

ENGENHARIA MÉDICA III - MANUTENÇÃO SEGMENTADA E PARAMETRIZADA DE EQUIPAMENTOS DIAGNÓSTICOS

Leonardo Moraes Armesto¹
Patrick Cristian Lima Orihuela²
Caroline de Oliveira Nieblas³
Thabata Roberto Alonso⁴

RESUMO: O artigo apresenta um estudo aprofundado sobre a manutenção segmentada e parametrizada de equipamentos diagnósticos hospitalares, destacando sua relevância na segurança, desempenho e continuidade da assistência em saúde. Ao tratar dos processos de manutenção corretiva, preventiva e preditiva, o material descreve etapas, desafios e soluções que permeiam a gestão técnica desses dispositivos, evidenciando a influência da obsolescência, da capacitação profissional e dos custos operacionais. Discute-se ainda os principais tipos de defeitos — funcionais, elétricos, mecânicos, de software e de sensores — e seus impactos sobre o uso clínico. O documento também analisa ferramentas fundamentais de gestão, como a curva PF, indicadores de desempenho (MTTR, MTBF, TR), métricas de qualidade e índices de rentabilidade, reforçando como tais elementos sustentam decisões estratégicas de manutenção. São abordados aspectos estruturais do planejamento, incluindo inspeções, testes de desempenho, relatórios, POPs e gestão documental, além de reflexos sobre vida útil, segurança e custo. Por fim, são apresentadas limitações, cuidados e complexidades próprias do contexto hospitalar, demonstrando a necessidade de abordagens integradas, normatizadas e alinhadas às diretrizes regulatórias. O material propõe uma visão abrangente e aplicada da manutenção de equipamentos diagnósticos, articulando teoria, prática e gestão técnica.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia clínica; Gestão de indicadores; Confiabilidade; Medicina preventiva; Segurança em saúde.

ABSTRACT: The article presents an in-depth study on segmented and parameterized maintenance of hospital diagnostic equipment, highlighting its relevance to safety, performance, and continuity of healthcare. When addressing corrective, preventive, and predictive maintenance processes, the material describes the steps, challenges, and solutions that permeate the technical management of these devices, highlighting the influence of obsolescence, professional training, and operating costs. It also discusses the main types of defects — functional, electrical, mechanical, software, and sensor — and their impact on clinical use. The document also analyzes fundamental management tools, such as the PF curve, performance indicators (MTTR, MTBF, TR), quality metrics, and profitability indices, reinforcing how these elements support strategic maintenance decisions. Structural aspects of planning are addressed, including inspections, performance tests, reports, SOPs, and document management, as well as reflections on useful life, safety, and cost. Finally, limitations, precautions, and complexities specific to the hospital context are presented, demonstrating the need for integrated, standardized approaches that are aligned with regulatory guidelines. The material offers a comprehensive and applied view of diagnostic equipment maintenance, combining theory, practice, and technical management.

KEY WORDS: Clinical engineering; Indicator management; Reliability; Preventive medicine; Health safety.

¹Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: leonardo.armesto@uscsonline.com.br

²Graduando em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: patrick.orihuela@uscsonline.com.br

³Graduanda em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: caroline.nieblas@uscsonline.com.br

⁴Graduanda em Medicina. Universidade Municipal de São Caetano do Sul. E-mail: trabata.alonso@uscsonline.com.br

1. INTRODUÇÃO

A manutenção de equipamentos diagnósticos ocupa um papel central na qualidade assistencial e na continuidade dos serviços de saúde. No contexto hospitalar contemporâneo, esses dispositivos compõem a base de inúmeros processos clínicos, influenciando diretamente a tomada de decisão médica, o direcionamento terapêutico e a segurança do paciente. Por isso, compreender a manutenção segmentada e parametrizada é essencial para garantir que tais tecnologias operem dentro de padrões adequados de desempenho, sustentabilidade e confiabilidade. Autores como Henrique e Lopes (2013) e Viriato e Moura (2021) reforçam que a gestão eficiente dos recursos tecnológicos é um dos pilares da administração hospitalar moderna.

A literatura em engenharia biomédica e manutenção apresenta contribuições significativas para o entendimento desses processos. Obras como Instrumentação Biomédica (Dagnino *et al.*, 2019) e Engenharia de Manutenção (Gregório *et al.*, 2018) ressaltam que a complexidade crescente dos dispositivos diagnósticos — muitos deles integrando eletrônica, mecânica, software e redes — exige modelos de manutenção robustos, sistematizados e capazes de antecipar falhas. Além disso, normas técnicas, como a ISO 14971 (gestão de riscos) e a IEC 60601 (segurança eletromédica), fundamentam a atuação profissional, garantindo que procedimentos sigam critérios internacionais de qualidade.

No cenário brasileiro, a ANVISA desempenha função essencial ao definir requisitos para segurança, registro, rastreabilidade e boas práticas de manutenção. Documentos como o Manual Técnico de Produtos Médicos (ANVISA, 2021) e o Manual de Registro de Equipamentos Médicos (2010) estruturam tanto o desenvolvimento quanto o ciclo de vida dos dispositivos no país. Somam-se a isso as diretrizes da ABIMO, que orientam profissionais e instituições sobre boas práticas em manutenção e gestão operacional. Esses referenciais contribuem para uniformizar processos, reduzir riscos e fortalecer a cultura de segurança hospitalar.

