to recent data, 65% of healthcare organizations have increased the adoption of digital technologies after the COVID-19 pandemic (Deloitte, 2020).

This process is also driven by Health 4.0, an emerging concept derived from Industry 4.0, which has evolved considerably in the last decade (Ahsan; Siddique, 2022). The main objective is to apply the principles of Industry 4.0 to health systems, integrating emerging technologies, such as the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), big data, robotics, cloud computing, telehealth, among others (Gupta; Singh, 2022; Pompermaier *et al*., 2024; Tortorella *et al*., 2019). However, for health services to incorporate these principles, they need guidelines and adequate infrastructure (Chanchaichujit *et al*., 2019).

Recent studies have sought to understand the impacts of such emerging technologies on the physical infrastructure of hospitals. Machry (2010) found that the renovations of existing hospital buildings are mainly caused by the incorporation of technological innovations that alter the physical-spatial configuration in a variety of ways. Bause *et al*. (2019) point to the importance of redesigning hospital processes, while Al-Jaroodi *et al*. (2022) highlight the importance of the Hospital Master Plan to transform and adapt current infrastructure solutions. Pompermaier (2024) analyzed the impacts of emerging technologies on hospital buildings in Brazil, concluding that these impacts transcend the physical space and are manifested in changes in the organizational structure.

Incorporating emerging technologies can bring numerous health benefits, such as agility, high-quality services, more precise and personalized care, greater reliability, cost reduction, among others (Al-Jaroodi *et al*., 2020; Bause *et al*., 2019; Gupta; Singh, 2022). However, there are also challenges associated with the technological modernization of hospitals that involve technical and infrastructure barriers, psychological and personal issues, concerns about increased working hours or workload (Nascimento *et al*., 2023), interoperability, organizational resistance (Dal Mas *et al*., 2023), among others.

Despite the growing literature on Health 4.0, there is a gap in empirical research on how Brazilian hospital managers perceive and face the

challenges of technological incorporation in contexts of old infrastructure and limited resources. In view of this context of transformation, this study aims to investigate the perception of hospital managers in the state of Santa Catarina about the incorporation of emerging technologies, focusing on the relationship between these innovations and the hospital's physical infrastructure.

Santa Catarina has a hospital network recognized on the national scene for excellence in innovation and management in the health area, driven in recent years by government initiatives that seek to modernize the technology park and promote the digital transformation of the public system through significant investments in technology and innovation (FAPESC, 2025; SES-SC, 2025). This context offers a favorable environment for the empirical investigation of the challenges of technological incorporation in hospitals, with the possibility of an in-depth analysis of a state health system in an active process of modernization. In addition, the regional delimitation favors an in-depth and contextualized approach, enabling a more accurate understanding of the challenges and opportunities of Health 4.0 in a specific and transferable regional context.

The state also stands out for its socioeconomic characteristics and hospital infrastructure, which enables a more realistic assessment of the implementation of these innovations. By focusing on this geographic cut, the research seeks to provide information that can be applied both to the local context and to other regions with similar profiles, contributing to the formulation of more effective strategies in the adoption of emerging technologies in the health area.

Method

This work results from applied research with focus on the generation of practical solutions to specific problems from the collection of data in the field. It adopts a qualitative approach and exploratory design, aiming to deepen the understanding of the investigated phenomenon (Gil, 2023). The methodological approach was structured in three sequential stages: (1) literature review; (2) semi-structured interviews; and (3) analysis of the data collected.

The literature review (Phase 1) was carried out through a comprehensive search in scientific articles, theses, dissertations and books, both national and international. The objective of this phase was to deepen the understanding of Health 4.0 and its relationship with the hospital physical infrastructure, serving as a basis for the construction of the interview script.

Semi-structured interviews (Phase 2) were conducted with hospital managers from public and private institutions in the state of Santa Catarina. This type of interview is conducted based on a previously prepared script, maintaining, however, flexibility for the researcher to deepen, reformulate or explore the themes as the conversation develops. This characteristic gives greater freedom in conducting the interview and allows for a broader and more detailed investigation of the questions of interest to the research (Marconi; Lakatos, 2017).

Participants were chosen through intentional non-probabilistic sampling, in which individuals were deliberately chosen based on criteria previously defined for the research (Creswell, 2009; Marconi; Lakatos, 2017). The inclusion criteria adopted were: (i) being a hospital manager working in a public or private institution in Santa Catarina; (ii) exercising a function of direction, coordination, management, superintendence, or equivalent position; (iii) agreeing to participate voluntarily and signing the Informed Consent Form (ICF). To operationalize this strategy, a mapping of hospitals was carried out from the National Registry of Health Establishments (CNES), with specific consultations for the state of Santa Catarina. Based on this survey, the hospitals were contacted directly, and their managers were invited to participate voluntarily in the study.

The interviews were conducted with 12 managers between September and October 2024, previously scheduled with the participants and conducted remotely, by videoconference (Google Meet platform), with an average duration of 45 minutes, following the pre-defined script (Chart 1). Before the beginning of each interview, the participants signed the Informed Consent Form, containing information on the ethical and legal procedures adopted, as well as their agreement to participate in the research. The interviews were recorded and later transcribed in full, ensuring the reliability of the information collected.

Part I: Demographic data	
01	Training
02	Professional experience
03	Institution (public or private)
04	Job position
05	Experience in the position
Part II: Specific data	
01	What are the main barriers your hospital faces in incorporating emerging technologies in terms of physical infrastructure?
02	How have emerging technologies impacted your hospital's physical environment?
03	Which sectors of the hospital do you consider will be most impacted by the adoption of emerging technologies, and how does this influence architectural planning?
04	How do you believe emerging technologies will impact hospitals' architectural planning on the short, medium, and long term, and how has your hospital been prepared?

Chart 1 . Script of the semi-structured interviews. Source: Authors, 2024.

According to data from the Hospital Policy and Management Observatory (OPGH) of the Oswaldo Cruz Foundation (FIOCRUZ), extracted in December 2024 from CNES, Santa Catarina has 306 hospitals. These establishments are distributed among various categories (isolated day hospital, specialized hospital, general hospital, polyclinic/specialty center, birth centers, and emergency room/emergency care) and different legal regimes (profitable and non-profitable private institutions, public and teaching hospitals). The survey sample, composed of twelve hospital managers, each representing a different institution, represents 3.92% of the total hospitals in the state. Although this percentage is small, the qualitative and exploratory nature of the study does not aim at statistical representativeness, but rather analytical depth (Creswell, 2009). In qualitative research, a sample of twelve participants is often considered sufficient to reach "saturation", a point at which new interviews do not provide substantively different information from that already obtained (Boddy, 2016; Guest; Bunce; Johnson, 2006).

Finally, for the analysis of the data obtained (Phase 3), the content analysis technique was used, as recommended by Bardin (2016). This method allows you to organize and interpret the information collected, transforming the raw data into categories and patterns that highlight the main characteristics of the analyzed content.

Content analysis was conducted in three main phases (i) pre-analysis; (ii) exploitation of the material; and (iii) treatment of results, inference, and interpretation. In the pre-analysis, the data were organized, transcribed and submitted to an initial reading, allowing familiarization with the material and the identification of relevant aspects. In this phase, there was also the definition of preliminary criteria and categories to guide the subsequent analysis. In the material exploration stage, the answers were coded and classified into units of analysis, based on the identification of patterns, recurrences, and emerging themes. This process allowed the structuring of information in a systematic way, facilitating the interpretation of the findings. Finally, in the stage of treatment of the results, inference and interpretation, the organized data were critically analyzed in the light of the theoretical framework adopted.

Results and discussions

This section presents and discusses the results obtained through semi-structured interviews conducted with 12 hospital managers in Santa Catarina, organized into four thematic axes: (1) barriers to technological incorporation; (2) impacts of emerging technologies on the hospital physical environment; (3) hospital sectors most impacted; and (4) future perspectives. The participants were from nine cities (Araranguá, Blumenau, Chapecó, Florianópolis, Ibirama, Joaçaba, Joinville, Rio do Sul and São José), which expanded the diversity of the empirical set and allowed us to capture different institutional and territorial realities of the state. This geographic scope contributed to enriching the analysis, by incorporating perceptions from different contexts and, thus, offering a more plural and representative panorama of the investigated scenario.

As to the participant profile, it was observed that 58.3% work in public institutions, and 41.7% in private institutions, which allowed the analysis of different models of hospital management. The professional training of managers was diversified, with a predominance of nurses, reflecting the strong insertion of this category in the management of health services. The length of professional experience varied among the participants, contributing to the incorporation of diverse levels of experience and maturity in the analysis of the questions investigated. Illustration 1 presents an infographic with the geographic distribution and demographic data of the sample, highlighting its main characteristics.

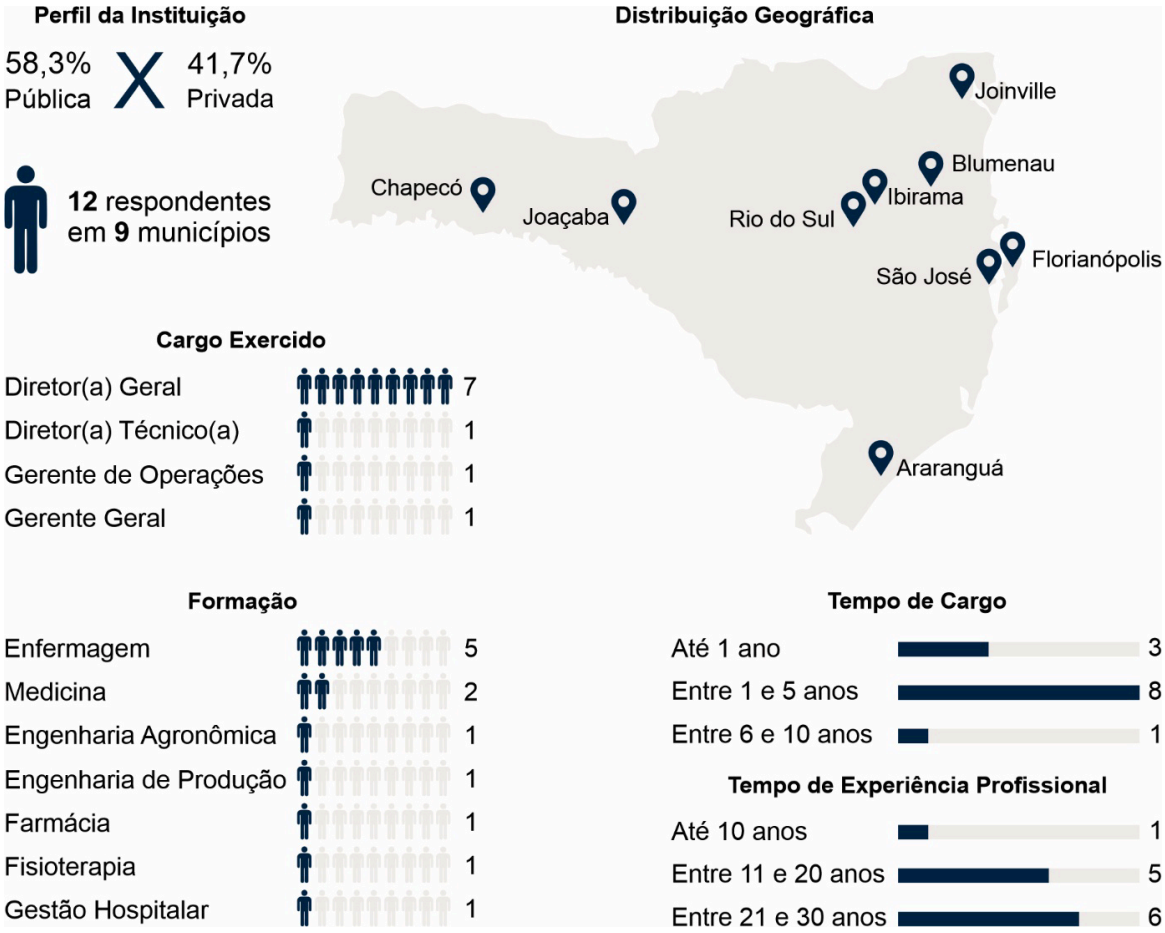


Illustration 1 . Demographic profile of participants. Source: Authors, 2025.

Barriers to technological incorporation

First, the participants were asked about the main barriers that the hospital faces for the incorporation of emerging technologies in terms of physical infrastructure. A convergence in the answers was evidenced, but also important nuances, summarized in Chart 2.

Barrier	Description	Interviewee
Old infrastructure and lack of preventive maintenance	Old hospital buildings, many without significant renovations for decades, make it difficult to adapt to modern technologies. The absence of preventive maintenance aggravates structural problems, resulting in mainly corrective and costly interventions.	E1, E2, E4, E7, E9, E10, E11
Limited physical space	The growth in hospital demand exceeded the physical capacity of the buildings, limiting the installation of new equipment and technologies.	E4, E7
Difficulty with regulatory standards	The growth of hospitals has resulted in structures that do not meet current regulations, requiring renovations to adapt.	E8
IT infrastructure issues	Hospitals were not designed to support modern networks, compromising the implementation of technologies.	E6, E10, E11
High cost of incorporation	The investments required for incorporation are high, and many hospitals do not have enough budget for such improvements.	E5, E6, E8, E9, E12
Lack of professionals with a systemic view of hospital processes	The absence of qualified professionals to plan and manage the implementation of new technologies hinders hospital modernization. It is aggravated by the turnover of temporary contracts, which interrupts the learning curve.	E3, E4

Chart 2 . Barriers to the incorporation of emerging technologies in hospitals. Source: Authors, 2025.

As evidenced, the adoption of emerging technologies in the hospitals studied faces structural, regulatory, and financial challenges. The old infrastructure represents one of the biggest obstacles, as buildings designed decades ago did not encompass the current needs for technological modernization, which was evidenced in 7 of the 12 hospitals. The range of ages of the buildings in the sample is, in itself, revealing: the reports range from 30-year-old structures, such as E7, to 45 years, mentioned by E4, through a 115-year-old centennial building, mentioned by E6, to the case of E9, which describes a 164-year-old hospital, cases that point to very different contexts of architectural challenges, which cannot be treated in a homogeneous way by health planning. In addition, the limitation of physical space aggravates the situation. E4, for example, mentions that, due to the lack of areas available for expansion, the ideal solution would be the construction of new units.

However, it is observed that, in practice, the most recurrent strategy of public health management has been to conduct renovations and expansions in existing units to accommodate the growing demand for care, instead of the construction of new hospitals. This option, although necessary in certain contexts, often compromises the original architectural quality, generates overload, and does not structurally solve the demands of modernization of the physical infrastructure. This movement also contrasts with the global trend of decentralization of health, in which the planning of smaller establishments closer to the community to be served is prioritized (Mahmood *et al*., 2024; Nunes; Ferreira, 2022).

