



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA E BIOMÉDICA

JACKELINE MEIRELES HIPÓLITO DE SOUZA

**FLUXOGRAMA PARA DIAGNÓSTICO DE FALHA DE UM APARELHO DE
ANESTESIA.**

BELÉM – PA
2025

JACKELINE MEIRELES HIPÓLITO DE SOUZA

**FLUXOGRAMA PARA DIAGNÓSTICO DE FALHA DE UM APARELHO DE
ANESTESIA.**

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

Orientador: Prof. Dr. Petrónio Vieira Junior.

BELÉM – PA

2025

Jackeline Meireles Hipólito de Souza

**FLUXOGRAMA PARA DIAGNÓSTICO DE FALHA DE UM APARELHO DE
ANESTESIA.**

Trabalho de Curso apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de bacharel em Engenharia Biomédica
pela Universidade Federal do Pará.

Aprovada em: 23 / outubro / 2025

Conceito: Excelente

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Petronio Vieira Junior / Orientador
FEEB / ITEC / UFPA

Prof. Dr. Reinaldo Corrêa Leite / Membro Interno
FEEB / ITEC / UFPA

Prof. Dr. Paulo Cesar Lucena Bentes / Membro Interno
FEEB / ITEC / UFPA

Eng. Biomédico André Pinho dos Santos / Membro Externo
Esotech Engenharia Clínica

BELÉM-PA

2025

AGRADECIMENTOS

A entrega desta dissertação marca o fim de uma etapa e o começo de outra. É, portanto, um marco muito importante tanto na minha vida de estudante quanto na minha vida pessoal. Foi um percurso longo, com altos e baixos, no qual cada pessoa contribuiu para a minha evolução como indivíduo e como futura Engenheira Biomédica. Por isso, não posso deixar de expressar minha gratidão a todos que me acompanharam ao longo desta caminhada.

Primeiramente, agradeço a Deus pelos dons da vida, pela sabedoria e por estar sempre presente comigo, iluminando o meu caminho, a minha casa, a minha vida profissional e, principalmente, por me conceder saúde e força para concluir mais uma jornada acadêmica.

A Nossa Senhora de Nazaré, dedico minha eterna gratidão por me acolher sob seu manto sagrado. Foi através de sua intercessão que encontrei força, fé e perseverança para concluir esta etapa tão importante da minha vida.

À minha avó Antônia Meireles (*in memoriam*), por ter sido um exemplo de ser humano e por me ensinar valores que levarei para toda a vida.

À minha mãe, Elisete Meireles, por me incentivar a seguir em busca dos meus objetivos.

Agradeço ao meu pai Ribamar Hipólito, que enfrentou o sol e o cansaço para que eu pudesse chegar até aqui e seguir por um caminho mais leve.

Ao Eduardo, por fazer parte desta conquista, por me incentivar a seguir em frente mesmo nos momentos mais desafiadores e por compartilhar comigo tantos momentos especiais.

Aos colegas que fizeram parte da minha formação: Kamilla, por tornar a universidade um lugar mais acolhedor, pela amizade sincera e pelas palavras de incentivo; e Adriano e Rafael, pelas contribuições essenciais neste trabalho.

Ao meu professor e orientador, Petrônio, agradeço por sua orientação, disponibilidade e acompanhamento durante esta fase.

Ao curso de Engenharia Biomédica da Faculdade de Engenharia Elétrica e Biomédica (FEEB) da Universidade Federal do Pará (UFPA), agradeço pela oportunidade de aprendizado e pelo crescimento pessoal e profissional proporcionados.

Por fim, aos meus primos — em especial, Larissa e Eduarda —, deixo um agradecimento carinhoso por todo o apoio que sempre me ofereceram. E a toda a minha família, minha sincera gratidão pelo incentivo e presença nesta fase da minha vida.

