



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DO GUAMÁ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA**

**VERENA MELO BARROS DA COSTA**

**GESTÃO DE ESTOQUE DE PEÇAS E ACESSÓRIOS DA ENGENHARIA  
CLÍNICA**

Belém

2026

VERENA MELO BARROS DA COSTA

GESTÃO DE ESTOQUE DE PEÇAS E ACESSÓRIOS DA ENGENHARIA  
CLÍNICA

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de

Engenharias Elétrica e Biomédica do  
Instituto de Tecnologia da Universidade  
Federal do Pará, como requisito para a  
obtenção do Grau de Bacharel em  
Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Petrônio Vieira Júnior

Coorientadora: Eng.<sup>a</sup> Biomédica Louise  
Couto Duarte

Belém

2026

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD  
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará  
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

---

M528g Melo Barros da Costa, Verena.  
GESTÃO DE ESTOQUE DE PEÇAS E ACESSÓRIOS DA  
ENGENHARIA CLÍNICA / Verena Melo Barros da Costa. — 2026.  
86 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Petrônio Vieira Júnior  
Coorientador(a): Prof<sup>a</sup>. Esp. Louise Couto Duarte  
Trabalho de Curso (Graduação) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Tecnologia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Belém,  
2026.

1. gestão de estoque hospitalar. 2. engenharia clínica. 3.  
manutenção de equipamentos médicos. I. Título.

CDD 000

---

VERENA MELO BARROS DA COSTA

GESTÃO DE ESTOQUE DE PEÇAS E ACESSÓRIOS DA ENGENHARIA CLÍNICA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharias Elétrica e Biomédica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Biomédica.

Orientador: Prof. Petrônio Vieira Júnior

Coorientadora: Eng.<sup>a</sup> Biomédica Louise Couto Duarte

Data da Avaliação: 26/02/2026

Conceito: EXCELENTE

BANCA EXAMINADORA



Prof. Petrônio Vieira Júnior  
(FEEB/ITEC/UFPA – Orientadora)

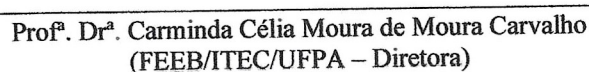


Eng.<sup>a</sup> Biomédica Louise Couto Duarte  
(EBSERH-Coorientadora)



Prof. Dr. Reinaldo Corrêa Leite  
(FEEB/ITEC/UFPA - Membro da Banca)

VISTO:



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup>. Carminda Célia Moura de Moura Carvalho  
(FEEB/ITEC/UFPA – Diretora)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me concedido saúde, força e perseverança ao longo desta jornada acadêmica. A minha avó Maria das Graças, por ser aquela avó de filmes que adora mimar e dar comida aos netos. Aos meus pais, Mariselma e Augusto, por sempre me incentivarem, mesmo com todas as dificuldades me ensinaram a ser a mulher que sou hoje. Aos meus tios, Marilene e João, que sempre me ajudaram e incentivaram minha jornada, na verdade eles são meus pais também. Aos meus irmãos Yago, Lorena e Giovana pelo apoio incondicional, incentivo constante e compreensão nos momentos de ausência e dificuldade. Ao meu sobrinho, Gabriel, que é o amor da minha vida e faz meus dias mais felizes, ele sempre me ajudou mesmo sem saber, com seus abraços e carinho, e às minhas cachorras Mayla e Luna que deixam meus dias mais divertidos e felizes. E por fim, agradeço ao meu avô Carlos Magno de Barros, que infelizmente nos deixou logo no início da minha faculdade, ele sempre me esperava chegar tarde da noite com um abraço, o abraço que eu mais sinto falta hoje em dia. Eu sei que ele está muito feliz com a minha conquista, pois ele foi uma das pessoas que mais me incentivaram a ser quem eu sou e seguir atrás dos meus sonhos.

Aos meus orientadores, Petrônio Vieira e Louise Couto, pela dedicação, paciência, conhecimento compartilhado e pelas valiosas contribuições que foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

Aos colegas e amigos da faculdade, principalmente a minha turma original e ao grupo da Winx e os especialistas pelo companheirismo, apoio moral e troca de experiências durante todo o curso.

Aos amigos que construí durante meus trabalhos: ao Bruno e ao Sávio, que são um dos meus melhores amigos desde o meu 1º trabalho, e até hoje se mantém em contato constante comigo me ajudando sempre que preciso. Ao Afonso, o rei da autoclave, ele me ensinou tudo o que sei sobre a máquina na época que trabalhávamos juntos. E aos demais amigos, como Santana, Reinaldo, Loira, Alexandre, Camilly, Iranildo, Patrick, Dulce, Maria, Markus, Reivison, Maura que me ajudaram a seguir nos momentos difíceis tanto do trabalho quanto da vida pessoal. Agradeço principalmente ao José Netto por ter acreditado em mim e ter me dado a primeira oportunidade de emprego. Agradeço a Louise, que além de ser minha coorientadora é minha amiga e me ensinou tudo o que eu sei sobre engenharia clínica, graças a ela eu sou a profissional que sou hoje em dia. E por fim, gostaria de agradecer ao meu atual chefe Walter,

que me deu a oportunidade de participar da implantação do hospital, acreditando no meu potencial.

Gostaria de agradecer também aos meus amigos de infância, Isabelle, Gilvago, Evandro, Emanuel, gaby, miller, principalmente a Abayomi Diana que sempre me ajudou em tudo que eu precisei nesses anos todos, mesmo à distância, inclusive no momento que eu mais precisei que foi durante a morte do meu avô. Além dela, o Garcez e sua irmã Thayná, que sempre me ajudaram também, assim como a Didi, principalmente a Thay, que ficamos ainda mais amigas nesse tempo em que ela morou em Belém, tivemos a oportunidade de nos aproximar mais, com nossos roles aleatórios.

Agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, como a equipe do Hospital Amazônia, principalmente a enfermeira Amanda que permitiu o estudo na época em que eu trabalhei lá, a equipe do HOL que também ajudou em algumas situações e a equipe do hospital Layr Maia que me ajudou e me fez perceber a quão boa eu sou na área que eu escolhi viver.

Agradeço a todos. Agradeço novamente a Deus, que sabe de todas as dificuldades e mesmo assim me fez perseverar e continuar e hoje me fez brilhar e ser feliz.

Por fim, agradeço a mim mesma, por nunca desistir dos meus sonhos, sempre seguir em frente mesmo quando tudo parece estar desmoronando ao meu redor. Esse TCC é a prova do fim de um ciclo, mas também é o início de um novo ciclo, cheio de desafios e surpresas que um dia me farão olhar para trás e dizer: “Tudo o que vivi valeu a pena para chegar onde estou hoje”.

*“As grandes ideias surgem das observações de pequenos detalhes.”*

Augusto Cury

## RESUMO

O presente trabalho tem como tema a gestão de estoque de peças e acessórios na engenharia clínica, buscando propor soluções práticas e sustentáveis que aliem qualidade técnica e eficiência operacional. A problemática consiste na interferência de deficiência de uma gestão de estoque nos resultados da manutenção realizadas pela engenharia clínica. O objetivo geral é apresentar um modelo de gestão de estoque observando a integração entre os processos de manutenção da engenharia clínica e o controle de estoque. Um modelo de gestão é proposto e aplicado na manutenção de um equipamento de apoio de um estabelecimento assistencial de saúde. Os resultados obtidos evidenciam que a adoção de um modelo de gestão de estoque, alinhado às práticas de manutenção e apoiado por sistemas informatizados de gestão de manutenção (CMMS), promove uma significativa redução de custos, melhora a previsibilidade das demandas de peças e reduz o tempo de inatividade de equipamentos essenciais. Este estudo reforça, portanto, a importância de políticas integradas entre gestão, manutenção e qualidade, como pilares para a excelência nos serviços de saúde e para a consolidação da engenharia clínica como área estratégica dentro das instituições hospitalares.

**Palavras-chave:** gestão de estoque hospitalar; engenharia clínica; manutenção de equipamentos médicos.

## **ABSTRACT**

This work focuses on the inventory management of parts and accessories in clinical engineering, seeking to propose practical and sustainable solutions that combine technical quality and operational efficiency. The problem lies in the interference of deficiencies in inventory management in the results of maintenance performed by clinical engineering. The overall objective is to present an inventory management model observing the integration between clinical engineering maintenance processes and inventory control. A management model is proposed and applied to the maintenance of support equipment in a healthcare facility. The results show that adopting an inventory management model, aligned with maintenance practices and supported by computerized maintenance management systems (CMMS), significantly reduces costs, improves the predictability of parts demand, and reduces downtime of essential equipment. This study therefore reinforces the importance of integrated policies between management, maintenance, and quality as pillars for excellence in healthcare services and for consolidating clinical engineering as a strategic area within hospital institutions.

Keywords: hospital inventory management; clinical engineering; medical equipment maintenance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Eixos temáticos predominantes na literatura revisada.....	37
Figura 2 – Relação entre engenharia clínica e gestão de suprimentos técnicos.....	40
Figura 3 – Classificação da tabela de gestão de riscos de equipamentos.....	42
Figura 4 – Matriz Probabilidade-Gravidade-Frequência (PGF).....	44
Figura 5 – Relação entre indicadores de manutenção e indicadores de estoque.....	48
Figura 6 – Principais desafios e lacunas na literatura sobre gestão de estoque e manutenção hospitalar.....	51
Figura 7 – Fluxograma do processo de compra.....	56
Figura 8 – Fluxograma da revisão contínua baseada em dados históricos na engenharia clínica.....	64
Figura 9 – Equipamentos de autoclave existentes no mercado.....	68
Figura 10 – Componentes da autoclave.....	69
Figura 11 – Plano de manutenção.....	71
Figura 12 – Tabela de periodicidade.....	73
Figura 13– O estoque mínimo de peças para autoclave.....	74
Figura 14 – Determinação das variáveis para programação compra.....	75
Figura 15 – Correlação entre a programação da manutenção e a programação de compras....	76
Figura 16 – Distribuição da frequência de falhas estimado por componentes.....	78
Figura 17 – Distribuição percentual do tempo médio de reparo de autoclaves por tipo de falha.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização da pesquisa.....	16
Tabela 2 – Estratégia de busca bibliográfica.....	17
Tabela 3 – Indicadores de desempenho de manutenção.....	34
Tabela 4 – Síntese dos estudos incluídos na revisão bibliográfica.....	37
Tabela 5 – Estrutura funcional da engenharia clínica e sua relação com o estoque técnico.....	41
Tabela 6 – Indicadores de desempenho de manutenção e estoque técnico.....	46
Tabela 7 – Matriz de classificação de peças por importância e criticidade.....	53
Tabela 8 – Logística do Estoque de Peças e Acessórios.....	58
Tabela 9 – Etapas para dimensionamento do estoque de acessórios de equipamentos.....	59
Tabela 10- Indicadores de desempenho .....	61
Tabela 11 – Periodicidade de manutenção da autoclave.....	72

## LISTA DE ACRÔNIMOS

ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ONA	Organização Nacional de Acreditação
MTBF	Mean Time Between Failures
MTTR	Mean Time To Repair
DAT	Índice de Disponibilidade Técnica
CMMS	Computerized Maintenance Management System
ERP	Enterprise Resource Planning
RBC	Rede Brasileira de Calibração
SI	Sistema Internacional de Unidades
CEP	Comitê de Ética em Pesquisa
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
CNS	Conselho Nacional de Saúde
VIM	Vocabulário Internacional de Metrologia

## SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	13
1.1 Contextualização.....	13
1.2 Objetivo geral.....	14
1.3 Objetivos específicos.....	14
1.4 Justificativa .....	14
1.5 Metodologia .....	15
1.6 Estrutura do trabalho.....	18
CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	20
2.1 Engenharia Clínica e contexto regulatório.....	20
2.2 Manutenção corretiva.....	20
2.3 Manutenção preventiva.....	23
2.4 Manutenção preditiva.....	25
2.5 Calibração .....	27
2.6 Teste de segurança elétrica .....	30
2.7 Relação entre manutenção e gestão de estoque de peças.....	32
CAPÍTULO 3 – GESTÃO DE ESTOQUE PARA ENGENHARIA CLÍNICA .....	36
3.1 Caracterização do setor de engenharia clínica e do estoque .....	40
3.2 Gestão de Riscos de EAS.....	42
3.4 Indicadores de desempenho de manutenção e estoque .....	46
3.5 Desafios e lacunas identificadas na literatura .....	48

3.6 Proposta de modelo para gestão de estoque.....	52
3.6.1 Planejamento e classificação do estoque técnico.....	52
3.6.2 Integração entre manutenção e logística.....	55
3.6.3 Monitoramento por indicadores de desempenho.....	59
3.6.4 Revisão contínua baseada em dados históricos.....	62
3.7 Considerações parciais.....	64
CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO DO ESTOQUE.....	67
4.1 Autoclave: definição, componentes e plano de manutenção aplicado.....	67
4.1.1 Componentes e Conjuntos Críticos da autoclave.....	68
4.1.2 Funcionamento básico do ciclo de esterilização.....	70
4.2 Plano de Manutenção.....	70
4.3 Planilha de periodicidade de substituição dos acessórios.....	72
4.4 Elaboração da planilha de estoque mínimo de peças e acessórios da autoclave	73
4.5 Integração entre Manutenção e Logística de Compras.....	74
4.6 Monitoramento contínuo por indicadores de desempenho.....	76
4.7 Análise integrada e aplicabilidade.....	79
CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	80
REFERÊNCIAS.....	83

## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização

Os estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS) utilizam dos equipamentos médicos para realização dos cuidados à saúde tanto no diagnóstico como na terapia dos pacientes. Segundo a RDC 751/2022, o equipamento médico é qualquer instrumento, aparelho, equipamento, implante, software ou material usado para fins médicos, como diagnóstico, prevenção, tratamento, monitoramento, ou para suportar a vida e o controle da concepção. O setor responsável por todo o processo envolvendo esses aparelhos, como a gestão dos equipamentos médicos, realizando ou participando do processo da aquisição, instalação, treinamento, manutenção e desativação dos equipamentos, é a Engenharia Clínica (EC).

A Engenharia Clínica exerce um papel essencial na gestão da tecnologia em saúde ao garantir que os equipamentos de EAS operem com segurança, confiabilidade e eficiência em todas as etapas do seu ciclo de vida, desde a aquisição até o descarte. Os equipamentos médicos constituem a base tecnológica que sustenta diagnósticos, terapias, procedimentos críticos e monitoramento de pacientes, tornando a atuação da EC indispensável para a qualidade assistencial e a continuidade dos serviços de saúde (CHEHUEN NETO, 2019; SANTOS; AZAMBUJA, 2023). Falhas nesses equipamentos, especialmente quando ocasionadas por manutenções atrasadas ou falta de componentes, podem comprometer o atendimento, elevar custos operacionais e aumentar riscos clínicos, evidenciando a relevância estratégica dessa área (ANVISA, 2019).

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019) determina que todos os materiais e equipamentos submetidos à vigilância sanitária devem possuir histórico rastreável de substituições e manutenções. Programas de acreditação hospitalar, como a Organização Nacional de Acreditação (ONA, 2021), e normas internacionais, como a ISO 13485:2016, destacam que a organização e a rastreabilidade de peças são requisitos fundamentais para garantir segurança, conformidade e qualidade na gestão de dispositivos médicos. Assim, a gestão de estoque ultrapassa o campo administrativo e passa a ser um componente fundamental para atender padrões regulatórios e assegurar práticas seguras no ambiente hospitalar, alinhando-se às diretrizes da ISO 7101, que estabelece requisitos internacionais para sistemas de gestão da qualidade em organizações de saúde, orientando processos voltados à segurança, eficiência operacional, rastreabilidade e melhoria contínua.

No almoxarifado de um EAS é armazenado o estoque de materiais para manutenção da infraestrutura (estoque técnico) e para os cuidados na saúde (estoque médico). A gestão de estoque trata da organização das etapas dos processos de determinação da demanda, elaboração de uma programação de pedidos, solicitação do pedido atendendo uma logística, e distribuição e registros dos insumos hospitalares. No caso do setor de Engenharia Clínica, pertencente à infraestrutura hospitalar, a demanda é principalmente de peças e acessórios para manutenção de equipamentos. Quando a gestão de estoque é ineficiente acarreta na consequente ineficiência da engenharia clínica. Desse modo, o presente estudo se torna relevante ao propor um olhar aprofundado sobre a relação entre gestão de estoque e desempenho da Engenharia Clínica, contribuindo para a construção de práticas mais seguras, padronizadas e eficientes no ambiente hospitalar.

## **1.2 Objetivo geral**

Propor um modelo de melhoria para a gestão de estoque de peças e acessórios na engenharia clínica.

## **1.3 Objetivos específicos**

- a. Descrever a manutenção de equipamentos de EAS;
- b. Apresentar modelo de gestão de estoque para a EC;
- c. Descrever os indicadores de desempenho aplicáveis à gestão de estoque hospitalar;
- d. Identificar as lacunas e deficiências recorrentes na gestão de estoque;
- e. Propor um modelo eficiente de gestão de peças e acessórios;
- f. Aplicar o modelo proposto para atender manutenção de um equipamento de EAS;

## **1.4 Justificativa**

Uma gestão eficiente de estoque na Engenharia Clínica não se limita à redução de custos operacionais, mas constitui um elemento estratégico para a segurança hospitalar, a continuidade assistencial e a sustentabilidade das instituições de saúde. O planejamento adequado de peças e acessórios destinados à manutenção de equipamentos médico-hospitalares possibilita a execução pontual das manutenções corretivas, preventivas e preditivas, evitando interrupções inesperadas de atividades clínicas críticas e assegurando a disponibilidade dos equipamentos essenciais ao atendimento dos pacientes.

Do ponto de vista econômico e financeiro, a falta de eficiência na gestão de estoque resulta em impactos significativos para as organizações de saúde. A ausência de peças críticas no momento da manutenção frequentemente leva à realização de compras emergenciais, que, além de apresentarem custos mais elevados, comprometem o planejamento orçamentário e aumentam o capital imobilizado de forma não estratégica. Ademais, a indisponibilidade prolongada de equipamentos ocasiona na compra de peças com valor mais elevado que o comum, reduzindo o retorno sobre o investimento e elevando o custo total de propriedade dos equipamentos médico-hospitalares. Em instituições públicas, essa ineficiência pode resultar em desperdício de recursos públicos, enquanto, no setor privado, compromete a competitividade e a sustentabilidade financeira do serviço de saúde.

Sob a perspectiva operacional, a gestão inadequada de estoque impacta diretamente o desempenho da Engenharia Clínica, ampliando o tempo de inatividade dos equipamentos, aumentando indicadores como o MTTR e reduzindo a disponibilidade técnica dos ativos. Esses fatores dificultam o cumprimento de cronogramas de manutenção, sobrecarregam as equipes técnicas e fragilizam a capacidade de resposta do hospital diante de demandas assistenciais emergenciais, especialmente em setores críticos como unidades de terapia intensiva, centros cirúrgicos e serviços de diagnóstico.

No âmbito social e assistencial, a indisponibilidade de equipamentos decorrente da ausência de peças de reposição pode atrasar diagnósticos, postergar procedimentos terapêuticos e comprometer a segurança do paciente. Além disso, falhas na manutenção adequada dos equipamentos podem resultar em não conformidades com normas regulatórias e exigências de acreditação hospitalar, impactando negativamente a qualidade da assistência e a credibilidade institucional.

Diante desse contexto, este trabalho justifica-se pela necessidade de analisar e propor melhorias na gestão de estoque de peças e acessórios na Engenharia Clínica, visando fortalecer a eficiência operacional, reduzir custos, assegurar a conformidade normativa e contribuir para a segurança e a qualidade dos serviços de saúde.

## **1.5 Metodologia**

O presente trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, com caráter exploratório e descritivo, fundamentada em revisão bibliográfica. Essa abordagem metodológica foi adotada por possibilitar a compreensão integrada da otimização da gestão de

estoque de peças e acessórios na engenharia clínica, a partir da análise crítica de produções científicas, técnicas e institucionais previamente publicadas.

A escolha dessa metodologia mostra-se adequada ao campo da engenharia clínica, por se tratar de uma área interdisciplinar que articula aspectos técnicos da manutenção de equipamentos médico-hospitalares com elementos administrativos e econômicos, como controle de estoque, custos e sustentabilidade hospitalar. A abordagem qualitativa permite analisar as inter-relações entre tecnologia, processos de manutenção e gestão de suprimentos, bem como seus impactos na eficiência operacional e na qualidade assistencial.

O estudo analisa como a literatura aborda a gestão de estoques técnicos hospitalares e sua relação com as práticas de manutenção preventiva, corretiva e preditiva, além do uso de sistemas informatizados de gestão. A Tabela 1 apresenta a síntese das principais características metodológicas da pesquisa.