Another limiting factor is the need for regulatory compliance. Standards of the National Health Surveillance Agency (Anvisa) and state and municipal health surveillance require specific adaptations in hospital structures to ensure the safety and quality of the services provided. E8 reports that, in the case of their hospital, which was inaugurated in 1979, the growth over the decades occurred in an unplanned manner, without adequately considering the regulatory requirements. Currently, however, the institution has an architect hired to plan new expansions and services already in compliance with health surveillance standards, which highlights both the complexity of the modernization process and the need for more rigorous technical planning.

Information Technology (IT) infrastructure is another significant barrier. Many hospitals do not have adequate cabling or capacity to support high-performance networks, which makes it impossible to implement remote monitoring systems, electronic medical records, and process automation. However, there are also positive examples, as mentioned in E6, which recently overcame this limitation and implemented bedside checking of medication administration, demonstrating that modernization is feasible with targeted investments. The most serious case identified in the survey, however, is that of E11, which reports the complete loss of electronic medical records from 2018 to 2021, due to a blackout that occurred in 2021. The collapse was attributed to the continued use of a data center installed in 2008, which was supposed to be replaced every five years. At the time of the research, the equipment had not yet been replaced, illustrating how the fragility of the IT infrastructure can have irreversible consequences for the continuity of care and patient safety.

The high cost to acquire and incorporate new technologies is a transversal barrier to all previous challenges. Hospitals that want to incorporate state-of-the-art equipment, such as surgical robots or intelligent hospital management systems, often run into a lack of financial resources, which is even more evident in public hospitals (E5, E8, E12). E8 explicitly highlights that, in their institution, the primary barrier is financial, and not

physical: “the greatest difficulty is financial... The implementation of these technologies ends up being limited much more to the issue of financial transfer than a limitation of the physical infrastructure”. This position is relevant because it reveals that, even where the physical infrastructure is favorable (E8 describes a horizontal hospital with good installed capacity), the absence of a budget forecast for investment is the main obstacle. This scenario reinforces the need for public policies and incentives to facilitate technological modernization in the health area.

Finally, the lack of professionals with a systemic view of hospital processes compromises the effectiveness of the implementation of innovative technologies. Modern hospital management requires an integrated approach, combining technical knowledge with strategic planning to optimize investments in innovation. E3 highlights this gap, emphasizing the need to train professionals to lead digital transformation processes in health. Likewise, E4 reported the difficulty of keeping trained professionals due to the turnover of contracts, compromising the learning curve necessary for the efficient use of technologies. These findings are in line with Dal Mas *et al*. (2023), who identify organizational resistance and the lack of digital skills as central barriers to digital transformation in healthcare, as well as with Fogaça (2025), who highlights the high turnover and absences of health professionals, in addition to the importance of talent retention. In this sense, retention is a fundamental strategy to ensure the continuity of processes, consolidate institutional learning and favor the sustainable incorporation of technologies in health services.

Impacts of emerging technologies on the hospital’s physical environment

Next, interviewees were asked how emerging technologies have impacted the hospital’s physical environment. From the answers collected, it was possible to identify common patterns among hospitals.

Several hospitals mentioned the need for structural adaptations to accommodate new technologies. E6, for example, highlighted that the current master plan already provides for adjustments to receive state-of-the-art technologies, while E7 stressed the need for physical resizing for equipment such as magnetic resonance imaging and radiotherapy bunkers.

In terms of technological integration, hospitals face challenges in upgrading their facilities. E9 mentioned difficulties in implementing Wi-Fi networks due to the old structure, which would require extremely high investments. E10 also highlighted that, due to the lack of preparation of the building to receive structured cabling, it was necessary to install

external and simplified systems, with apparent wires in several sectors. This solution, although functional, compromises cleanliness and can impact patient safety, increasing the risk of hospital infections, in addition to highlighting the limitations of buildings not designed for current technology demands. On the other hand, E8 highlighted that the horizontal architecture of their hospital favors the incorporation of new technologies, facilitating adjustments in the electrical and network infrastructure.

The acquisition of modern equipment has directly impacted hospital processes. E2 mentioned the implantation of a surgical arch for USD 100 thousand and the introduction of portable ultrasounds that allow bedside exams. The evolution of imaging technologies was highlighted as one of the areas of greatest growth, corroborating the findings of Topol (2019) on the centrality of imaging in the hospital digitization process.

Modernization has also led to a redesign of hospital processes, as mentioned by E3. The use of digital systems to check medication was a differential, according to E9, as it involves resources such as electronic prescription, electronic patient records, and bedside checking. E6 describes an equivalent implementation in which the professional scans the barcode of the patient's wristband before administering any medication, automating both the process of following-up and of stocking. These tools make it possible to automate prescriptions, reduce administration errors, optimize drug inventories, and increase care safety.

Some limitations in access to emerging technologies were reported by interviewees, as in the case of E5, who mentioned not having these resources in their institution. In addition, E10 highlighted that the slowness in the bidding processes represents an obstacle to the implementation of innovations, highlighting administrative challenges that can impact modernization, regardless of the size or management model of the hospital.

Most impacted hospital sectors

To further understand the impacts of the incorporation of emerging technologies, participants were asked which hospital sectors they consider the most impacted, as well as the influence of this process on hospital architectural planning. Chart 3 presents a summary of the most recurrent sectors and their main considerations.

Sector	Influence on architectural planning	Interviewee
Surgical Center	Need to adapt the rooms to new high-tech equipment (robotics, Artificial Intelligence, among others). The heterogeneity of sizes and layouts of existing operating rooms is a concrete obstacle.	E2, E6, E7, E10
Sterile Processing Department (SPD)	Need to adapt the rooms to new high-tech equipment and more efficient flows in sterilization.	E1
Imaging and Diagnostics	Need large rooms and infrastructure to support advanced equipment, such as MRI machines, CT scans, continuous monitoring systems, and digital connectivity for electronic medical records, telehealth, and smart device integration.	E2, E7, E9
Pharmacy	Need automated systems for inventory control and spaces adaptable to tracking technologies, such as RFID tags, barcodes, and sensors for the location of hospital equipment and materials.	E4, E12
Intensive Care Unit (ICU)	Require modern infrastructure to support digital patient care and monitoring technologies.	E4, E10
Emergency and Emergency Room	Adaptation of service flows and integration with digital screening systems.	E8
Administration	Need spaces for monitoring centers and modernization of infrastructure to support the digitalization of processes.	E5, E11
Hospitalization	Need smarter and more automated rooms to improve patient experience.	E6
Oncology & Specialty Treatments	Sectors dedicated to cancer treatment require specialized infrastructure, including radiotherapy rooms with radiation protection, PET-CT equipment for cancer staging and, in perspective, units for performing CAR-T therapy, an innovative immunotherapy modality that consists of the genetic modification of T lymphocytes for the treatment of specific tumors, still incipient in Brazil.	E7, E9, E12

Chart 3 . Hospital sectors most impacted by emerging technologies and the influence on architectural planning. Source: Authors, 2025.

The results of the analysis reveal that the adoption of emerging technologies has a significant impact on several hospital sectors, especially the operating room, imaging and diagnosis, ICU, pharmacy, and emergency. The modernization of these spaces requires adequate infrastructure to support advanced equipment, such as surgical robotics, artificial intelligence monitoring, and digital tracking systems for supplies. In addition, the digitalization of hospital management and the implementation of telehealth require the creation of specific spaces for monitoring centers and optimization of operational flows. Two findings deserve special mention: (a) the emergence of the oncology sector as an area of growing technological and infrastructural pressure – E7 describes a "frightening oncological demand" resulting from changes in the regional epidemiological profile, which drives the urgent need for radiotherapy bunkers and highly complex equipment; and (b) the emergence of cutting-edge technologies that are still incipient in Brazil, such as CAR-T therapy, mentioned by E12 as a future project of the institution, indicating that the frontier of technological incorporation in the hospitals studied goes beyond the conventional Health 4.0 technologies discussed in the literature.

In architectural planning, these advancements require a more flexible and adaptable approach, ensuring that hospital spaces can evolve with new technological demands. The need to expand rooms, reconfigure internal flows, and integrate intelligent systems are fundamental aspects for efficiency and quality in service. Thus, technological transformations not only impact clinical efficiency, but also reshape the spatial organization of hospitals. This finding reinforces the argument of Al-Jaroodi *et al*. (2022), that the Hospital Master Plan should incorporate a long-term vision of future technological demands.

Future perspectives

Finally, interviewees were also asked about future perspectives. Participants evaluated how emerging technologies should impact hospital architectural planning in the short, medium, and long term. The responses converged on a set of interrelated trends and constraints but also revealed a remarkable contrast between institutions with structured strategic planning and those that operate in a predominantly reactive mode, a difference that is not merely in financial capacity, but also in organizational governance.

In general terms, emerging technologies are perceived as transforming hospital operations, with the potential to accelerate diagnoses, optimize care flows, and increase care safety. E3, for example, highlighted that the main changes should occur in the imaging and diagnostic sectors,

pointing to more accurate equipment and the possibility of connectivity via mobile devices that make reports and feedback more agile. However, E4 highlighted a concrete limitation to the effectiveness of this digital transformation: the lack of integration between municipal and state health systems, so that, despite the monitoring of internal data, many institutions still do not have access to information on patients treated in Emergency Care Units (UPAs) or Basic Health Units (UBS), which would reduce the continuity of care and the value added by digitalization. E4 adds that the current systems are often fragmented and complex to navigate, showing that hospital digital transformation is not limited to the existence of digital systems, but also requires that these systems be integrated, intuitive and interoperable with other health networks.

At the same time, the interviewees identified that modernization implies not only the incorporation of technology, but also physical changes in the hospital building. Several institutions reported the need for renovations or expansions to accommodate new technologies, from the readjustment of imaging areas to the creation of specialized units. E2 mentioned that their master plan foresees expansions, such as the modernization of the emergency room and the creation of a new neonatal ICU, exemplifying documented plans that, however, come up against the limitations of the existing physical structure. E7 stressed the need for maintenance and modernization of the building and plans the construction of a new building over the next decade, showing that, for some hospitals, the medium-term solution involves new constructions, while others still depend on internal renovations. The most ambitious case identified in the research is that of E9, which describes the construction of a 10-story tower, designed with a focus on cutting-edge technologies (robotics, pneumatic conveying, and real-time monitoring). The initiative represents a long-term strategy that stands out for the volume of planning and the degree of technological ambition, contrasting with the reality of most of the institutions in the sample.

It is important to emphasize that the standardization of environments emerges as a facilitating condition for the incorporation of cutting-edge technologies. As pointed out by E6, who observed that the existence of nine operating rooms with different sizes and layouts hinders the adoption of equipment, such as robotic surgery, and prevents the optimization of flows and operating costs. E6 projects that the standardization of surgical environments, in addition to enabling robotic surgery in multiple rooms, will bring “absurd cost reduction” due to the gain in scale in the processes, an argument that directly articulates architecture, operational efficiency, and economic sustainability of technological incorporation.

Digitalization, although ongoing, manifests itself with different degrees of maturity among the hospitals studied. Some already have advanced monitoring systems and organized initiatives for innovation governance.

Others, however, face difficulties in integrating heterogeneous platforms and ensuring interoperability. E11 drew attention to the fact that the speed of technological evolution was much higher than the capacity of some hospitals to keep up with such changes, resulting in reactive rather than initiative-taking processes, which reinforces the need for clear institutional policies to guide the adoption of new technologies. E10 endorses this diagnosis by stating that "technologies came very quickly and we did not keep up with the same speed", adding that the absence of a clear institutional policy for technological incorporation means that acquisitions occur on demand, and not by planning.

The contrast between the styles of innovation management is one of the most relevant findings of the study. While E8 describes the creation of a structured Innovation Commission to evaluate and plan the incorporation of new technologies, and E12 reports the hiring of an external company to conduct strategic planning in three time horizons (short, medium and long term), E11 describes the opposite reality: "we work putting out fires on a daily basis", without being able to prepare medium or long-term planning, because the financial resources are insufficient even to cover basic operational demands. This asymmetry between institutions reveals that maturity in innovation governance is not determined only by the size or legal profile of the hospital but above all by the stability and sufficiency of the funding received.

A recurring aspect in the speeches was the centrality of financing and governance in the feasibility of the prospective transformations. Most hospitals pointed to financial difficulties that limit both infrastructure modernization and the implementation of integrated digital systems. Public hospitals reported dependence on transfers and management contracts whose values do not always cover operational and investment demands; E10 exemplified this condition by stating that the unit is "constantly in money deficit". On the other hand, E5 declared lack of preparation to implement emerging technologies, reinforcing that the absence of financial and strategic planning is a concrete obstacle to advancement. These testimonies indicate that, in addition to design decisions, the incorporation of innovations requires more robust public policies, diversified financing mechanisms, and public-private partnerships that can enable structural interventions and ensure the continuity of investments in technology.

The strategies adopted by some institutions point to ways to mitigate the identified obstacles: in addition to the aforementioned Innovation Committee, pointed out by E8, practices such as the standardization of surgical environments (E6), the master plan that contemplates strategic expansions (E2) and the adaptation of services to the expectations of new

generations of patients (E9) demonstrate that organizational and design measures can favor more orderly transitions. E9 points out, in this sense, a trend that has not yet been explored in the national literature: the need to adapt the hospital product to the technological profile of the younger generations of patients, who arrive at the health system with expectations of a digital experience that hospitals today are not prepared to meet, both in terms of interface and care processes mediated by technology.

Finally, Illustration 2 wraps up, in concentric layers, the relationship of interdependence between emerging technologies (inner layer), the physical and procedural requirements necessary for their incorporation (intermediate layer) and the external constraints that enable or limit this process (outer layer).

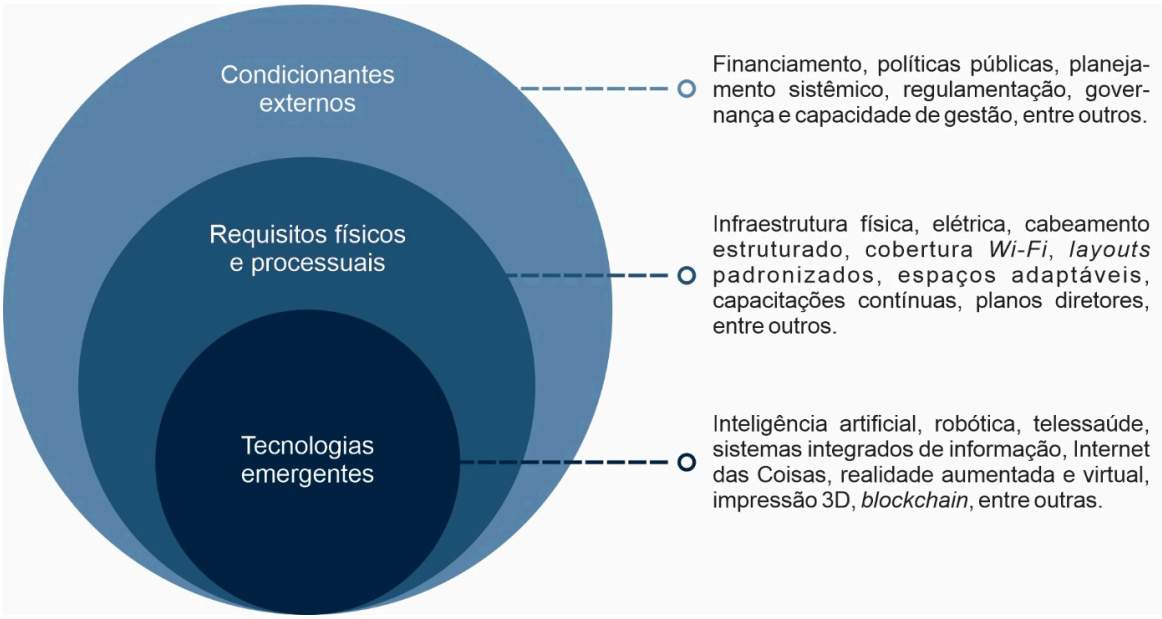


Illustration 2 . Conceptual diagram. Source: Authors (2025).