RESUMO

O aumento da complexidade dos equipamentos médico-hospitalares trouxe a necessidade de aperfeiçoar os processos de manutenção, controle e diagnóstico de suas falhas. Em hospitais públicos com recursos limitados e alta demanda cirúrgica, é comum que falhas simples em equipamentos médicos resultem em chamados corretivos desnecessários, afetando a disponibilidade e a segurança do paciente. Nesse cenário, torna-se essencial a atuação conjunta entre profissionais da saúde e da Engenharia Clínica, com estratégias que otimizem a identificação de falhas operacionais e reduzam o tempo de resposta. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um fluxograma de diagnóstico voltado à identificação de falhas operacionais simples em aparelhos de anestesia. A metodologia adotada é aplicada, de abordagem quantitativa, fundamentada na análise de dados extraídos do sistema Gênesis, utilizado pela empresa terceirizada Biomeditech para o gerenciamento de ativos de um hospital público de grande porte localizado na região metropolitana de Belém (PA). Foram analisadas 78 ordens de serviço corretivas entre janeiro de 2024 e abril de 2025, das quais uma parcela considerável envolvia problemas que poderiam ser solucionados diretamente no ponto de uso, como sensores desconectados, peças mal encaixadas ou falhas de autoteste sem defeito técnico associado. Com base nessa análise, foi estruturado um fluxograma de diagnóstico de falha que orienta profissionais da saúde – como anestesistas e técnicos de enfermagem – e da Engenharia Clínica na verificação de itens básicos antes da abertura de chamados. A proposta visa reduzir a sobrecarga da equipe técnica, minimizar a indisponibilidade dos equipamentos e promover a segurança do paciente. O fluxograma proposto representa uma alternativa viável para padronizar o processo de checagem funcional dos aparelhos, podendo ser adaptado a diferentes realidades hospitalares e futuras estratégias de gestão integrada.

Palavras-chave: Aparelhos de anestesia; SAT 500; Análise de falhas; Fluxograma de diagnóstico; Engenharia Clínica.

ABSTRACT

The increasing complexity of medical and hospital equipment has necessitated improved maintenance, control, and failure diagnosis processes. In public hospitals with limited resources and high surgical demand, simple medical equipment failures often result in unnecessary repair calls, impacting patient availability and safety. In this scenario, collaborative efforts between healthcare professionals and clinical engineers are essential, with strategies that optimize the identification of operational failures and reduce response times. This work proposes the development of a diagnostic flowchart aimed at identifying simple operational failures in anesthesia equipment. The methodology adopted is a quantitative approach, based on the analysis of data extracted from the Gênesis system, used by the outsourced company Biomeditech for asset management at a large public hospital located in the metropolitan region of Belém, Pará. Seventy-eight corrective service orders were analyzed between January 2024 and April 2025, a significant portion of which involved issues that could be resolved directly at the point of use, such as disconnected sensors, poorly fitted parts, or self-test failures without associated technical defects. Based on this analysis, a fault diagnosis flowchart was structured to guide healthcare professionals—such as anesthesiologists and nursing technicians—and Clinical Engineering staff in checking basic items before opening calls. The proposal aims to reduce the burden on technical staff, minimize equipment downtime, and promote patient safety. The proposed flowchart represents a viable alternative for standardizing the device functional inspection process, and can be adapted to different hospital settings and future integrated management strategies.

Keywords: Anesthesia devices; SAT 500; Failure analysis; Diagnostic flowchart; Clinical Engineering.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	13
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 OBJETIVOS GERAIS	14
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 METODOLOGIA	16
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
CAPÍTULO 02 – MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS	19
2.1 GERENCIAMENTO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS	19
2.1.1 EQUIPAMENTOS MÉDICOS.....	20
2.1.2 INTERVENÇÕES TÉCNICAS	22
2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA (MC)	24
2.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA (MP)	25
2.4 CALIBRAÇÃO (CAL)	28
2.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	29
2.5.1 PLANO DE MANUTENÇÃO.....	30
2.5.2 PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO	31
2.5.3 CONTROLE DA MANUTENÇÃO	32
2.6 EVENTOS ADVERSOS E TECNOVIGILÂNCIA	32
CAPÍTULO 03 – APARELHOS DE ANESTESIA	34
3.1 EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA	34
3.2 TECNOLOGIAS ATUAIS	42
3.3 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO	43
3.4 PARTES CONSTITUINTES	45
3.5 INSUMOS	53