Outro elemento relevante é a incorporação de tecnologias digitais e analíticas. A literatura recente destaca ferramentas como manutenção preditiva baseada em dados, análise de sensores, integração com IoT e inteligência artificial — tendências também observadas pela Agência Europeia (EU MDR 2017/745) no contexto de vigilância e rastreabilidade de dispositivos médicos. Assim, a manutenção deixa de ser apenas reativa e passa a integrar estratégias inteligentes, apoiadas em monitoramento contínuo e modelos matemáticos de confiabilidade, como a curva PF e os indicadores MTTR e MTBF.

Diante desse cenário, o estudo da manutenção segmentada e parametrizada torna-se fundamental para profissionais da engenharia clínica, gestores hospitalares e técnicos responsáveis pela operação dos equipamentos diagnósticos. Ao abordar conceitos, práticas, tipos de manutenção, indicadores, cuidados e limitações, este roteiro oferece uma visão aprofundada sobre os desafios e as ferramentas necessárias para garantir o funcionamento seguro e eficiente desses dispositivos. A compreensão desses elementos fortalece a atuação multidisciplinar e contribui para a excelência operacional no ambiente hospitalar.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. Manutenção em equipamentos diagnósticos

A manutenção de equipamentos hospitalares, em característica geral, é fundamental no seguimento da oferta de assistência em cuidado nos mais variados âmbitos de tratamento em cuidado e saúde. Contudo, peculiarmente, quando refletido sobre os de ordem diagnóstica, estes expressam significativo impacto no que tange a conduta dos profissionais em relação aos pacientes examinados, pois auxiliam primordialmente no direcionamento tratativo e/ou paliativo. Desta forma, para Mamede *et al.*, (2022), a manutenção desses equipamentos deve garantir precisão, confiabilidade e longevidade.

Ainda nisso, para Gregório *et al.*, (2018) e Dagnino *et al.*, (2019), o processo de manutenção inclui, subseqüentemente, a inspeção inicial, realizada por meio de uma avaliação geral no estado do equipamento na qual identificam-se sinais de desgaste ou mal funcionalidade aparentes ou obtidas em dinâmica de funcionalidade. Isto segue-se pelo diagnóstico, onde utilizam-se instrumentos, ferramentas e *softwares* mais específicos, direcionados para análise das falhas. Os autores indicam ainda que a execução é o processo subsequente, de forma a atuar na reparação com ou sem substituição de componentes defeituosos, bem como calibração e testes realizados pós-reparação. Importante salientar que a etapa vincula-se com a característica do tipo de manutenção. Quando pensada na preventiva, as atividades são realizadas de forma a antecipar as falhas, atuando-se na monitoria das capacidades e qualidades que determinado equipamento está apresentando em serviço de sua função. O processo desfecha-se com a documentação, na qual se registram detalhadamente as falhas, atividades/ações realizadas para fins de rastreamento e auditorias ocorrentes.

Para tanto, Henrique *et al.*, (2013) reforça que são variados os desafios encontrados na realização de tais procedimentos, bem como se transparecem soluções capazes de superar as dificuldades inerentes ao cotidiano da operação em manutenção de equipamentos diagnósticos, nas quais a obsolescência tecnológica se

coloca como uma das principais, sobretudo, em equipamentos mais antigos, cujos quais há escassez em termos de especialização técnica e/ou possibilidades de trocar de dispositivos ou peças, em muitas vezes já não mais fabricadas. Neste caso, uma das soluções, esta em planejar sua substituição ainda em condutas preventivas, analisando, longitudinalmente, seu ciclo de vida de produto (ACVP) por intermédio da manutenção preventiva, ou mesmo em contratos de manutenção estendida com fornecedores. Importante notar que as duas opções supramencionadas estão alinhadas com a detenção própria de equipamentos, ou em acesso a consignações e correlatos, respectivamente (Santos Jr, 2021).

Na ótica de Santos Jr *et al.*, (2020), agrega-se a isso, a questão da capacitação de profissionais, nos quais a evolução de equipamentos versados em tecnologias cada vez mais dinâmicas e computacionais requer o aprofundamento dos especialistas no mesmo sentido. Isso está alinhado com, propriamente, a natural complexidade de equipamentos diagnósticos, exigindo treinamento e formação continua para técnicos. Para Szejnfeld *et al.*, (2016), essa realidade encontra na atualidade uma série de forma de ser atendida, sobretudo pela oferta bastante significativa de empresas técnicas alinhadas na oferta de formações continuada com certificados para equipamentos específicos, nas quais, a parceria do complexo hospitalar, clínica ou laboratório com fabricantes, para oferecimento de cursos e subseqüentes certificados, é interessante na saúde profissional .

Ainda nisso, segundo Calil *et al.*, (1998), os custos elevados relacionados á continuidade infraestrutural para a manutenção, é um importante desafios que requer estudos e desenvolvimento que otimizem os recursos ao mesmo tempo em que potencializem a capacidade de extensão qualitativa equipamentos, mantendo sua funcionalidade dentre do intervalo de adequação requerida. Para tanto, a valorização e intensificação em processos planejados de manutenção preditiva e preventiva, apesar de apresentarem-se com investimentos iniciais na ideologia concepitiva, ao longo prazo, quando comparados exemplificadamente com manutenções corretivas, são significativamente mais vantajosos em termos de custo e benefício para instituição de saúde.