The diagram translates the central evidence of the study: advances in emerging technologies only materialize when supported by adequate infrastructure (standardized rooms, cabling, networks, imaging areas), institutional processes (master plans, innovation commissions, standardization) and macro constraints linked to the management and planning of the health network (financing, public policies and governance).

The findings also allow us to affirm that the incorporation of hospital technology, when seen from the perspective of managers, is a multilayered phenomenon: it is not limited to the availability of equipment or system, but involves the physical adequacy of the space (dimensions, construction materials, electrical and network installations),

the readjustment of operational processes, the training and retention of professionals, the financial sustainability of the management model and, ultimately, the existence of a public policy that guides and finances this set of transformations in a coordinated and continuous manner.

The diagram intends not only to summarize the findings, but also to highlight that the transition to a more technological hospital model requires coordinated actions at multiple levels and depends simultaneously on investments, conscious architectural planning, institutional governance, and articulated public policies.

Final considerations

This study investigated the incorporation of emerging technologies in the context of Health 4.0 in hospitals in the state of Santa Catarina, focusing on the relationship between these innovations and hospital physical infrastructure. Based on the analysis of the collected data, it is concluded that the incorporation of emerging technologies in hospitals faces multifaceted challenges, including inadequate infrastructure, financial constraints, and the need for more comprehensive public policies that ensure quality of care and guide strategic planning across the hospital network. Overcoming these barriers requires structural reforms, training and continuous development of managers, as well as policies that promote modernization and technological incorporation in the hospital sector.

The findings of this study show that the incorporation of technology in the state hospital network is heterogeneous. A small portion of institutions have already implemented advanced technologies and plan more ambitious incorporations. However, most institutions face significant structural and financial constraints, which restrict the widespread adoption of cutting-edge technologies. In addition, the managers' statements reveal a noticeable distinction between sectors: public hospitals tend to report greater dependence on transfers, obstacles in purchasing processes and budget restrictions; private institutions, although also facing challenges, often have greater investment capacity and agility to incorporate innovations. This differentiation, however, is not absolute. There is internal variation in both sectors.

Hospitals, both public and private, that have already invested in the modernization of their IT infrastructure demonstrate that it is possible to overcome these difficulties, as long as there is adequate allocation of resources and efforts. Thus, the adoption of emerging technologies can contribute significantly to the efficiency and quality of health services in Brazil.

Considering this scenario, it is evident that hospital transformation is not only a matter of technological modernization, but of deep restructuring of hospital processes, fiscal management, and organizational culture. As evidenced by the managers' reports, the absence of adequate funding does not only generate restrictions on the acquisition of equipment: it produces systemic effects on planning capacity, the motivation of management teams and patient safety. This chain of consequences reinforces that hospital technological modernization cannot be treated as an isolated sectoral policy, but must integrate broader agendas of financing, regulation, and governance of the health system. The construction of a more technological hospital environment requires a joint effort among managers, health professionals, and public policy makers, ensuring that innovations indeed benefit the quality of care and the patient experience.

Although the study is limited to the state of Santa Catarina, the challenges identified, old infrastructure, financial constraints, regulatory gaps, and shortage of qualified professionals, are shared by other Brazilian regions with a similar socioeconomic profile, giving broader relevance to the findings. Future research could broaden the geographic scope, include cross-state comparative analyses, and adopt a mixed approach, combining qualitative and quantitative methods. This strategy would allow, on the one hand, deepening the contextual understanding of the experiences and perceptions of the actors involved and, on the other hand, to measure more accurately indicators of digital maturity, enabling greater analytical robustness and expanding the potential for generalization of the results.

Bibliography

AHSAN, M. M.; SIDDIQUE, Z. Industry 4.0 in health care: a systematic review. **arXiv**, 2022. DOI: https://doi.org/10.48550/arXiv.2201.06999. Acesso em: 30 abr. 2026.

AL-JAROODI, J. *et al*. Healthcare 4.0 – managing a holistic transformation. In: IEEE INTERNATIONAL SYSTEMS CONFERENCE (SYSCON 2022), 2022. **Proceedings [...]**. IEEE, 2022. DOI: https://doi.org/10.1109/SysCon53536.2022.9773863. Acesso em: 30 abr. 2026.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução de Luís Antero Reto e Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70, 2016.

BAUSE, M. *et al*. Design for Health 4.0: exploration of a new area. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ENGINEERING DESIGN (ICED19), 22., 2019. **Proceedings [...]**. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. p. 887–896. DOI: https://doi.org/10.1017/dsi.2019.93. Acesso em: 30 abr. 2026.

BODDY, C. R. Sample size for qualitative research. **Qualitative Market Research: An International Journal**, v. 19, n. 4, p. 426–432, 2016. DOI: https://doi.org/10.1108/QMR-06-2016-0053. Acesso em: 30 abr. 2026.

CHANCHAICHUJIT, J. *et al*. An introduction to Healthcare 4.0. In: CHANCHAICHUJIT, J. *et al*. Healthcare 4.0: next generation processes with the latest technologies. Cham: Palgrave Pivot, 2019. cap. 1. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-8114-0_1. Acesso em: 30 abr. 2026.

CRESWELL, J. W. **Research design**: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 3. ed. Thousand Oaks: SAGE Publications, 2009.

DAL MAS, F. *et al*. The challenges of digital transformation in healthcare: an interdisciplinary literature review, framework, and future research agenda. **Technovation**, v. 123, p. 102716, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.technovation.2023.102716. Acesso em: 30 abr. 2026.

DELOITTE Centre for Health Solutions. **Digital transformation**: shaping the future of European healthcare. 2020. Disponível em: https://www.deloitte.com/dk/en/Industries/government-public/research/shaping-the-future-of-european-healthcare.html. Acesso em: 30 abr. 2026.

FAPESC – Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina. **Governo de Santa Catarina firma acordo inédito de R$ 40 milhões para transformar a saúde pública com tecnologia e inovação**. 6 jun. 2025. Disponível em: https://fapesc.sc.gov.br/governo-de-santa-catarina-firma-acordo-inedito-de-r-40-milhoes-para-transformar-a-saude-publica-com-tecnologia-e-inovacao/. Acesso em: 30 abr. 2026.

FOGAÇA, I. R. Ambientes de trabalho para profissionais da saúde: ergonomia, bem-estar e retenção de talentos. In: POMPERMAIER, J. P. L.; NUNES, T. F. B. (org.). **Temas emergentes em arquitetura e engenharias no contexto hospitalar**. Santa Maria: Arco Editores, 2025. DOI: https://doi.org/10.48209/978-65-5417-541-2. Acesso em: 30 abr. 2026.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2023.

GUEST, G.; BUNCE, A.; JOHNSON, L. How many interviews are enough? An experiment with data saturation and variability. **Field Methods**, v. 18, n. 1, p. 59–82, 2006. DOI: https://doi.org/10.1177/1525822X05279903. Acesso em: 30 abr. 2026.

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: 30 abr. 2026.

MACHRY, H. S. **O impacto dos avanços da tecnologia nas transformações arquitetônicas dos edifícios hospitalares**. 2010. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010. DOI: https://doi.org/10.11606/D.16.2010.tde-15062010-130613. Acesso em: 30 abr. 2026.

MAHMOOD, S. *et al*. Decentralization of the health system – experiences from Pakistan, Portugal and Brazil. **Health Research Policy and Systems**, v. 22, p. 61, 2024. DOI: https://doi.org/10.1186/s12961-024-01145-3. Acesso em: 30 abr. 2026.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica.** 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARQUES, I. C. P.; FERREIRA, J. J. M. Digital transformation in the area of health: systematic review of 45 years of evolution. **Health and Technology**, v. 10, p. 575–586, 2020. DOI: https://doi.org/10.1007/s12553-019-00402-8. Acesso em: 30 abr. 2026.

NASCIMENTO, I. J. B. *et al*. Barriers and facilitators to utilizing digital health technologies by healthcare professionals. **npj Digital Medicine**, v. 6, p. 161, 2023. DOI: https://doi.org/10.1038/s41746-023-00899-4. Acesso em: 30 abr. 2026.

NUNES, A. M.; FERREIRA, D. C. A critical analysis of decentralizing the Portuguese public healthcare provision services. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 19, n. 20, p. 13390, 2022. DOI: https://doi.org/10.3390/ijerph192013390. Acesso em: 30 abr. 2026.

POMPERMAIER, J. P. L. **Arquitetura e Saúde 4.0: tecnologias emergentes nas edificações hospitalares do Brasil**. 2024. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2024. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/254480. Acesso em: 30 abr. 2026.

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, 2024. DOI: https://doi.org/10.51891/rease.v10i10.15956. Acesso em: 30 abr. 2026.

RAIMO, N. *et al*. The drivers of the digital transformation in the healthcare industry: an empirical analysis in Italian hospitals. **Technovation**, v. 121, p. 102558, 2023. DOI: https://doi.org/10.1016/j.technovation.2022.102558. Acesso em: 30 abr. 2026.

SES-SC – Secretaria de Estado da Saúde de Santa Catarina. **Com investimento superior a R$ 2,8 milhões, Governo SC inicia modernização do parque tecnológico da rede hospitalar**. 6 jul. 2025. Disponível em: https://www.saude.sc.gov.br/index.php/pt/component/content/article/com-investimento-superior-a-r-2-8-milhoes-governo-sc-inicia-modernizacao-do-parque-tecnologico-da-rede-hospitalar?catid=84&Itemid=101. Acesso em: 30 abr. 2026.

TOPOL, E. J. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. **Nature Medicine**, v. 25, n. 1, p. 44–56, 2019. DOI: https://doi.org/10.1038/s41591-018-0300-7. Acesso em: 30 abr. 2026.

TORTORELLA, G. L. *et al*. Healthcare 4.0: trends, challenges and research directions. **Production Planning & Control**, v. 31, n. 15, p. 1245–1260, 2019. DOI: https://doi.org/10.1080/09537287.2019.1702226. Acesso em: 30 abr. 2026.

Ethical considerations

The research was submitted to the Ethics Committee for Research with Human Beings (CEPSH) of the Federal University of Santa Catarina (UFSC) (CAAE 81424924.0.0000.0121); approval notice: 7.157.381. The participants signed the Informed Consent Form (ICF), agreeing to participate voluntarily, anonymously and confidentially.

Acknowledgments

The present work was carried out with the support of the Coordination for the Improvement of Higher Education Students – Brazil (CAPES) – Financing Code 001.

Authors

João Paulo Lucchetta Pompermaier PhD student in the Graduate Program in Architecture and Urbanism (PósARQ) at the Federal University of Santa Catarina (UFSC). Master's degree in Architecture and Urbanism from the Federal University of Santa Catarina (UFSC). Postgraduate student in Innovation, Emerging and Immersive Technologies for Digital Health (UFG). Specialist in Neuroarchitecture (UNISUL), in Teaching in Higher Education (UNICSUL) and in Interior Design. Graduated in Architecture and Urbanism from the Business Faculty of Chapecó (FAEM/UCEFF). Member of the research group GMETTA – Multidisciplinary Group of Ergonomics of Work and Applied Technologies (UFSC/CNPq) and of the Study Group in Architecture and Hospital Engineering (GEA-hosp/UFBA).

Email: joaopaulopompermaier@gmail.com

Lizandra Garcia Lupi Vergara Architect and Urban Planner and Occupational Safety Engineer. PhD and master's degree in Ergonomics from the Graduate Program in Production Engineering (PPGEP) at the Federal University of Santa Catarina (UFSC) and Post-Doctorate from the University of Illinois at Urbana-Champaign, USA. Full professor of Production Engineering at UFSC, working in the Undergraduate (DEPS) and Graduate Programs in Production Engineering (PPGEP) and Architecture and Urbanism (PósARQ). Supervisor at the Ergonomics Laboratory (LABERGO) and the Assistive Technology and Ergonomics Laboratory (LABTAE). Leader of the research group GMETTA - Multidisciplinary Group of Ergonomics of Work and Applied Technologies (UFSC/CNPq).

Email: l.vergara@ufsc.br

Patrícia Biasi Cavalcanti PhD in Architecture from the Graduate Program in Architecture (PROARQ/FAU) at the Federal University of Rio de Janeiro (UFRJ), with a doctoral internship (sandwich doctorate) at California Polythecnic State University/CA/USA. Graduated in Architecture and Urbanism from the Federal University of Santa Catarina (UFSC) and master's degree in Architecture, more specifically in the sub-area of Technology and Habitability, from the Federal University of Rio Grande do Sul (UFRGS). Associate professor at the Department of Design and Graphic Expression at the Federal University of Santa Catarina (UFSC).

E-mail: patibiasi@yahoo.com

Article

Emergency Hospital of São Bernardo do Campo: context and project

Autores
Sérgio Luiz Salles Souza
Ângelo Bucci

Curator of images and diagrams: **Gabriela Pedini**

DOI: 10.62558/2358-3630/23.03.06

Abstract

This article presents a case study on the intersection between highly complex architecture, participatory dialogue, and urban resilience in the design of the Emergency Hospital of São Bernardo do Campo (EHSBC). In this project, a 20,600 m² health facility functions as critical infrastructure on a site with severe hydrological constraints and high urban density. The methodology is based on an analysis of the participatory co-design process and the technical validation of passive bioclimatic strategies. The adoption of a "dike hospital" structure and the elevation of vital systems ensure operational continuity under conditions of environmental stress. Technical and structural rigor, combined with Evidence-Based Design (EBD), positions EHSBC not only as a clinical building, but as an instrument of urban recalibration and social dignity.

Keywords:

hospital architecture; urban resilience; Evidence-Based Design; critical infrastructure; public health.

1. Introduction – High complexity challenges in vulnerable territories

One of the great challenges of architecture for contemporary public health in Brazil is to reconcile programs of high technological density with urban contexts, often marked by lack of infrastructure and environmental vulnerability. The Emergency Hospital of São Bernardo do Campo (EHSBC) is at the epicenter of this discussion. Designing an emergency hospital — that, by definition, does not admit interruptions — on a narrow site (185 m x 40 m), with a history of recurrent flooding and a shallow water table, requires the project to transcend the medical function to become an "infrastructure of resistance".