Tabela 1 – Caracterização da pesquisa

Elemento	Descrição
Natureza	Qualitativa
Tipo	Exploratória e descritiva
Método	Revisão bibliográfica sistemática e narrativa
Fontes de dados	Artigos científicos, livros, dissertações, manuais técnicos e documentos institucionais
Período de busca	2015 a 2025
Área temática	Engenharia clínica, manutenção hospitalar e gestão de estoque técnico
Objetivo principal	Identificar e discutir estratégias para otimização da gestão de estoque de peças e acessórios utilizados na engenharia clínica

Fonte: Elaborada pela autora

Foi realizada uma revisão bibliográfica, no período de 2015 a 2025, a qual permitiu consolidar um panorama amplo e consistente acerca das práticas de gestão de estoque técnico e manutenção hospitalar no contexto da engenharia clínica. A análise criteriosa de 35 fontes relevantes, incluindo artigos científicos, livros técnicos, dissertações, teses e documentos institucionais, evidenciou que a temática tem ganhado centralidade nas discussões sobre eficiência operacional, sustentabilidade financeira e segurança do paciente nas instituições de saúde. Metodologicamente, a pesquisa foi estruturada em três etapas principais:

- Levantamento e seleção das fontes científicas com base em critérios de relevância e atualidade (2015–2025).
- Análise qualitativa e interpretativa do conteúdo selecionado.
- Síntese e discussão dos achados, com foco na aplicação prática da gestão de estoque no contexto da engenharia clínica hospitalar.

Para a realização da busca bibliográfica, utilizaram-se descritores e palavras-chave em português e inglês, conforme apresentado na Tabela 2, possibilitando maior abrangência e diversidade de fontes.

Tabela 2 – Estratégia de busca bibliográfica

Idioma	Descritores principais	Descritores complementares
Português	“Gestão de estoque hospitalar”; “Engenharia clínica”; “Manutenção de equipamentos médicos”	“Logística hospitalar”; “Peças e acessórios hospitalares”; “Controle de almoxarifado técnico”; “Eficiência operacional”
Inglês	“Clinical engineering”; “Inventory management”; “Medical equipment maintenance”;	“Hospital logistics”; “Spare parts management”; “Technical supplies control”; “Operational efficiency”

Fonte: Elaborada pela autora

Os resultados obtidos foram submetidos a critérios de inclusão e exclusão previamente definidos, considerando publicações disponíveis na íntegra, alinhadas ao tema da gestão de estoque e manutenção hospitalar, nos idiomas português e inglês. Foram excluídos materiais duplicados, incompletos ou sem aderência direta ao objeto de estudo.

No que se refere aos aspectos éticos, embora a pesquisa não envolva coleta de dados empíricos nem participação de seres humanos, foram observados os princípios de ética científica, especialmente quanto à citação adequada das fontes, ao respeito às ideias originais dos autores e à integridade acadêmica.

Por fim, reconhecem-se as limitações inerentes ao caráter teórico do estudo, relacionadas à dependência das fontes disponíveis e à ausência de validação empírica. Conforme destacam Polit e Beck (2019), tais limitações não comprometem a relevância científica da pesquisa, mas indicam a necessidade de investigações futuras, como estudos de campo ou estudos de caso, que possam aprofundar e validar empiricamente as propostas discutidas.

## 1.6 Estrutura do trabalho

Para garantir uma leitura clara e organizada, este trabalho foi estruturado de forma lógica e progressiva, conduzindo o leitor desde a contextualização inicial até as conclusões e recomendações finais. Cada capítulo cumpre uma função específica dentro da construção do estudo, permitindo compreender de maneira gradual os fundamentos teóricos, metodológicos e práticos da otimização da gestão de estoque na engenharia clínica.

- Capítulo 1 – Introdução: apresenta a contextualização do tema, destacando a relevância da EC no EAS e os desafios relacionados ao controle de estoque de peças e acessórios. Neste capítulo são definidos o objetivo geral, os objetivos específicos, a justificativa do estudo e a metodologia adotada, estabelecendo as bases conceituais e metodológicas que orientam todo o desenvolvimento do trabalho.
- Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: reúne os principais conceitos e referenciais teóricos que sustentam a pesquisa. Inicialmente, aborda-se a engenharia clínica e seu contexto regulatório, seguido da descrição dos diferentes tipos de manutenção aplicados aos EAS. Por fim, discute-se a relação entre manutenção e gestão de estoque de peças, evidenciando a interdependência entre esses processos.
- Capítulo 3 – Modelo de Gestão de Estoque: apresenta a construção do modelo teórico proposto a partir da literatura analisada. Inicialmente, é realizada uma síntese dos estudos encontrados, seguida da caracterização do setor de engenharia clínica e do estoque técnico. O capítulo aborda ainda a gestão de riscos de EAS, os indicadores de desempenho de manutenção e estoque, bem como os desafios e lacunas identificados na literatura. Na sequência, é apresentada a proposta de modelo de otimização da gestão de estoque, detalhada em quatro etapas: planejamento e classificação do estoque técnico, integração entre manutenção e logística, monitoramento por indicadores de desempenho e revisão contínua baseada em dados históricos.
- Capítulo 4 – Aplicação do Modelo de Gestão do Estoque: descreve uma aplicação exemplificativa do modelo proposto, com foco em um equipamento amplamente utilizado no ambiente hospitalar. Inicialmente, apresenta-se a fundamentação da aplicação, seguida da caracterização da autoclave, incluindo definição, componentes principais e funcionamento do ciclo de esterilização. O capítulo contempla a aplicação do plano de manutenção na engenharia clínica, a estrutura geral da aplicação e sua relação com o modelo proposto, bem como as etapas para elaboração da planilha de estoque mínimo e da planilha de periodicidade de substituição

dos acessórios. Por fim, realiza-se uma análise integrada da aplicabilidade do modelo e são apresentadas as considerações parciais.

- Capítulo 5 – Conclusões: encerra o trabalho com a síntese dos principais resultados obtidos, destacando as contribuições do estudo para a engenharia clínica e para a gestão de estoque hospitalar. Neste capítulo são apresentadas as conclusões finais, as limitações da pesquisa e recomendações para a aplicação prática do modelo, além de sugestões para estudos futuros.

Por fim, o trabalho é complementado pela seção de Referências, que reúne todas as fontes bibliográficas e normativas utilizadas, organizadas conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

## **CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Engenharia Clínica e contexto regulatório**

A Engenharia Clínica, ramo aplicado da Engenharia Biomédica, tem como principal missão gerenciar de forma sistemática todo o ciclo de vida dos equipamentos médico-hospitalares, abrangendo desde a fase de aquisição, instalação e calibração até a desativação ou descarte final. Polit e Beck (2019) ressaltam que essa visão ampliada é essencial para garantir a segurança do paciente, reduzir custos e otimizar recursos, uma vez que falhas em equipamentos críticos podem comprometer diretamente a qualidade da assistência. O objetivo da EC é assegurar eficiência operacional, segurança dos pacientes e otimização dos recursos financeiros da instituição de saúde. Esse setor atua na interseção entre tecnologia, gestão e cuidado, sendo responsável por assegurar que os equipamentos médico-hospitalares, desde os mais simples até os de alta complexidade, funcionem de maneira segura, precisa e contínua. Conforme Chehuen Neto (2019), trata-se de uma área que combina conhecimento técnico e visão sistêmica, desempenhando papel estratégico tanto na manutenção dos ativos quanto no planejamento logístico das instituições de saúde.

No Brasil, o gerenciamento de equipamentos hospitalares é orientado por manuais e documentos técnicos do Ministério da Saúde, que detalham rotinas de manutenção, estoques de peças e responsabilidade técnica (Ministério da Saúde, “Gerenciamento de Manutenção em Equipamentos Hospitalares”, 2002). Além disso, normas e regulamentações nacionais, como as normas da série NBR IEC e diretrizes da ANVISA, condicionam que equipamentos sob regime de vigilância sanitária mantenham histórico de intervenções, rastreabilidade de peças e comprovação de conformidade técnica (Gadelha, 2023)

### **2.2 Manutenção corretiva**

A manutenção corretiva é a forma mais tradicional e intuitiva de manutenção, caracterizada pela intervenção após a ocorrência de uma falha ou defeito. Esse tipo de manutenção tem como principal objetivo restaurar o funcionamento normal de um equipamento que apresentou problema, devolvendo-lhe as condições operacionais originais (AIDAR NETO, 2024). Embora essencial em determinados contextos, sua aplicação frequente é indicativa de falhas na gestão de manutenção e na estratégia de engenharia clínica.

No ambiente hospitalar, onde a disponibilidade dos equipamentos biomédicos está diretamente relacionada à qualidade da assistência, a manutenção corretiva deve ser considerada uma ação emergencial. Santos e Azambuja (2023) destacam que depender excessivamente dessa modalidade pode gerar custos elevados, aumento do tempo de inatividade e risco clínico. Cada hora de um equipamento essencial parado, como um ventilador pulmonar ou um monitor multiparamétrico, pode comprometer a segurança do paciente e afetar o desempenho de toda a equipe multiprofissional.

Segundo o Manual de Gerenciamento de Equipamentos Hospitalares do Ministério da Saúde (2013), a manutenção corretiva deve seguir protocolos bem definidos, que envolvam registro da ocorrência, identificação da causa raiz e emissão de relatórios técnicos. A análise de falhas permite identificar padrões e elaborar planos preventivos ou preditivos, evitando a reincidência. Essa etapa é fundamental para a retroalimentação do planejamento de manutenção e para o controle de estoque de peças e acessórios, visto que a substituição não planejada de componentes exige disponibilidade imediata de itens críticos.

No contexto da Engenharia Clínica, a manutenção corretiva pode ser planejada ou não planejada. A correção planejada ocorre quando a falha é detectada antecipadamente, por exemplo, quando um equipamento apresenta desempenho abaixo do esperado, mas ainda em funcionamento, permitindo programar sua reparação. Já a não planejada surge de forma súbita, exigindo resposta imediata da equipe técnica (ORTEGOSA; RODOLPHO, 2025). Essa última tem impacto direto na gestão de estoque, pois demanda a existência de peças de reposição de alta rotatividade e contratos de fornecimento ágeis.

Alves et al. (2024) reforçam que um dos grandes desafios na manutenção corretiva é o tempo de resposta, ou *Mean Time to Repair (MTTR)*, indicador que mede o intervalo entre a falha e o retorno do equipamento à operação. A redução desse tempo está diretamente relacionada à eficiência logística e à boa gestão de estoque. Um almoxarifado técnico desorganizado ou com peças obsoletas pode prolongar a parada dos equipamentos e aumentar custos operacionais.

Outro aspecto relevante é o custo total de propriedade (TCO) dos equipamentos. Manutenções corretivas frequentes não apenas geram despesas imediatas, mas também reduzem a vida útil dos ativos. Segundo Gadelha (2023), a ausência de uma política de manutenção estruturada leva à perda de confiabilidade do parque tecnológico hospitalar e à necessidade de

substituição prematura dos dispositivos médicos. Portanto, mesmo sendo necessária em alguns casos, a manutenção corretiva deve ser vista como uma ação de contingência, e não como política predominante.

No contexto normativo, a ANVISA (2019) estabelece que qualquer equipamento sob regime de vigilância sanitária deve possuir histórico de manutenção rastreável, contendo registro das ações corretivas realizadas, peças substituídas e responsáveis técnicos. Essa rastreabilidade é um requisito essencial para auditorias e certificações hospitalares, como as da Organização Nacional de Acreditação (ONA, 2021) e da ISO 13485, que exigem comprovação da conformidade técnica e da segurança operacional de todos os equipamentos biomédicos utilizados nas instituições de saúde.

Além dos aspectos técnicos e regulatórios, há também um componente logístico e estratégico. A execução eficiente da manutenção corretiva depende da integração entre os setores de engenharia clínica e suprimentos. Um fluxo de comunicação ineficaz pode resultar em atraso na aquisição de peças, compras emergenciais e aumento dos custos. Santos e Bauer (2022), ressaltam que a criação de planos de estoque mínimo para itens de alta criticidade é uma boa prática para reduzir o impacto das manutenções não planejadas e garantir continuidade operacional.

Por fim, a manutenção corretiva deve ser acompanhada de indicadores de desempenho, como taxa de falhas, MTBF e MTTR. Esses indicadores permitem avaliar a eficácia da gestão da manutenção e identificar equipamentos que demandam atenção especial. Quando analisados em conjunto, tais dados orientam decisões estratégicas sobre substituição de equipamentos obsoletos, treinamento de equipes técnicas e otimização de estoques (SANTOS; AZAMBUJA, 2023).

Em síntese, a manutenção corretiva é uma prática inevitável, porém deve ser minimizada por meio de políticas preventivas e preditivas. Em um sistema hospitalar moderno, ela representa a última linha de defesa contra falhas operacionais, e sua eficiência está condicionada à agilidade de resposta, à qualificação da equipe técnica e, principalmente, à existência de um sistema de gestão de estoque bem estruturado.

### 2.3 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é um conjunto de ações planejadas e sistemáticas realizadas com o objetivo de evitar a ocorrência de falhas e preservar o desempenho dos equipamentos dentro de padrões aceitáveis de operação. Trata-se de uma estratégia proativa, baseada em intervalos de tempo, número de utilizações ou em critérios técnicos estabelecidos pelos fabricantes e pelos protocolos de engenharia clínica (SANTOS; AZAMBUJA, 2023).

No contexto hospitalar, a manutenção preventiva assume papel essencial, pois os equipamentos biomédicos são utilizados de forma contínua e, muitas vezes, em situações críticas de suporte à vida. Uma falha repentina pode comprometer não apenas a operação, mas também a segurança do paciente e a eficiência do atendimento. De acordo com Santos e Bauer (2022), a adoção de um programa estruturado de manutenção preventiva é uma prática indispensável para garantir a confiabilidade dos dispositivos e reduzir o risco de paradas emergenciais.

Segundo o artigo “A importância da manutenção preventiva com foco na engenharia clínica”, a ausência ou deficiência de manutenção preventiva em unidades de saúde brasileiras eleva a frequência de intervenções corretivas emergenciais e pode comprometer diagnósticos e segurança (Baldez et al., 2022)

Segundo o Manual de Gerenciamento de Equipamentos Hospitalares do Ministério da Saúde (2013), o planejamento da manutenção preventiva deve considerar fatores como criticidade do equipamento, histórico de falhas, disponibilidade de peças de reposição e capacidade técnica da equipe responsável. Esses elementos são fundamentais para determinar a periodicidade das intervenções e os procedimentos a serem realizados, como limpeza, lubrificação, ajustes, calibrações e testes funcionais.

A manutenção preventiva é uma ferramenta eficaz não apenas para evitar falhas, mas também para prolongar a vida útil dos equipamentos médico-hospitalares. Estudos realizados por Baldez et al. (2022) demonstram que instituições que implementam cronogramas de manutenção preventiva reduzem em até 40% o número de manutenções corretivas emergenciais e em 25% os custos operacionais anuais. Essa redução de custos está associada à maior previsibilidade orçamentária e à otimização do uso dos recursos humanos e materiais da engenharia clínica.

Outro aspecto essencial da manutenção preventiva é a gestão de estoque de peças e acessórios. Para que o cronograma de manutenções seja cumprido sem interrupções, é necessário manter um estoque mínimo de componentes críticos, como sensores, cabos, válvulas, fusíveis, baterias e kits preventivos. Alves et al. (2024) destacam que a integração entre o setor de manutenção e o almoxarifado técnico é um dos pilares para o sucesso dessa estratégia, pois evita atrasos e elimina a necessidade de compras emergenciais.

Em instituições hospitalares de médio e grande porte, a manutenção preventiva é geralmente estruturada em planos anuais de manutenção, que especificam para cada equipamento a periodicidade das ações, os técnicos responsáveis e as peças necessárias. Esse planejamento deve estar integrado a um sistema informatizado de gestão (CMMS), que permite o registro digital das intervenções, controle de prazos e emissão de relatórios analíticos (GADELHA, 2023).

Além dos benefícios técnicos e econômicos, a manutenção preventiva também atende a exigências regulatórias. A ANVISA (2019) determina que os equipamentos médico-hospitalares sob vigilância sanitária devem possuir registros atualizados de manutenção e calibração, incluindo o histórico de trocas de peças e resultados de testes funcionais. Essa rastreabilidade é indispensável em processos de auditoria e acreditação hospitalar, conforme normas da Organização Nacional de Acreditação (ONA) e da ISO 13485, que estabelecem requisitos de qualidade e segurança em equipamentos médicos.

A execução eficiente da manutenção preventiva depende, ainda, da capacitação técnica das equipes envolvidas. Segundo Santos e Azambuja (2023), um dos principais desafios na implantação de programas preventivos é a carência de profissionais especializados e a falta de padronização dos procedimentos. Dessa forma, é essencial investir em treinamento contínuo e na padronização dos protocolos técnicos, garantindo que todos os equipamentos recebem manutenção conforme as especificações do fabricante e as normas brasileiras aplicáveis.

Em termos de indicadores de desempenho, a manutenção preventiva pode ser monitorada por meio de métricas como:

- Percentual de manutenção preventiva realizada no prazo planejado (PM Compliance Rate).
- Tempo médio entre falhas (MTBF), que deve aumentar com a eficácia do programa;
- Custo médio por equipamento e

- Tempo médio de parada programada (MTTR preventivo).

Esses indicadores auxiliam o gestor da engenharia clínica a avaliar a efetividade das ações preventivas e a ajustar o cronograma conforme os resultados obtidos. Baldez et al. (2022) ressaltam que a melhoria contínua desses indicadores é um dos fatores determinantes para a acreditação hospitalar e para a redução de custos indiretos, como perda de produtividade e retrabalho.

Por fim, é importante compreender que a manutenção preventiva não elimina completamente a necessidade de manutenções corretivas, mas reduz significativamente sua frequência e gravidade. Assim, sua aplicação deve ser vista como parte de uma estratégia integrada de manutenção, que combina ações preventivas, corretivas e preditivas, associadas a uma gestão de estoque eficiente e a uma cultura organizacional voltada à segurança e à qualidade do atendimento.

## **2.4 Manutenção preditiva**

A manutenção preditiva é uma abordagem moderna de gestão de ativos que se baseia no monitoramento contínuo ou periódico das condições operacionais dos equipamentos, com o objetivo de prever falhas antes que elas ocorram. Diferente da manutenção corretiva (reativa) e da preventiva (programada em intervalos fixos), a preditiva atua de forma condicionada ao estado real do equipamento, o que permite intervir apenas quando há indícios técnicos de degradação (ALVES et al., 2024).

No contexto hospitalar, essa modalidade é particularmente relevante, pois muitos equipamentos biomédicos, como ventiladores pulmonares, monitores multiparamétricos, autoclaves e bombas de infusão, funcionam de forma contínua e crítica. A interrupção inesperada de um desses dispositivos pode comprometer a segurança do paciente e gerar prejuízos operacionais. Assim, a manutenção preditiva, ao identificar precocemente sinais de desgaste, minimiza o tempo de inatividade e maximiza a disponibilidade dos equipamentos médicos (ORTEGOSA; RODOLPHO, 2025).

Segundo Baldez et al. (2022), a preditiva é sustentada pelo uso de tecnologias de monitoramento de parâmetros físicos e elétricos, como vibração, ruído, corrente elétrica, pressão, temperatura e resistência de isolamento. Esses dados são comparados a padrões de referência definidos pelos fabricantes, e qualquer desvio significativo serve como indicativo de

necessidade de intervenção. No caso da engenharia clínica, os dados são coletados por meio de softwares especializados e analisadores específicos para cada tipo de equipamento médico.

A implementação dessa estratégia em hospitais exige infraestrutura tecnológica adequada, capacitação da equipe técnica e integração com o sistema de gestão de manutenção (CMMS). Segundo Gadelha (2023), o uso de sensores inteligentes e algoritmos de diagnóstico baseados em aprendizado de máquina tem ampliado o alcance da manutenção preditiva no setor biomédico, permitindo previsões mais precisas e intervenções mais rápidas. Em instituições de saúde de grande porte, essa prática já está associada a uma redução significativa de falhas críticas e ao aumento da confiabilidade dos ativos.

Além dos benefícios técnicos, a manutenção preditiva tem impacto direto na gestão de estoques. Por meio da análise antecipada de falhas, é possível prever quais peças ou componentes serão necessários, otimizando o planejamento de compras e evitando tanto o acúmulo de materiais quanto a falta de itens essenciais (AIDAR NETO, 2024). Assim, a integração entre o setor de manutenção e o almoxarifado técnico se torna fundamental para garantir que as peças estejam disponíveis no momento da intervenção.

Outro ponto relevante é o uso de indicadores de desempenho específicos para a manutenção preditiva, que auxiliam na avaliação da eficácia do programa. Entre eles destacam-se:

- MTBF: tempo médio entre falhas, que tende a aumentar com a aplicação da preditiva;
- MTTR: tempo médio para reparo, que deve ser reduzido;
- Índice de disponibilidade operacional, refletindo a proporção do tempo em que o equipamento está apto ao uso;
- Custo de manutenção por ativo, que diminui gradualmente com a previsibilidade de falhas.

Em estudo realizado por Alves et al. (2024), verificou-se que empresas que migraram de um modelo corretivo/preventivo para o preditivo obtiveram uma redução média de 30% nos custos de manutenção e um aumento de 20% na disponibilidade operacional. Embora esses números se referem a ambientes industriais, resultados semelhantes têm sido observados em hospitais que adotam estratégias semelhantes, especialmente em equipamentos de diagnóstico por imagem e suporte à vida.

A aplicação hospitalar da manutenção preditiva ainda enfrenta desafios, como o custo de implantação e a necessidade de treinamento especializado. No entanto, esses obstáculos são compensados pelos benefícios a médio prazo. Santos e Azambuja (2023) ressaltam que, ao associar a preditiva a um sistema informatizado de gestão, o hospital obtém uma base de dados robusta que permite avaliar o comportamento dos equipamentos ao longo do tempo, facilitando decisões estratégicas de substituição, modernização e aquisição.