Desta forma, para Gerônimo *et al.*, (2017), a inovação em processos e adoção de melhores práticas é fundamentalmente importante para a perenidade de equipamentos e seqüenciamento funcional de suas competências técnicas. Entre outras, a adoção de boas práticas, tais como a implementação de sistemas de gerenciamento de manutenção, a adoção e regulação de ações por intermédio de normas, de maneira a assegurar a qualidade, além do estabelecimento de contratos

de manutenção com fornecedores ou ainda um programa interno que preveja cada vez mais intensamente o compromisso de cuidado continuado e regulado com a eficiência dos equipamentos diagnóstico, é ponto alto no processo.

Por fim, as tendências futuras figuram-se no sentido de prover, também no âmbito da manutenção de equipamentos diagnósticos, a operação mais integralizada com tecnologias para monitoramento contínuo e remoto em vista da internet das coisas (IoT), além de formas referentes para análise preditiva avançada em vista do uso das inteligências artificiais (I.As), bem como para suporte técnico e treinamento, tal como o uso de metaversos e realidades aumentadas.

2.2 Tipos de efeitos de manutenção

Segundo Viriato *et al.*, (2021), os efeitos a partir da realização das manutenções sejam elas de qual ordem for (corretiva, preventiva e preditiva), como as quais já apresentadas no roteiro anterior, apresentam-se por modalidade e intimamente associadas por causas correlatas, como vistas a seguir nos principais tipos de defeitos em equipamentos diagnósticos hospitalares:

- Defeitos Funcionais → são estes relacionados à operação inadequada do equipamento de uso, tais como falhas em resultados de exames e/ou processos de aferição de medição com imprecisão. Têm como causa comum o uso inadequado, fatores ambientais como temperatura, umidade, além de desgastes naturais dos componentes. Pode ser exemplificado por um equipamento de ultrassonografia (USG), com presença de borramentos imagéticos, devido desgaste do transdutor.
- Defeitos Elétricos → são descritos, em geral, por problemas em fornecimento de energia ou ainda devido a falhas de componentes elétricos internos. Apresentam causas como sobrecargas elétricas, flutuações ou variações de tensão, além de falhas de componentes como capacitores ou fontes de alimentação, podendo ser exemplificado por um monitor multiparamétrico que não liga por conta de defeito na fonte de alimentação.
- Defeitos Mecânicos → em geral, relacionados ao movimento ou desgaste de partes móveis do equipamento. Como causa, apresentam desgastes por utilização contínua, além de mau uso, tais como força excessiva no manuseio de componentes. Tem como exemplificação um equipamento de Ressonância Nuclear Magnética (RNM), apresentando falha no sistema de resfriamento, acabando por comprometer a operação de imãs.

- Defeitos de *Software* → observados por problemas no funcionamento de sistemas operacionais ou em programas de utilização para controle de análise ou ainda de gestão de manutenção, inclusive. Algumas das causas comuns estão associadas a atualizações mal implementadas, erros de configuração ou ainda invasões e *malwares*. Podem ser exemplificados por softwares utilizados em Tomografia Computadorizada (TC), que apresenta falhas ao processar imagens, gerando atrasos em diagnósticos.
- Defeitos em Sensores → encontrados, em geral, quando por falhas na captura de informações, tais como pressão, temperatura e demais sinais biológicos. Algumas de suas causas comuns estão associadas a danos físicos, contaminação por resíduos, bem como erros em calibrações. Um exemplo defeituoso nesse item pode ser representado por um oxímetro que apresenta leituras inconsistentes devido a erro de captura pelo sensor.

A partir da apresentação do defeito, Viriato *et al.*, (2021) e Szejnfeld *et al.*, (2016), refletem que é possível correlacionar ao efeito de ajuste correspondente a modalidade de manutenção prevista, realizada ou planejada para determinado aparelhamento diagnóstico, como observados os cruzamentos nos quadros 1, 2 e 3:

Quadro 1 - Manutenção Corretiva: Relação de efeitos por tipos de defeitos

Funcionais	Correção após a identificação de mau funcionamento, tal como a substituição de peça desgastada, comprometendo a função.
Elétricos	Conserto de fontes de alimentação passadas por sobrecarga.
Mecânicos	Ajuste ou substituição de componentes móveis, os quais apresentam desgaste excessivo ou avaria.
<i>Software</i>	Reinstalação ou correção de sistema após travamentos ou <i>bugs</i> .
Sensores	Substituição de sensores danificados, mal calibrados ou com perda de capacidade de funcionalidade adequada.

Fonte: Própria autoria (2024)

Na ótica dos autores, dentre as vantagens do tipo de manutenção para os efeitos observados, está a resolução da problemática de maneira direta e pontual, além de ser um método bastante eficaz para problemas inesperados e emergenciais. Quanto às desvantagens, são, em geral, mais custosas e demoradas devido interrupção em funcionalidade de equipamento e procura por peças específicas, bem como poder acarretar impactos clínicos e financeiros significativos.

Quadro 2 - Manutenção Preventiva: Relação de efeitos por tipos de defeitos

Funcionais	Identificados e evitados por intermédio de ajustes programados e regulares com calibrações dos dispositivos.
Elétricos	Observando, possíveis ocasiões de sobrecargas elétricas, provendo a instalações de estabilizadores, bem como pela troca periódica de componentes de maior vulnerabilidade.
	Realização de lubrificações de partes móveis, além de substituição de peças

Mecânicos	e componentes desgastados antes de efeitos ocasionados por quebras em momentos de utilização.
Software	Atualizações programadas e periódicas evitando efeitos de falhas futuras em sistemas mediante sua operacionalização.
Sensores	Realização de limpeza e calibração de sensores durante rotinas de manutenção.