This article aims to demonstrate how the choice of architectural design was essential to solve the conflicts between programmatic demand and site restrictions. According to the *SBC Manual of Sustainable Projects and Works*, urban resilience should be the pillar of public interventions in risk areas. At EHSBC, this guideline materialized in an architectural concept that can be called a "dike hospital", in which the building itself acts as a technical and logistical barrier.

According to Roger Ulrich's (1984) definition, taken from his seminal studies on the impact of the built environment on patient recovery, architecture can mitigate patient stress and accelerate clinical recovery processes. Unlike a traditional descriptive memorial, this analysis is based on **Evidence-Based Design (EBD)**. In the context of EHSBC, EBD is therefore a management strategy.

> The integration of natural light and visual connection with the outdoors are not only elements of comfort, but active components in regulating the circadian cycle and reducing delirium in critical environments. (Adapted from the Architecture Memorial – ARQ-PE-0020.)

The author proposes a technical immersion on four fundamental axes: participatory project methodology; flow solutions guided by risk assessment protocols, such as the Manchester Protocol; bioclimatic performance validated by simulations (Mitsidi Report); and tectonics of prestressed concrete as a ten-meter intercolumn and beam-free slabs, ensuring future flexibility. This analysis shows how much the public architecture of excellence is aligned with the operational resilience and humanization of care in the Brazilian Unified Health System (SUS).

2. Methodology – The praxis of co-design and evidence-based decision-making

The programmatic complexity of emergency facilities requires a methodology that transcends the isolated drawing board and establishes itself as a process of dialogue. In the development of EHSBC, co-design (participatory design) was adopted, not only as a listening tool, but as a rigorous technical validation mechanism. As documented in the *Executive Project Memorial* (PE-0010), the process was built on weekly cycles of multidisciplinary collaboration.

The approach was echoed in the theory of Sanders and Stappers (2008), who define co-creation as a paradigm shift in which the user, in this case, the clinical and technical staff, becomes the expert in their own experience, while the architect acts as the facilitator of this spatial synergy. The practice of "design as research" allows design to anticipate operational failures by optimizing workflow. In his reflections on methods of participation, Henry Sanoff (2000) points out that the inclusion of stakeholders in the initial phases of the project reduces institutional resistance and increases the functional effectiveness of the public building.

At EHSBC, this dynamic was fundamental to define the technical backbone and supply logistics. Each specialty (intensivists, traumatology, neurology, pediatrics) contributed with their flowchart of care, which were translated into spatial layouts, ensuring that the design was not just a formal response but a "healthcare algorithm". The methodological process followed four rigorous steps:

1. Immersion and diagnosis – analysis of the demands from the local healthcare network.

2. Synthesis and prototyping of flows – creation of spatial simulations based on the Manchester Protocol.

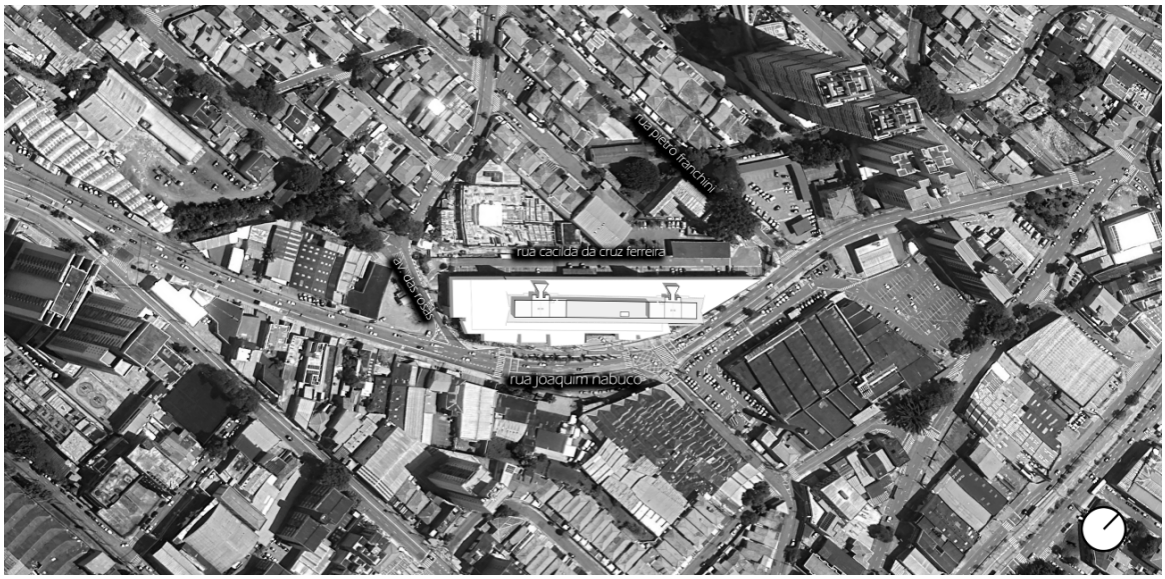
3. Technical iteration – systematic meetings of multidisciplinary compatibility (building structure and systems).

4. Final validation – approval of scale models by the Health Department.



3. The site – The "dike hospital" as a manifestation of infrastructural urbanism

The biggest challenge of the project was the implementation of the EHSBC in a lot measuring 185 meters by 40 meters, containing hydromorphic soil and low slope. The architectural answer — the " dike hospital" concept — is not merely an engineering solution, but a theoretical statement about architecture as urban infrastructure.



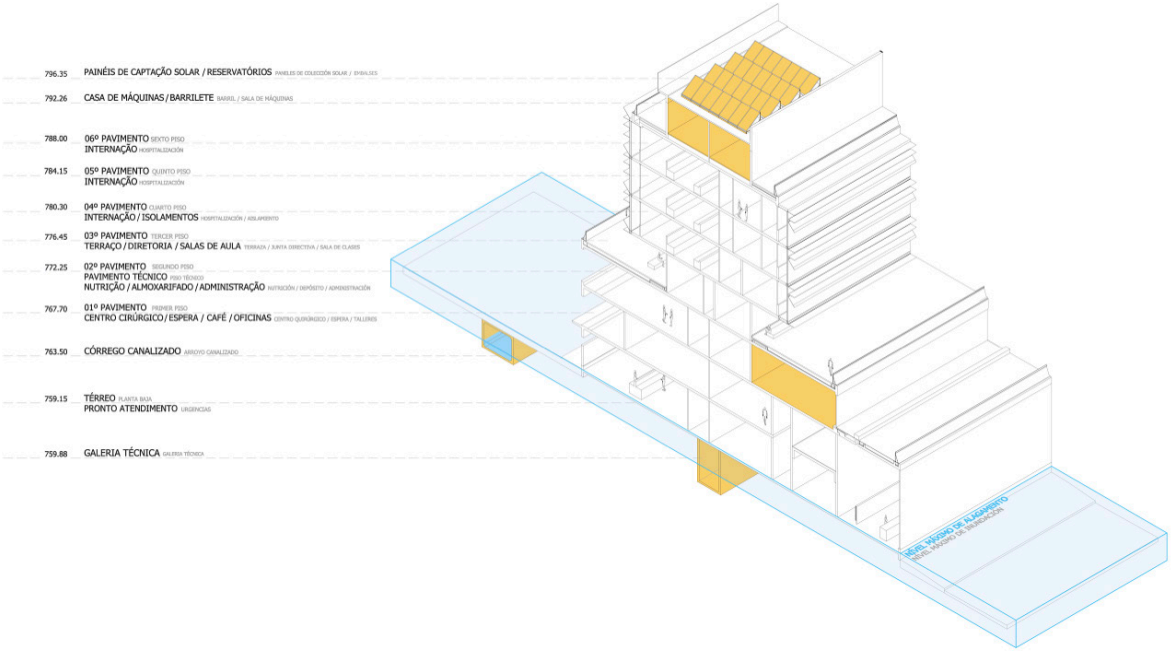
This approach dialogues with the concept of infrastructural urbanism proposed by Stan Allen (1999), in which the building is not seen as an isolated object, but as a system that organizes the territory and generates environmental flows. EHSBC acts as an urban adjustment device that, instead of denying the vulnerability of the terrain, uses it to define its tectonic structure. In line with SBC *Sustainable Projects and Works Manual*, the project raised the ground floor level above the historical flood level, transforming the basement, which defines the ground level, into an active protective barrier.





The decision to locate the utility plants (chillers, generators and gases) on suspended technical floors (second technical floor) subverts the traditional hospital typology, which historically buries its "technical heart" in vulnerable basements. Here, architecture takes on a critical resilience, as discussed by Kenneth Frampton, in which the form responds to the site through a clear and functional structural "carpentry." As highlighted in the Descriptive Memorial (ARQ-PE-0020):

> The elevation of the machines to the upper body of the building ensures that, in the event of a collapse of the urban drainage system, the hospital maintains its energy autonomy, operating as a refuge of resilient infrastructure for the city.

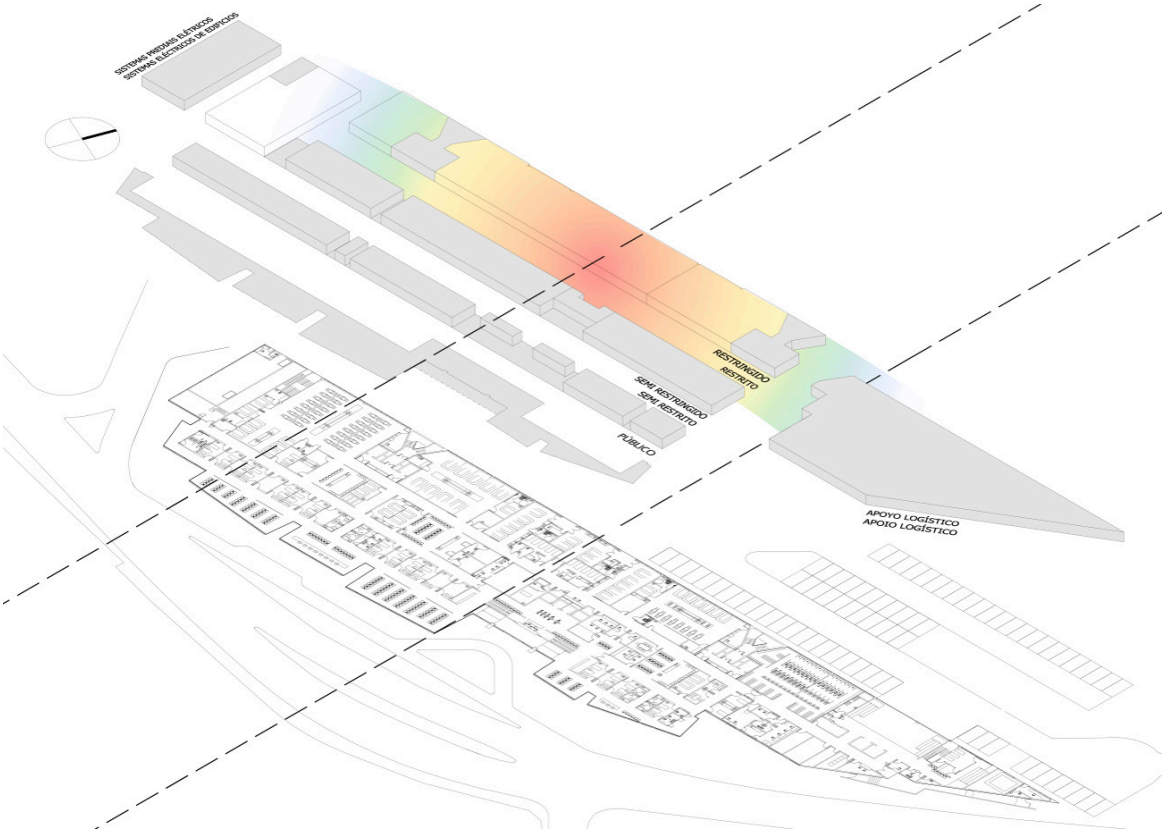


This resilience is materialized by the structure of flat slabs in prestressed concrete, which, without beams, gives the hospital full freedom of interlining. This flexibility is what allows the building to face what Keller Easterling (2014) defines as the "infrastructure space": an ever-evolving system that must accommodate technological upgrades without compromising the continuity of the essential public service.



4. Architecture as triage algorithm – The Manchester Protocol

The spatial organization of the EHSBC is not merely functionalist, but the physical translation of the **Manchester Protocol**, a triage system that classifies clinical risk in colors (red, orange, yellow, green, and blue). In the project, architecture assumes the role of flow manager, minimizing intersections and optimizing response time, a critical factor in an emergency unit.



Unlike the "infinite corridor" hospital model, the structure adopted at EHSBC organizes flows through a clear division by sector. The emergency flow (red and orange)[1] has direct and segregated access from the general public lounge, allowing critical patients to reach the stabilization room without interference[2]. This logic, widely discussed in contemporary literature on hospital management, which is internationally known as Fast Track, is materialized into a technical circulation backbone that vertically connects diagnostic and surgical floors.

The effectiveness of this system lies in the clarity of physical and visual barriers. According to the *Environmental Comfort Manual*, signage and lighting act as guidance devices (cognitive map or wayfinding), reducing user anxiety and increasing the accuracy of the medical team. Architecture,

1 Further reading: MALKIN, Jain. Hospital Interior Architecture: Creating Healing Environments for Special Patient Populations.

2 HERD Journal (Health Environments Research & Design): Search for articles using the prompt "Emergency Department Throughput" and "Triage Spatial Configuration".

therefore, is not only an expression of the protocol. It is through hospital's architecture that the protocol is carried through by enabling the patient to undertake the healthcare path intuitively.

5. The inpatient unit – The 4-in-2 model and the dignity of the scale

One of the points of attention in EHSBC design project is the typology of the wards, the so-called **4-in-2** model. While the conventional SUS standard often adopts wards with six or more beds — which compromise privacy and infection control — the EHSBC reference demanded four beds per room. The proposed architectural solution subdivided the environment of each room into two environments, by placing the toilet in the middle.

This solution dialogues directly with the tradition of humanist modernism. We can draw a parallel with Alvar Aalto's Paimio Sanatorium (1933), whose project started from the patient's cellular unit to define the shape of the building. At EHSBC, the reduction of ward scale seeks to minimize what the Evidence-Based Design (EBD) literature identifies as "environmental stress." By fragmenting the visual perception of the room, noise is reduced and the patient's sense of control over his surroundings is increased.