No Brasil, iniciativas de engenharia clínica 4.0, conceito derivado da Indústria 4.0, já vêm incorporando a manutenção preditiva por meio de sensores IoT (Internet of Things) e plataformas de análise preditiva em nuvem. Essas tecnologias permitem a detecção remota de falhas e o envio automático de alertas, garantindo respostas mais rápidas e intervenções precisas (GADELHA, 2023). Essa evolução está alinhada com as exigências de acreditação hospitalar e com as políticas de qualidade e segurança da ANVISA (2019).

Por fim, a manutenção preditiva não deve ser vista como substituta, mas como complementar às demais estratégias. Ela atua de forma integrada com as manutenções preventiva e corretiva, formando um sistema híbrido e inteligente de gestão de manutenção hospitalar. Essa integração possibilita não apenas a confiabilidade técnica, mas também o equilíbrio econômico entre custos operacionais, disponibilidade de equipamentos e segurança do paciente. Conforme resalta Aidar Neto (2024), a maturidade da engenharia clínica moderna depende da adoção de políticas de manutenção baseadas em dados e da capacidade de antecipar falhas com o uso de tecnologia e planejamento.

## **2.5 Calibração**

A calibração é um processo técnico-metrológico essencial para garantir que os equipamentos biomédicos forneçam medições precisas, seguras e rastreáveis, assegurando a confiabilidade dos resultados clínicos e laboratoriais. No contexto da Engenharia Clínica, a calibração é considerada uma atividade estratégica, pois influencia diretamente a qualidade diagnóstica e a segurança do paciente (GADELHA, 2023).

Segundo a Tecnoclin (2024), a calibração periódica deve seguir normas como ABNT NBR ISO/IEC 17025 e ABNT NBR IEC 60601, que asseguram rastreabilidade metrológica e confiabilidade nos resultados. Além disso, a ANVISA (2019) determina que todos os equipamentos sujeitos à vigilância sanitária devem possuir registros de calibração atualizados e rastreáveis.

De acordo com o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM), calibração é a operação que estabelece, sob condições específicas, uma relação entre os valores indicados por um instrumento de medição e os valores correspondentes de uma grandeza realizada por um padrão. Em termos práticos, isso significa comparar a leitura de um equipamento médico, ou seja, do instrumento medido, como um monitor multiparamétrico ou um oxímetro de pulso, com um padrão de referência certificado, ou seja, o instrumento medidor. Caso seja necessário algum ajuste, por conta de discrepância identificada fora da tolerância estabelecida, deverá ser aberta uma solicitação de manutenção corretiva.

A calibração é parte integrante das boas práticas de manutenção preventiva e deve seguir normas técnicas nacionais e internacionais, como a ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017, que define os requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração, e a ABNT NBR IEC 60601-1, que estabelece critérios de segurança elétrica e desempenho essencial para equipamentos eletromédicos. Essas normas são fiscalizadas e exigidas por órgãos como o INMETRO e a ANVISA, especialmente em equipamentos de suporte à vida ou de diagnóstico crítico (ANVISA, 2019).

Segundo Santos e Azambuja (2023), a calibração deve ser realizada periodicamente, em intervalos definidos pelo fabricante, pela legislação ou pela política interna de manutenção da instituição. Equipamentos que possuem sensores, transdutores ou elementos de medição sujeitos a desgaste, como termômetros clínicos digitais, balanças hospitalares e analisadores hematológicos, devem ser submetidos a verificações regulares para garantir resultados consistentes.

Além da periodicidade, é necessário que a calibração seja executada por profissionais qualificados e com instrumentos devidamente certificados e rastreáveis a padrões nacionais ou internacionais. O uso de padrões rastreáveis garante que as medições realizadas em qualquer laboratório ou hospital possam ser comparáveis entre si, conforme o Sistema Internacional de Unidades (SI). Essa rastreabilidade é um dos pilares do controle de qualidade em engenharia clínica (INMETRO, 2022).

A gestão da calibração é também uma questão logística e de planejamento. Cada equipamento deve possuir um registro histórico de calibrações realizadas, contendo informações sobre data, resultado, incerteza de medição, técnico responsável e instrumentos utilizados. Essa documentação é obrigatória para fins de auditoria hospitalar, acreditação ONA

e certificação ISO 13485, além de servir como referência em investigações de falhas (AIDAR NETO, 2024).

A ausência de calibração ou a utilização de instrumentos fora de conformidade pode levar a erros clínicos e riscos à segurança do paciente. Por exemplo, um ventilador pulmonar que indica pressão incorreta pode comprometer a ventilação do paciente; um oxímetro de pulso não calibrado pode gerar leituras falsas de saturação, influenciando decisões médicas inadequadas (TECNOCLIN, 2024). Por isso, a calibração é reconhecida pela ANVISA como um elemento essencial do Programa de Garantia da Qualidade de Equipamentos Médico-Hospitalares.

No cenário brasileiro, empresas acreditadas como a Tecnoclin e laboratórios vinculados à Rede Brasileira de Calibração (RBC) realizam serviços de calibração rastreável e testes de desempenho em equipamentos médicos. Esses procedimentos seguem padrões internacionais e atendem às normas da série IEC 60601, com emissão de certificados reconhecidos pelo INMETRO e pela ANVISA (TECNOCLIN, 2024).

Outro ponto relevante é a integração da calibração com o sistema informatizado de manutenção (CMMS). Essa integração permite a emissão automática de alertas para próximas calibrações, o controle de prazos e a geração de relatórios gerenciais. Segundo Gadelha (2023), essa automação melhora a rastreabilidade e reduz o risco de não conformidades em auditorias, além de otimizar o uso de recursos humanos e financeiros.

Por fim, a calibração está intrinsecamente relacionada à gestão de estoque de peças e acessórios, uma vez que certos instrumentos requerem componentes específicos para ajuste e verificação, como sensores, cabos, adaptadores e padrões de referência. A disponibilidade desses itens em estoque é crucial para evitar interrupções no processo e garantir que os cronogramas de calibração sejam cumpridos sem atrasos (SANTOS; AZAMBUJA, 2023).

Dessa forma, a calibração deve ser entendida não apenas como uma exigência normativa, mas como um processo contínuo de gestão da qualidade, integrando aspectos técnicos, logísticos e regulatórios. É um elemento indispensável para assegurar a segurança do paciente, a confiabilidade diagnóstica e a eficiência operacional da engenharia clínica moderna.

## 2.6 Teste de segurança elétrica

O teste de segurança elétrica é uma das etapas mais importantes no ciclo de manutenção e certificação de equipamentos médico-hospitalares. Ele tem como objetivo garantir que os dispositivos eletromédicos operem dentro dos limites de segurança estabelecidos por normas técnicas nacionais e internacionais, protegendo pacientes, operadores e o próprio equipamento contra riscos elétricos, térmicos e eletromagnéticos (ANVISA, 2019).

De acordo com a ABNT NBR IEC 60601-1:2010 + Emenda 1:2012, norma de referência para segurança de equipamentos eletromédicos, o teste deve avaliar parâmetros como correntes de fuga, resistência de isolamento, continuidade do aterramento e tensões aplicadas. Esses ensaios asseguram que o equipamento esteja em conformidade com os padrões mínimos de segurança elétrica exigidos antes de ser colocado em operação clínica (TECNOCLIN, 2024).

No Brasil, a obrigatoriedade desses testes é reforçada por regulamentações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). A Instrução Normativa nº 49/2019 da ANVISA lista as normas técnicas aplicáveis à certificação de conformidade de equipamentos sob vigilância sanitária, incluindo a série ABNT IEC 60601. O não cumprimento dessas normas pode levar à interdição do equipamento, à perda de certificação e até a sanções administrativas para a instituição de saúde (ANVISA, 2019).

O teste de segurança elétrica deve ser realizado periodicamente, geralmente uma vez por ano, e sempre que o equipamento passar por manutenção corretiva, sofrer impacto físico, exposição a líquidos, troca de cabos, ou substituição de componentes eletrônicos. Conforme orienta Gadelha (2023), qualquer intervenção técnica em equipamentos eletromédicos deve ser seguida de um novo teste elétrico para validar sua integridade e conformidade com os parâmetros originais de segurança.

Entre os principais tipos de ensaios realizados em um teste de segurança elétrica destacam-se:

- Teste de resistência de aterramento, que verifica se o condutor de proteção está adequadamente conectado à carcaça do equipamento;
- Teste de resistência de isolamento, que assegura a integridade elétrica entre circuitos de energia e partes acessíveis;

- Teste de corrente de fuga do paciente, que mede a corrente elétrica que pode fluir através do corpo do paciente em contato com o equipamento;
- Teste de corrente de fuga do chassi, que verifica a corrente que escapa da carcaça metálica do equipamento;
- Teste de corrente de fuga de terra, que analisa a corrente que retorna pelo condutor de aterramento.

Esses ensaios são realizados com auxílio de analisadores de segurança elétrica, equipamentos de medição especializados que simulam condições de uso clínico e geram relatórios automáticos sobre a conformidade do equipamento (TECNOCLIN, 2024).

A frequência e abrangência dos testes devem ser definidas pela política interna de manutenção e calibração da instituição, considerando o grau de risco dos equipamentos. Dispositivos de classe de risco I e II, como desfibriladores, bisturis elétricos, monitores cardíacos e incubadoras neonatais, exigem inspeções mais frequentes e detalhadas. Já equipamentos de uso não invasivo, como analisadores de urina ou centrífugas laboratoriais, podem seguir cronogramas mais espaçados (AIDAR NETO, 2024).

Além do cumprimento normativo, o teste de segurança elétrica tem um papel preventivo e educacional dentro da engenharia clínica. Ele permite identificar falhas ocultas, como fios rompidos, conectores oxidados, cabos aterrados incorretamente e componentes com desgaste térmico, antes que causem acidentes. Segundo Santos e Azambuja (2023), muitos incidentes hospitalares relacionados a choques elétricos ou mau funcionamento de dispositivos poderiam ter sido evitados com uma rotina sistemática de testes elétricos pós-manutenção.

Outro ponto relevante é a documentação dos testes. Cada ensaio deve gerar um relatório técnico contendo os resultados obtidos, os limites normativos, o nome e assinatura do técnico responsável e a assinatura do engenheiro clínico. Esses registros devem ser arquivados e vinculados ao histórico do equipamento no sistema de gestão (CMMS). Em auditorias de qualidade, esses relatórios comprovam a rastreabilidade das ações de manutenção e asseguram que o hospital segue as boas práticas de segurança (GADELHA, 2023).

No que diz respeito à gestão de estoque, os testes de segurança elétrica também dependem da disponibilidade de acessórios e peças específicas, como cabos de teste, adaptadores, conectores, fusíveis e plugues-padrão hospitalares. A falta desses itens pode comprometer a execução dos ensaios e atrasar a liberação de equipamentos críticos. Por isso, é

imprescindível que o almoxarifado técnico mantenha um estoque mínimo desses materiais, de acordo com o volume de equipamentos a serem testados e com o cronograma de manutenção preventiva e corretiva (SANTOS; BAUER, 2022).

Além disso, os analisadores de segurança elétrica utilizados nos testes também devem passar por calibração periódica para garantir a confiabilidade dos resultados. Essa calibração é realizada por laboratórios acreditados pela Rede Brasileira de Calibração (RBC), conforme a ABNT NBR ISO/IEC 17025 (INMETRO, 2022).

Por fim, o teste de segurança elétrica não deve ser entendido apenas como uma exigência legal, mas como uma prática de gestão da segurança hospitalar. Ele assegura que os equipamentos estejam aptos para uso clínico, protege pacientes e profissionais e contribui para a cultura de qualidade e conformidade nas instituições de saúde. Conforme destaca Aidar Neto (2024), a engenharia clínica moderna deve integrar os testes elétricos em um sistema contínuo de avaliação de riscos, conectando manutenção, calibração e estoque de peças em um modelo único e inteligente de gestão tecnológica.

## **2.7 Relação entre manutenção e gestão de estoque de peças**

A gestão de estoque de peças e acessórios na engenharia clínica está diretamente ligada à eficiência dos processos de manutenção. Um estoque bem planejado e controlado permite que as ações corretivas, preventivas, preditivas, de calibração e de teste de segurança elétrica sejam realizadas de forma contínua, sem atrasos e com menor custo operacional. Por outro lado, a ausência de planejamento pode resultar em interrupções de serviços, compra emergencial de insumos e aumento do tempo de inatividade dos equipamentos (SANTOS; AZAMBUJA, 2023).

Segundo o Manual de Gerenciamento de Equipamentos Hospitalares do Ministério da Saúde (2013), a manutenção e o estoque devem funcionar como sistemas interdependentes, sustentados por um fluxo de informações contínuo entre a engenharia clínica, o almoxarifado técnico e o setor de compras. O documento enfatiza que, para cada tipo de manutenção, há necessidades específicas de peças: enquanto a corretiva exige disponibilidade imediata de componentes críticos, a preventiva depende de um cronograma de reposição planejado, e a preditiva demanda itens específicos identificados com base em análise de desgaste e tendência de falhas (GADELHA, 2023).

A integração entre manutenção e estoque também tem papel central na redução de custos operacionais. Estudos de Alves et al. (2024) demonstram que hospitais que adotam políticas de controle de estoque alinhadas aos planos de manutenção reduzem significativamente o número de compras emergenciais, que, além de mais caras, aumentam o tempo de parada dos equipamentos. Além disso, essa integração permite melhor previsão de consumo, evitando tanto o excesso quanto a escassez de peças, e garantindo a rotatividade ideal dos materiais.

Do ponto de vista logístico, a engenharia clínica deve estabelecer classificações e níveis de prioridade para os itens armazenados. A aplicação de métodos como classificação ABC ou curva de criticidade possibilita distinguir entre peças essenciais, de uso moderado e de baixa demanda. As peças classificadas como “A” ou de alta criticidade, geralmente associadas a equipamentos vitais, como ventiladores, desfibriladores e bombas de infusão, devem estar sempre disponíveis no estoque técnico, podendo causar paralisação em setores essenciais. Já as peças de classe “B” são equipamentos relevantes, mas sua falta causa impactos parciais ou temporárias. E por fim, as peças de classe “C” que são de baixo impacto, ou seja, podem ser adquiridas sob demanda, reduzindo custos de armazenagem (AIDAR NETO, 2024).

Outro aspecto fundamental é o uso de sistemas informatizados de gestão de manutenção (CMMS), que é um software projetado para planejar, monitorar e controlar todas as atividades de manutenção de uma organização, ele permite o registro integrado das intervenções, das peças utilizadas e dos prazos de reposição, permitindo uma gestão mais eficiente, segura e baseada em dados. De acordo com Gadelha (2023), o uso desses sistemas melhora a rastreabilidade dos materiais, facilita auditorias e fornece indicadores de desempenho essenciais, como o tempo médio de reposição (Lead Time) e o índice de ruptura de estoque. Esses dados servem de base para ajustes contínuos no planejamento de compras e manutenção.

Além da otimização de custos, a integração entre manutenção e estoque tem impacto direto na segurança hospitalar. Um equipamento médico inoperante por falta de peças pode comprometer o atendimento de pacientes em estado crítico. Conforme a ANVISA (2019), é responsabilidade da instituição de saúde garantir que todos os equipamentos sob vigilância sanitária mantenham condições operacionais seguras e que as peças de substituição sejam originais e compatíveis com o modelo do fabricante. O uso de peças não certificadas pode causar falhas graves e até mesmo acidentes durante procedimentos clínicos (TECNOCLIN, 2024).

A gestão de estoque também deve considerar o ciclo de vida dos equipamentos. Peças de equipamentos obsoletos tendem a se tornar escassas, elevando custos e dificultando reparos. Assim, a engenharia clínica deve realizar avaliações periódicas de obsolescência e de custo-benefício, decidindo quando é mais vantajoso substituir o equipamento em vez de mantê-lo em operação. Essa prática contribui para um planejamento mais sustentável e previsível do estoque (ORTEGOSA; RODOLPHO, 2025).

Outro ponto relevante é a comunicação intersetorial. A falta de alinhamento entre os setores de manutenção, compras e financeiro ainda é um dos maiores desafios para a eficiência da gestão de estoque hospitalar (SANTOS; BAUER, 2022). A criação de comitês internos de planejamento e a elaboração de relatórios mensais de consumo e falhas são estratégias recomendadas para alinhar as decisões técnicas às restrições orçamentárias da instituição.

Por fim, a literatura recente aponta que a adoção de indicadores de desempenho (KPIs) para manutenção e estoque é essencial para medir o grau de eficiência e identificar gargalos no processo. A Tabela 3, mostra os indicadores mais utilizados.

Tabela 3- Indicadores de desempenho de manutenção

INDICADOR	DESCRIÇÃO
MTBF (Mean Time Between Failures)	Tempo médio de operação entre falhas consecutivas
MTTR (Mean Time to Repair)	Tempo médio desde a falha até a finalização do reparo
Nível de serviço de estoque	Mede a capacidade de atender demandas de manutenção sem atrasos
Giro de estoque	Avalia a velocidade de utilização e reposição das peças
Índice de ruptura	Percentual de vezes que não há peças disponíveis em estoque
Lead Time	Tempo médio de reposição de peças críticas após a abertura da ordem de serviço

Fonte: Elaborada pela autora

Esses indicadores, quando analisados conjuntamente, permitem ao gestor da engenharia clínica definir planos de melhoria contínua, equilibrando custo, disponibilidade e segurança (ALVES et al., 2024). Assim, a integração entre manutenção e gestão de estoque não deve ser vista apenas como uma prática administrativa, mas como parte fundamental da estratégia

tecnológica e de qualidade hospitalar, alinhada às normas da ABNT, da ANVISA e das boas práticas internacionais de engenharia clínica.

### **CAPÍTULO 3 – GESTÃO DE ESTOQUE PARA ENGENHARIA CLÍNICA**

De forma convergente, os estudos analisados apontam que a integração entre manutenção, logística hospitalar e gestão de suprimentos técnicos constitui um fator determinante para o desempenho da EC. A literatura demonstra que modelos fragmentados, caracterizados por controles manuais, processos descentralizados e comunicação limitada entre os setores de manutenção e almoxarifado técnico, resultam em desperdícios de materiais, atrasos na reposição de peças e aumento do tempo de indisponibilidade dos equipamentos. Essa realidade, ainda presente em muitos serviços de saúde, especialmente no contexto brasileiro, compromete tanto a eficiência institucional quanto a qualidade da assistência prestada.

Em contrapartida, os estudos também evidenciam que instituições que adotam sistemas informatizados integrados, como CMMS e módulos de ERP (Planejamento de recursos empresariais), apresentam ganhos expressivos na gestão da manutenção e do estoque técnico. A informatização possibilita o rastreamento do ciclo de vida dos equipamentos, a organização do histórico de falhas e intervenções, a previsão de demanda de peças e a otimização da alocação de recursos. Como resultado, observa-se redução do tempo de parada dos equipamentos, diminuição de custos associados a compras emergenciais e maior previsibilidade operacional.

Outro achado recorrente na literatura refere-se à importância do planejamento do estoque técnico orientado por criticidade e consumo. Os estudos destacam que o estoque de peças e acessórios não deve ser tratado apenas como um centro de custo, mas como um elemento estratégico da manutenção hospitalar, especialmente quando se consideram equipamentos críticos e de alta demanda estratégica, como ventiladores pulmonares, desfibriladores e monitores multiparamétricos. A disponibilidade imediata de componentes essenciais é apontada como condição indispensável para garantir a continuidade dos serviços assistenciais e a segurança do paciente.

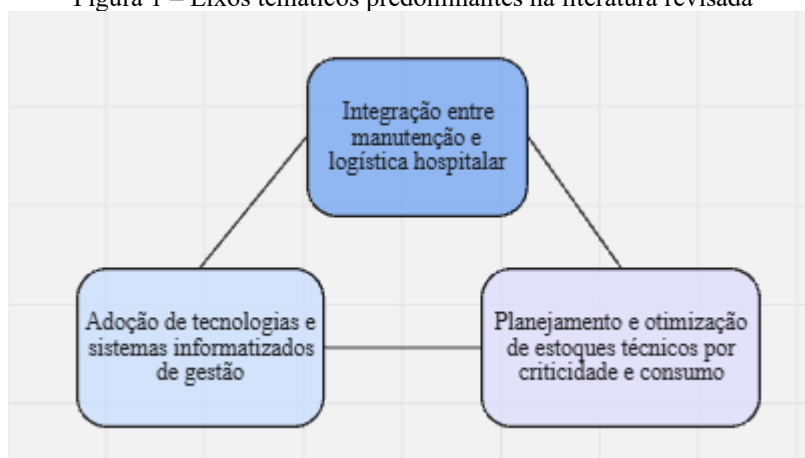
Nesse sentido, metodologias de classificação e priorização de materiais, como a curva ABC, a análise de criticidade e abordagens combinadas baseadas em risco e impacto operacional, são amplamente recomendadas. Essas ferramentas permitem diferenciar itens que exigem controle rigoroso daqueles de menor impacto, contribuindo para a racionalização dos recursos, a redução de desperdícios e a sustentabilidade financeira das instituições de saúde.

Com base na síntese, foi possível agrupar as contribuições em três grandes eixos temáticos, que representam as linhas predominantes de pensamento e pesquisa sobre o tema:

1. Integração entre manutenção e logística hospitalar: abordagem que destaca a importância da comunicação entre setores e do planejamento conjunto para garantir eficiência operacional.
2. Adoção de tecnologias e sistemas informatizados de gestão (CMMS/ERP): foco na digitalização e automação dos processos de controle de estoque, manutenção e rastreabilidade de equipamentos.
3. Planejamento e otimização de estoques técnicos por criticidade e consumo: aplicação de metodologias de classificação para reduzir custos e aumentar a disponibilidade de materiais essenciais.