Fonte: Própria autoria (2024)

Para Calil *et al.*, (1998), dentre as vantagens do tipo de manutenção para os efeitos observados, está o prolongamento da vida útil do equipamento, além de reduzir a probabilidade de falhas críticas. Quanto às desvantagens, encontra-se a exigência de um programa de planejamento rigoroso, os quais necessitam de viabilidade para manutenções regulares. Incluem-se, eventualmente, ocasiões nas quais se levam a substituição de componentes que ainda não apresentam sinais de desgaste.

Quadro 3 - Manutenção Preditiva: Relação de efeitos por tipos de defeitos

Funcionais	Identificados com base em alterações de padrões de funcionamento e desempenho detectados por sensoriamento e <i>softwares</i> analíticos.
Elétricos	Realizado por monitoramento de variações de tensão e cargas, ou mesmo pelo aumento de temperatura em componentes elétricos.
Mecânicos	Feito por detecções de vibrações ou ruídos anormais que possam indicar desgastes iminentes em partes ou parcelas móveis.
Software	Alertas de comportamentos anômalos utilizados em sistemas operacionais, aplicativos e mecanismos associados.
Sensores	Análise contínua de precisão de sensores e alertas para efeitos de calibração ou ações de substituição antes de erros graves.

Fonte: Própria autoria (2024)

O autor menciona ainda que dentre as vantagens do tipo de manutenção para os efeitos observados, está a redução de custos com manutenção corretiva e preventiva desnecessárias, além de maximização de disponibilidade de equipamentos, com intervenções em momentos exatos. Quanto às desvantagens, encontra-se a requerência de investimentos elevados em tecnologias de monitoramento e capacitação, bem como a dependência da qualidade e confiabilidade mediante os dados coletados. Ainda nisso, a escolha isolada ou conjunta, segundo critérios definidos pelo setor, dependem de fatores como tipo de equipamento, frequência de uso, criticidade no ambiente hospitalar e disponibilidade de recursos pela instituição em para o setor especificamente. Assim, em síntese de Oliveira *et al.*, (2024), quando em equipamentos mais críticos, como TCs ou RNMs, estes melhor se beneficiam da combinação de manutenções preventivas e preditivas, buscando evitar suas interrupções, ao passo que para dispositivos de menor complexidade ou menor demanda de uso, a manutenção corretiva apresenta-se como opção suficiente, desde que não comprometa a segurança ou operação geral. Não obstante, a tendência atual

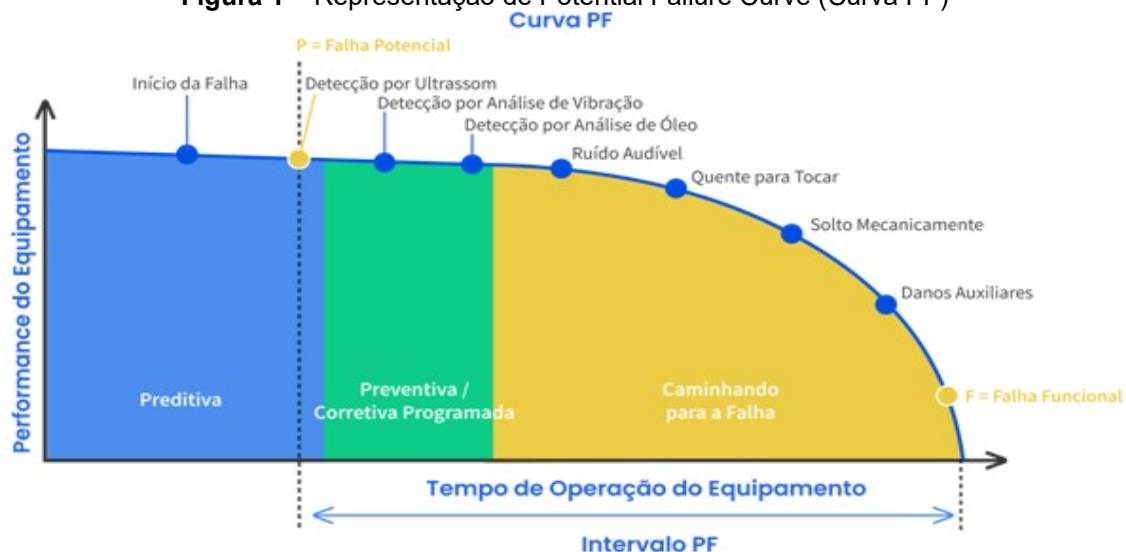
acaba por ser gerada pela integração com a manutenção preditiva, de maneira a antecipar falhas, otimizar custos e minimizar o impacto operacional.