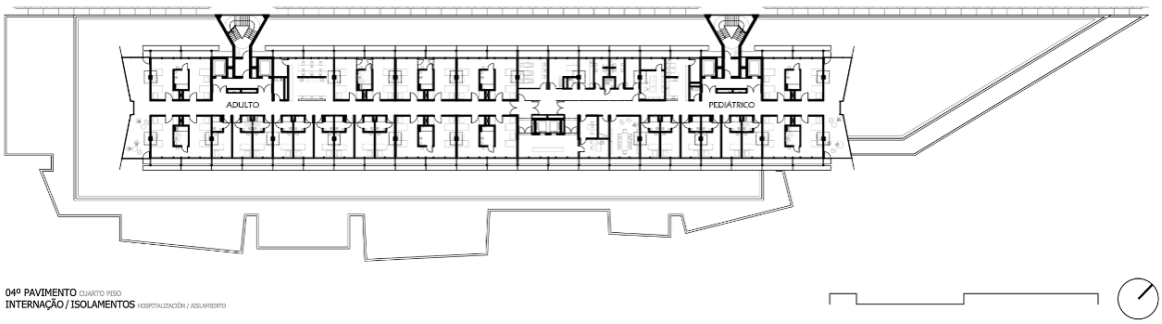
The technical precision of this unit is reinforced by the suppression of the interlining, allowing each bed to have an independent gas and electrical infrastructure, always located on the walls, allowing an environment without lining, with more generous ceiling height and easy maintenance. The design of the ward also prioritizes transparency and natural light along the entire length of the facade, elements that, according to Roger Ulrich (1984), are decisive in reducing the length of hospitalization. The project takes up Jan Duiker's functional purity in the Zonnestraal Sanatorium (1928), where light and air are not only complements, but fundamental health building materials.

> The proposition of low windows and the guarantee of a view to the outside transform the ward into a space of reconnection with the outside world, essential for the maintenance of the circadian cycle and the psychic stability of the patient in a state of emergency. (Adapted from the Architecture Memorial – ARQ-PE-0020.)

In addition to the clinical benefit, the 4-in-2 model offers an operational advantage of flexibility: in isolation scenarios due to specific pathologies, the hospital can block only two beds instead of an entire wing, optimizing the occupancy rate of public equipment.



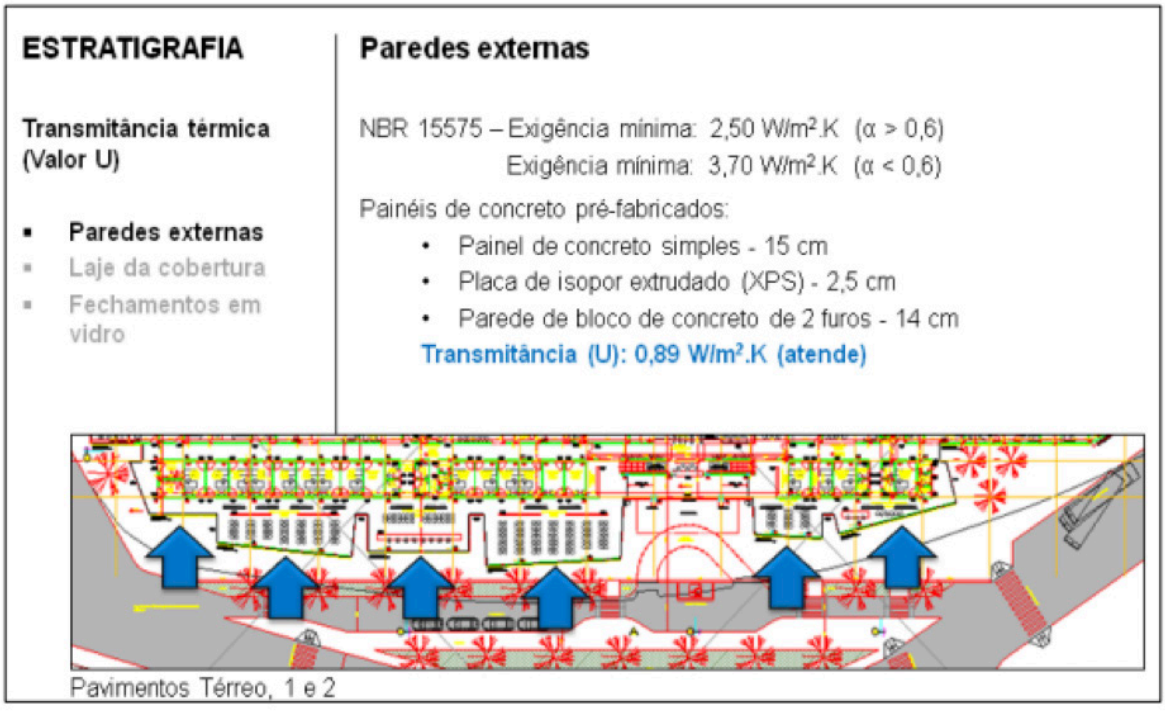
Although the access to adult and pediatric sectors are strictly separated since the ground level, the barrier that separates them on the three floors of the ward can be opened to integrate the entire corridor of rooms in the same unit. This strategy aims to use the seasonal demand of children's hospital to free up beds for adults, both by demand and to enable the ordinary maintenance of inpatient rooms.



6. Bioclimatic performance – The science behind passive comfort

One of the pillars of EHSBC's operational sustainability is its ability to offer thermal comfort with passive systems, that is, with little dependence on mechanical air conditioning systems, especially in inpatient areas, consequently, with low energy consumption. Since, according to the guidelines of the SBC *Manual of Sustainable Projects and Works*, the reduction of energy consumption in public buildings is a metric of management efficiency. At EHSBC, this goal was achieved through a rigorous analysis of its external covering.

The Report prepared by Mitsidi (2017), which subsidized the executive project and carried out thermo-energy simulations, validated the effectiveness of the sunshade system (*brises*) on the facades with the highest solar incidence (east and west). The brises were designed to prevent the incidence of sun on the illuminating facades, allow light and bar heating, and ensure that the internal thermal load remained within the comfort zones established by NBR 15575.



ESTRATIGRAFIA

Fator Solar (FS)
Transmitância térmica (Valor U)

- Paredes externas
- Laje da cobertura
- **Fechamentos em vidro**

Fechamentos em vidro

NBR 15575 – Não há exigência mínima para vidros

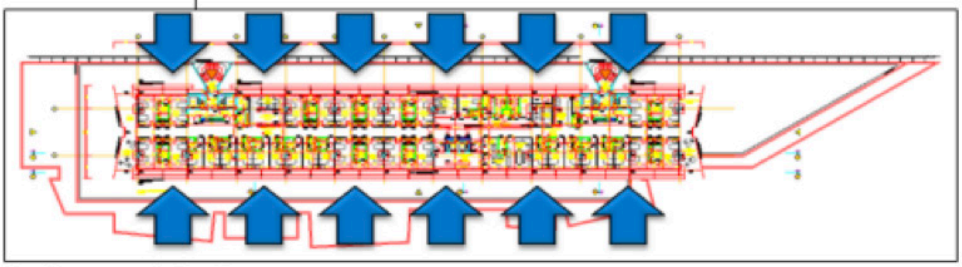
Vidro laminado simples:

- Laminado (4mm / 4mm)

Fator Solar (FS): 82,0%

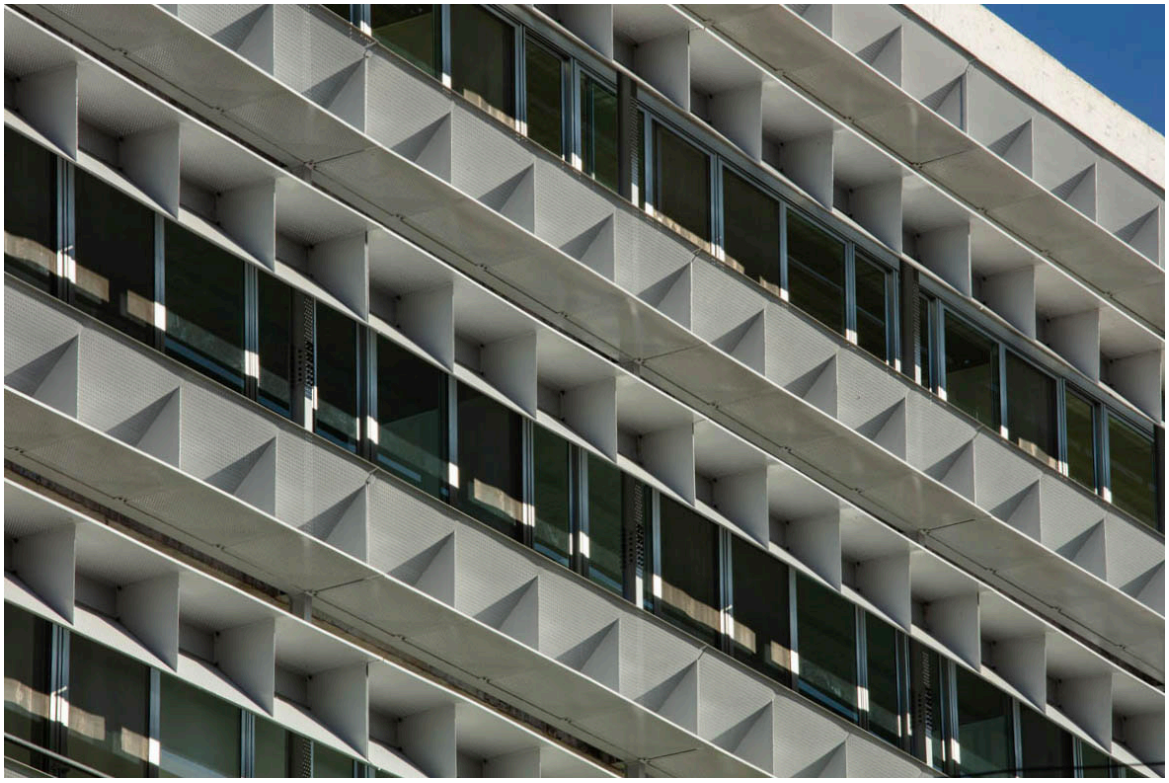
Transmitância térmica: 5,63 W/m².K

Sombreamento com brise horizontal

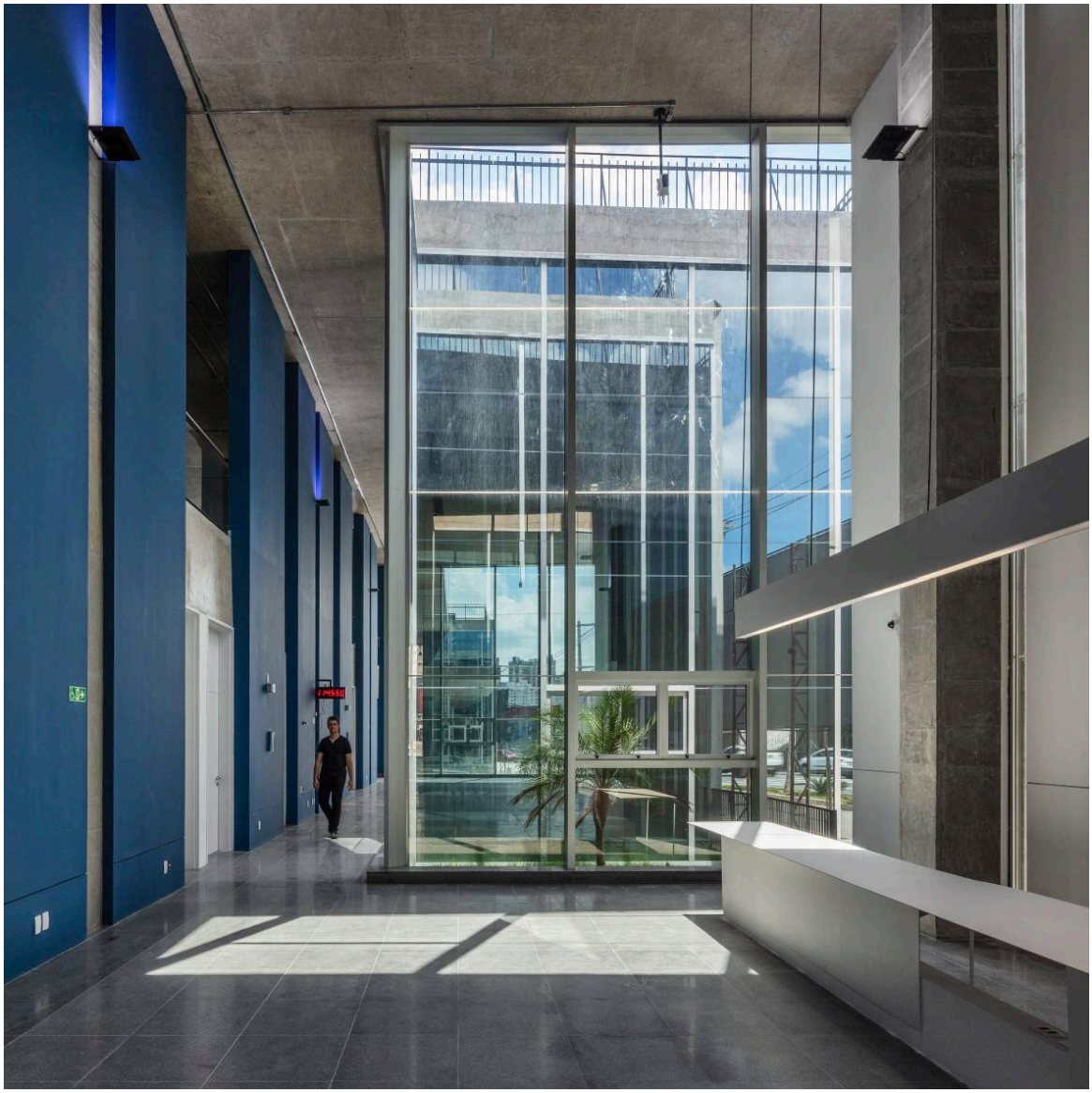


Pavimentos 4, 5 e 6





The bioclimatic strategy is based on the concept of induced natural ventilation and the use of thermal inertia of the concrete structure. As Victor Olgyay (1963) points out in his theory of bioclimatic design, the building should act as a filter between the external climate and the internal metabolic needs. In the hospital context, this "filtering" gains a layer of complexity: the guarantee of air renewal for infection control. The use of operable windows and the double-height ceiling with zenith openings, strategically positioned in the reception and living areas on the ground floor, allow the hospital to "breathe", reducing the proliferation of pathogens and, simultaneously, avoiding the use of air conditioning in areas of low criticality, which generates significant savings in maintenance and energy costs.