CAPÍTULO 04 – PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO.....	55
4.1 MONTAGEM DO CIRCUITO.....	55
4.2 TESTES FUNCIONAIS.....	57
4.3 PARAMETRIZAÇÃO DO APARELHO	61
4.4 MODOS DE FALHA	64
4.5 LIMPEZA E DESINFECÇÃO DE ACESSÓRIOS	66
CAPÍTULO 05 – ESTUDO DE CASO	70
5.1 LOCAL DE ESTUDO.....	70
5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS.....	71
5.3 TRATAMENTO DE DADOS, ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS ..	72
5.4 SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA: FLUXOGRAMA DE DIAGNÓSTICO..	76
CAPÍTULO 06 – CONCLUSÃO.....	79

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Categorização dos equipamentos de acordo com sua função (Adaptado de EBSEH, 2022)</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2 – Fluxograma da rotina da Manutenção Corretiva (Adaptado de AZEVEDO, 2010).....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 3 – Fluxograma de Manutenção Preventiva (Adaptado de AZEVEDO, 2010).....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 4 – Fluxograma de Calibração (Adaptado de AZEVEDO, 2010).....</i>	<i>29</i>
<i>Figura 5 – Handapparat 145 N ou Roth-Dräger.....</i>	<i>35</i>
<i>Figura 6 – Roth-Dräger-Krönig</i>	<i>36</i>
<i>Figura 7 – Dräger-Kombi.....</i>	<i>36</i>
<i>Figura 8 – Narcylene.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 9 – Modelo A.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 10 – Dr. Tiegel-Dräger.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 11 – MÜ type.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 12 – Modelo D.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 13 – Modelo F.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 14 – Modelo G.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 15 – Modelo Romulus</i>	<i>39</i>
<i>Figura 16 – Spiromat 5000.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 17 – Tiberius.....</i>	<i>40</i>
<i>Figura 18 – Anestesia de Parede.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 19 – Spiromat 650.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 20 – Cicero.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 21 – Identificação do Sistema de Anestesia SAT 500 (Adaptado de K. Takaoka, 2009a e 2009b).....</i>	<i>45</i>
<i>Figura 22 – Vaporizador Delta Sigma.....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 23 – Visão frontal e lateral do Rotâmetro.....</i>	<i>47</i>
<i>Figura 24 – Parte frontal do módulo eletrônico e seus pontos de interesse do Ventilador SAT 500</i>	<i>49</i>
<i>Figura 25 – Painel traseiro do módulo eletrônico e seus pontos de interesse do Ventilador SAT 500.....</i>	<i>50</i>
<i>Figura 26 – Composição do módulo pneumático e seus pontos de interesse do Ventilador SAT 500.....</i>	<i>51</i>
<i>Figura 27 – Pontos de interesse do Filtro Valvular SIVA 3400 presentes no Takaoka SAT 500.....</i>	<i>52</i>
<i>Figura 28 – Verificação da pressão da rede de gases medicinais antes da montagem do circuito respiratório. 55</i>	
<i>Figura 29 – Montagem do circuito respiratório com reinalação (Adaptado de K. Takaoka, 2009a).</i>	<i>56</i>
<i>Figura 30 – Conexões das Linhas de Gases no Ventilador SAT 500.....</i>	<i>57</i>
<i>Figura 31 – Conexão das linhas do sensor de fluxo no Ventilador SAT 500.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 32 – Conexão do Circuito Respiratório ao Ventilador SAT 500.....</i>	<i>58</i>
<i>Figura 33 – Ausência de Fluxo no Rotâmetro e Posicionamento da Chave Seletora de F.G.F no Modo Filtro..</i>	<i>59</i>
<i>Figura 34 – Insuflação do fole para análise do desempenho do equipamento.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura 35 – Etapas do Autoteste em Aparelho de Anestesia Takaoka SAT 500.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 36 – Processo de teste de vazamento e conclusão do autoteste do sistema de anestesia SAT 500.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 37 – Tela de seleção dos parâmetros iniciais de peso e volume/peso (K. TAKAOKA, 2009a).....</i>	<i>62</i>
<i>Figura 38 – Tela inicial (K. TAKAOKA, 2009a)</i>	<i>62</i>
<i>Figura 39 – Tela VCV (K. TAKAOKA, 2009a).....</i>	<i>63</i>