2.3 Planejamento e curva de assistência

O estudo acerca do planejamento e curva de assistência continuada de equipamentos diagnósticos hospitalares trabalham com fundamentos importantes capazes de assegurar e garantir a eficiência, segurança e continuidade da operação dentro dos parâmetros de uso nas operações médicas assistenciais, abrangendo estratégias detalhadas focadas em inspeções regulares, testes de desempenho, ajustes e elaboração de relatórios sistematizados para suporte e rastreamento. Nisso, ao pensarmos sobre o planejamento utilizado na assistência, este estará consistido com base em cronograma designando as modalidades de manutenção pretendidas, sendo fundamental na mitigação de paradas, além de evitar falhas desnecessárias e maximização de sua vida útil (Augusto, *et al.*, 2021). Dentre o planejamento, detalhes como o inventário de equipamentos, a classificação por criticidade, a definição de frequência/intervalo de manutenções, bem como a alocação de recursos designados, são pontos fundamentais no plano.

Para tanto, segundo Mamede *et al.*, (2022), a utilização de cursos, tais como a curva de assistência ou curva PF (*potential failure curve*), refletindo na relação entre variáveis como tempo de uso em operação do equipamento, em relação a frequência de intervenções de manutenção, apresenta-se como uma das ferramentas mais utilizadas para um plano de manutenção centrado no propósito de confiabilidade, no qual pode-se entender a evolução das falhas de equipamentos diagnósticos hospitalares, além de compreender formas que podem levar a evitar.

Figura 1 – Representação de Potential Failure Curve (Curva PF)



Fonte: Traction Tecnologias LTDA (2024)

Não obstante, para Calil *et al.*, (1998), o uso do termo “PF” faz ilustração por onde se inicia a falha potencial (P), e onde inicia-se a falha funcional (F). Em linhas gerais, são principalmente nestes momentos de operação, onde podem melhor ser identificadas as falhas, sendo possível a intervenção antes da quebra. A figura 1 supramencionada ilustra o modelo de curva PF, a qual pode ser compreendida pela representação do comportamento de determinado ativo desde o início de sua operação/funcionamento, até determinado momento que possa apresentar sua falha. Isto é, o instante no qual consegue-se prever a condição deste ativo, com base em suas falhas. Não obstante, a intenção é de realizar a demonstração na qual se tende a gerar a evolução de falhas ao longo do tempo, tal que com a detecção precoce da falha, é fornecido tempo para melhor intervenção em manutenção.

Ainda nisso, na visão de Oliveira *et al.*, (2024) e Henrique *et al.*, (2013), a inspeção de equipamentos objetiva a detecção das irregularidades, a garantia da confiabilidade e conformidade de padrões, atuando diretamente no prolongamento da vida funcional e eficiente do equipamento. Para tanto, os testes de desempenhos são pontos cruciais do processo, garantindo a operacionalidade dentro dos parâmetros previstos e corrigindo desvios detectados. Sua exemplificação pode ser notada por meio de calibração de imagens, testes de precisão, avaliando as leituras obtidas, atuando *softwares* e garantindo que sistemas operacionais e programas atuem em conformidade ao esperado, além de reconfigurações de parâmetros, ajustando limites em necessidades específicas.

Quanto aos relatórios de manutenção e uso de POPs (procedimentos operacionais padrão), Oliveira *et al.*, (2024) aponta ainda que referem-se como ferramentas de credibilidade e atualização para noção real das condições e propriedades em uso dos equipamentos diagnósticos. Os relatórios envolvem pontos como estruturação, guardando a identificação, os tipos de manutenções previstas e realizadas, peças e componentes substituídos, bem como os resultados obtidos através dos testes de desempenho. Para tanto, alguns dos benefícios provocados com a elaboração dos relatórios, encontram-se na melhor rastreabilidade dos históricos de manutenção, seguido de melhor identificação de padrões recorrentes de falhas geradas, e substrato/suporte para composição de auditorias e certificações. No que se refere o uso de POPs, seu emprego pautado na documentação de etapas padronizadas e a serem seguidas durante a manutenção e operacionalidade dos equipamentos diagnósticos, garante consistência e segurança, ao mesmo tempo em que provê um memorial de instruções detalhadas para momentos de inspeções e

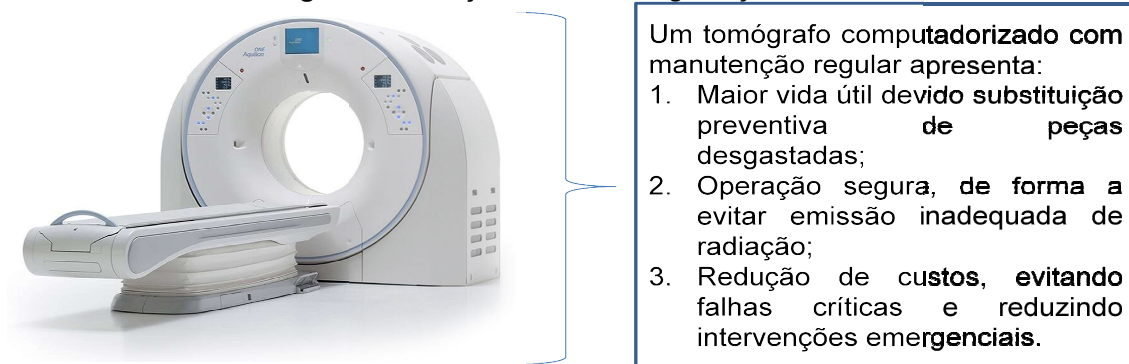
testes, a indicação de ferramentais e insumos necessários ao procedimento, empregando critérios de aceitação ou rejeição nos respectivos testes de desempenho.