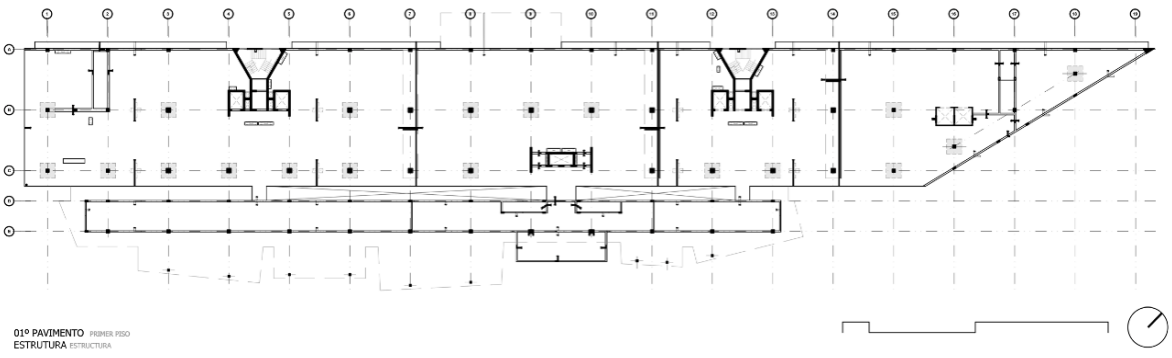


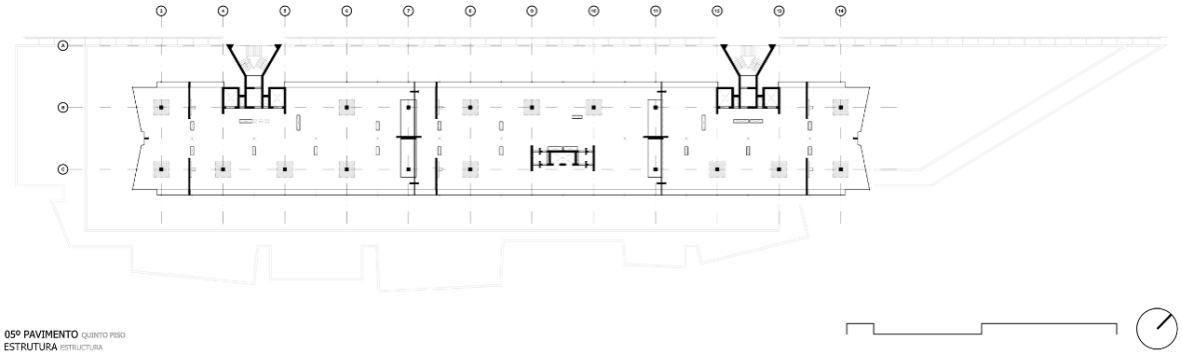
7. Tectonics and longevity – Prestressed concrete as constructive ethics

The materiality of the HUSBC is defined by the reduction of the palette, with the extensive use of reinforced and prestressed concrete for the structure and, as a rule, kept apparent to avoid the unnecessary overlapping of services so often performed out of pure habit (uncritical design). This choice has the meaning of a pragmatic decision focused on speed of execution, low maintenance and durability, or simply *tectonics*, as theorized by Kenneth Frampton (1995). In a public building, low maintenance is an ethical imperative.



The prestressed concrete structural system allowed the execution of large spans and, consequently, the creation of full freedom of interlining, without the interference of beams. The ten-meter intercolumn, considering the depth and type of foundation, is also an economic decision. This technical solution, detailed in *Memorial ARQ-PE-0020*, ensures the hospital's systemic flexibility. By concentrating the facilities in a generous technical void, between the slab and the ceiling, the project allows future technological upgrades of medical infrastructure to take place without the need for destructive interventions in the main structure.





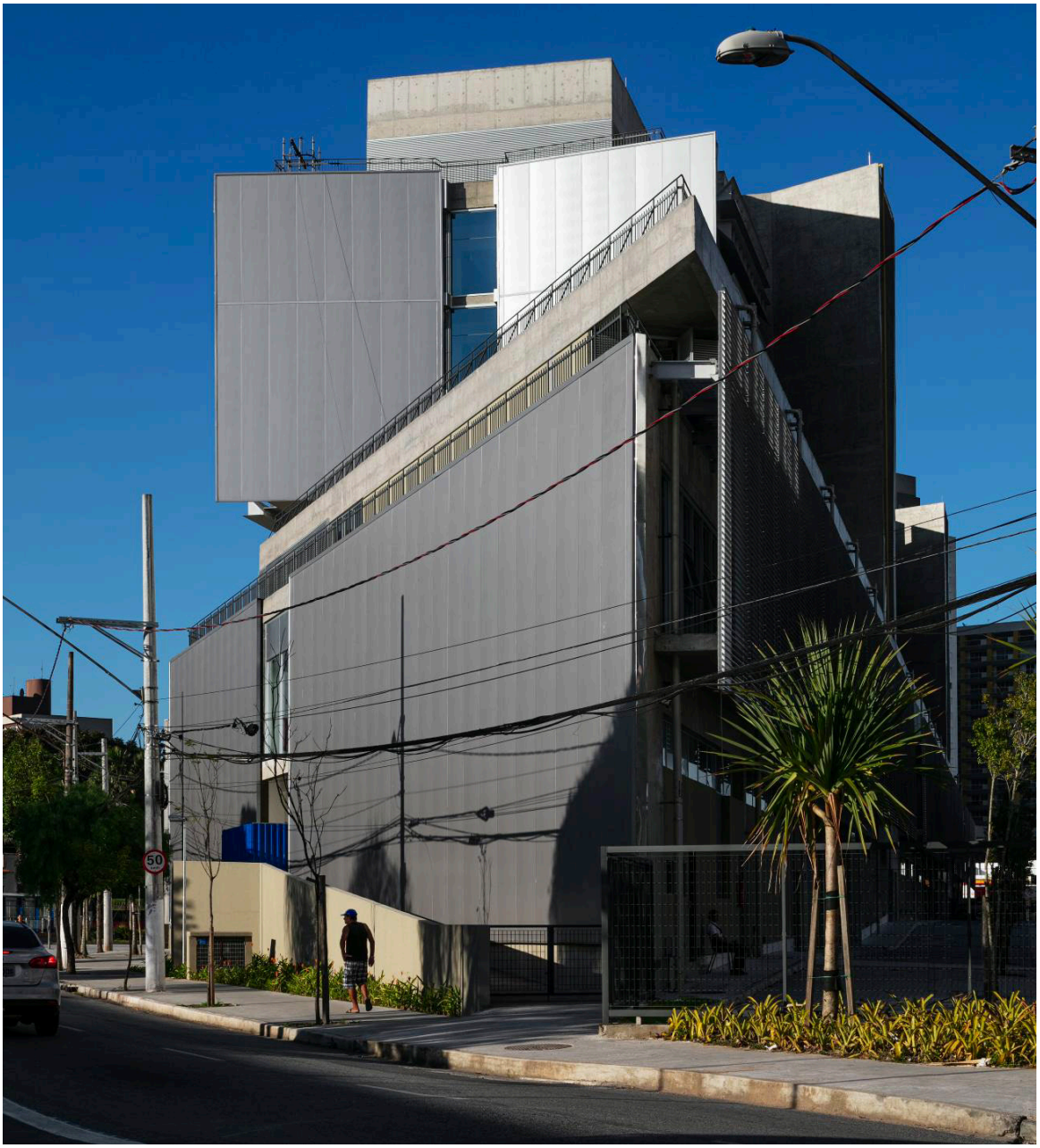
05º PAVIMENTO QUINTO PISO
ESTRUTURA ESTRUCTURA

The building's outer coating, composed of precast panels and aluminum frames, responds to the need for watertightness and acoustic insulation in a noisy urban environment. The technical backbone — the vertical axis that concentrates the shafts and the circulation of utilities — was designed to be externally accessible at strategic points, facilitating preventive maintenance without invading sterile or service areas.

> The technical clarity of the building assembly, in which structure, infrastructure and sealing are read as independent systems, gives EHSBC a constructive intelligence that extends its useful life and minimizes functional obsolescence. (Adapted from the Executive Project Memorial.)

This architectural integration, between the rigor of engineering and the sensitivity of hospital design, results in a building that not only works, but that communicates with the city through its robustness and transparency, reinforcing the role of public architecture as an enduring cultural asset.




50



8. Post-Occupancy Evaluation (POE) – Resilience in real operation

The transition from the design to the built building is the moment when design hypotheses are put to the test. In the case of the EHSBC, the post-occupancy evaluation (POE) proves to be a fundamental management instrument. According to Wolfgang Preiser (1995), POE should not be seen only as a diagnosis of failures, but as a cyclical process that feeds knowledge for future interventions. At EHSBC, the operation started in 2020 allowed us to observe how critical infrastructure responded to extreme demands.

The vertical division of sectors and clarity of supply flows (technical backbone) drastically reduce the time it takes to move materials and waste in-house. The logistical efficiency, provided for in the *Project Memorial ARQ-PE-0020*, materialized in a leaner and safer operation. The strict separation between dirty stream (waste and contaminated materials) and clean stream (inputs and patients) — facilitated by architecture — proved to be a competitive advantage in the management of biological risks.

The system of open and ventilated safety stairs naturally meets both safety demands and the agility of vertical movement, providing employees with a view of the city at different levels of observation.



9. The COVID-19 pandemic as the ultimate stress test

EHSBC opened to the public in May 2020, and it was immediately converted into a referral center for the treatment of COVID-19. This scenario of crisis was a maximum “stress test” for the architectural structure. The flexibility of the 4-in-2 inpatient unit proved superior to traditional group ward models. The possibility of subdividing the four-bed rooms into smaller two-bed units allowed to isolate groups of patients with different levels of severity and infectious profiles, without compromising the total capacity of the ward.

The resilience of the infrastructure, mentioned earlier as the “dike hospital” concept, was validated by the autonomy of the systems. The positioning of the suspended technical pavements ensured that maintenance teams could intervene in the medical gas and air conditioning systems without accessing the contaminated red areas. This external maintainability reduced the risk of cross-contamination between support professionals and care teams.

> The building’s ability to adapt to an unknown and highly transmissible pathology, without requiring emergency structural renovations, demonstrates that design flexibility is ultimately a public health strategy. (Report of the Clinical Board, 2021.)

10. Humanization and user perception – The impact of Evidence-Based Design (EBD)

In addition to technical efficiency, POE sought to measure the perception of well-being of users (patients and employees). Due to the use of Evidence-Based Design (EBD), the project prioritized natural light and visual connection with the skyline and built-up area.



Qualitative reports from patients indicate a reduction in the perception of confinement, a common phenomenon in emergency hospitals with purely artificial lighting. The strategy of low windows in the wards, allowing a view of the horizon even for bedridden patients, corroborates Roger Ulrich's theses on reducing cortisol and improving mood.

For nursing staff and physicians, the ergonomics of the workstations — positioned in such a way as to ensure direct visibility to the beds, but with adequate acoustic treatment — resulted in a decrease in work fatigue. Architecture, therefore, ceased to be a passive scenario to become an active agent in the patient's recovery and the worker's mental health. According to the *Environmental Comfort Manual*, the integration of sober colors, controlled natural ventilation and efficient acoustics transformed EHSBC into a paradigm that "the public building can and should offer the same environmental quality as private centers of excellence".

11. Comparative analysis – From the pavilion to the hospital podium-tower

The evolution of hospital typologies reflects the change in the conceptions of hygiene, medicine and urbanism. To understand the scientific relevance of EHSBC, it is necessary to situate it in the debate between the pavilion model, the vertical single-block structure, and the hybrid solution of basement and blade.

Historically, the pavilion model (such as Lariboisière Hospital in Paris)[3] prioritized cross-ventilation and isolation of pathologies but proved inefficient in terms of flows and logistics in scarce urban terrain. With the advent of air conditioning systems and elevators, hospital architecture migrated to the single-block structure, a compact high-density box. However, the single-block structure often suffers from technological blindness: the heart of the building becomes inaccessible, and the technical areas end up compressed underground, which compromises the maintenance and adaptability of the system — a critical flaw that EHSBC seeks to correct.

The EHSBC opts for the podium-tower typology, with a technical transition floor. This solution allows for the dissociation of two distinct temporal rhythms within the building:

1. Foundation (*podium*) – with logistical and diagnostic nature, requires large horizontal areas and direct connections with built-up urban areas.

2. Hospitalization blade (*tower*) – demands repetition, silence and contact with the outside (light and view).

3 For further information: BOUDON, Françoise. "Système de la brique et de la pierre : l'hôpital Lariboisière". In: *Revue de l'Art*, n. 29, 1975. A detailed technical article on the construction and symbolism of materials (brick and stone) in Gauthier's design.

The superiority of this choice for EHSBC lies in the introduction of intermediate technical flooring. While dense urban hospitals often suffer from infrastructure conflict (beams that block ducts, insufficient shafts), EHSBC creates a spatial truce. As Stephen Verderber (2010) argues, in *Innovations in Hospital Architecture*, the longevity of a hospital is linked to its "capacity for systemic updating without trauma". By raising the tower on a technical floor, EHSBC allows all network complexity (gas, electrical, HVAC) to be managed horizontally and independently, a significantly more resilient solution than traditional single-block rigid stacking.

12. The dialectic of Fast Track – Care efficiency vs. spatial quality

Another turning point in the technical discussion is the implementation of the Fast Track system in emergency care[4]. If the Manchester Protocol[5] organizes the flow by color and gravity, Fast Track is the acceleration algorithm for cases of low complexity but with high turnover.

Scientifically, the hospital management literature demonstrates that the bottleneck of emergencies is not only in the lack of beds, but in the poor management of outflows[6]. EHSBC architecture responds to this with the creation of independent circulation circuits that operate in parallel. At EHSBC, the project is not just a container, it is a "flow device".

Compared to contemporary international projects, such as Herzog & de Meuron hospitals (Rehab Basel) or Alvar Aalto clinics, EHSBC maintains the European functionalist rigor but adapted to the reality of Brazilian public health. While Aalto utilized shape to "cure" the individual through the phenomenology of space, EHSBC utilizes structure to "cure" public operation through logistical efficiency.

> "The modern urban hospital must operate as a 'health factory' on the ground, but as a 'space of humanity' on the top. The success of EHSBC lies in not allowing the industrial logic of diagnosis to contaminate the dignity of the rest space." (Extracted from the theoretical foundation of the participatory project).

This duality reinforces the thesis that high-complexity hospital architecture should be understood as a socio-technical system. The choice of prestressed concrete, discussed earlier, is not only structural; it is what ensures that this dialectic between the logistics base and the hospitalization tower can exist without the constraints of an excessively dense network of pillars, allowing the emergency flows to breathe with the necessary fluidity.

4 For further reading: ZILM, Frank. "*The Future of Emergency Department Design*". In: *Journal of Ambulatory Care Management*. GROUP2 ARCHITECTURE. "Lean Design in Healthcare: Emergency Department Case Studies".

5 For further reading: MACKWAY-JONES, Kevin; MARSDEN, Janet; WINDLE, Jill. *Emergency Triage: Manchester Triage Group*. BMJ Books.

6 BOSCH, Sheila J. *et al.* "The Effects of Healthcare Design on Patient Outcomes".

13. The ethics of materiality: durability and maintainability

In the context of public health, the choice of materials transcends the visual dimension to become an asset management decision. At EHSBC, the specification followed the trinomial durability-maintainability-material immunity. As the hospital operates on a 24/7 basis, the interruption for corrective maintenance reforms generates incalculable social and financial losses.

The adoption of reinforced and prestressed concrete as a language and structure reflects what Kenneth Frampton (1995)[7] describes as the "ontology of construction". By exposing the structure, the project eliminates layers of coatings (such as plaster and paint) that would be vulnerable to pathologies and would require periodic repainting. The concrete, treated with water-repellent varnishes and surface protection, offers a robust overlay that is resistant to the aggressiveness of the urban environment.

14. The high-performance outer coating – brises, prefabricated, and impermeability

The EHSBC outer coating is designed as a multi-layer system. For the external seals of the base facing the street, prefabricated concrete panels were used, which guarantee fast assembly and superior quality control in comparison with conventional masonry. These panels have a high level of acoustic insulation, essential for patient comfort in beds facing high-traffic roads.