Esses três eixos estão representados graficamente na Figura 1, que para a eficiência na gestão de estoque e a integração entre o estoque e a manutenção é necessária a tecnologia e o planejamento

Figura 1 – Eixos temáticos predominantes na literatura revisada



Fonte: Elaborada pela autora

A partir desses eixos, elaborou-se uma síntese dos estudos incluídos na revisão, apresentada na Tabela 4, que resume as principais contribuições teóricas identificadas na literatura.

Tabela 4 – Síntese dos estudos incluídos na revisão bibliográfica

<b>Autor/Ano</b>	<b>Objetivo do Estudo</b>	<b>Contribuições Principais</b>	<b>Eixo Temático</b>
Aidar Neto (2024)	Apresentar os fundamentos da manutenção hospitalar	Consolidação de práticas técnicas aplicadas à engenharia clínica	Integração entre manutenção e estoque
Alves et al. (2024)	Avaliar o desempenho da manutenção em ambientes críticos	Evidencia a relação entre eficiência da manutenção, disponibilidade de equipamentos e custos operacionais	Integração entre manutenção e estoque
ANVISA (2019)	Estabelecer boas práticas para o gerenciamento de equipamentos médico-hospitalares	Diretrizes regulatórias para rastreabilidade, manutenção e segurança dos equipamentos	Integração entre manutenção e estoque
ABNT NBR ISO/IEC 17025 (2017)	Estabelecer requisitos para competência em calibração	Garantia da rastreabilidade metrológica e confiabilidade das medições	Integração entre manutenção e estoque
Baldez et al. (2022)	Analisar a manutenção preventiva no contexto hospitalar	Demonstra redução de falhas, custos operacionais e indisponibilidade	Integração entre manutenção e estoque
Ballou (2006)	Discutir logística e cadeia de suprimentos	Fundamenta conceitos de gestão, controle e planejamento de estoques	Planejamento e otimização de estoques técnicos
Bertolini (2023)	Analisar sistemas informatizados aplicados à gestão de estoque hospitalar	Evidencia ganhos de eficiência, controle e rastreabilidade	Adoção de tecnologias e sistemas informatizados
Chehuen Neto (2019)	Discutir a gestão de tecnologias em saúde	Integração entre engenharia clínica, manutenção e suprimentos	Integração entre manutenção e estoque
Dias (2014)	Abordar princípios da administração de materiais	Organização, controle e racionalização de estoques	Planejamento e otimização de estoques técnicos
Francisco (2024)	Discutir manutenção hospitalar baseada em dados	Uso de indicadores, CMMS e sistemas integrados	Adoção de tecnologias e sistemas informatizados

Gadelha (2023)	Analisar a gestão tecnológica em saúde	Visão estratégica da engenharia clínica no sistema de saúde	Integração entre manutenção e estoque
INMETRO (2022)	Regular a rastreabilidade metrológica	Garantia da confiabilidade e precisão das medições	Integração entre manutenção e estoque
Ministério da Saúde (2002)	Orientar práticas de manutenção hospitalar	Padronização de processos técnicos e operacionais	Integração entre manutenção e estoque
Ministério da Saúde (2013)	Sistematizar a gestão de equipamentos médico-hospitalares	Integração entre manutenção, estoque e gestão tecnológica	Integração entre manutenção e estoque
Núcleo do Conhecimento (2022)	Analisar controle de estoque automatizado	Ganhos de eficiência operacional e rastreabilidade	Adoção de tecnologias e sistemas informatizados
ONA (2021)	Definir critérios de acreditação hospitalar	Ênfase em qualidade, rastreabilidade e segurança assistencial	Integração entre manutenção e estoque
Ortegosa e Rodolpho (2025)	Analisar a manutenção preditiva	Antecipação de falhas e melhoria do planejamento	Adoção de tecnologias e sistemas informatizados
Saipos (2023)	Comparar gestão de estoque manual e automatizada	Evidência benefícios da informatização	Adoção de tecnologias e sistemas informatizados
Santos e Azambuja (2023)	Relacionar manutenção e segurança do paciente	Demonstra impacto direto da manutenção na segurança assistencial	Integração entre manutenção e estoque
Santos e Bauer (2022)	Discutir logística hospitalar	Gestão estratégica de peças críticas	Planejamento e otimização de estoques técnicos
Silva et al. (2021)	Avaliar o impacto do CMMS	Redução do tempo de parada e dos custos operacionais	Adoção de tecnologias e sistemas informatizados
Tecnoclin (2024)	Apresentar práticas de calibração e testes de segurança	Conformidade normativa e segurança elétrica	Integração entre manutenção e estoque
Wang e Zenios (2006)	Discutir gestão de ativos em saúde	Otimização financeira e logística aplicada à saúde	Planejamento e otimização de estoques técnicos

Fonte: Elaborada pela autora

De modo geral, os achados da revisão indicam que o campo da engenharia clínica atravessa uma transição estrutural, migrando de um modelo predominantemente reativo, centrado na correção de falhas, para uma abordagem proativa, integrada e orientada por dados. Essa mudança redefine o papel do estoque de peças e acessórios, que passa a ser compreendido como parte essencial do sistema de manutenção e da gestão estratégica de ativos hospitalares. Assim, a literatura analisada sustenta a necessidade de modelos de gestão mais integrados, capazes de alinhar tecnologia, logística e planejamento, fortalecendo a governança hospitalar e promovendo maior eficiência, segurança e sustentabilidade nas organizações de saúde.

### **3.1 Caracterização do setor de engenharia clínica e do estoque**

O estoque técnico funciona como um suporte operacional da manutenção, fornecendo peças e acessórios necessários para garantir o pronto atendimento às demandas corretivas, preventivas e preditivas. De acordo com Lakatos e Marconi (2017), a disponibilidade imediata de peças de reposição pode determinar o sucesso de um plano de manutenção, já que atrasos na substituição de componentes críticos impactam diretamente na disponibilidade dos equipamentos médicos e, conseqüentemente, na capacidade de atendimento do hospital.

No entanto, o gerenciamento do estoque técnico em ambientes hospitalares apresenta desafios específicos. Diferentemente de almoxarifados convencionais, que lidam com insumos de reposição padronizados, o estoque da engenharia clínica abriga uma grande diversidade de peças, muitas delas importadas, de difícil reposição e com prazos de entrega longos. Prodanov e Freitas (2013) destacam que, nesse contexto, a gestão eficiente depende de planejamento logístico preciso, previsão de demanda, categorização de criticidade e controle rigoroso de validade e rastreabilidade dos materiais.

Assim, o estoque técnico deve ser compreendido como uma extensão estratégica da manutenção hospitalar. Ele atua de forma integrada com os setores de compras, almoxarifado central e engenharia clínica, formando uma rede de suporte que assegura a operação contínua dos equipamentos que impactam em diversos setores. A Figura 2 apresenta a inter-relação, evidenciando o fluxo de informação e de materiais, entre as áreas impactadas na gestão de suprimentos técnicos.

Figura 2 – Relação entre engenharia clínica e gestão de suprimentos técnicos



Fonte: Elaborada pela autora

Essa relação é sustentada por processos administrativos e tecnológicos que demandam profissionais com diferentes formações.

Com o avanço da transformação digital, a adoção de sistemas informatizados de gestão de manutenção (CMMS) tornou-se indispensável. Silva et al. (2021) observam que o uso desses sistemas permite consolidar informações sobre equipamentos, histórico de falhas, intervenções e disponibilidade de peças em tempo real. Além disso, eles possibilitam que o planejamento de manutenção seja automatizado, gerando alertas e ordens de serviço baseadas em indicadores de desempenho e tempo de uso dos equipamentos. Isso representa um salto de qualidade na gestão hospitalar, pois reduz o risco de falhas inesperadas e garante maior previsibilidade nas ações corretivas e preventivas.

De maneira prática, um setor de engenharia clínica eficiente deve se organizar em três dimensões complementares, que interagem constantemente entre si:

1. Gestão técnica: responsável pela manutenção, calibração e inspeção periódica dos equipamentos, assegurando conformidade com normas e padrões de segurança;
2. Gestão logística: encarregada do controle de estoque técnico, planejamento de compras, monitoramento de prazos de entrega e previsão de consumo de peças;
3. Gestão estratégica: voltada ao uso de indicadores de desempenho, relatórios gerenciais e planejamento orçamentário para apoiar a tomada de decisões institucionais.

Essas dimensões podem ser visualizadas na Tabela 5, que sintetiza a estrutura funcional do setor e sua relação direta com o gerenciamento de estoques.

Tabela 5 – Estrutura funcional da engenharia clínica e sua relação com o estoque técnico

Dimensão de Gestão	Principais Atividades	Relação com o Estoque Técnico
--------------------	-----------------------	-------------------------------

Técnica	Realiza manutenção preventiva, corretiva e calibração dos equipamentos médico-hospitalares.	Depende da disponibilidade imediata de peças e acessórios adequados para intervenções.
Logística	Planeja e controla entradas, saídas e níveis mínimos de estoque. Realizar inventários periódicos e previsão de demanda.	Garante a reposição eficiente e reduz o risco de desabastecimento de materiais críticos.
Estratégica	Acompanha indicadores de desempenho, custos e histórico de falhas. Planeja investimentos e renovações tecnológicas.	Define políticas de reposição e de estoque mínimo com base em dados históricos e análises preditivas.

Fonte: Elaborada pela autora

A partir dessa caracterização, fica evidente que o setor de engenharia clínica transcende o papel operacional, assumindo uma função de inteligência técnica e gerencial dentro das instituições de saúde. O equilíbrio entre disponibilidade de recursos e eficiência econômica depende diretamente de uma gestão de estoque bem estruturada e de processos de manutenção baseados em dados e evidências.

Portanto, compreender a dinâmica entre a engenharia clínica e a logística hospitalar é fundamental para aprimorar o desempenho institucional, reduzir desperdícios e fortalecer o compromisso com a segurança e a qualidade do cuidado ao paciente.

### 3.2 Gestão de Riscos de EAS

A gestão de riscos aplicada aos EAS devido a má gestão de estoque, constitui um elemento essencial para a segurança do paciente, a confiabilidade dos processos assistenciais e o atendimento aos requisitos regulatórios vigentes. Esse processo compreende a identificação, análise, avaliação e tratamento dos riscos associados ao uso de tecnologias em saúde, considerando a probabilidade de ocorrência de falhas e a gravidade de seus impactos clínicos, operacionais e legais (ISO, 2018). A Figura 3, mostra a tabela de classificação de gestão de risco.

Figura 3 – Classificação da tabela de gestão de riscos de equipamentos

CLASSIFICAÇÃO DA TABELA DE GESTÃO DE RISCOS DE EQUIPAMENTOS		
Pontuação	Classificação	Ação
1-4 pontos	<b>Não crítico</b>	Equipamentos que não impactam diretamente a assistência ao paciente e que, em caso de falta de peças e acessórios, podem ser substituídos por equipamentos de reserva sem prejuízo às atividades. As manutenções preventivas e calibrações devem ser realizadas anualmente ou conforme critério técnico e recomendações do fabricante.
5-18 pontos	<b>Semi-crítico</b>	Equipamentos que apresentam impacto moderado na assistência, com potencial de causar danos reversíveis aos pacientes. Podem ser substituídos por equipamentos de reserva (devido a falta de peças e acessórios no estoque) porém requerem procedimentos operacionais específicos, como empréstimos ou locação. As manutenções preventivas devem ser realizadas a cada 9 meses.
19-64 pontos	<b>Crítico</b>	Equipamentos que apresentam impacto severo na assistência (devido a falta de peças e acessórios no estoque), com potencial de causar danos irreversíveis aos pacientes e implicações relacionadas ao compliance. Exigem a ativação do plano de contingência de equipamentos médicos, com mobilização institucional. As manutenções preventivas devem ser realizadas a cada 6 meses, incluindo calibrações e qualificações, quando aplicável.

Fonte: Biomeditech (documento adaptado)

A avaliação do risco inicia-se pela estimativa da probabilidade de falta de peça para o equipamento, a qual deve ser fundamentada em dados históricos de manutenção, registros de ocorrências e condições operacionais. Para fins de padronização, a probabilidade é classificada em quatro níveis: raro, quando a falha ocorre entre 0% e 5% dos casos; pouco provável, entre 6% e 10%; provável, entre 11% e 20%; é quase certo, quando ultrapassa 21% dos casos. Essa abordagem reduz a subjetividade da análise e está alinhada às diretrizes da ABNT NBR ISO 14971, que recomenda a utilização de evidências objetivas no gerenciamento de riscos de dispositivos médicos (ABNT, 2019).

De forma complementar, avalia-se a gravidade do impacto decorrente da falta de peças para reparo do equipamento, especialmente no que se refere à segurança do paciente e à continuidade da assistência. A gravidade pode variar de baixa, quando não há impacto direto na assistência, até gravíssima, quando a falha pode ocasionar danos irreversíveis ao paciente ou óbito. A combinação entre probabilidade e gravidade é representada por meio de uma matriz de risco, a qual permite a visualização dos níveis de risco e a definição das ações gerenciais correspondentes, como aceitação do risco, mitigação por meio de controles adicionais ou eliminação do risco quando considerado inaceitável (CALIL; TEIXEIRA, 2007).

Para apoiar essa classificação, metodologias consolidadas de gestão de estoques, como a curva ABC e matriz PGF, podem ser aplicadas de forma integrada à análise de criticidade funcional, conforme proposto por Ballou (2006) e Dias (2014). Enquanto a curva ABC permite classificar os itens conforme sua representatividade financeira, a análise de criticidade amplia a avaliação ao considerar o impacto assistencial e operacional da indisponibilidade dos componentes. Essa combinação é especialmente relevante na engenharia clínica, pois itens de

baixo custo podem ser altamente críticos do ponto de vista assistencial, enquanto componentes de alto valor podem apresentar menor impacto imediato sobre a continuidade do atendimento.

Com o objetivo de tornar a análise mais objetiva e comparável existem diversas ferramentas de classificação com a classificação ABC/XYZ ou a matriz PGF. A classificação ABC/XYZ é uma ferramenta que organiza os itens de estoque de acordo com dois critérios essenciais: valor e variabilidade de consumo. A classificação ABC categoriza os itens conforme sua representatividade no custo total do estoque (A = alto impacto financeiro; B = impacto moderado; C = baixo impacto). Já a classificação XYZ avalia a previsibilidade da demanda (X = consumo regular e previsível; Y = consumo moderadamente variável; Z = consumo irregular). Quando combinadas, essas duas análises permitem identificar quais peças exigem controle rigoroso, quais necessitam reposição frequente e quais podem ser adquiridas em quantidades menores ou sob demanda. A matriz PGF (Probabilidade × Gravidade × Frequência), na qual o risco é quantificado por meio de uma pontuação numérica obtida pelo produto entre os fatores avaliados, é demonstrada na figura 4. Essa pontuação varia de 1 a 64 e possibilita a priorização dos equipamentos conforme o nível de risco associado. Valores reduzidos indicam riscos aceitáveis, valores intermediários demandam ações de mitigação e valores elevados caracterizam riscos críticos, exigindo intervenções imediatas e estruturadas (ANVISA, 2010).

Figura 4 – Matriz Probabilidade-Gravidade-Frequência (PGF)

<b>MATRIZ PGF</b>					
		<b>FREQUENCIA</b>			
		<b>Remota (1)</b>	<b>Baixa (2)</b>	<b>Média (3)</b>	<b>Alta (4)</b>
<b>PROBABILIDADE</b>	<b>Quase Certo (4)</b>	4	16	36	64
	<b>Provável (3)</b>	3	12	27	48
	<b>Pouco Provável (2)</b>	2	8	18	32
	<b>Raro (1)</b>	1	4	9	16
		<b>Baixa (1)</b>	<b>Leve (2)</b>	<b>Grave (3)</b>	<b>Gravissima (4)</b>
<b>GRAVIDADE</b>					

Fonte: Biomeditech (documento adaptado)

A partir da pontuação obtida na matriz PGF, os equipamentos são classificados quanto à sua criticidade. Equipamentos com pontuação entre 1 e 4 são considerados não críticos, pois não impactam diretamente a assistência ao paciente e apresentam possibilidade de substituição imediata, permitindo a realização de manutenções preventivas em intervalos anuais ou conforme recomendação do fabricante. Equipamentos com pontuação entre 5 e 18 são classificados como semi-críticos, apresentando impacto moderado e exigindo planos de contingência simplificados, além de manutenções preventivas mais frequentes. Já os

equipamentos com pontuação entre 19 e 64 são considerados críticos, uma vez que podem causar danos severos ou irreversíveis aos pacientes, além de implicações regulatórias e legais, demandando a ativação de planos formais de contingência, manutenção preventiva semestral e controle metrológico rigoroso (ANVISA, 2010).

A classificação por criticidade complementa o planejamento ao estabelecer prioridades de controle e reposição. Nem todos os acessórios possuem o mesmo impacto sobre a operação hospitalar, e tratá-los de forma homogênea pode resultar em alocação ineficiente de recursos. A criticidade deve ser avaliada com base em critérios como o impacto da indisponibilidade na segurança do paciente, a possibilidade de substituição do componente, o tempo médio de reposição e a interferência na continuidade dos serviços assistenciais. Essa abordagem está em consonância com os critérios de qualidade e segurança exigidos pelos programas de acreditação hospitalar, como os da Organização Nacional de Acreditação (ONA, 2021).

A definição do estoque mínimo e do estoque de segurança deve resultar dessa análise integrada entre consumo histórico, criticidade e tempo de reposição. O estoque mínimo corresponde à quantidade necessária para garantir a continuidade das atividades até a reposição do material, enquanto o estoque de segurança atua como uma margem de proteção frente a variações inesperadas de demanda ou atrasos no fornecimento. Níveis inadequados de estoque podem gerar consequências significativas: estoques insuficientes aumentam o risco de paralisação de equipamentos críticos, enquanto estoques excessivos implicam capital imobilizado, risco de obsolescência tecnológica e desperdício de recursos financeiros, contrariando os princípios de eficiência e sustentabilidade defendidos pela gestão pública em saúde (BRASIL, 2013).

A efetividade do planejamento e da classificação do estoque técnico depende, ainda, da integração com os processos de manutenção hospitalar e com os setores de almoxarifado e compras. A comunicação contínua entre essas áreas permite alinhar o planejamento do estoque às demandas reais de manutenção, garantindo que as decisões de reposição sejam fundamentadas em informações técnicas confiáveis. A adoção de sistemas informatizados de gestão da manutenção e do estoque, como os sistemas CMMS, fortalece essa integração ao permitir o registro automático do consumo de peças, a atualização em tempo real dos níveis de estoque e o atendimento às exigências normativas de rastreabilidade e controle documental previstas pela ANVISA (2019) e pela ONA (2021).

Dessa forma, a aplicação sistemática da gestão de riscos em EAS contribui para a redução de eventos adversos, a melhoria dos recursos institucionais e o fortalecimento da cultura de segurança, constituindo-se como um instrumento essencial da engenharia clínica e da gestão de tecnologias em saúde, em consonância com as diretrizes regulatórias nacionais e as normas internacionais de gestão de riscos (ISO, 2018; ABNT, 2019).

### **3.4 Indicadores de desempenho de manutenção e estoque**

A gestão eficiente da manutenção hospitalar e do estoque técnico depende fortemente do monitoramento contínuo de indicadores de desempenho, que funcionam como ferramentas de avaliação e tomada de decisão. Segundo Polit e Beck (2019), os indicadores são instrumentos que traduzem informações complexas em dados compreensíveis, permitindo mensurar resultados, identificar falhas e propor melhorias de forma objetiva.

Na engenharia clínica, os indicadores de manutenção são fundamentais para acompanhar a disponibilidade e a confiabilidade dos equipamentos médico-hospitalares. Entre os mais utilizados destacam-se o MTBF e o MTTR. Esses parâmetros, de acordo com Chehuen Neto (2019), fornecem uma visão clara sobre a eficiência operacional da equipe técnica e sobre a qualidade dos processos de manutenção preventiva e corretiva.

Além disso, o índice de disponibilidade técnica (DAT) mede o percentual de tempo em que um equipamento permanece apto para uso, sendo um dos principais indicadores para avaliar o desempenho da engenharia clínica. Um DAT elevado reflete não apenas uma boa execução das manutenções, mas também uma gestão eficaz do estoque de peças e acessórios, já que a falta de componentes pode prolongar o tempo de inatividade dos dispositivos.

Por outro lado, os indicadores de estoque são voltados para avaliar a eficiência logística do almoxarifado técnico. Prodanov e Freitas (2013) destacam que o índice de ruptura, frequência com que o material não está disponível quando necessário, é um dos indicadores mais críticos, pois impacta diretamente a continuidade dos serviços hospitalares. Outro parâmetro relevante é o nível de serviço, que mede a capacidade do estoque de atender às demandas da manutenção dentro do prazo previsto.

De acordo com Lakatos e Marconi (2017), o equilíbrio entre disponibilidade e custo de estoque é o maior desafio da gestão hospitalar. Um estoque muito elevado representa capital imobilizado e risco de obsolescência, enquanto um estoque reduzido pode causar atrasos e

falhas operacionais. Por isso, os gestores devem adotar indicadores combinados que expressam a eficiência do sistema como um todo, e não apenas de forma isolada.

A Tabela 6 apresenta os principais indicadores aplicáveis à manutenção e ao controle de estoque técnico, destacando seus objetivos e fórmulas de cálculo.