2.4 Reflexo em vida útil, segurança e custo

A conduta explorada nos tópicos anteriores contribuem de maneira assertiva na lida em manutenção de equipamentos diagnósticos hospitalares, refletindo de forma significativa tanto na vida útil, quanto em sua utilização pautada por segurança e os custos enviados ao processo e no longo de sua operação. Em linhas gerais, Mamede *et al.*, (2022) em sinergia com Gregório *et al.*, (2018), observam que a qualidade na fabricação, alinhada a manutenção adequada através dos métodos visitados, além de condições ambientais previstas e respeitadas de acordo com as indicações de fabricantes, bem como a regulação em termos da intensidade de uso do equipamento, são pontos bastante influem da demanda de sua vida útil.

Em interface, Dagnino *et al.*, (2019) aponta que a segurança dos equipamentos se alinha, decorrentemente, com a precisão obtida em diagnósticos e em efetividade á proteção ao uso de pacientes e operadores. Isso está diretamente vinculado aos impactos inerentes ao custo que incluem processos licitatórios para aquisição, ajustes para operação, realizações em manutenção e providências relacionadas à sua substituição, de forma que a gestão eficiente dos equipamentos tem potencial de geração redutor de despesas ocasionais. Assim, a rotina de manutenções preditivas e preventivas, a adoção de contrato de manutenção estabelecido com fabricantes ou empresas especializadas de forma a ofertar suporte técnico sob custos previsíveis, além do estudo e implementação de recursos voltados a melhor eficiência energética por meio de equipamentos modernos e sustentáveis, comportam-se como valiosas ferramentas, prósperas na redução de custos. A figura 2 demonstra um exemplo de cruzamento em os pontos mencionados.

Figura 2 – Relação: Vida Útil, Segurança e Custo



Fonte: Própria autoria (2024)

2.5 Geração de indicadores em manutenção

Ao abordar a gestão eficiente em processos de manutenção de equipamentos hospitalares, deve-se levar em conta, uma abordagem que trate, equitativamente, de temporais, qualitáveis e quanto a rentabilidade. Nesse sentido, vale-se assegurar a funcionalidade adequada de técnicos de equipamentos, buscando a redução de custos em operação, em vínculos com fatores voltados a segurança dos envolvidos, quer sejam operadores técnicos ou pacientes (Calil *et al.*, 1998).

Quanto aos indicadores relacionados ao tempo, observa-se a eficiência da manutenção, dos quais se incluem:

1. Tempo de Resposta (TR) → este refere-se á medição do espaço temporal entre a notificação do problema em si, te o início da intervenção técnica. Desta maneira, ao observar-se uma relação baixa entre esses indicadores (TR = Momento da Intervenção Técnica – Momento da Notificação do Problema), indica-se eficácia e prontidão no atendimento;
2. Tempo Médio de Reparo (MTTR: Mean Time to Repair) → ocupa-se em analisar a duração média corretiva em manutenções. Pode ser chamado de “Tempo Médio de Manutenção Corretiva”, sendo este um indicador que aponta quão facilmente um determinado equipamento hospitalar pode ser consertado. Neste, quando a resultante do MTTR for elevado, pode ser indicativo de que a substituição do equipamento é mais barata do que a reparação em si. Por outro lado, quando for baixo, indica-se que seu uso até o “consumo total do ativo”, pode ser a melhor opção. A fórmula utilizada é:
$$MTTR = \frac{\text{Tempo Total de Manutenção}}{\text{Número de Reparações}}$$
3. Tempo Médio entre Falhas (MTBF: Mean Time Between Failures) → refere-se á medição de confiabilidade obtida perante o equipamento a medida que se calcula o intervalo médio obtido entre as ocorrências de falhas. Em linhas gerais, tal indicador auxilia na previsibilidade da disponibilidade operacional, identificando gargalos comprometedores á continuidade funcional do equipamento em suporte aos serviços realizados. A fórmula utilizada é:
$$MTBF = \frac{\text{Tempo Total de Operação}}{\text{Número de Falhas}}$$

Quanto pensado sobre os indicadores voltados a qualidade, foca-se no que tange a eficácia de ações pertinentes a manutenção, a medida que avaliam a capacidade dos serviços técnicos referentes, ao longo da restauração de equipamentos na busca de sua condição de ideação e uso, dos quais podem ser inclusos:

1. Taxa de Sucesso na Manutenção → faz medição de intervenção realizadas/concluídas com sucesso quando realizados por uma única tentativa.

A fórmula utilizada é:

$$TSM (\%) = \frac{\text{N}^\circ \text{ de Manutenções Bem-Sucedida na 1}^\text{a} \text{ Intervenção}}{\text{N}^\circ \text{ Total de Manutenções Realizadas}} \times 100.$$

2. Número de Reincidências → observa a frequência de falhas repetitivas, de forma a notar se a problema teve resolução ou mitigação temporária. A fórmula

utilizada é: $NR = \frac{\text{N}^\circ \text{ de Ocorrências de Dado Problema no Período}}{\text{N}^\circ \text{ de Equipamentos Avaliados}}.$

3. Conformidade com Padrões Regulatórios → tendo em vista que sua conformidade e regulação em relações a normativas e padrões é ponto imprescindível na manutenção e continuidade de equipamentos, seus indicadores prestam informações valiosas sobre as condições/competências técnicas empregadas, de forma a auxiliar em processos internos e tomadas de decisão.