Aluminum frames with high-performance laminated glass were specified to meet the criteria of impermeability and thermal insulation. The technical highlight is the fixed metal brises, whose geometry was defined by the simulations of the environmental comfort carried out by Mitsidi consultancy. The choice of electrostatically painted aluminum for the shading elements is justified by its resistance to corrosion and structural lightness.

Unlike mobile *brise* systems, which often suffer mechanical failures in public buildings due to lack of maintenance, the fixed *brises* at EHSBC guarantee the effectiveness of passive shading on a permanent basis. According to the *SBC Sustainable Projects and Works Manual*, this passive solution reduces the thermal load by up to 30%, allowing the air conditioning system to operate at lower power regimes, extending the useful life of compressors and *chillers*.

7 For further reading: FRAMPTON, Kenneth. *Estudos sobre a cultura tectônica: a poética da construção na arquitetura dos séculos XIX e XX*. São Paulo: Cosac Naify, 2012.

15. Interior materials and compliance with RDC 50

Internally, the specification of materials strictly followed Anvisa's RDC 50, but with an eye toward humanization. In critical areas, such as the operating room and ICUs, conductive and monolithic vinyl flooring was used to avoid the accumulation of dirt and facilitate asepsis.

For the circulation and lounge areas, the use of natural stones (granite) and high-density melamine panels (in controlled areas) seeks to break the traditional clinical coldness. The interface between architecture and engineering is manifested in the detailing of the modular and removable ceilings, exclusively installed in the technical and circulation areas. This choice allows immediate access to the interlining, allowing new data networks or medical gases to be installed without breaking walls or generating dust.

> The technical specification at EHSBC is not an isolated act, but a seam between the sanitary standard and operational efficiency. Every joint, every material, and every surface encounter is designed to withstand harsh use and facilitate sanitation, which is the first line of defense in hospital-acquired infection control. (Extracted from the Specifications Memorial - ARQ-PE-0030.)

16. The interface with the installations – The backbone as an architectural object

The greatest interface between architecture and engineering at EHSBC is its technical backbone. It is a vertical axis of visitable shafts that crosses the building. While, in conventional hospitals, the facilities are "hidden" in inaccessible places, at EHSBC, they are the heart of spatial organization.

This design strategy enables predictive maintenance. Technicians can access electrical panels, gas valves and hydraulic plumbs without entering the wards or restricted areas. This technical evidence elevates the hospital to the *status* of a flexible infrastructure, ensuring that the building can evolve technologically over the decades.

17. The project ritual – From qualitative listening to technical formalization

At HUSBC, the co-design methodology was not passive advisory, but a series of flow simulation workshops. During the preliminary design phase, the weekly meetings focused not only on "what" the doctor wanted, but on "how" space could repair human error.

A practical example of this methodological iteration occurred in the definition of emergency and shock rooms. Initially planned in a conventional layout, discussions with the traumatology team revealed that

bed arrangements needed to allow a 360-degree view from the central nursing ward, but with the possibility of rapid isolation in case of invasive procedures. This led to the design of service islands with suspended infrastructure (stands), freeing the floor for the free movement of crash carts and multidisciplinary teams.

This transposition methodology, in which clinical demand is translated into spatial metrics, is based on E.T. Hall's (1966) principles of proxemics. EHSBC's architecture manipulates distances to ensure that, in the stress of urgency, space works in favor of the professional, reducing what ergonomics calls cognitive load. Each layout decision was submitted to virtual flow tests, in which the patient's travel time from trauma to the operating room was timed, resulting in the creation of exclusive-red-code elevators.

18. Architecture in times of the Anthropocene – The hospital as a spot of resilience

By connecting EHSBC to the *SBC Sustainable Projects and Works Manual*, we realized that the project anticipates a vital discussion: the resilience of critical buildings in the face of extreme weather events. The concept of a "dike hospital" gains a political and environmental dimension here. In the context of the Anthropocene, in which urban flooding becomes more frequent and severe, the hospital cannot be a victim of the territory; on the contrary, it should be an anchor point.

The strategy of raising the technical heart of the hospital to the second floor – protecting transformers, generators and medical gas plants – in addition to establishing the ground floor level at the safe level, dialogues with the concept of **amphibious architecture**. While the surrounding urban infrastructure may fail due to overflowing channels or soil saturation (shallow water table documented in the drilling reports), EHSBC remains an island of functionality.

This approach is underpinned by C.S. Holling's theory of evolutionary resilience, adapted for architecture by contemporary researchers. A resilient building is not one that is rigid and indestructible, but one that possesses redundancy and the ability to maintain vital functions under disturbance. By adopting pre-stressed concrete and large spans, EHSBC allows one wing to absorb the function of a compromised one without systemic collapse.

> Sustainability at EHSBC is not only measured by green seals, but by its ability not to interrupt care. In a climate change scenario, the greatest virtue of a hospital is its operational resilience. (Theoretical foundation based on the Manual of Sustainable Works.)

The integration of its own drainage systems, with basins for accumulation and reuse of rainwater, makes the hospital act as a water compensation device for the neighborhood. Thus, the building returns to the city a regulation that the dense and impermeable urbanization of São Bernardo do Campo had removed. EHSBC, therefore, ceases to be just a health building to become a piece of blue[8] and green[9] structure, essential for urban survival in the 21st century.

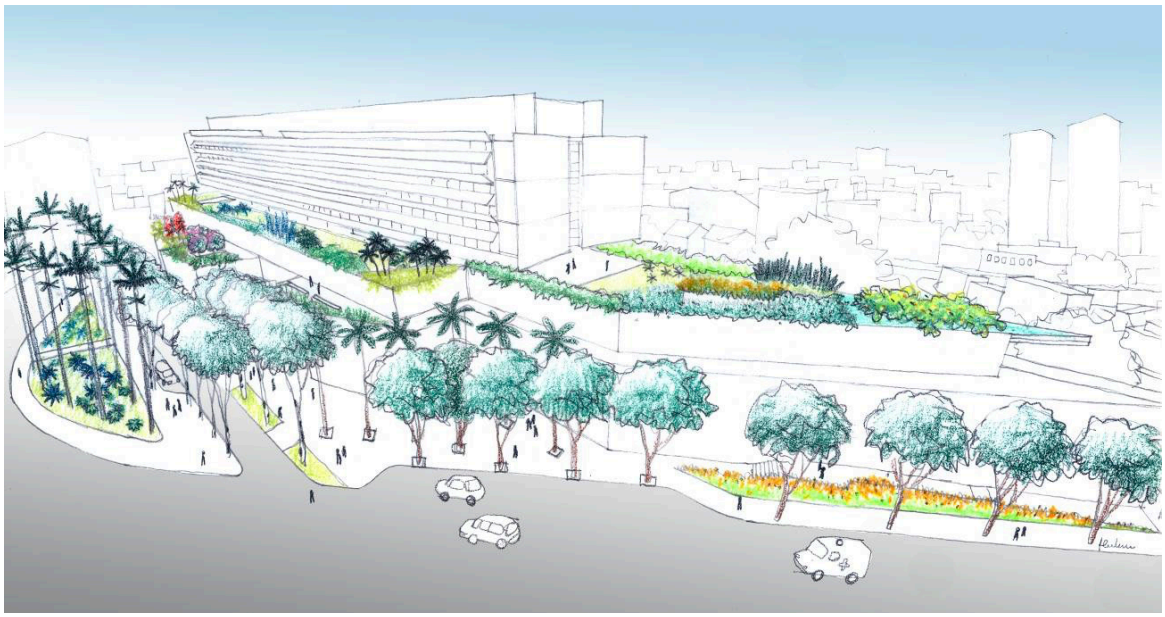
19. The human scale in the metropolitan facility – The hospital and the street

Establishing a 20,600 m² building on a narrow and densely populated lot requires a sensitivity that transcends the hospital program. EHSBC does not behave like an institutional bunker, on the contrary, within its limits, it seeks to establish a new urbanity for São Bernardo do Campo. In line with the guidelines of SBC Manual of Sustainable Projects and Works, the project qualifies the public space by treating the frontage not as a residual void, but as an extension of the sidewalk, promoting what Jane Jacobs (1961) defines as the "eyes of the street".

Unlike the typology of walled hospitals, EHSBC uses the transparency of the basement and the design of the landscaping to smooth the transition between the public domain and the highly complex environment. The access square, protected by the swing of the prestressed structure, offers shade and shelter, functioning as an urban waiting room that welcomes not only hospital users, but pedestrians who transit through the region. This strategy of welcoming architecture is fundamental to relieve the stigmatization of public healthcare facilities, transforming them into an area of civility and care.

8 For further reading: DREISEITL, Herbert. *Waterscapes: Planning, Building and Designing with Water.* Birkhauser, 2001.

9 BENEDICT, Mark A.; MCMAHON, Edward T. *Green Infrastructure: Linking Landscapes and Communities.* Island Press, 2006.



20. The hospitality paradigm – Space as an agent of healing

The concept of hospital hospitality[10], widely debated in the contemporary literature on architecture for health, proposes that the environment should act as psychological support for patients and their companions. At EHSBC, this hospitality is embodied in air quality, an abundance of natural light and acoustic control.

Based on the **Environmental Comfort Manual**, the project uses colors, textures and light as components of the healing environment. As Roslyn Lindheim (1985) points out, loss of control and disorientation are the main sources of stress in hospitals. At EHSBC, the clarity of vertical circulation and the constant view of the outside help patients to situate themselves in time and space, maintaining the link with the reality outside the disease.

The hospitality extends to the clinical staff. Rest environments for doctors and nurses were designed with the same premises of bioclimatic comfort as the wards. Recognizing that architecture must take care of those who care for it is one of the pillars of the equipment's social sustainability. An environment that reduces human fatigue and error is, by definition, a more efficient and cost-effective environment for public management.

21. "City Hospital" – Redundancy and programmatic diversity

EHSBC operates as a microcity. In addition to the clinical areas, the building houses a complex network of services: from waste management and sterilization centers to teaching auditoriums and areas for social gatherings. This programmatic diversity requires an infrastructure that supports intensive use without collapsing.

The solution of having visitable technical pavements, already discussed, enables this "microcity" to continuously adapt. In a public health context, where demand is always growing and resources are finite, systemic flexibility is the greatest form of savings. EHSBC demonstrates that excellent public architecture is not a luxury, but a strategy for optimizing resources. By investing in a robust and flexible structure, the State avoids the premature obsolescence of the building and ensures that it will serve multiple generations, adapting to new medical technologies that we cannot even imagine today.

22. Synthesis – The ethics of technique in architecture for health

Evidently, Emergency Hospital of São Bernardo do Campo (EHSBC) represents a rupture in the purely descriptive and functionalist model of hospital care. The project establishes a reflection for Brazilian public architecture, in which technique — manifested in the prestressed structure, exposed concrete and hydrological barrier systems — is not an end but a means to enable care and human dignity.

10 MALKIN, Jain. A Healing Architecture. New York: McGraw-Hill, 1992.

Dealing with the confrontation imposed by a vulnerable terrain and an urgent social demand, EHSBC demonstrates that architecture acts as a critical infrastructure. The starting of the "dike hospital" and the elevation of vital systems for suspended technical pavements are not only engineering solutions, but manifestations of an ethical responsibility for the continuity of public service.

23. Contributions and considerations to the scientific and design field

EHSBC's experience during the COVID-19 pandemic served as the final empirical validation of these assumptions. The flexibility of the 4-in-2 inpatient model and the technical independence of the floors ensured that the hospital was not just a building, but an instrument to combat the health crisis.

The potential contributions of this article to the contemporary debate in hospital architecture are summarized in three pillars:

1. Co-design endorsement – the demonstration that the participatory process with the clinical staff results in more efficient operational flows and more human environments.

2. Evidence-Based Design (EBD) effectiveness – the proof that passive bioclimatic strategies, validated by thermal and lighting simulations, ensure comfort and operational sustainability without overdependence on mechanical systems.

3. Resilience as an architectural attribute – the proposition of an urban hospital typology that anticipates climatic and hydrological challenges, maintaining its autonomy in scenarios of environmental stress.

These three pillars gain greater relevance in large-scale and highly complex public facilities such as this one, providing insights and updating the architectural agenda in the current context, especially in the face of sustainability and climate change. Thus, they are also pillars that sustain what is now recognized as architectural quality. However, the judgment that attributes specific weight to each of the specialties that ultimately constitute the architectural fact is not based on any one of them alone. In other words, neither the specialties nor the pillars, in principle, occupy a leading role. The judgment that establishes the appropriate hierarchy among them depends on each case and on all the variables that define it. This ethical judgment, in fact, corresponds to the very definition of architecture.

The conclusion is that EHSBC reaffirms the role of the architect as an articulator of complex knowledge. At the intersection of medicine, engineering, urbanism and social sciences, a building emerges not only to house healing, but to heal the city itself by offering it a referral place of excellence, resilience and beauty. The academic rigor learned at FAU-USP, combined with the avant-garde design practice, leaves this hospital with the legacy that Brazilian public health deserves the best that architecture can produce.

Bibliography

ALLEN, Stan. **Points + Lines: Diagrams and Projects for the City**. New York: Princeton Architectural Press, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575**: Edificações habitacionais — Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC nº 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. Brasília, DF, 2002.

EASTERLING, Keller. **Extrastatecraft: The Power of Infrastructure Space**. London: Verso, 2014.

FRAMPTON, Kenneth. **Studies in Tectonic Culture: The Poetics of Construction in Nineteenth and Twentieth Century Architecture.** Cambridge: MIT Press, 1995.

HALL, Edward T. **The Hidden Dimension**. Garden City: Doubleday, 1966.

HOLLING, Crawford S. Resilience and stability of ecological systems. **Annual Review of Ecology and Systematics**, Palo Alto, v. 4, n. 1, p. 1-23, nov. 1973.

JACOBS, Jane. **The Death and Life of Great American Cities**. New York: Random House, 1961.

LINDHEIM, Roslyn. **New Design Parameters for Health Care Facilities**. New York: National Academy Press, 1985.

MITSIDI PROJETOS. **Relatório de Eficiência Energética e Desempenho Térmico: Hospital de Urgências de São Bernardo do Campo**. São Paulo: Mitsidi, 2017.

OLGYAY, Victor. **Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism**. Princeton: Princeton University Press, 1963.

PREISER, Wolfgang F. E. **Post-Occupancy Evaluation**. New York: Routledge, 1995.

SANDERS, Elizabeth B.-N.; STAPPERS, Pieter Jan. Co-creation and the new landscapes of design. **Co-design**, v. 4, n. 1, p. 5-18, mar. 2008.

SANOFF, Henry. **Community Participation Methods in Design and Planning**. New York: John Wiley & Sons, 2000.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Secretaria de Obras. **Manual de Projetos e Obras Sustentáveis de SBC**. São Bernardo do Campo: PMSBC, 2017.