Figura 40 – Fole ciclando (K. TAKAOKA, 2009a).....	64
Figura 41A – Recomendações de limpeza, desinfecção e esterilização (parte 1) (continua na próxima página) (Adaptado de K. Takaoka, 2009a).....	67
Figura 42 – Classificação percentual dos chamados corretivos em aparelhos de anestesia	73
Figura 43 – Quantidade de chamados corretivos em aparelhos de anestesia registrados mensalmente entre janeiro/24 e abril/25.....	74
Figura 44 – Distribuição percentual das falhas operacionais em aparelhos de anestesia	75
Figura 45 – Fluxograma de diagnóstico para verificação funcional em aparelhos de anestesia.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Pontuação para determinar o grau de criticidade da tecnologia, baseada no risco que ela apresenta (Adaptado de EBSEH, 2022)	19
Tabela 2 – Classificação de Equipamentos Médicos por Nível de Risco (Adaptado de ANVISA, 2022).....	20
Tabela 3 – Modalidades de ventilação (Adaptado de K. Takaoka, 2009a).....	47
Tabela 4 – Pontos de interesse e descrições da parte frontal do Ventilador (Adaptado de K. Takaoka, 2009a).	49
Tabela 5 – Pontos de interesse e descrições do painel traseiro do Ventilador SAT 500 (Adaptado de K. TAKAOKA, 2009b).....	50
Tabela 6 – Pontos de interesse e descrições do módulo pneumático do Ventilador SAT 500 (Adaptado de K. TAKAOKA, 2009b).....	51
Tabela 7 – Descrições dos pontos de interesse do Filtro Valvular SIVA 3400 presentes no Takaoka SAT 500 (Adaptado de K. TAKAOKA, 2009b).....	52

LISTA DE ABREVIATURAS

- ETA – Estações de Trabalho de Anestesia
- EC – Engenharia Clínica
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- EMH – Equipamentos Médico-Hospitalares
- RDC – Resolução da Diretoria Colegiada
- EBSERH – Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares
- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária
- EAS – Estabelecimento Assistencial de Saúde
- MC – Manutenção Corretiva
- MP – Manutenção Preventiva
- CAL – Calibração
- CMC – Capacidade de Medição e Calibração
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
- JCGM – *Joint Committee for Guides in Metrology*
- VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia - Conceitos Básicos e Gerais e Termos Associados
- MTBF – Manutenção por equipamento, tempo médio entre falhas
- MTTR – Tempo médio para reparo
- EAS – Estabelecimento Assistencial de Saúde
- VCV – Ventilação Controlada a Volume
- PCV – Ventilação Controlada a Pressão
- SIMV – Ventilação Mandatória Intermitente Sincronizada
- PSV – Ventilação com Suporte de Pressão
- FGF – Fluxo de Gás Fresco
- APL – Válvula de controle de pressão
- EAS – Estabelecimento Assistencial de Saúde

CAPÍTULO 01 – INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Os aparelhos de anestesia, denominados Estações de Trabalho de Anestesia (ETA), são equipamentos indispensáveis em ambientes hospitalares, cumprindo uma função crucial na execução segura de procedimentos cirúrgicos. Esses dispositivos possibilitam a administração precisa de agentes anestésicos e o monitoramento das funções vitais dos pacientes, assegurando que permaneçam em estado de inconsciência e com estabilidade hemodinâmica durante as intervenções cirúrgicas (FONSECA, 2006; BRASIL, 2010).

A anestesia, portanto, é fundamental para a realização da maioria dos procedimentos cirúrgicos, e sua administração segura depende diretamente do correto funcionamento dos aparelhos. Esses equipamentos são compostos por diversos componentes integrados, incluindo sistemas de condução de gases, vaporizadores, ventiladores mecânicos, mecanismos antipoluição e múltiplos monitores que acompanham continuamente as condições fisiológicas do paciente (FONSECA, 2006; GODOI, 2016).