Quanto aos indicadores de rentabilidade, o espectro econômico/financeiro relaciona-se a capacidade de analisar os ideários de custo-benefício quanto a manutenção em si, de forma a ser o analista de impacto quanto custo dentro do âmbito hospitalar, tendo como base principal os seguintes itens:

1. Custo a Cada Intervenção → valor médio por manutenção, de forma a mais intimamente monitorar a manutenção e seus impactos financeiros. Calcula-se

por: $CI = \frac{\text{Custo Total em Manutenções no Período}}{\text{N}^\circ \text{ Total de Intervenções Realizadas}}.$

2. Índice de Retorno sobre Investimento (ROI) → observa em vários momentos, se investimento voltado á manutenção/aquisição trazem benefícios em termos de custo ou operação. Calcula-se por:

$$ROI (\%) = \frac{\text{Benefícios Gerados} - \text{Custo de Investimentos}}{\text{Custo de Investimentos}} \times 100.$$

Neste caso, quando obtido ROI positivo, nota-se uma superação dos benefícios quando relacionados aos custos investidos, significando eficácia econômica, ao passo que quando obtido ROI negativo, sugere-se um custo superior ao benefício obtido, de forma a indica ineficácia estratégica na aquisição.

3. Relação Entre Custo e Disponibilidade → busca observa o custo que se volta à determinada manutenção e a disponibilidade de dado equipamento. A medida que há o equilíbrio entre operação e funcionalidade efetiva do equipamento e seu impacto positivo nos resultados clínicos, passa-se a melhor otimizar os recursos/equipamentos. Seu equacionamento pode ser realizado por

intermédio de: $C.D = \frac{\text{Custo Total em Manutenções}}{\text{Disponibilidade Média do Equipamento}}.$ sendo que a

Disponibilidade Médio do Equipamento (DME) é obtida por: $DME (\%) = \frac{\text{Tempo Total de Operação} - \text{Tempo de Inatividade}}{\text{Tempo Total de Operação}} \times 100.$

2.6 Cuidados, limitações e complexidades em manutenção de equipamentos diagnósticos

Tendo em vista a aplicação dos equipamentos hospitalares, Szejnfeld *et al.*, (2016) aponta que muitas são as formas de desempenho e atenção que podem ser empregadas para seu processo de continuidade de manutenção, visando sempre a melhor maneira de organizar o setor e implementar ações eficientes na dinâmica prático-operacional visando sempre os principais cuidados, bem como os fatores limitantes, além das complexidades que envolvem sua aplicação.

Objetivamente, para Amorim *et al.*, (2015), os cuidados buscam concretizar as garantias de segurança pretendidas ao mesmo tempo em que se pauta na precisão e longevidade dos dispositivos, respeitando seu tempo de vida e com base em sua análise de ciclo de vida útil. Para tanto, fazem-se valer de fatores como treinamentos técnicos especializados, a aplicação acertada das modalidades de manutenção visitadas anteriormente, adoção, aplicação e regulação de normas e protocolos, além de planejamento no que tange a reposição de peças e adequação documental.

Não obstante, na percepção de Carvalheiro (2016), as limitações se representadas por grandes desafios necessariamente combatíveis no dia a dia da gestão em manutenção de equipamentos hospitalares, tal como o custo elevado, sobretudo ao tratarem-se de equipamentos mais tecnológicos, modernos e especializados, além de interdependência de fabricantes, disponibilidade de peças/insumos, inadequação infraestrutural (temperatura, umidade, recursos energéticos, intensificando desgastes), desaguando em infrequências na operação propriamente, nas quais, a parada para manutenções são representativas de impactos diversificados na receita obtida. Por fim, as complexidades, estão atreladas a uma cada vez mais intensa necessidade integrativa, específica e célere tecnologicamente.

Por fim, a respeito da realidade profissional e aplicação, são vários os cenários nos quais é possível notabilizar a aplicação em cases e realidades. Tal vislumbre, auxilia substancialmente na melhor e mais íntima interpretação de setores voltados a manutenção de equipamentos hospitalares.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentado evidencia que a manutenção de equipamentos diagnósticos é um componente estruturante da gestão tecnológica em saúde,

articulando conhecimento técnico, normatização e planejamento estratégico. Ao analisar defeitos, efeitos e modalidades de manutenção, compreende-se que a efetividade do processo depende de intervenções bem planejadas, da capacitação da equipe técnica e da adoção de práticas consistentes, baseadas em evidências e normas regulatórias. A integração entre manutenção corretiva, preventiva e preditiva revela-se essencial para equilibrar custos, disponibilidade e segurança.

A utilização de indicadores, como MTTR, MTBF e TR, demonstrou ser fundamental para mensurar desempenho, otimizar recursos e subsidiar decisões gerenciais. Da mesma forma, ferramentas como relatórios, POPs e análises da curva PF fortalecem a rastreabilidade dos processos e possibilitam intervenções mais precisas. Os reflexos em vida útil, custo e segurança reforçam que a manutenção não é apenas um ato técnico, mas parte de uma estratégia institucional de sustentabilidade e eficiência.

Os desafios identificados — como obsolescência tecnológica, custos elevados, limitações estruturais e dependência de fabricantes — demonstram que o setor exige abordagens sistemáticas, parcerias qualificadas e investimentos contínuos em capacitação. Ao mesmo tempo, novas tecnologias despontam como oportunidades de aprimoramento, especialmente a manutenção preditiva, a IoT e o uso de inteligência artificial para análise de falhas.