Tabela 6 – Indicadores de desempenho de manutenção e estoque técnico

Indicador	Descrição	Objetivo	Fórmula de Cálculo Simplificada
MTBF (Tempo médio entre falhas)	Mede o tempo médio entre uma falha e outra em determinado equipamento.	Avaliar a confiabilidade dos equipamentos.	$MTBF = \text{Tempo total de operação} / \text{Número de falhas}$
MTTR (Tempo médio para reparo)	Mede o tempo médio gasto na execução dos reparos.	Avaliar a eficiência das intervenções.	$MTTR = \text{Tempo total de reparos} / \text{Número de reparos}$
DAT (Disponibilidade técnica)	Representa o percentual de tempo em que o equipamento está disponível para uso.	Garantir a continuidade do atendimento hospitalar.	$DAT = (MTBF / (MTBF + MTTR)) \times 100$
Índice de ruptura de estoque	Mede a frequência com que materiais não estão disponíveis no momento necessário.	Controlar falhas no fornecimento de peças.	$N^{\circ} \text{ de faltas} / N^{\circ} \text{ total de requisições} \times 100$
Nível de serviço do estoque	Avalia a capacidade do estoque em atender às demandas da manutenção.	Assegurar agilidade e previsibilidade logística.	$(\text{Requisições atendidas} / \text{Requisições totais}) \times 100$

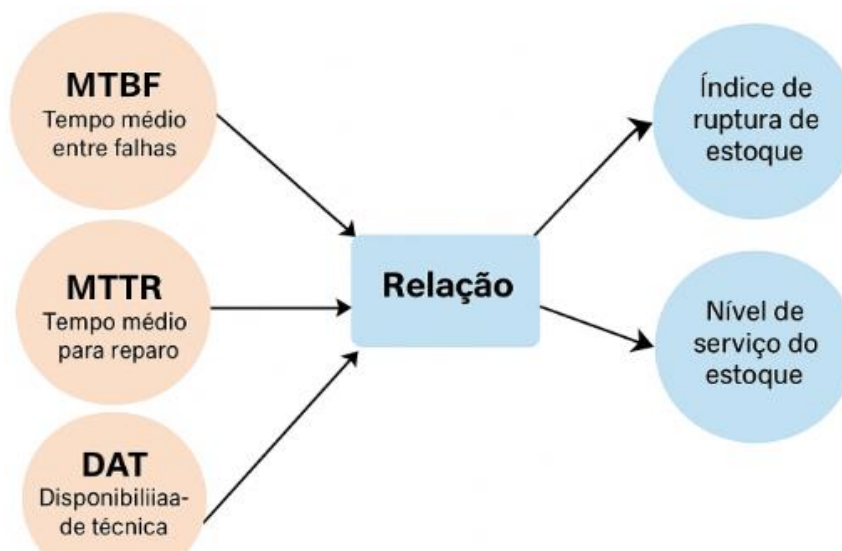
Fonte: Elaborada pela autora

A combinação desses indicadores possibilita uma avaliação sistêmica do desempenho da engenharia clínica, permitindo identificar gargalos e oportunidades de melhoria. Por exemplo, um aumento no MTTR pode indicar não apenas falhas na manutenção, mas também ineficiência na reposição de peças, um problema que envolve tanto o setor técnico quanto o logístico.

Segundo Silva et al. (2021), a análise integrada de indicadores de manutenção e estoque é o caminho mais eficaz para alcançar otimização operacional e redução de custos, pois permite correlacionar dados técnicos e administrativos em tempo real, especialmente quando os processos estão automatizados via sistemas CMMS.

A Figura 5 sintetiza graficamente a relação entre os indicadores de manutenção e os de estoque, mostrando como eles interagem no ciclo de gestão hospitalar.

Figura 5 – Relação entre indicadores de manutenção e indicadores de estoque



Fonte: Elaborada pela autora

Em suma, os indicadores de desempenho constituem ferramentas estratégicas para a engenharia clínica, permitindo transformar dados em conhecimento e conhecimento em ação. Sua aplicação sistemática promove maior previsibilidade, eficiência e sustentabilidade, reforçando o papel da gestão de estoque como elemento essencial para a manutenção hospitalar moderna.

### 3.5 Desafios e lacunas identificadas na literatura

Apesar dos avanços tecnológicos e gerenciais observados nos últimos anos, a literatura revela que ainda existem diversos desafios e lacunas na integração entre os processos de manutenção e a gestão de estoque de peças e acessórios na engenharia clínica. Esses desafios estão relacionados a fatores estruturais, operacionais e humanos, e representam barreiras significativas para a consolidação de modelos de gestão realmente eficientes nas instituições de saúde.

Um dos principais desafios apontados por Silva et al. (2021) e Chehuen Neto (2019) é a falta de padronização dos processos de controle de estoque e manutenção hospitalar, que permanece como um dos maiores gargalos operacionais dentro da Engenharia Clínica. A inexistência de protocolos padronizados faz com que cada técnico ou setor registre informações de forma distinta, resultando em inconsistências, duplicidades e lacunas documentais. Essas falhas afetam diretamente a capacidade de cumprir requisitos regulatórios de rastreabilidade,

como os exigidos pela ANVISA (2019) e pela Organização Nacional de Acreditação (ONA, 2021), que demandam documentação precisa, transparente e auditável sobre cada intervenção técnica realizada. Assim, a falta de padronização não é apenas um problema operacional, mas também um risco regulatório e de qualidade assistencial

Em grande parte das instituições de saúde, os registros de entrada, saída e consumo de peças continuam sendo realizados de forma manual, descentralizada e sem critérios uniformes. Essa prática, além de comprometer a rastreabilidade dos materiais, dificulta o estabelecimento de fluxos claros e auditáveis.

A ausência de integração sistêmica entre Engenharia Clínica e Almoxarifado técnico (almoxarifado de peças e acessórios de equipamentos médicos) impede a consolidação de um banco de dados confiável, condição essencial para prever demandas futuras, planejar compras e garantir que materiais críticos estejam disponíveis quando necessários. Como consequência, há atrasos significativos na realização de manutenções corretivas, aumento do tempo de indisponibilidade dos equipamentos e elevação dos custos associados a compras emergenciais. Além disso, há uma carência significativa de ferramentas informatizadas acessíveis e adaptadas à realidade dos hospitais públicos e de pequeno porte. A implementação de sistemas como o CMMS, mencionada por Lakatos e Marconi (2017), ainda é restrita a instituições de maior porte ou privadas, devido ao custo e à necessidade de suporte técnico contínuo. Essa desigualdade tecnológica cria um cenário em que grande parte das instituições de saúde opera de forma reativa, sem planejamento logístico estruturado.

Outro ponto crítico identificado pelos autores é a escassez de indicadores específicos capazes de monitorar o desempenho logístico e técnico de forma integrada. Embora métricas tradicionais como MTBF, MTTR e DAT sejam amplamente adotadas para avaliar o comportamento dos equipamentos, elas não capturam adequadamente o impacto do estoque sobre o desempenho da manutenção. Polit e Beck (2019) observam que, na ausência de indicadores direcionados ao fluxo de suprimentos, torna-se impossível mensurar, por exemplo, o tempo médio de reposição de peças críticas, o índice de ruptura de estoque, ou o custo das manutenções atrasadas devido à falta de componentes essenciais. Essa última lacuna (integração do desempenho logístico e técnico de forma integrada) impede que a Engenharia Clínica seja avaliada como um sistema interdependente, no qual estoque, suprimentos, manutenção e operação clínica atuam de maneira conjunta. Sem indicadores que reflitam essa sinergia, gestores não conseguem identificar causas raízes de falhas operacionais, nem

implementar estratégias mais eficientes. Além disso, a ausência desses indicadores limita a evolução para modelos mais avançados de gestão, como manutenção preditiva baseada em dados, ou mesmo sistemas automatizados de priorização de compras alinhados ao risco clínico. A literatura evidencia que instituições que incorporam métricas integradas conseguem reduzir significativamente o tempo de resposta às manutenções, diminuir custos logísticos e aumentar a disponibilidade dos equipamentos (SILVA et al., 2021; CHEHUEN NETO, 2019). Dessa forma, a construção e adoção de indicadores específicos para o elo entre estoque e manutenção configuram um passo essencial rumo à maturidade operacional da Engenharia Clínica.

Outra lacuna é a falta de revisão periódica de criticidade das peças, a classificação ABC/XYZ, a matriz PGF. A revisão periódica da criticidade das peças consiste em avaliar com regularidade quais itens têm maior impacto na segurança do paciente, na operação dos equipamentos e na continuidade dos serviços. Peças consideradas críticas são aquelas cuja falta pode paralisar setores inteiros, comprometer exames urgentes ou gerar riscos clínicos. Essa revisão permite ajustar prioridades, direcionar investimentos e reduzir a dependência de compras emergenciais, além de alinhar a gestão de estoque às necessidades reais de manutenção.

A adoção de estoques de segurança orientados por dados históricos de falhas estabelece quantidades mínimas de peças consideradas essenciais, calculadas com base em padrões de uso, MTBF, sazonalidade e histórico de ocorrências. Esse método reduz a probabilidade de rupturas, garantindo que a ausência de um único componente não impeça a conclusão de uma manutenção corretiva. Além disso, permite antecipar necessidades futuras e planejar compras de forma mais estratégica, evitando gastos emergenciais e aumentando a disponibilidade técnica dos equipamentos. Em conjunto, essas estratégias fortalecem a gestão integrada entre manutenção e estoque, permitindo que a Engenharia Clínica opere com maior precisão, previsibilidade e eficiência, enquanto garante segurança ao paciente e sustentabilidade financeira à instituição.

A literatura também evidencia um déficit de capacitação técnica e gerencial entre os profissionais envolvidos na gestão de suprimentos hospitalares. De acordo com Flick (2020), ainda é comum que técnicos de manutenção assumam responsabilidades de controle de estoque sem o devido treinamento em logística, planejamento ou gestão de materiais. Essa sobreposição de funções, embora muitas vezes necessária pela limitação de recursos humanos, reduz a eficiência dos processos e aumenta a probabilidade de erros operacionais.

Também é importante destacar a escassez de estudos brasileiros voltados especificamente à otimização do estoque técnico hospitalar, conforme apontado por Sampaio e Mancini (2007). A maioria das pesquisas existentes concentra-se em abordagens generalistas de logística hospitalar ou manutenção de equipamentos, deixando uma lacuna teórica relevante no que se refere à análise conjunta dessas duas dimensões. Essa ausência de estudos aplicados limita a geração de modelos de gestão adaptados à realidade nacional, onde os recursos são escassos e os sistemas de informação ainda estão em consolidação.

A Figura 6, a seguir, sintetiza graficamente os principais desafios e lacunas identificados na literatura revisada, destacando a inter-relação entre fatores tecnológicos, organizacionais e humanos.

Figura 6 – Principais desafios e lacunas na literatura sobre gestão de estoque e manutenção hospitalar



Fonte: Elaborada pela autora

Em resumo, observa-se que, embora os avanços tecnológicos e metodológicos tenham contribuído para a evolução da engenharia clínica, persistem lacunas significativas na integração entre manutenção e gestão de suprimentos técnicos. O enfrentamento desses desafios exige investimentos em capacitação, informatização e padronização de processos, além do desenvolvimento de modelos de gestão mais adequados à realidade institucional brasileira.

Essas limitações, contudo, não apenas revelam as fragilidades do sistema atual, mas também indicam um campo fértil para inovação, no qual a engenharia clínica pode evoluir de uma função essencialmente corretiva para uma área estratégica de gestão tecnológica hospitalar.

### **3.6 Proposta de modelo para gestão de estoque**

A análise da literatura e dos desafios identificados nas seções anteriores evidencia a necessidade de um modelo integrado de otimização da gestão de estoque de peças e acessórios na engenharia clínica, capaz de alinhar eficiência técnica, controle logístico e sustentabilidade econômica. A proposta a seguir busca oferecer uma estrutura conceitual que possa ser aplicada de forma prática nas instituições de saúde, especialmente em hospitais públicos e de médio porte, que enfrentam limitações de recursos humanos e financeiros.

Segundo Polit e Beck (2019), a construção de um modelo de gestão eficiente deve partir de uma abordagem sistêmica, que considere o fluxo completo de informações e materiais. Assim, o modelo proposto neste trabalho é estruturado em quatro etapas principais: (1) planejamento e classificação do estoque técnico; (2) integração entre manutenção e logística; (3) monitoramento por indicadores de desempenho; e (4) revisão contínua baseada em dados históricos. Esse modelo serve de base conceitual para a aplicação exemplificativa apresentada a seguir.

#### **3.6.1 Planejamento e classificação do estoque técnico**

O planejamento e a classificação do estoque técnico constituem etapas centrais para a eficiência da engenharia clínica, pois estão diretamente relacionados à disponibilidade dos equipamentos médico-hospitalares, à segurança do paciente e ao controle dos custos operacionais. Diferentemente de estoques convencionais, o estoque técnico hospitalar é composto por peças, componentes e acessórios específicos, muitos deles de alto valor agregado, baixa rotatividade e elevado impacto assistencial em caso de indisponibilidade. Nesse contexto, o estoque técnico deve ser compreendido como uma extensão estratégica da manutenção hospitalar, e não apenas como um repositório de materiais, conforme orientam as diretrizes do Ministério da Saúde (BRASIL, 2002; BRASIL, 2013).

O planejamento do estoque técnico inicia-se pelo conhecimento do programa de manutenção elaborado pela EC o qual deve ser compartilhado com a gestão de estoque, considerando a quantidade e o tipo de equipamentos em operação, seu grau de complexidade, tempo de uso, criticidade clínica, a determinação do tipo de manutenção e histórico de falhas. Essa abordagem está alinhada às boas práticas de gerenciamento de tecnologias em saúde preconizadas pela ANVISA (2019), que estabelece a necessidade de rastreabilidade, controle

documental e planejamento das atividades de manutenção e suprimentos técnicos. A ausência desse mapeamento compromete a previsibilidade da demanda e favorece a ocorrência de compras emergenciais, aumento de custos e prolongamento do tempo de indisponibilidade dos equipamentos.

Associado a esse levantamento, a análise do histórico de manutenções corretivas, preventivas e preditivas desempenha papel fundamental no planejamento da manutenção e, portanto, da programação dos serviços da EC. O uso de dados históricos permite estimar padrões de consumo, identificar componentes que são considerados no planejamento da manutenção e sua programação, permite a gestão de estoque e define níveis adequados de estoque mínimo e estoque de segurança. Essa prática encontra respaldo nos princípios de gestão baseada em evidências defendidos por Polit e Beck (2019), bem como nas exigências de controle metrológico e rastreabilidade estabelecidas pela ABNT NBR ISO/IEC 17025 (ABNT, 2017) e pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO (INMETRO, 2022).

A classificação do estoque técnico por criticidade, conforme a Tabela 7, complementa o planejamento ao estabelecer prioridades de controle e reposição. Nem todos os acessórios possuem o mesmo impacto sobre a operação hospitalar, e tratá-los de forma homogênea pode resultar em alocação ineficiente de recursos. A criticidade deve ser avaliada com base em critérios como o impacto da indisponibilidade na segurança do paciente, a possibilidade de substituição do componente, o tempo médio de reposição e a interferência na continuidade dos serviços assistenciais. Essa abordagem está em consonância com os critérios de qualidade e segurança exigidos pelos programas de acreditação hospitalar, como os da Organização Nacional de Acreditação (ONA, 2021).

Tabela 7 – Matriz de classificação de peças por importância e criticidade

Categoria	Critério de Classificação	Exemplos de Itens	Nível de Controle
A (Alta prioridade)	Itens críticos para o funcionamento de equipamentos vitais e de alto custo.	Sensores de oxigênio, transdutores de pressão, placas eletrônicas.	Controle diário e estoque mínimo garantido.
B (Média prioridade)	Itens de uso frequente, mas com alternativas de reposição rápida.	Cabos, baterias, conectores.	Controle semanal e reposição programada.
C (Baixa prioridade)	Itens de baixo custo e impacto operacional reduzido.	Fusíveis, tampas, suportes.	Controle mensal e reposição sob demanda.

Fonte: Elaborada pela autora

Para apoiar essa classificação, metodologias consolidadas de gestão de estoques, como a curva ABC, podem ser aplicadas de forma integrada à análise de criticidade funcional, conforme proposto por Ballou (2006) e Dias (2014). Enquanto a curva ABC permite classificar os itens conforme sua representatividade financeira, a análise de criticidade amplia a avaliação ao considerar o impacto assistencial e operacional da indisponibilidade dos componentes. Essa combinação é especialmente relevante na engenharia clínica, pois itens de baixo custo podem ser altamente críticos do ponto de vista assistencial, enquanto componentes de alto valor podem apresentar menor impacto imediato sobre a continuidade do atendimento.

A definição do estoque mínimo e do estoque de segurança deve resultar dessa análise integrada entre consumo histórico, criticidade e tempo de reposição. O estoque mínimo corresponde à quantidade necessária para garantir a continuidade das atividades até a reposição do material, enquanto o estoque de segurança atua como uma margem de proteção frente a variações inesperadas de demanda ou atrasos no fornecimento. Níveis inadequados de estoque podem gerar consequências significativas: estoques insuficientes aumentam o risco de paralisação de equipamentos críticos, enquanto estoques excessivos implicam capital imobilizado, risco de obsolescência tecnológica e desperdício de recursos financeiros, contrariando os princípios de eficiência e sustentabilidade defendidos pela gestão pública em saúde (BRASIL, 2013).

A efetividade do planejamento e da classificação do estoque técnico depende, ainda, da integração com os processos de manutenção hospitalar e com os setores de almoxarifado e compras. A comunicação contínua entre essas áreas permite alinhar o planejamento do estoque às demandas reais de manutenção, garantindo que as decisões de reposição sejam fundamentadas em informações técnicas confiáveis. A adoção de sistemas informatizados de gestão da manutenção e do estoque, como os sistemas CMMS, fortalece essa integração ao permitir o registro automático do consumo de peças, a atualização em tempo real dos níveis de estoque e o atendimento às exigências normativas de rastreabilidade e controle documental previstas pela ANVISA (2019) e pela ONA (2021).

Em síntese, o planejamento e a classificação do estoque técnico representam instrumentos estratégicos para a engenharia clínica moderna. Quando estruturados de forma sistemática, alinhados às normas técnicas e integrados à manutenção hospitalar, esses processos contribuem para a redução de riscos operacionais, a otimização dos recursos financeiros e o aumento da disponibilidade dos equipamentos médico-hospitalares. Dessa forma, o estoque

técnico deixa de ser um elemento meramente operacional e passa a desempenhar um papel fundamental na governança tecnológica e na sustentabilidade das instituições de saúde.

### **3.6.2 Integração entre manutenção e logística**

No âmbito da engenharia clínica, a logística refere-se ao conjunto de processos responsáveis pelo planejamento, aquisição, armazenamento e disponibilização de peças e acessórios necessários à execução das manutenções em EAS. Trata-se de uma função estratégica que assegura que os materiais corretos estejam disponíveis no momento adequado, evitando atrasos e interrupções nos serviços assistenciais. A programação de manutenção elaborada pela engenharia clínica impacta diretamente a logística do estoque técnico. Para que as manutenções preventivas sejam executadas conforme o cronograma estabelecido, o setor de estoque necessita de prazo suficiente para realizar cotações, efetuar a compra dos itens e garantir sua disponibilidade no almoxarifado. Caso esse tempo não seja considerado no planejamento, há risco de indisponibilidade de peças, comprometendo a execução das atividades programadas. Essa articulação caracteriza a integração entre manutenção e logística: um processo colaborativo no qual planejamento técnico e planejamento de suprimentos atuam de forma integrada.

A integração entre manutenção e logística hospitalar é um elemento essencial para a operacionalização eficiente da engenharia clínica, pois permite alinhar a execução das atividades técnicas à disponibilidade dos recursos materiais necessários para a manutenção dos equipamentos médico-hospitalares. Na prática, essa integração consiste na coordenação direta entre os processos de manutenção preventiva, corretiva e preditiva e o controle do estoque técnico de peças e acessórios, garantindo que os materiais adequados estejam disponíveis no momento exato da intervenção.

A aplicação dessa integração inicia-se com a padronização dos fluxos de trabalho entre o setor de engenharia clínica, o almoxarifado técnico e o setor de compras. Cada intervenção de manutenção deve estar vinculada ao consumo efetivo de peças, de modo que a retirada de um acessório do estoque seja registrada simultaneamente à abertura ou ao encerramento da ordem de serviço. Esse procedimento permite que o estoque reflita a realidade operacional do setor e evita divergências entre o consumo real e os registros administrativos.