Com o avanço das técnicas anestésicas e da tecnologia embarcada nesses equipamentos, métodos mais sofisticados, como a anestesia regional guiada por ultrassom, vêm sendo incorporados à prática clínica. Essa abordagem permite uma aplicação mais precisa dos anestésicos, elevando os padrões de eficácia e segurança nos procedimentos (BEZERRA *et al.*, 2024).

Apesar desses avanços, os aparelhos de anestesia permanecem suscetíveis a falhas operacionais. Vazamentos de gases anestésicos, defeitos em válvulas de controle e mau funcionamento de sensores de monitoramento são ocorrências que podem comprometer seriamente a segurança do paciente se não forem prontamente identificadas e corrigidas (URMAN; DESAI, 2012; FORNAZIER *et al.*, 2012).

Diante desse contexto, os testes funcionais assumem um papel essencial. Ao permitir a verificação sistemática dos principais componentes dos aparelhos – como sistemas respiratórios, vaporizadores e sensores – antes de seu uso clínico, esses testes ajudam a identificar anomalias que, se não detectadas, poderiam resultar em falhas graves durante a anestesia (FORNAZIER *et al.*, 2012; URMAN; DESAI, 2012).

Além de garantir a conformidade dos equipamentos com os padrões de segurança, a execução periódica desses testes colabora para reduzir significativamente a incidência de eventos adversos. Eles também integram estratégias modernas de manutenção proativa, que têm sido fundamentais na melhoria dos indicadores de desempenho técnico em hospitais.

Nesse cenário, a Engenharia Clínica (EC) desempenha um papel decisivo, não apenas ao realizar manutenções corretivas e preventivas, mas também ao propor ferramentas de apoio à decisão clínica e operacional. Entre elas, destaca-se a aplicação de fluxogramas de diagnóstico padronizados, que orientam a identificação e resolução rápida de falhas técnicas nos aparelhos.

A padronização desses protocolos visa não apenas aumentar a disponibilidade dos equipamentos, mas também fortalecer a cultura de segurança do paciente. A criação de fluxogramas baseados em dados reais de falhas operacionais representa uma estratégia eficaz para aprimorar o desempenho das rotinas clínicas, sobretudo em ambientes com alto volume cirúrgico e recursos técnicos limitados.

Este trabalho tem como objetivo propor um fluxograma de diagnóstico voltado à identificação e resolução de falhas operacionais simples em aparelhos de anestesia. A proposta é fundamentada em dados coletados em um hospital público de grande porte, com foco em soluções práticas que possam ser incorporadas tanto pela equipe de Engenharia Clínica quanto por profissionais da área da saúde, promovendo maior segurança, eficiência e continuidade no atendimento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver um fluxograma de diagnóstico para aparelho de anestesia, com base em falhas operacionais.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I) Analisar os registros de falhas operacionais em aparelhos de anestesia, coletados pela equipe de engenharia clínica entre janeiro de 2024 e abril de 2025;
- II) Classificar os principais fatores que contribuem para as falhas, considerando desgaste de componentes, erros operacionais e falhas não detectadas;
- III) Estruturar um fluxograma de diagnóstico baseado nos dados analisados e em boas práticas da Engenharia Clínica;
- IV) Orientar profissionais da saúde na identificação e correção de falhas simples, promovendo maior segurança e eficiência nos processos hospitalares.

1.3 JUSTIFICATIVA

A segurança do paciente é um princípio fundamental nos ambientes hospitalares, e os aparelhos de anestesia desempenham papel central nesse contexto. Esses dispositivos são responsáveis não apenas pela administração precisa de agentes anestésicos, mas também pela manutenção da estabilidade fisiológica durante procedimentos cirúrgicos, funcionando como uma barreira crítica contra os riscos de intervenções invasivas (FONSECA, 2006; BRASIL, 2010).

Entretanto, falhas operacionais como vazamentos de gases, mau funcionamento de válvulas reguladoras ou falhas em sensores de monitoramento representam ameaças concretas à integridade dos pacientes, podendo resultar em complicações de alta gravidade. Diante disso, torna-se indispensável a adoção de protocolos técnicos padronizados, capazes de detectar e corrigir precocemente essas anomalias, prevenindo incidentes adversos (URMAN; DESAI, 2012; FORNAZIER *et al.*, 2012).