SÃO BERNARDO DO CAMPO. Secretaria de Saúde. **Manual de Conforto Ambiental Hospitalar**. São Bernardo do Campo: PMSBC, 2018.

ULRICH, Roger S. View through a window may influence recovery from surgery. **Science**, v. 224, n. 4647, p. 420-421, abr. 1984.

VERDERBER, Stephen. **Innovations in Hospital Architecture**. New York: Routledge, 2010.

APENDIX A – Technical Specifications

Emergency Public Hospital

São Bernardo do Campo, SP, Brazil

Project development: 2014 - 2015

Building process: 2015 – 2016

Architects

SPBR Architects

Angelo Bucci

Tatiana Ozzetti, Nilton Suenaga, Beatriz Marques, Victor Próspero

Lucas Roca, Martha Bucci, Beatriz Brandt

ARQLAB

[Hospital Architecture Consultancy]

Sérgio Salles

Ivan Portero, Priscila Segala, Vinicius M. Oliveira, Fernanda V. Santos

SIC ARQUITETURA

[Support for the production of drawings in Autocad]

Fabio Kassai

Bruno Taiar de Carvalho, Ana Carolina Artuzi Aipp, George Ferreira, Renata Ribeiro Lopes, Mariana Ginesi

Consultants:

Structure

Kurkdjian Fruchtengarten

Foundation

ENGEOS Engenharia e Geotecnia

Building installations

MHA Instalações

Landscaping

Raul Pereira Arquitetos Associados

Budget and Costs

Alberto Costa Neto

Specification engineering

Leonardo Katori

Lighting

LUX Projetos - Ricardo Heder

Energy Efficiency

MITSIDI - João Leal, Arthur Cursino, Edward Borgstein

Waterproofing

PROASSP

Industrial kitchens

NUCLEORA

Elevators

ZAPP Consultoria

Fire Protection

Cel. Altino Gianesini

Client

Fundação do ABC/ São Bernardo do Campo City Hall

Program

Emergency Public Hospital

Land area

17,548.16 m²

Total built area

21,831.81 m²

Structural System

Conventional and prestressed reinforced concrete

Main materials

Concrete, steel, glass, and aluminum

3D models

Ricardo Canton

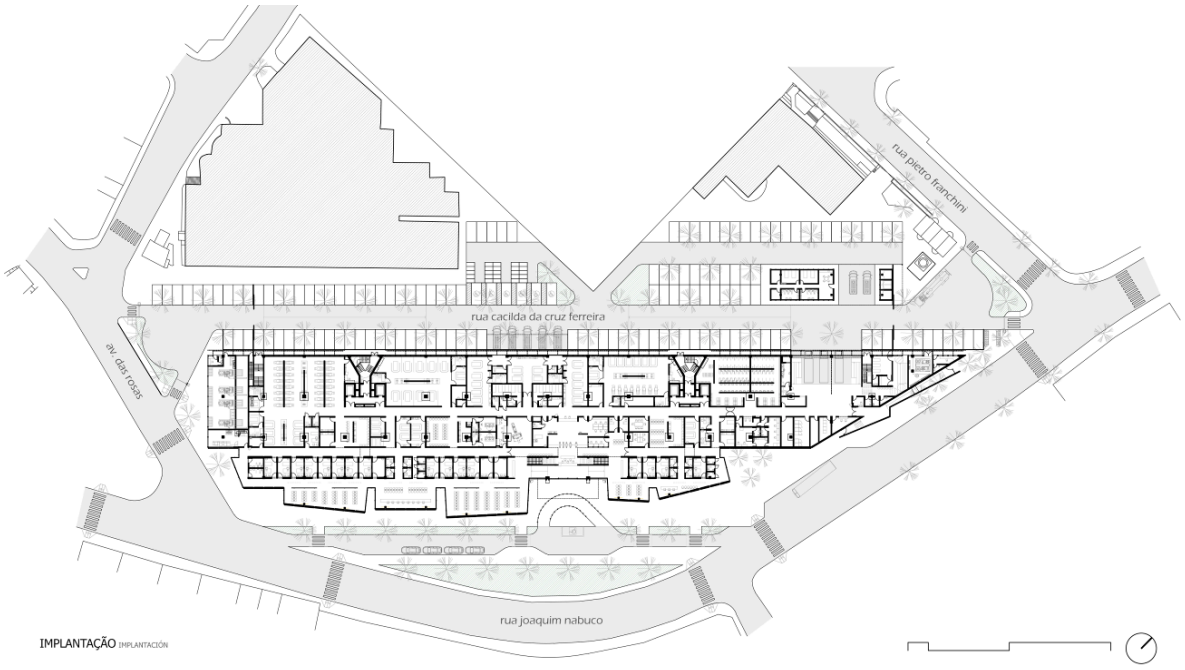
Model

Triviño Maquetes

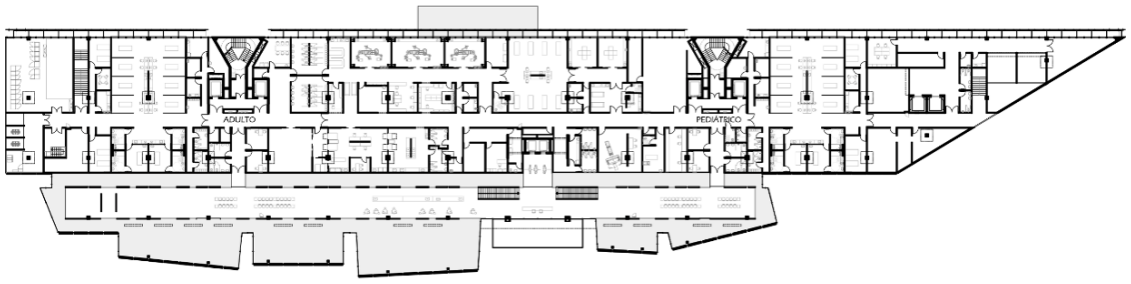
Photos of the building process and of the models

Nelson Kon

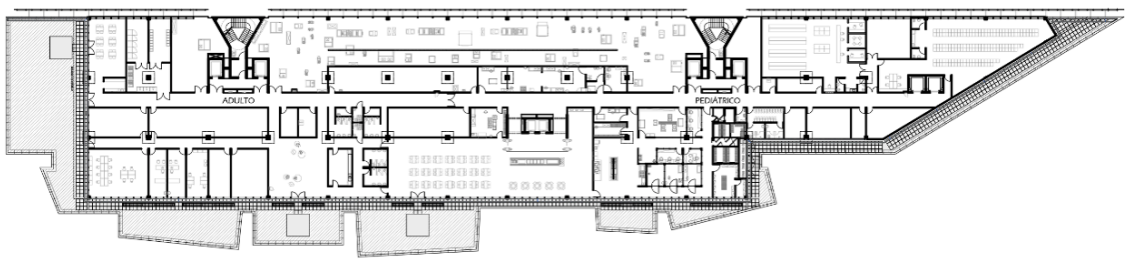
APENDIX B – Blueprints



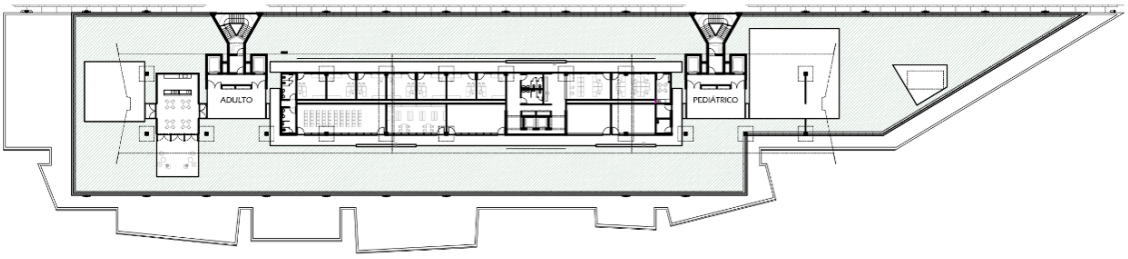
IMPLANTAÇÃO IMPLANTACIÓN



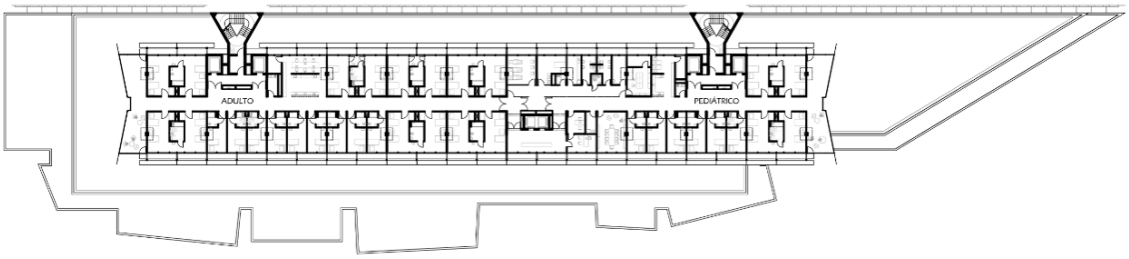
01º PAVIMENTO PRIMER PISO
CENTRO CIRÚRGICO / ESPERA / CAFÉ / OFICINAS CENTRO QUIRÚRGICO / ESPERA / TALLERES



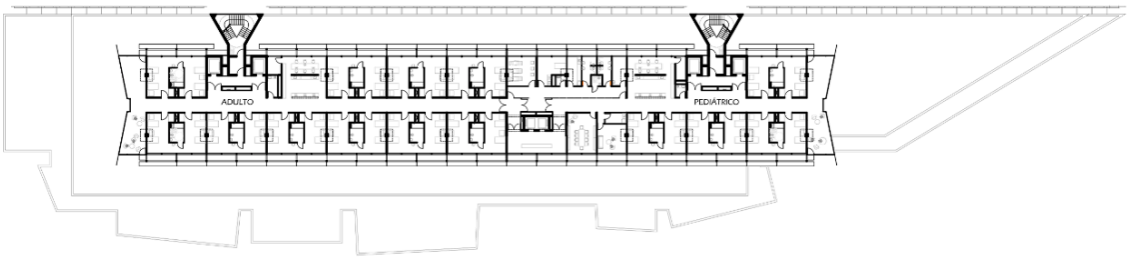
02º PAVIMENTO SEGUNDO PISO
PAVIMENTO TÉCNICO PISO TÉCNICO
NUTRIÇÃO / ALMOXARIFADO / ADMINISTRAÇÃO NUTRICIÓN / DEPÓSITO / ADMINISTRACIÓN



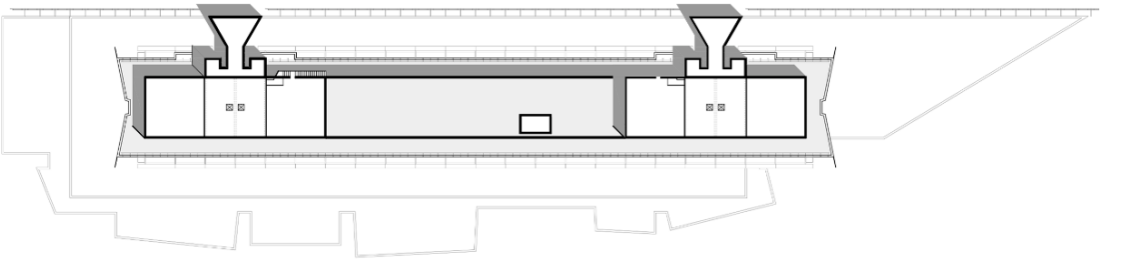
03º PAVIMENTO TERCER PISO
TERRAÇO / DIRETORIA / SALAS DE AULA TERRAZA / JUNTA DIRECTIVA / SALA DE CLASES



04º PAVIMENTO CUARTO PISO
INTERNAÇÃO / ISOLAMENTOS HOSPITALIZACIÓN / AISLAMIENTO



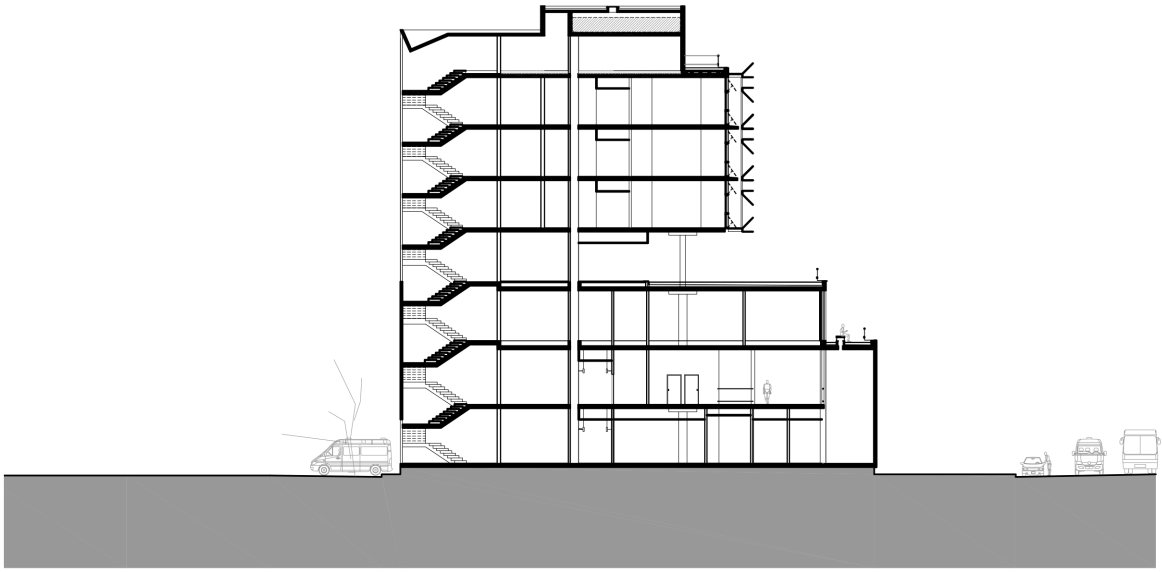
05º PAVIMENTO QUINTO PISO
06º PAVIMENTO SEXTO PISO
INTERNAÇÃO HOSPITALIZACIÓN



COBERTURA COBERTURA



CORTE LONGITUDINAL SECCIÓN LONGITUDINAL



CORTE TRANSVERSAL SECCIÓN TRANSVERSAL

Authors

Angelo Bucci founder and director of the SPBR Arquitetos firm since 2003. He is a professor at FAUUSP in São Paulo, Brazil, and a Professor of the Practice at MIT in Massachusetts, United States. He has also taught in Argentina, Chile, Ecuador, Italy, and Switzerland. In 2011, he was named an honorary member of the American Institute of Architects.

Sérgio Luiz Salles Souza a specialist in healthcare architecture, with more than 30 years of hands-on experience focused on highly complex projects for healthcare facilities. His experience includes coordinating projects such as the São Bernardo do Campo Emergency Hospital, where he applied Evidence-Based Design (EBD) principles to optimize care flows and reduce the risk of hospital-acquired infections.

IPH

INSTITUTO DE
PESQUISAS
HOSPITALARES
ARQUITETO
JARBAS KARMAN