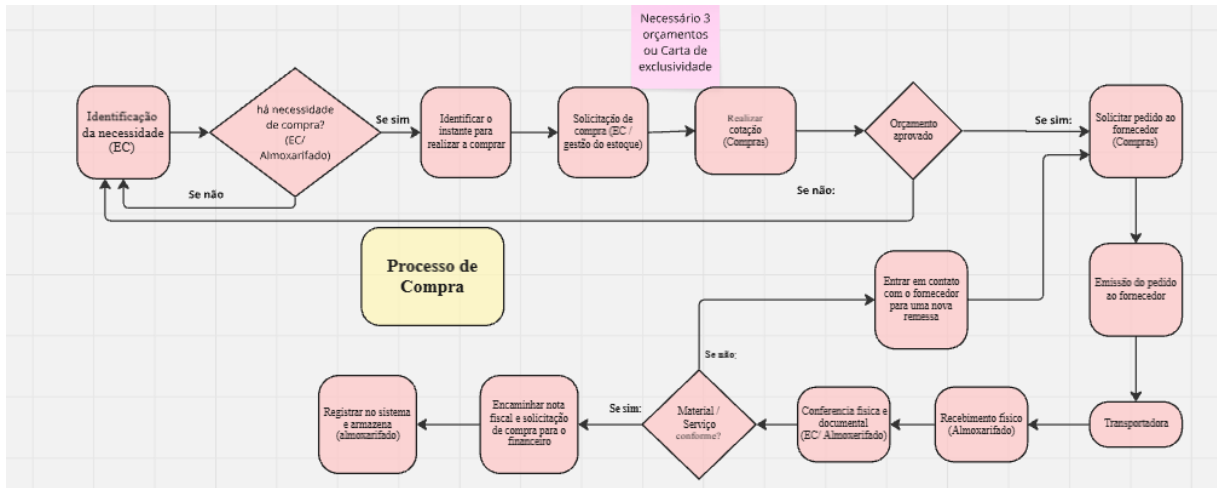
Do ponto de vista operacional, a integração favorece o planejamento das manutenções, pois possibilita verificar previamente a disponibilidade dos materiais antes da execução das

ordens de serviço. Em manutenções preventivas e programadas, essa prática reduz atrasos e retrabalhos, uma vez que os componentes necessários já são reservados ou separados antecipadamente. Em manutenções corretivas, especialmente em equipamentos críticos, a integração assegura resposta mais rápida, minimizando o tempo de indisponibilidade dos equipamentos e os impactos sobre a assistência ao paciente.

A gestão integrada também contribui para o planejamento das aquisições. A partir do registro contínuo do consumo de peças durante as manutenções, torna-se possível identificar padrões de uso, componentes com maior frequência de substituição e períodos de maior demanda. Essas informações subsidiam a definição de estoques mínimos, estoques de segurança e cronogramas de compra, reduzindo a dependência de aquisições emergenciais e favorecendo negociações mais vantajosas com fornecedores. Essa prática está alinhada às diretrizes de gerenciamento de equipamentos médico-hospitalares estabelecidas pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2013) e às exigências de rastreabilidade da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019).

Na aplicação prática, a integração entre manutenção e logística é fortalecida pela adoção de sistemas informatizados de gestão, como os sistemas de gerenciamento da manutenção (CMMS), que permitem vincular automaticamente ordens de serviço, histórico de intervenções e movimentação de estoque. Estes sistemas facilitam o controle de entradas e saídas de materiais, reduzem falhas de registro e permitem o acompanhamento em tempo real dos níveis de estoque. Além disso, favorecem a geração de relatórios gerenciais que auxiliam a tomada de decisão e o planejamento estratégico do setor. Conforme apresentado na Figura 7, observa-se o fluxograma do processo de aquisição de peças e acessórios, evidenciando de forma sistematizada as etapas que compreendem a identificação da necessidade, verificação de disponibilidade em estoque, solicitação de compra, cotação, aprovação orçamentária, emissão do pedido, recebimento, conferência técnica e registro no sistema, assegurando rastreabilidade, controle logístico e suporte às atividades de manutenção.

Figura 7 – Fluxograma do processo de compra



Fonte: Elaborada pela autora

Outro aspecto relevante da aplicação integrada é a definição clara de responsabilidades. Enquanto a engenharia clínica responde pela especificação técnica das peças, avaliação da criticidade e necessidade de reposição, o setor logístico atua no controle físico do estoque, na organização do almoxarifado e no suporte aos processos de compra. A comunicação contínua entre essas áreas reduz conflitos operacionais e garante que decisões logísticas estejam alinhadas às necessidades técnicas e assistenciais.

A integração também contribui para o atendimento aos requisitos de qualidade e segurança. O controle adequado do fluxo de peças e acessórios permite assegurar que apenas componentes compatíveis, rastreáveis e em conformidade com normas técnicas sejam utilizados nas manutenções, conforme exigido por normas como a ABNT NBR IEC 60601-1, que estabelece requisitos de segurança e desempenho essencial para equipamentos eletromédicos (ABNT, 2010). Esse controle reduz riscos de falhas recorrentes, uso de peças inadequadas e não conformidades em auditorias internas ou externas.

A Tabela 8 identifica o(s) responsável(is) de cada tarefa, evidenciando a integração entre a manutenção e a logística de compras mensal.

Tabela 8 – Identificação do(s) responsável(is) de cada tarefa.

Tarefas	Responsável
Identificação da necessidade (falha, preventiva ou preditiva)	Engenharia Clínica
Análise de criticidade e verificação de estoque	Engenharia Clínica / Almojarifado
Solicitação de compra	Engenharia Clínica/ Gestão de estoque
Processo de cotação e aprovação orçamentário	Compras / Financeiro
Emissão do pedido ao fornecedor	Compras
Prazo de fornecimento e transporte	Fornecedor
Recebimento físico do material	Almojarifado
Conferência técnica e documental	Almojarifado / Engenharia Clínica
Registro em sistema	Almojarifado
Armazenamento técnico	Almojarifado
Separação e liberação da peça	Almojarifado
Entrega ao setor de manutenção	Almojarifado / Engenharia Clínica

Fonte: Elaborada pela autora

Em síntese, a integração entre manutenção e logística hospitalar, quando aplicada de forma estruturada, transforma o estoque técnico em um suporte ativo à manutenção, e não em um fator limitante. Essa integração promove maior previsibilidade das intervenções, melhor controle financeiro, mantém a execução da manutenção conforme o programado e aumenta a confiabilidade operacional do parque tecnológico hospitalar. Assim, a engenharia clínica passa a atuar de forma mais organizada, eficiente e alinhada às exigências de qualidade, segurança e sustentabilidade das instituições de saúde. A Tabela 9 descreve as etapas para o dimensionamento do estoque de acessórios de equipamentos.

Tabela 9 – Etapas para dimensionamento do estoque de acessórios de equipamentos

Etapa	Descrição da Atividade	Objetivo da Etapa	Base Conceitual
1	Definição do equipamento médico-hospitalar e identificação dos acessórios associados	Delimitar o escopo da análise e mapear os componentes necessários à manutenção	Engenharia clínica e ciclo de vida dos EMH
2	Levantamento do estoque disponível no setor de engenharia clínica	Identificar a quantidade real de acessórios existentes para comparação com a demanda	Controle de estoque técnico
3	Classificação dos acessórios por criticidade	Priorizar os itens com maior impacto na segurança do paciente e na operação	Análise de criticidade e gestão de risco
4	Definição do horizonte temporal de análise (ex.: 12, 24 ou 36 meses)	Estabelecer o período para planejamento do estoque mínimo	Planejamento logístico
5	Cálculo do estoque mínimo recomendado para cada acessório	Garantir disponibilidade para manutenção preventiva e corretiva	Gestão de estoques e manutenção hospitalar
6	Comparação entre estoque disponível e estoque mínimo	Identificar déficit, equilíbrio ou excesso de materiais	Planejamento de reposição
7	Cálculo da necessidade de compra	Definir quantitativos a serem adquiridos	Logística hospitalar
8	Levantamento do custo médio unitário dos acessórios	Estimar o impacto financeiro do estoque mínimo	Planejamento orçamentário
9	Cálculo do custo total do estoque mínimo recomendado	Avaliar a viabilidade econômica do modelo proposto	Gestão financeira hospitalar
10	Definição da periodicidade de substituição dos acessórios	Relacionar consumo ao ciclo de vida dos componentes	Manutenção preventiva e preditiva
11	Estimativa do número de substituições no período analisado	Prever demanda acumulada de acessórios	Planejamento de consumo
12	Consolidação dos dados em planilhas gerenciais	Organizar informações para análise e tomada de decisão	Padronização de processos
13	Análise integrada entre manutenção e estoque	Avaliar impacto do estoque nos indicadores de manutenção	Integração manutenção-logística
14	Revisão periódica do modelo e dos parâmetros utilizados	Ajustar o planejamento conforme mudanças operacionais	Melhoria contínua

Fonte: Elaborada pela autora

### 3.6.3 Monitoramento por indicadores de desempenho

O monitoramento por indicadores de desempenho é uma ferramenta essencial para a gestão eficiente da engenharia clínica, pois permite avaliar de forma objetiva o comportamento

dos equipamentos médico-hospitalares, a efetividade das manutenções realizadas e o impacto do estoque técnico sobre a disponibilidade operacional. Na prática, os indicadores transformam dados operacionais em informações gerenciais, possibilitando acompanhar resultados, identificar desvios e apoiar a tomada de decisões de maneira sistemática e contínua.

A aplicação do monitoramento inicia-se com a definição dos indicadores mais relevantes para o contexto da instituição. Para a eficiência das manutenções da engenharia clínica, os indicadores devem contemplar tanto o desempenho da manutenção quanto a eficiência do estoque técnico, considerando que essas duas dimensões são interdependentes. A escolha dos indicadores deve priorizar métricas simples, mensuráveis e diretamente relacionadas aos objetivos operacionais dos setores, evitando o excesso de informações que dificultem a análise.

Entre os indicadores de manutenção, destacam-se aqueles voltados à confiabilidade e à eficiência das intervenções. O MTBF permite avaliar a estabilidade operacional dos equipamentos, indicando se as manutenções preventivas estão sendo eficazes. Já o MTTR, mede a agilidade das intervenções técnicas, refletindo tanto a organização da equipe quanto a disponibilidade de peças e acessórios no estoque. A disponibilidade técnica dos equipamentos, expressa em percentual, consolida essas informações ao demonstrar o tempo em que o equipamento permanece apto para uso assistencial.

No que se refere ao estoque técnico, o monitoramento deve focar em indicadores que avaliem a capacidade de atendimento às demandas da manutenção. O índice de ruptura de estoque indica a frequência com que peças ou acessórios não estão disponíveis no momento necessário, sendo um sinal direto de falhas no planejamento ou na reposição. O nível de serviço do estoque, por sua vez, mede o percentual de requisições atendidas dentro do prazo esperado, refletindo a eficiência logística do setor.

A aplicação prática desses indicadores exige a padronização dos registros operacionais. Cada ordem de serviço deve conter informações sobre o equipamento atendido, o tipo de manutenção realizada, o tempo de execução e os materiais utilizados. Da mesma forma, as movimentações de estoque devem ser registradas de forma sistemática, assegurando a confiabilidade dos dados utilizados nos cálculos. A ausência de registros consistentes compromete a validade dos indicadores e limita sua utilidade gerencial.

Uma vez definidos e calculados, os indicadores devem ser acompanhados periodicamente, com frequência compatível com a rotina dos setores, como mensal ou trimestral. A análise dos resultados deve considerar tendências ao longo do tempo, e não apenas valores pontuais. Por exemplo, um aumento progressivo do MTTR pode indicar dificuldades na reposição de peças ou sobrecarga da equipe técnica, enquanto elevações no índice de ruptura de estoque sinalizam a necessidade de revisão dos níveis mínimos ou dos prazos de aquisição.

O uso integrado dos indicadores permite identificar relações diretas entre manutenção e estoque. Situações em que o tempo de reparo aumenta em função da indisponibilidade de peças evidenciam gargalos logísticos que impactam o desempenho técnico. Da mesma forma, equipamentos com baixo MTBF podem demandar revisões no planejamento da manutenção preventiva ou na qualidade dos componentes utilizados. Essa visão integrada favorece intervenções corretivas mais precisas e evita decisões baseadas apenas em percepções subjetivas. A Tabela 10, mostra de forma mais didática como funcionam esses indicadores.

Tabela 10- Indicadores de desempenho

Indicador	Descrição	Fórmula Simplificada	Aplicação prática na Engenharia Clínica
MTBF (Mean Time Between Failures)	Mede o tempo médio de funcionamento do equipamento entre uma falha e outra.	$MTBF = \text{Tempo total de operação} / \text{Número de falhas}$	Indicador de confiabilidade. Identificar necessidade de revisão do plano de manutenção preventiva. Equipamentos com MTBF baixo indicam maior propensão a falhas.
MTTR (Mean Time To Repair)	Mede o tempo médio gasto para realizar reparos.	$MTTR = \text{Tempo total de reparos} / \text{Número de reparos}$	Indicador de manutibilidade. Identifica a facilidade de uma manutenção. Determina a disponibilidade do equipamento
Disponibilidade Técnica (DT)	Representa o percentual de tempo em que o equipamento permanece disponível para uso.	$DT = (MTBF / (MTBF + MTTR)) \times 100$	Monitorar a continuidade do atendimento assistencial. Equipamentos críticos devem apresentar alta disponibilidade técnica.
Índice de ruptura de estoque	Mede a frequência de falta de peças no momento da necessidade.	$\text{Índice de ruptura} = (\text{N}^\circ \text{ de faltas} / \text{N}^\circ \text{ total de requisições}) \times 100$	Identificar falhas no planejamento do estoque técnico e necessidade de revisão do estoque mínimo ou dos prazos de reposição.
Nível de serviço do estoque	Avalia a capacidade do estoque em atender às demandas da manutenção.	$\text{Nível de serviço} = (\text{Requisições atendidas} / \text{Requisições totais}) \times 100$	Medir a eficiência logística do setor e o alinhamento entre estoque e manutenção. Valores baixos indicam impacto direto na execução das manutenções.
Consumo médio mensal de peças	Indica a média de utilização de acessórios ao longo	$\text{Consumo médio} = \text{Total consumido} / \text{N}^\circ \text{ de meses analisados}$	Subsidiar o planejamento de compras, definição de estoque mínimo e previsão orçamentária.

	do tempo.		
Custo médio de manutenção por equipamento	Avalia o impacto financeiro das manutenções realizadas.	$\text{Custo médio} = \frac{\text{Custo total de manutenção}}{\text{N}^{\circ} \text{ de equipamentos}}$	Apoiar decisões sobre substituição de equipamentos, contratos de manutenção e priorização de investimentos.
Tempo médio de reposição (Lead Time)	Mede o tempo entre a solicitação e o recebimento da peça.	$\text{Lead Time} = \text{Data de recebimento} - \text{Data da solicitação}$	Ajustar níveis de estoque de segurança e reduzir riscos de indisponibilidade por atrasos no fornecimento.

Fonte: Elaborada pela autora

Além do acompanhamento operacional, os indicadores de desempenho desempenham papel relevante no planejamento estratégico e orçamentário. A análise histórica dos dados permite estimar custos de manutenção, prever consumo de peças e justificar investimentos em renovação tecnológica ou ampliação de estoques críticos. Dessa forma, o monitoramento deixa de ser apenas um instrumento de controle e passa a atuar como apoio à gestão financeira e à tomada de decisão institucional.

Em síntese, o monitoramento por indicadores de desempenho, quando aplicado de forma sistemática e integrada, contribui para aumentar a previsibilidade das operações, evitando a redução do tempo de indisponibilidade dos equipamentos e aprimorar o controle do estoque técnico. Essa prática fortalece a atuação da engenharia clínica como área estratégica, orientada por dados e resultados, promovendo maior eficiência operacional, segurança assistencial e sustentabilidade para as instituições de saúde.

### 3.6.4 Revisão contínua baseada em dados históricos

A revisão contínua baseada em dados históricos representa uma etapa essencial para a consolidação de uma gestão eficiente da manutenção e do estoque técnico na engenharia clínica. Na aplicação prática, essa revisão consiste no uso sistemático das informações acumuladas ao longo do tempo sobre falhas, intervenções técnicas, consumo de peças, tempos de reparo e custos associados, com a finalidade de ajustar continuamente os processos operacionais e aprimorar o planejamento do setor.

A implementação dessa abordagem inicia-se pela padronização dos registros técnicos e logísticos. Todas as manutenções realizadas em equipamentos médico-hospitalares devem ser documentadas de forma estruturada, incluindo dados como tipo de manutenção, mão de obra, causa da falha, peças substituídas, tempo de execução e custo envolvido. De maneira

complementar, o histórico do estoque técnico deve registrar entradas, saídas, prazos de reposição e fornecedores. Esse controle atende às diretrizes de rastreabilidade e gerenciamento de tecnologias em saúde estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA, 2019) e pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2013).

Com os dados organizados, a revisão contínua permite identificar padrões de comportamento dos equipamentos e do consumo de acessórios. Componentes que apresentam substituições frequentes podem indicar: mal uso do equipamento, falhas recorrentes, inadequação do plano de manutenção preventiva ou desgaste natural (envelhecimento do equipamento). Nesses casos, a análise histórica subsidia a revisão das rotinas de manutenção, a redefinição de periodicidades ou a priorização do equipamento em planos de renovação tecnológica. Essa prática está alinhada aos princípios de gestão do ciclo de vida dos equipamentos médico-hospitalares, conforme orientado pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2002).

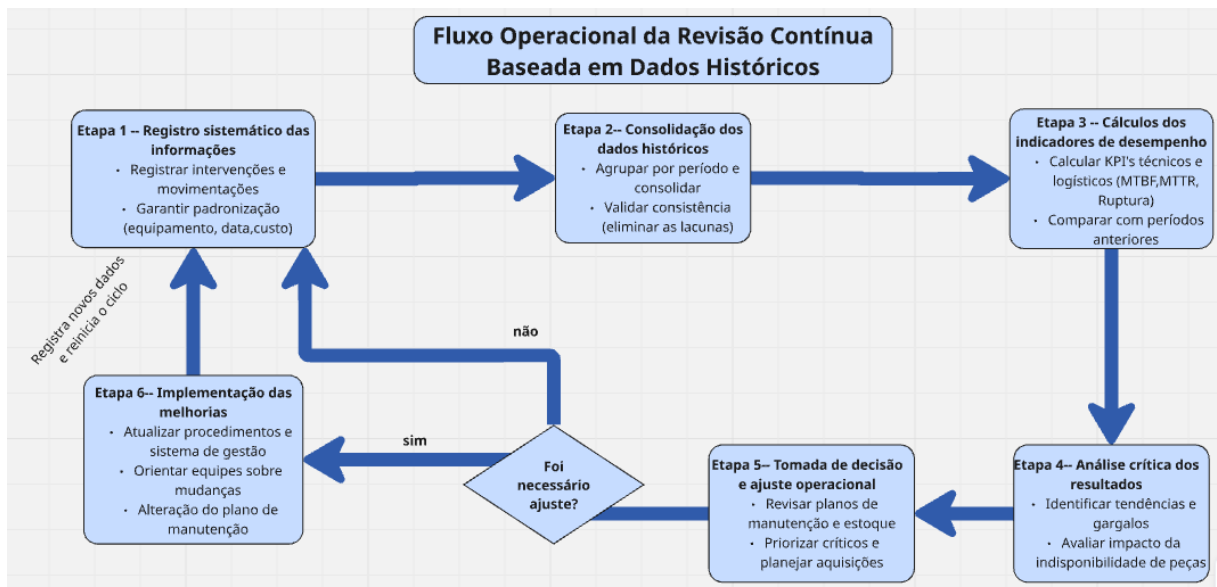
Outro aspecto relevante da revisão baseada em dados históricos é o apoio à gestão financeira e orçamentária. A consolidação dos custos de manutenção e do consumo de peças ao longo do tempo permite elaborar previsões orçamentárias mais realistas, identificar itens com maior impacto financeiro e subsidiar decisões sobre investimentos em contratos de manutenção, aquisição de novos equipamentos ou substituição de tecnologias obsoletas. Essa prática contribui para a racionalização dos gastos e para o alinhamento entre planejamento técnico e planejamento econômico.

Para que a revisão contínua seja efetiva, é fundamental estabelecer uma rotina periódica de análise dos dados, com responsabilidades claramente definidas. Relatórios gerenciais, reuniões técnicas e painéis de acompanhamento são instrumentos que auxiliam na interpretação das informações e no monitoramento das ações corretivas adotadas. A integração entre as equipes técnica, logística e administrativa reforça o caráter sistêmico da gestão e amplia a efetividade das decisões tomadas.

Em síntese, a revisão contínua baseada em dados históricos permite transformar registros operacionais em conhecimento gerencial, promovendo a melhoria contínua dos processos de manutenção e da gestão do estoque técnico. Quando aplicada de forma estruturada e alinhada às diretrizes normativas, essa prática fortalece a previsibilidade das operações, reduz

riscos assistenciais e contribui para a eficiência e a sustentabilidade da engenharia clínica no ambiente hospitalar. A figura 8 mostra o fluxograma da revisão contínua.

Figura 8 – Fluxograma da revisão contínua baseada em dados históricos na engenharia clínica.



Fonte: Elaborada pela autora

Diante dos fundamentos teóricos apresentados e da estruturação do modelo de melhoria da gestão de estoque para a engenharia clínica, torna-se pertinente demonstrar sua aplicabilidade prática. Assim, o capítulo seguinte apresenta uma aplicação metodológica e exemplificativa do modelo proposto, com o objetivo de evidenciar como seus pilares podem ser operacionalizados no contexto hospitalar, reforçando sua viabilidade conceitual e sua contribuição para a gestão integrada de manutenção e estoque.

### 3.7 Considerações parciais

O presente capítulo apresentou uma análise sobre os resultados obtidos na revisão bibliográfica e propôs um modelo conceitual de otimização da gestão de estoque na engenharia clínica, integrando os aspectos técnicos, logísticos e estratégicos que envolvem a manutenção hospitalar. Essa análise permitiu compreender que a eficiência operacional dos serviços de engenharia clínica depende diretamente da capacidade de planejar, controlar e integrar fluxos de materiais, informações e intervenções técnicas.