Este estudo diferencia-se por realizar uma análise sistemática das falhas operacionais com base em dados reais coletados em um hospital público de grande porte da região metropolitana de Belém (PA), referência no atendimento de alta complexidade. O objetivo é identificar as causas recorrentes dessas falhas e propor uma ferramenta prática que auxilie na sua mitigação, contribuindo diretamente para a segurança do paciente.

A Engenharia Clínica exerce um papel estratégico nesse cenário, ao atuar na implementação de rotinas de manutenção que assegurem o funcionamento contínuo e confiável dos equipamentos médico-hospitalares (CALIL; TEIXEIRA, 2002; BRASIL, 2010). No entanto, a ausência de metodologias padronizadas para o diagnóstico e resolução de falhas simples ainda gera inconsistências nas práticas de manutenção e pode resultar em dois impactos críticos: o aumento do risco ao paciente e o desperdício de recursos com acionamentos técnicos desnecessários (KARDEC; NASCIF, 2001; GODOI, 2014).

Para superar essas limitações, este trabalho propõe a elaboração de um fluxograma de diagnóstico funcional, orientado por evidências técnicas e dados operacionais. A ferramenta tem como objetivo principal padronizar a abordagem de falhas simples, permitindo que tanto profissionais da Engenharia Clínica quanto da área assistencial possam atuar de forma mais autônoma e eficiente diante de ocorrências operacionais rotineiras.

A proposta ganha ainda mais relevância quando considerada a realidade da instituição estudada – um hospital com elevada demanda cirúrgica e desafios operacionais frequentes. Nesses cenários, a indisponibilidade de um equipamento devido a uma falha simples pode

representar risco direto à continuidade do atendimento. Assim, o fluxograma aqui sugerido configura-se como uma solução estratégica, viável e adaptável a diferentes contextos hospitalares.

Além de contribuir para a padronização de processos, a ferramenta proposta favorece a otimização de recursos humanos e materiais, a redução de custos operacionais, o prolongamento da vida útil dos equipamentos e o fortalecimento da cultura de segurança institucional. Alinhado aos princípios de qualidade em saúde (PORTER; TEISBERG, 2007; BRAGA, 2021), o fluxograma poderá ser adotado como base para a criação de protocolos internos de verificação e resolução de falhas operacionais.

Por fim, espera-se que essa proposta estimule estudos futuros voltados à sua validação prática e adaptação em diferentes realidades, reforçando a importância de estratégias técnicas acessíveis que garantam segurança, eficiência e continuidade na prestação de serviços de saúde.

1.4 METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, de natureza quantitativa, com o objetivo de desenvolver um fluxograma de diagnóstico voltado à identificação e resolução de falhas operacionais em aparelhos de anestesia. A abordagem quantitativa foi adotada por possibilitar a análise objetiva de dados reais obtidos no ambiente hospitalar.

A coleta de dados foi realizada em um hospital público de grande porte localizado na região metropolitana de Belém, no Pará. A escolha da instituição se deu devido ao seu elevado volume de procedimentos cirúrgicos e à frequência de chamados relacionados à manutenção de aparelhos de anestesia. O período de análise compreende os registros de janeiro de 2024 a abril de 2025, com foco exclusivo nas ordens de serviço corretivas.

As informações foram extraídas da plataforma Gênesis – um sistema informatizado de gestão de ativos, manutenção e controle de ordens de serviço, operado pela empresa Biomeditech. Os dados utilizados incluíram: tipo de falha reportada, data e hora do chamado, descrição do problema, ações realizadas pela equipe técnica e status final do equipamento.

A metodologia adotada segue os princípios estabelecidos pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que define manutenção como o conjunto de ações técnicas e administrativas voltadas a manter ou restaurar um item em condições adequadas de funcionamento (ABNT, 1994; KARDEC; NASCIF, 2001).