Assim, o material consolida uma visão abrangente da manutenção segmentada e parametrizada, contribuindo para a formação de profissionais aptos a atuar com excelência na área. Ao integrar teoria, prática e referências normativas, o estudo reafirma a importância estratégica da manutenção de equipamentos diagnósticos para a qualidade assistencial e para a segurança dos pacientes, operadores e instituições de saúde como um todo.

REFERÊNCIAS

ABIMO. **Manual de Boas Práticas para a Manutenção de Equipamentos Médicos**. Associação Brasileira da Indústria de Artigos e Equipamentos Médicos, Odontológicos, Hospitalares e de Laboratórios, 2020.

AMORIM, A. S; PINTO JR, V. L; SHIMIZU, H. E. **O desafio da gestão de equipamentos médico-hospitalares no Sistema Único de Saúde**. Revista Saúde em Debate, v. 39, n. 105, p. 350-362, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/qC47HhQvDKKBhpT5hfXcJdC/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: nov. 2025.

ANVISA. **História dos Equipamentos Médicos no Brasil**. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa>

ANVISA. **Manual Técnico de Produtos Médicos**. Brasília: Agência Nacional de

Vigilância Sanitária, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa>

ANVISA. **Manual para Registro de Equipamentos Médicos**. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2010. Disponível em: <https://idoc.pub/documents/anvisa-50285115-manual-de-equipamentos-medicos-e-hospitalares-dv1r275jqpnz>

AUGUSTO, C; RIBEIRO, C; MARTINS, D; FRANCESCHI, G; FERNANDES, G; ROQUE, J; FLAVIO, L; RODRIGO, P. **Gestão de manutenção: manutenção hospitalar**. Revista Exacta, v. 22, n. 7, p. 01-15, 2021. Disponível em: https://pmkb.com.br/uploads/tcc_gestao-da-manutencao-hospitalar.pdf. Acesso em: nov. 2025.

CALIL, S. J; TEIXEIRA, M. S. **Gerenciamento de Manutenção de Equipamentos Hospitalares**, 11^aed: NAMH/FSP – USP, 127p, 1998. Disponível em: https://bvsmms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/saude_cidadania_volume11.pdf. Acesso em: nov. 2025.

CARVALHEIRO, C. G. **Avaliação da Gestão da Manutenção de Equipamentos Hospitalares**. Dissertação (Mestrado), Instituto Politécnico de Bragança, 130p, 2016. Disponível em: https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/14074/1/Carvalho_Cristian.pdf. Acesso em: nov. 2025.

DAGNINO, A. P. A; BATISTA, B. G; CECHINEL, L. R. **Instrumentação biomédica**. Porto Alegre: SAGAH, 2019.

EUROPEAN COMMISSION. **EU MDR 2017/745 – Medical Device Regulation**. Disponível em: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A32017R0745>

GERÔNIMO, M da S; LEITE, B. C. C; OLIVEIRA, R. D. **Gestão da manutenção em equipamentos hospitalares: um estudo de caso**. Revista Exacta, v. 15, n. 4, p. 167-183, 2017. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/810/81054651013.pdf>. Acesso em: nov. 2025.

GREGÓRIO, G. F. P; SANTOS, D. F; PRATA, A. B. **Engenharia de manutenção**. 1nd ed. Porto Alegre: SAGAH, 2018.

HENRIQUE H, A; LOPES F. J. A. **Gestão de materiais e equipamentos hospitalares**. São Paulo: Saraiva, 2013.

MAMEDE, A. L. F; RESENDE, A. A de. **Indicadores de desempenho na manutenção de equipamentos hospitalares: revisão da literatura**. In: IV SIENPRO – Simpósio de Engenharia de Produção, UFC – Goiás, 2022. Disponível em: https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/1012/o/INDICADORES_DE_DESEMPENHO_NA_MANU. Acesso em: nov. 2025.

NORMA ISO 14971:2019. International Organization for Standardization - **Sistemas de gestão da qualidade para dispositivos médicos**. Disponível em: <https://www.normasabnt.org/abnt-nbr-iso-14971/>

NORMA ISO 60601:2012. International Organization for Standardization - **Sistemas de gestão da qualidade para dispositivos médicos**. Disponível em: <https://www.normasabnt.org/abnt-nbr-iec-60601-1/>

OLIVEIRA, J. A de; VIANA, H. R. G. **Indicadores de manutenção: uma investigação na literatura.** Revista Foco, v. 17, n. 12, p. e7093, 2024. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/7093>. Acesso em: nov. 2025.

SANTOS JR, J. R. dos. **Prevenção e controle de riscos em máquinas, equipamentos e instalações I.** São Paulo: Saraiva, 2021.

SANTOS JR, J. R. dos; ZANGIROLAMI, M. J. NR12 - **Segurança em Máquinas e Equipamentos Conceitos Aplicações.** São Paulo: Saraiva, 2020.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE ENGENHARIA BIOMÉDICA (SBEB). **Diretrizes para a Formação de Profissionais em Engenharia Biomédica.** Disponível em: www.sbeb.org.

SZEJNFELD, J; ABDALA, N; AJZEN, S. **Diagnóstico por Imagem.** 2nd ed. Barueri: Manole, 2016.

VIRIATO, A; DE MOURA, A. **Administração hospitalar: curso de especialização.** Barueri: Manole, 2021.