Os estudos analisados mostram que, embora existam avanços significativos na informatização e na adoção de indicadores de desempenho, ainda há desafios consideráveis

relacionados à padronização de processos, integração intersetorial e capacitação profissional. Esses aspectos influenciam diretamente a confiabilidade e a disponibilidade dos equipamentos médico-hospitalares, afetando tanto a segurança do paciente quanto o desempenho institucional.

A proposta de modelo de otimização apresentada neste capítulo busca preencher essas lacunas ao oferecer uma estrutura aplicável à realidade dos serviços de engenharia clínica brasileiros. O modelo é flexível e modular, podendo ser adaptado de acordo com o porte da instituição, o nível de informatização e os recursos disponíveis. Ele se apoia em quatro pilares principais, planejamento e classificação de estoque, integração operacional, monitoramento por indicadores e revisão contínua baseada em dados, que juntos formam um ciclo dinâmico de gestão.

De acordo com Silva et al. (2021), a integração entre manutenção e estoque é o ponto de partida para uma engenharia clínica mais eficiente. A partir dessa perspectiva, o modelo proposto incentiva a comunicação direta entre os setores técnicos e administrativos, promovendo uma visão colaborativa e baseada em resultados. Essa abordagem dialoga com a proposta de Chehuen Neto (2019), que defende a incorporação de metodologias quantitativas e qualitativas para a tomada de decisão, combinando dados objetivos com a experiência técnica dos profissionais.

Outro avanço trazido por essa proposta é o uso estratégico de indicadores integrados, que permite avaliar a engenharia clínica como um sistema completo, e não como áreas isoladas. Assim, métricas como MTBF, MTTR, índice de ruptura e nível de serviço passam a ser analisadas de maneira interdependente, refletindo a complexidade real do ambiente hospitalar. Essa visão holística é essencial para a gestão moderna, pois favorece a previsibilidade, a transparência e o controle sobre o desempenho dos processos.

Além do aspecto técnico, o modelo reconhece a importância da gestão do conhecimento e da aprendizagem organizacional. Conforme Flick (2020), a consolidação de boas práticas depende não apenas de ferramentas e procedimentos, mas também da criação de uma cultura institucional voltada à melhoria contínua. Nesse sentido, a revisão periódica dos processos, baseada em dados históricos e indicadores, garante a adaptação do modelo às transformações tecnológicas e às mudanças no perfil dos equipamentos e demandas hospitalares.

Por fim, as análises realizadas ao longo deste capítulo reforçam que a engenharia clínica é um componente estratégico na governança hospitalar, e sua eficiência depende da capacidade

de alinhar tecnologia, logística e gestão de pessoas. A otimização da gestão de estoque, portanto, não é apenas uma questão operacional, mas um instrumento de fortalecimento institucional, que contribui diretamente para a sustentabilidade financeira e para a qualidade assistencial das organizações de saúde.

## **CAPÍTULO 4 – APLICAÇÃO DO MODELO DE GESTÃO DO ESTOQUE**

Com o objetivo de demonstrar, de forma prática e aplicada, a operacionalização do modelo conceitual da melhoria da gestão de estoque proposto neste trabalho, desenvolveu-se uma aplicação exemplificativa voltada ao dimensionamento do estoque de acessórios para equipamentos de saúde (EAS). Essa aplicação possui caráter metodológico e ilustrativo, não correspondendo a dados reais de uma instituição específica, tampouco tendo sido submetida à validação empírica. Seu propósito é evidenciar como os conceitos teóricos discutidos ao longo do Capítulo 3 podem ser traduzidos em instrumentos práticos de apoio à tomada de decisão na gestão do estoque.

O modelo apresentado foi concebido de forma generalizável, podendo ser aplicado a diferentes tipos de equipamentos médico-hospitalares, independentemente do grau de complexidade tecnológica ou da finalidade assistencial. Para fins de exemplificação e padronização do estudo, utilizou-se a autoclave com sistema de vácuo como equipamento de referência, em razão de sua ampla utilização nos serviços de saúde e de sua relevância operacional para a segurança e a continuidade dos processos assistenciais.

Essa lógica de aplicação está alinhada aos eixos temáticos identificados na revisão bibliográfica, apresentados anteriormente na Figura 1, que evidenciam a necessidade de integração entre manutenção e logística, adoção de tecnologias e sistemas de gestão e planejamento para a eficiência da gestão de estoque técnico.

### **4.1 Autoclave: definição, componentes e plano de manutenção aplicado**

A autoclave é um equipamento utilizado para a esterilização com vapor úmido. Trata-se de um equipamento crítico para a segurança assistencial de saúde, pois é mais eficiente para a eliminação de microrganismos patogênicos, incluindo bactérias, vírus, fungos e esporos, sendo amplamente empregada em centros de material e esterilização (CME). Existem dois tipos de retirada do ar em autoclaves: usando vácuo ou usando gravidade. As autoclaves por gravidade são utilizadas para esterilização de materiais como instrumentos simples, já as autoclaves para esterilizar materiais que exijam maior penetração, como circuitos respiratórios, materiais rugosos ou com cavidades, o ar é retirado através de vácuo. O aspecto físico dos diversos tipos de autoclave é apresentado na figura 9. Neste trabalho será utilizada a autoclave com vácuo, por apresentar maior eficiência na esterilização de materiais complexos.

Figura 9 – Equipamentos de autoclave existentes no mercado

(a) Autoclave tipo  
Guilhotina (100 a 700 litros)



Fonte: Cristófoli Biossegurança

(b) Autoclave de  
Bancada/Mesa (8 a 29 litros)



Fonte: Doctorpoint

(c) Autoclave tipo  
Manípulo (75 a 150 litros.)



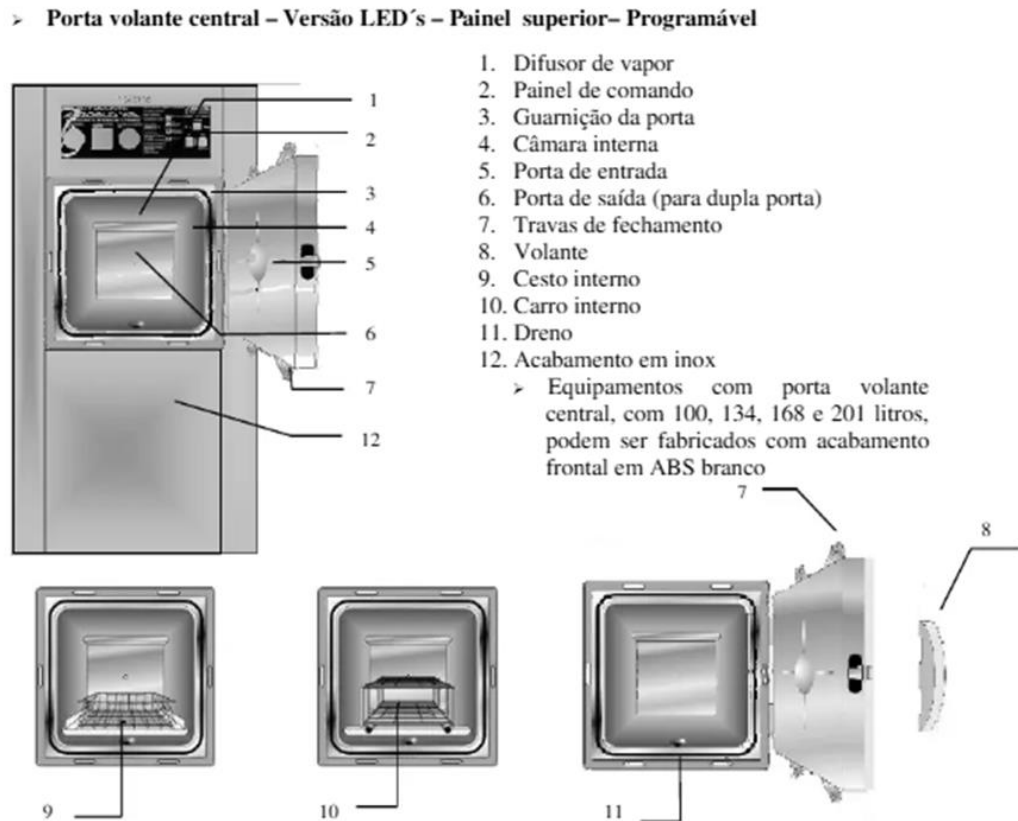
Fonte: Generalmed

No contexto da engenharia clínica, a autoclave é classificada como um equipamento de alta criticidade operacional, uma vez que sua indisponibilidade impacta diretamente a continuidade dos procedimentos assistenciais e cirúrgicos. Por essa razão, sua gestão exige controle rigoroso do funcionamento, da manutenção e da disponibilidade de peças e acessórios, além do atendimento às normas de segurança e desempenho aplicáveis.

#### 4.1.1 Componentes e Conjuntos Críticos da autoclave

Um componente constitui a menor parte na qual se realiza a manutenção. Um conjunto de componentes é uma parte de um equipamento. Um conjunto deve ter uma função específica. Observando as partes de uma autoclave apresentada na figura 10, pode-se observar que as partes constituintes que garante a função de abrir e fechar a autoclave garantindo a esterilização, tornando essencial a adoção de um plano de manutenção estruturado e preventivo.

Figura 10 – Componentes da autoclave



Fonte: Manual Sercon

Conforme ilustrado na Figura 10, os principais conjuntos funcionais da autoclave, câmara de esterilização, sistema de geração de vapor, sistema de comando e controle, bomba de vácuo e filtros, distribuem-se entre componentes visíveis externamente e mecanismos internos estruturais, evidenciando a complexidade técnica envolvida no planejamento de manutenção e na definição de estoque de peças críticas. Dentre os principais são:

- Câmara de esterilização: identificado como nº 4 na figura;
- Gaxeta ou guarnição da porta: identificada como nº 3 na figura;
- Sistema de geração de vapor (resistências): identificada como nº 1 na figura;
- Sistema de comando e controle (placa eletrônica, sensores, válvulas): identificada como nº 2 na figura;
- Bomba de vácuo (componente interno localizado no gabinete inferior);
- Filtros (componentes internos do sistema hidráulico e ar);

Vale ressaltar que, a falha de qualquer desses conjuntos pode comprometer o ciclo de esterilização.

#### 4.1.2 Funcionamento básico do ciclo de esterilização

O ciclo de funcionamento da autoclave ocorre, de forma geral, nas seguintes etapas:

1. Carregamento dos materiais na câmara;
2. Remoção do ar (vácuo);
3. Aquecimento e pressurização, com injeção de vapor;
4. Tempo de exposição, no qual temperatura e pressão são mantidas;
5. Esterilização;
6. Descarga de água e descompressão;
7. Secagem dos materiais (vapor);
8. Finalização do ciclo e liberação da carga.;

Cada etapa depende do desempenho adequado dos sensores, válvulas, resistências e sistemas de controle, reforçando a importância da manutenção periódica.

O plano de manutenção da autoclave deve contemplar manutenção preventiva, corretiva e calibração, considerando a criticidade do equipamento e seu uso contínuo. Na Tabela 11, apresenta-se um modelo exemplificativo de plano de manutenção, aplicável à engenharia clínica. Ressalta-se que se trata de um exemplo metodológico, devendo ser adaptado conforme fabricante, modelo e volume de uso.

#### 4.2 Plano de Manutenção

O Plano de manutenção depende da integração de diversos componentes mecânicos, hidráulicos, elétricos e eletrônicos, compondo partes e conjuntos. Cada um dos conjuntos tem uma função específica no processo de esterilização. Entre os principais conjuntos, partes e componentes a serem monitorados pela manutenção destacam-se:

- Câmara de esterilização: compartimento onde os materiais são acondicionados e submetidos ao ciclo de esterilização. Deve suportar altas temperaturas e pressões, deve garantir a estanqueidade através de vedação da porta (gaxeta).
- Gerador de vapor ou resistência elétrica: responsável pela geração do vapor necessário ao processo, sendo um dos conjuntos com maior desgaste operacional, particularmente em relação às resistências.

- Comando e controle: controla a entrada e a liberação de vapor, garantindo a segurança do sistema contra sobre pressão. Utiliza componentes e partes como painel de comando, as válvulas de segurança, válvulas solenoide, sensores de temperatura e pressão.
- Bomba de vácuo: remove o ar da câmara, permitindo melhor penetração do vapor nos materiais
- Filtros: componentes que impedem a entrada de partículas e contaminantes no sistema e são partes constituintes dos conjuntos de geração de vapor e vácuo.

O plano de manutenção da autoclave, exposto na Figura 11, deve contemplar manutenção preventiva e calibração, considerando a criticidade do equipamento e seu uso contínuo. Tendo em vista que o equipamento tem uma alta demanda, faz-se necessário realizar a manutenção em apenas uma data, se possível, para não interferir no volume de esterilização. A definição da periodicidade foi baseada conforme experiência da autora, em conjunto com análise de manuais técnicos.

Figura 11 – Plano de manutenção

Manutenção	Período												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	
Troca da Guarnição			Dia 8			Dia 8			Dia 8			Dia 8	
Troca da gaxeta	Dia 8	Dia 8	Dia 8	Dia 8		Dia 8	Dia 8	Dia 8	Dia 8	Dia 8	Dia 8	Dia 8	
Troca da Válvula			Dia 8			Dia 8			Dia 8			Dia 8	
Troca do filtro			Dia 8			Dia 8			Dia 8			Dia 8	
Troca da resistência						Dia 8						Dia 8	
Sistema completo								Dia 8					
Legenda			Período da manutenção preventiva										

Fonte: Elaborado pela autora

Na Tabela 11, apresenta-se a periodicidade, tipo de manutenção e elementos envolvidos (componente ou conjuntos). A definição dessa periodicidade foi baseada conforme experiência da autora, em conjunto com análise de manuais técnicos.

Tabela 11– Periodicidade de manutenção da autoclave

Equipamento	componentes envolvidos	Tipo de manutenção	Periodicidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Autoclave	Câmara, gaxeta	Preventiva	Mensal	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Válvulas, filtros	Preventiva	Trimestral			■						■			
	Resistência, fiação	Preventiva	Semestral						■						■
	Sistema completo	Preventiva	Anual							■					
	Sensores	Calibração	Anual								■				
	Sensores, válvulas, placa eletrônica	Corretiva	Sob demanda												
Legenda: tipo de manutenção															
	Preventiva														
	Calibração														
	Corretiva														

Fonte: Elaborado pela autora

A falha de qualquer um desses componentes pode comprometer o ciclo de esterilização, tornando essencial a adoção de um plano de manutenção estruturado e preventivo.

#### 4.3 Planilha de periodicidade de substituição dos acessórios

A planilha de periodicidade, exposta na Figura 12, foi desenvolvida com o objetivo de complementar o planejamento do estoque mínimo para autoclave, relacionando os acessórios ao seu intervalo médio de substituição, expresso em meses. Essa etapa corresponde às fases de monitoramento e revisão contínua, conforme representado no fluxo da Figura 7 é descrito nas Etapas 8 e 9 da Tabela 8.

Figura 12 – Tabela de periodicidade

EQUIPAMENTOS	Periodicidade em 3 anos	
	Duração Mensal	A cada 3 anos
Resistencia	12	3
Guarnição	6	6
Vedação de Silicone 1/2"	12	3
Vedação de Silicone 1"	12	3
Mangueria de Nylon 6mm	12	3
Conector Engate Rápido pneumático 6mm	24	1,5
Kit Repato Válvula Pneumática	12	3
Bomba de Vácuo	36	1
Bomba de Água	36	1
Sensor de Temperatura	36	1
Contatora 80A	36	1
Disjuntor DIM trifásico 125A	36	1
Sistema de Bóia do Gerador de Vapor	36	1
Válvula pneumática tipo borboleta	24	1,5
Cabo de aço 4mm	36	1
Filtro 5 micra polipropileno	6	6
Filtro 10 micra polipropileno	6	6
Filtro 5 micra carvão aditivado	6	6
Válvula solenoide para água 1/2"	24	1,5
Válvula solenoide para água 1/4"	24	1,5

Fonte: Elaborada pela autora

A definição da periodicidade baseou-se em recomendações de fabricantes, histórico do equipamento, literatura técnica e boas práticas de manutenção hospitalar. A partir da definição do intervalo de substituição e do período total de análise, estimou-se o número de substituições esperadas ao longo do tempo, permitindo prever a demanda acumulada de acessórios e alinhar o estoque ao ciclo de vida dos componentes.

#### 4.4 Elaboração da planilha de estoque mínimo de peças e acessórios da autoclave

Para a autoclave, foram considerados componentes mecânicos, elétricos e eletrônicos recorrentes nos processos de manutenção que foram classificados quanto à criticidade, considerando o impacto da sua indisponibilidade sobre o funcionamento do equipamento e sobre a segurança assistencial.

Em seguida, realizou-se o levantamento do estoque disponível, identificando a quantidade existente de cada acessório no setor de Engenharia Clínica. Essa atividade permite comparar o estoque real com a demanda estimada, evitando distorções no planejamento e reforçando a importância da rastreabilidade.

Com base na quantidade de equipamentos em operação, na criticidade dos acessórios e em um horizonte temporal definido, procedeu-se à estimativa do estoque mínimo recomendado

para cada item. Essa etapa corresponde às fases centrais do modelo e está representada na Tabela 11, evidenciando a relação direta entre planejamento técnico e gestão logística.

Na sequência, realizou-se a comparação entre o estoque disponível e o estoque mínimo recomendado, permitindo identificar déficits ou excessos de materiais. A partir dessa análise, foi calculada a necessidade de compra, fornecendo subsídios objetivos para o planejamento das aquisições.

Por fim, incorporou-se o custo médio unitário dos acessórios, possibilitando a estimativa do impacto financeiro do estoque mínimo proposto. Essa análise dialoga diretamente com os benefícios esperados, sintetizados na Figura 13, especialmente no que se refere à previsibilidade orçamentária e à redução de desperdícios.

Figura 13– O estoque mínimo de peças para autoclave

Acessório	MARCA	TOTAL DE AUTOCLAVES DISPONIVEL PARA USO	Qnt acessórios na Engenharia	Estoque Mínimo recomendado	Necessidade de compra	Custo Médio Necessidade Unitário	Custo total Estoque Mínimo recomendado (R\$)	Criticidade
Resistencia	SERCON	2	9	6	-3	R\$ 600,00	-R\$ 1.800,00	SC
Guarnição			15	12	-3	R\$ 800,00	-R\$ 2.400,00	C
Vedação de Silicone 1/2"			18	6	-12	R\$ 8,00	-R\$ 96,00	NC
Vedação de Silicone 1"			31	6	-25	R\$ 8,00	-R\$ 200,00	NC
Manguereia de Nailon			0	6	6	R\$ 4,00	R\$ 24,00	SC
Conector Engate Rápido			17	3	0	R\$ 6,00	R\$ 0,00	NC
Kit Reparo Válvula			0	6	6	R\$ 100,00	R\$ 600,00	C
Bomba de Vácuo			0	2	2	R\$ 7.000,00	R\$ 14.000,00	C
Bomba de Água			0	2	2	R\$ 500,00	R\$ 1.000,00	SC
Sensor de Temperatura			1	2	1	R\$ 300,00	R\$ 300,00	C
Contatora 80A			0	2	2	R\$ 300,00	R\$ 600,00	C
Disjuntor DIM trifásico			0	2	2	R\$ 400,00	R\$ 800,00	C
Sistema de Bóia do			0	2	2	R\$ 800,00	R\$ 1.600,00	SC
Válvula pneumática tipo			0	3	3	R\$ 800,00	R\$ 2.400,00	C
Cabo de aço 4mm			0	2	2	R\$ 8,00	R\$ 16,00	C
Filtro 5 micra poliuretano			0	12	12	R\$ 40,00	R\$ 480,00	SC
Filtro 10 micra			0	12	12	R\$ 40,00	R\$ 480,00	SC
Filtro 5 micra carvão			0	12	12	R\$ 60,00	R\$ 720,00	SC
Válvula solenoide pra			2	3	1	R\$ 1.220,00	R\$ 1.220,00	NC
Válvula solenoide pra			2	3	1	R\$ 700,00	R\$ 700,00	SC
<b>Total</b>						<b>R\$ 20.444,00</b>		

Fonte: Elaborada pela autora

#### 4.5 Integração entre Manutenção e Logística de Compras

A Figura 14, apresenta o material a ser requisitado e suas variáveis: quantidade necessária para cada autoclave, preço, localização do fornecedor e o intervalo do tempo estimado (os dados foram baseados para envio aéreo, o qual é mais rápido). Esse intervalo evidencia a relevância do planejamento logístico e da correta definição dos níveis de estoque

mínimo, especialmente para componentes associados a equipamentos classificados como semicríticos e críticos, conforme a matriz de risco adotada neste trabalho (ABNT, 2019).

Figura 14 – Determinação das variáveis para programação da compra

Baseado em 2 autoclaves					
Material	Quantidade por ano para 1 autoclave	Quantidade total	Preço estimado	Fornecedores	Tempo de estimativa de entrega
Guarnição	4	8	R\$ 640,00	São Paulo	de 5-10 dias
Gaxeta	1	2	R\$ 160,00	São Paulo	de 5-10 dias
Válvulas	1	2	R\$ 1.400,00	São Paulo	de 5-10 dias
Filtros (3 tipos)	18	36	R\$ 2.160,00	Belém	de 1-3 dias
Resistência, fiação	1	2	R\$ 1.200,00	Belém	de 1-3 dias

Fonte: Manual Autoclave Sercon

Após a validação, os materiais são registrados no sistema de gestão, armazenados conforme critérios técnicos e disponibilizados ao setor de engenharia clínica para aplicação nas atividades de manutenção. Essa etapa garante rastreabilidade, controle de consumo e suporte à geração de indicadores de desempenho relacionados tanto à manutenção quanto à gestão de estoque, conforme discutido nas seções anteriores deste capítulo.

A Figura 15, mostra correlação entre a programação da manutenção e a programação de compras, tendo como base a utilização de 2 autoclaves para o exemplo. Destaca-se que foi estabelecida a aquisição dos itens em periodicidade semestral, com programações fixadas para os dias 5 de maio e 5 de novembro. A definição da data de maio justifica-se pela ausência de intervenções de manutenção nesse período, possibilitando o reabastecimento estratégico do estoque sem comprometer as atividades operacionais. Já a aquisição realizada em novembro tem como finalidade complementar o ciclo de seis meses, sendo que as manutenções previstas nesse período utilizarão o estoque proveniente da compra efetuada em maio.

A adoção do modelo de compra semestral mostra-se tecnicamente viável sob a perspectiva da gestão de estoques, uma vez que possibilita a obtenção de economia de escala, caracterizada pela redução do custo unitário decorrente da aquisição em maior volume. Além disso, amplia o poder de negociação junto aos fornecedores e minimiza a ocorrência de compras

emergenciais, contribuindo para maior disponibilidade de peças e, conseqüentemente, para a continuidade e confiabilidade das atividades de manutenção.

Figura 15 –Correlação entre a programação da manutenção e a programação de compras

Manutenção	Período													
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez		
Troca da Guarnição			dia 8			dia 5	dia 8			dia 8		dia 5		dia 8
Troca da gaxeta	dia 8	dia 8	dia 8	dia 8	dia 8	dia 5	dia 8	dia 8	dia 8	dia 8	dia 8	dia 5	dia 8	dia 8
Troca da Válvula			dia 8			dia 5	dia 8			dia 8		dia 5		dia 8
Troca do filtro			dia 8			dia 5	dia 8			dia 8		dia 5		dia 8
Troca da resistência						dia 5	dia 8							dia 8
Sistema completo						dia 5			dia 8					
Legenda		Período da manutenção preventiva												
		Período de compra semestral do material para manutenção												

Fonte: Elaborada pela autora

Dessa forma, a integração entre manutenção e logística de compras mostra-se fundamental para a consolidação de um modelo de gestão de estoque eficiente e orientado ao risco. Ao alinhar o planejamento logístico aos dados históricos de falhas, aos indicadores de desempenho e à classificação de criticidade dos equipamentos, a instituição fortalece a tomada de decisão técnica, reduz interrupções assistenciais e atende às diretrizes regulatórias e normativas aplicáveis à gestão de tecnologias em saúde (CALIL; TEIXEIRA, 2007; ABNT, 2019).

#### 4.6 Monitoramento contínuo por indicadores de desempenho

Na prática, a execução do plano de manutenção aplicada, a operacionalização do modelo conceitual de melhoria da gestão de estoque proposto neste trabalho, desenvolveu-se uma aplicação exemplificativa voltada ao dimensionamento do estoque de acessórios para equipamentos de saúde (EAS), tendo a autoclave como equipamento de referência. A escolha da autoclave justifica-se por sua elevada criticidade operacional, uma vez que sua

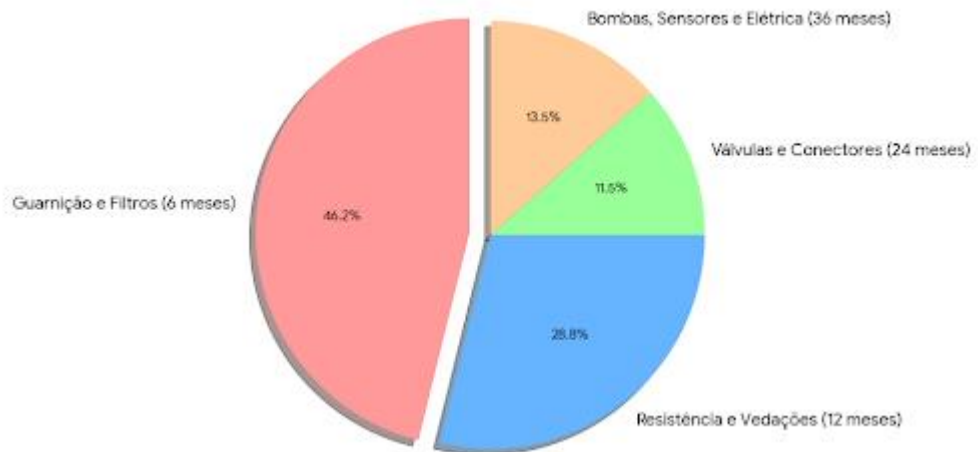
indisponibilidade compromete diretamente os processos de esterilização e a continuidade dos serviços assistenciais.

A aplicação foi estruturada com base em quatro pilares fundamentais. O primeiro refere-se ao planejamento e classificação do estoque técnico, etapa na qual foram identificados os principais componentes da autoclave, como as válvulas, sensores de temperatura e pressão, resistências e placas eletrônicas, e classificados conforme sua criticidade, frequência de substituição e impacto operacional. A partir dessa classificação, definiu-se o estoque mínimo recomendado e o nível de controle necessário para cada item, permitindo maior previsibilidade e redução de riscos de ruptura, ou seja, evitando a paralisação do equipamento por falta de peças

O segundo pilar consiste na integração entre manutenção e logística. No caso da autoclave, o cronograma de manutenção preventiva foi alinhado ao tempo médio de reposição das peças (lead time), informado pelo setor de almoxarifado técnico. Essa articulação, a qual foi apresentada na Figura 13 (tem como finalidade estimar o estoque mínimo recomendado de acessórios, considerando variáveis como quantidade de equipamentos em operação, estoque disponível, criticidade dos componentes e impacto financeiro), o que garante que os componentes necessários estejam disponíveis antes da execução das intervenções programadas, evitando atrasos, compras emergenciais e paralisações inesperadas do equipamento. Dessa forma, o planejamento da manutenção passa a considerar a capacidade logística da instituição.

O terceiro pilar envolve o monitoramento por indicadores de desempenho, aplicados tanto à manutenção quanto ao estoque da autoclave. Indicadores como tempo médio entre falhas (MTBF), tempo médio para reparo (MTTR), disponibilidade técnica e índice de ruptura de estoque foram utilizados como parâmetros para avaliar a eficiência do modelo, conforme a Figura 16. A análise desses indicadores permite verificar se o dimensionamento do estoque está adequado e se as intervenções preventivas estão contribuindo para reduzir falhas recorrentes.

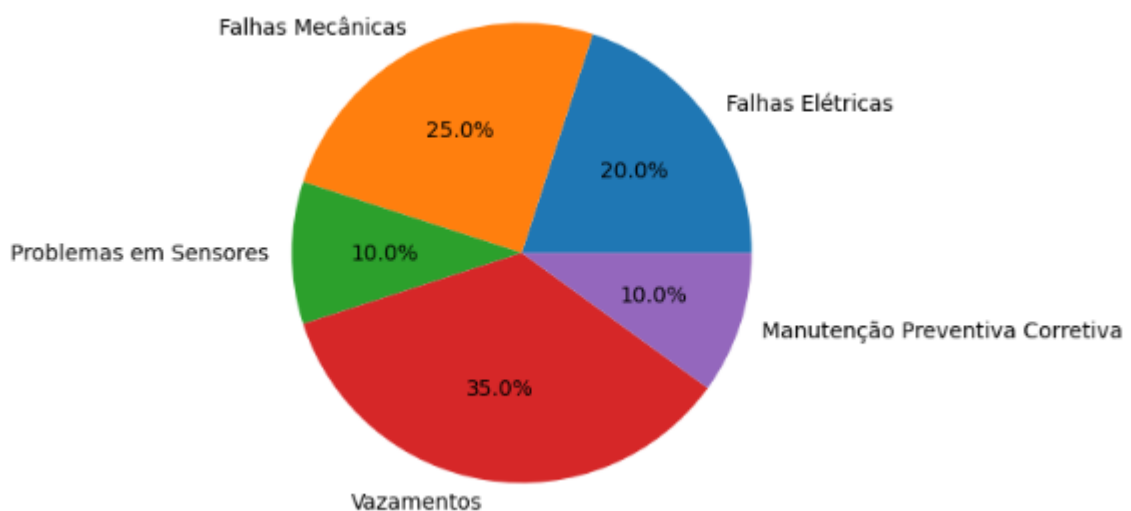
Figura 16 - Distribuição da frequência de falhas estimado por componentes



Fonte: Elaborada pela autora

Por fim, o quarto pilar refere-se à revisão contínua baseada em dados históricos. Todas as intervenções realizadas na autoclave, bem como o consumo de peças e os custos associados, foram registrados e analisados periodicamente. A partir desse histórico, tornou-se possível ajustar o plano de manutenção, redefinir níveis de estoque mínimo e antecipar substituições de componentes com maior taxa de desgaste. Esse processo de retroalimentação transforma dados operacionais em decisões estratégicas, promovendo melhoria contínua na gestão do equipamento. A Figura 17, mostra as estimativas dos tipos de falha da autoclave, com base na experiência da autora, o percentual de tempo médio por falhas.

Figura 17 – Distribuição percentual do tempo médio de reparo de autoclaves por tipo de falha.



Fonte: Elaborado pela autora

Ressalta-se que essa aplicação possui caráter metodológico e ilustrativo, não correspondendo a dados reais de uma instituição específica, tampouco tendo sido submetida à validação empírica. Seu propósito é demonstrar como os conceitos teóricos discutidos ao longo

do Capítulo 3, planejamento estruturado, integração logística, monitoramento por indicadores e revisão contínua, podem ser traduzidos em instrumentos práticos de apoio à tomada de decisão na gestão do estoque técnico da autoclave.

#### **4.7 Análise integrada e aplicabilidade**

A análise integrada das planilhas evidencia como o modelo proposto permitiu articular informações técnicas, logísticas e financeiras, oferecendo suporte estruturado à tomada de decisão. A combinação entre criticidade, periodicidade de substituição e custos, conforme sintetizado na Tabela 8, possibilita maior previsibilidade operacional e melhor alocação dos recursos disponíveis.

Ressalta-se que os dados utilizados na aplicação possuem caráter exclusivamente ilustrativo e não refletem resultados obtidos em ambiente real de operação. A aplicação prática do modelo exigiria a coleta de dados históricos, integração com sistemas informatizados de manutenção (CMMS) e ajustes conforme o perfil tecnológico e assistencial da instituição.

Ainda assim, a aplicação exemplificativa apresentada, de acordo com as Figuras 12, 13 e com as Tabelas 8, 9 e 11 apresentadas neste capítulo, mostra a viabilidade conceitual e metodológica do modelo proposto para autoclave, reforçando sua aplicabilidade em diferentes contextos hospitalares e sua contribuição para o fortalecimento da gestão integrada de estoque e manutenção na Engenharia Clínica.

## CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos a partir da revisão bibliográfica e da aplicação metodológica do modelo proposto, o presente trabalho teve como objetivo central propor um modelo de melhoria para a gestão de estoque de peças e acessórios na engenharia clínica, considerando sua integração com os processos de manutenção hospitalar e seu impacto direto na segurança do paciente, na eficiência operacional e na sustentabilidade das instituições de saúde. A partir da revisão bibliográfica e da aplicação metodológica exemplificativa, foi possível alcançar os objetivos propostos e responder de forma consistente à problemática inicialmente apresentada.

Ao longo do estudo foi evidenciado que a deficiência na gestão de estoque técnico interfere de maneira significativa no desempenho da engenharia clínica, especialmente no que se refere ao aumento do tempo de indisponibilidade dos equipamentos, à elevação dos custos operacionais e à dificuldade de cumprimento dos planos de manutenção preventiva e preditiva. Observou-se que a ausência de planejamento estruturado, aliada à fragmentação dos processos entre manutenção, logística e compras, compromete a previsibilidade das demandas e favorece a ocorrência de compras emergenciais, com impacto financeiro e operacional relevante.

A fundamentação teórica mostrou que a engenharia clínica moderna não pode ser compreendida apenas sob a ótica da manutenção de equipamentos, mas deve ser reconhecida como uma área estratégica de gestão tecnológica em saúde. Nesse contexto, a gestão de estoque de peças e acessórios assume papel integrante, deixando de ser uma atividade meramente administrativa para tornar-se um componente essencial da governança hospitalar, alinhado às exigências regulatórias, aos programas de acreditação e às boas práticas internacionais de qualidade e segurança.

A proposta de modelo de melhoria da gestão de estoque apresentada neste trabalho mostrou-se conceitualmente consistente ao articular quatro pilares fundamentais: o planejamento e a classificação do estoque técnico, a integração entre manutenção e logística, o monitoramento por indicadores de desempenho e a revisão contínua baseada em dados históricos. Essa estrutura permitiu demonstrar que a eficiência da engenharia clínica depende diretamente da capacidade de transformar dados operacionais em informações gerenciais, apoiando decisões técnicas, logísticas e financeiras de forma integrada.

A aplicação exemplificativa do modelo, utilizando a autoclave como equipamento de referência, evidenciou a viabilidade metodológica da proposta e sua aderência à realidade dos serviços de saúde. Ainda que os dados utilizados tenham caráter hipotético, a aplicação permitiu ilustrar, de maneira prática, como a análise de criticidade, o histórico de falhas, a periodicidade de substituição de componentes e o planejamento do estoque mínimo podem contribuir para maior previsibilidade operacional, redução de riscos assistenciais e melhor alocação dos recursos institucionais.

Outro aspecto relevante evidenciado pelo estudo foi a importância do uso de sistemas informatizados de gestão da manutenção e do estoque, como os sistemas CMMS, para garantir rastreabilidade, padronização de registros e geração de indicadores de desempenho confiáveis. A literatura analisada mostra que instituições que adotam tais sistemas apresentam maior maturidade na gestão de ativos, com redução do tempo médio de reparo, aumento da disponibilidade técnica dos equipamentos e melhor controle do consumo de peças e acessórios.

Do ponto de vista normativo e regulatório, o trabalho reafirma que a gestão de estoque técnico está diretamente relacionada ao cumprimento das exigências da vigilância sanitária, das normas técnicas da ABNT e dos critérios de acreditação hospitalar. A rastreabilidade das peças, o controle documental das manutenções, a calibração periódica e os testes de segurança elétrica não são apenas requisitos legais, mas instrumentos essenciais para a garantia da segurança do paciente e da qualidade assistencial.

Dessa forma, conclui-se que a adoção de um modelo integrado de gestão de estoque, alinhado às práticas de manutenção hospitalar e orientado por dados históricos e indicadores de desempenho, contribui de maneira significativa para a melhoria dos resultados da engenharia clínica. O estoque técnico, quando planejado de forma estratégica, passa a atuar como um facilitador da manutenção, reduzindo interrupções assistenciais, custos emergenciais e riscos operacionais.

Como limitações do estudo, destaca-se o caráter teórico e metodológico da pesquisa, fundamentada em revisão bibliográfica e aplicação exemplificativa, sem validação empírica em ambiente hospitalar real. Essa limitação, contudo, não compromete a relevância científica do trabalho, mas aponta para a necessidade de estudos futuros que possam testar e validar o modelo proposto por meio de estudos de caso, pesquisas de campo ou análises comparativas entre instituições de saúde.

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se a aplicação prática do modelo em diferentes contextos hospitalares, considerando variáveis como porte da instituição, nível de informatização, perfil assistencial e restrições orçamentárias. Recomenda-se, ainda, o aprofundamento de estudos voltados à integração entre gestão de riscos, manutenção preditiva baseada em dados e planejamento logístico automatizado, bem como a análise do impacto econômico do modelo por meio de indicadores financeiros e de custo total de propriedade dos equipamentos.

Por fim, este trabalho reforça a engenharia clínica como área estratégica dentro das instituições de saúde, responsável não apenas pela manutenção dos equipamentos, mas pela gestão inteligente dos recursos tecnológicos. A otimização da gestão de estoque de peças e acessórios, conforme demonstrado ao longo do estudo, constitui um instrumento fundamental para a eficiência operacional, a sustentabilidade financeira e, sobretudo, para a segurança e a qualidade da assistência prestada aos pacientes.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR IEC 60601-1:2010 + Emenda 1:2012. Equipamento eletromédico – Parte 1: Requisitos gerais para segurança básica e desempenho essencial. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017. Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 14971:2019. Aplicação de gerenciamento de riscos a dispositivos médicos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

AIDAR NETO, J. Manutenção hospitalar aplicada à engenharia clínica. São Paulo: Editora Técnica, 2024.

ALVES, R. et al. Avaliação do desempenho da manutenção em ambientes hospitalares críticos. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v. 40, n. 2, p. 145–158, 2024.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 2, de 25 de janeiro de 2010. Dispõe sobre o gerenciamento de tecnologias em saúde em estabelecimentos assistenciais de saúde. Brasília, 2010.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Instrução Normativa nº 49, de 27 de novembro de 2019. Lista de normas técnicas para certificação de conformidade de equipamentos sob vigilância sanitária. Brasília, 2019.

ANVISA – AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC nº 751, de 15 de setembro de 2022. Dispõe sobre dispositivos médicos. Brasília, 2022.

BALDEZ, R. et al. A importância da manutenção preventiva com foco na engenharia clínica. Revista Núcleo do Conhecimento, v. 17, n. 4, p. 85–102, 2022.

BALLOU, R. H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BERTOLINI, M. Gestão informatizada de estoques hospitalares: aplicações e desafios. Revista Gestão em Saúde, v. 12, n. 1, p. 55–70, 2023.

BIOMEDITECH. POP-TEC-ENC-BIO-0002-Mapa de Risco,2023.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gerenciamento de manutenção em equipamentos hospitalares. Brasília: Ministério da Saúde, 2002.

BRASIL. Ministério da Saúde. Manual de gerenciamento de equipamentos médico-hospitalares. Brasília: Ministério da Saúde, 2013.

CALIL, S. J.; TEIXEIRA, M. S. Gerenciamento de riscos aplicados a equipamentos médico-hospitalares. São Paulo: Editora Atheneu, 2007.

CRISTÓFOLI BIOSSEGURANÇA. Autoclave Hospitalar 350 Litros. Disponível em: <https://cristofoli.com/produto/autoclave-hospitalar-350-litros/>. Acesso em: 18 de dezembro de 2025.

CHEHUEN NETO, J. A. Engenharia clínica e gestão de tecnologias em saúde. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2019.

DOCTORPOINT. Autoclave LINEA G2 B22. Disponível em: <https://doctorpoint.com.br/produto/autoclave-linea-g2-b22/>. Acesso em: 18 de dezembro de 2025.

DIAS, M. A. P. Administração de materiais: princípios, conceitos e gestão. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

FLICK, U. Introdução à pesquisa qualitativa. Porto Alegre: Artmed, 2020.

GADELHA, C. A. G. Gestão tecnológica em saúde: inovação, manutenção e sustentabilidade. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2023.

GENERALMED. Autoclave horizontal hospitalar 100 litros. Disponível em: <https://www.generalmed.com.br/autoclave-horizontal-hospitalar-100-litros-pr-2474-371454.htm>. Acesso em: 18 de dezembro de 2025.

INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. Rastreabilidade metrológica e rede brasileira de calibração. Brasília: INMETRO, 2022.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 7101:2015. Healthcare organization management — Management systems for quality in healthcare organizations. Geneva, 2015.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 13485:2016. Medical devices — Quality management systems — Requirements for regulatory purposes. Geneva, 2016.

ISO – INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 31000:2018. Risk management — Guidelines. Geneva, 2018.

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

NÚCLEO DO CONHECIMENTO. Controle automatizado de estoques hospitalares. Revista Núcleo do Conhecimento, v. 14, n. 2, p. 33–48, 2022.

ONA – ORGANIZAÇÃO NACIONAL DE ACREDITAÇÃO. Manual brasileiro de acreditação hospitalar. São Paulo: ONA, 2021.

ORTEGOSA, R.; RODOLPHO, L. Manutenção preditiva aplicada à engenharia clínica hospitalar. Revista Engenharia em Saúde, v. 6, n. 1, p. 21–39, 2025.

POLIT, D. F.; BECK, C. T. Fundamentos de pesquisa em enfermagem: avaliação de evidências para a prática. Porto Alegre: Artmed, 2019.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. Metodologia do trabalho científico. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SAIPOS. Gestão de estoque manual versus automatizada em ambientes hospitalares. São Paulo: Saipos, 2023.

SAMPAIO, R. F.; MANCINI, M. C. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Revista Brasileira de Fisioterapia*, v. 11, n. 1, p. 83–89, 2007.

SANTOS, A. L.; AZAMBUJA, M. C. Manutenção hospitalar e segurança do paciente. *Revista Brasileira de Engenharia Clínica*, v. 9, n. 2, p. 101–118, 2023.

SANTOS, R.; BAUER, M. Logística hospitalar e gestão estratégica de peças críticas. *Revista Gestão Hospitalar*, v. 15, n. 3, p. 67–84, 2022.

SILVA, J. P. et al. Impacto da implantação de CMMS na manutenção hospitalar. *Revista Engenharia Biomédica*, v. 37, n. 4, p. 289–304, 2021.

TECNOCLIN. Calibração e testes de segurança elétrica em equipamentos médicos. São Paulo: Tecnoclin, 2024.

WANG, S.; ZENIOS, S. *Management of hospital assets and technology*. Boston: Springer, 2006.