A análise dos dados foi conduzida com o auxílio do software Microsoft Excel, por meio de recursos gráficos e estatísticos. Foram consideradas frequências absolutas e relativas de falhas, categorização por tipo de ocorrência e distribuição mensal dos chamados. A

interpretação dos dados visou identificar padrões recorrentes e subsidiar a elaboração do fluxograma de diagnóstico proposto.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se a dependência de registros históricos, que, embora reais, podem não abranger todas as variáveis envolvidas nas falhas operacionais. Além disso, por ter sido conduzido em uma única instituição, os resultados podem apresentar limitações quanto à generalização para outros contextos hospitalares.

Ainda assim, a proposta do fluxograma baseia-se em evidências práticas, visando à construção de uma ferramenta funcional e adaptável, cuja validação poderá ser objeto de estudos futuros. Espera-se que essa iniciativa contribua com a padronização de processos, a redução de chamados técnicos desnecessários e a melhoria da segurança na operação de aparelhos de anestesia.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 01 – Introdução: Apresenta o contexto da pesquisa, ressaltando a importância dos aparelhos de anestesia e os riscos associados às falhas operacionais. Define os objetivos geral e específicos, a justificativa baseada na realidade hospitalar e a metodologia adotada. Também introduz a proposta do fluxograma de diagnóstico como solução prática para falhas simples.

Capítulo 02 – Manutenção de Equipamentos Médicos: Explora os principais conceitos relacionados à manutenção corretiva, preventiva e calibração de equipamentos médico-hospitalares. Aborda as normas técnicas vigentes, o gerenciamento de riscos, a criticidade dos equipamentos e a atuação da Engenharia Clínica. Apresenta ainda o papel da tecnovigilância na segurança dos dispositivos.

Capítulo 03 – Aparelhos de Anestesia: Descreve a evolução histórica e tecnológica dos aparelhos de anestesia, com foco nos modelos utilizados atualmente. Apresenta os princípios de funcionamento e as partes constituintes, como vaporizadores, ventiladores e filtros. Detalha os modos de falha mais comuns e discute o impacto de cada componente na segurança do paciente.

Capítulo 04 – Procedimentos Operacionais dos Aparelhos de Anestesia: Detalha os testes funcionais aplicados antes do uso clínico, com ênfase no modelo Takaoka SAT 500. Apresenta as etapas de verificação, montagem do circuito respiratório, autoteste e análise dos resultados.

Destaca a importância desses procedimentos para reduzir falhas operacionais e garantir a eficácia do equipamento.

Capítulo 05 – Estudo de Caso: Apresenta a análise dos chamados corretivos relacionados a aparelhos de anestesia em um hospital público. Os dados coletados permitiram identificar falhas operacionais recorrentes e propor um fluxograma de diagnóstico. A ferramenta visa orientar os profissionais na solução rápida de problemas simples, reduzindo chamados desnecessários.

Capítulo 06 – Conclusão: Retoma os objetivos da pesquisa, confirmando a relevância da proposta diante dos dados analisados. Avalia o potencial do fluxograma para melhorar a rotina hospitalar, aumentar a disponibilidade dos equipamentos e fortalecer a segurança do paciente. Sugere sua validação prática em estudos futuros para adaptação a outros contextos.

CAPÍTULO 02 – MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS

Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados à manutenção de equipamentos médico-hospitalares, com foco na aplicação prática da Engenharia Clínica e sua contribuição para a segurança do paciente. São abordados os tipos de manutenção – corretiva, preventiva e calibração –, além de aspectos normativos, planejamento e controle de manutenção e a importância da tecnovigilância. Esses fundamentos são essenciais para compreender as estratégias aplicáveis à gestão de aparelhos de anestesia, foco deste estudo.

2.1 GERENCIAMENTO DE EQUIPAMENTOS MÉDICOS

O gerenciamento de equipamentos médicos envolve uma série de práticas destinadas a garantir a segurança, a eficácia e a confiabilidade dos dispositivos utilizados na assistência à saúde. Essas práticas abrangem desde a aquisição e o uso até a manutenção e o descarte adequado dos equipamentos, conforme exigido pela Resolução da Diretoria Colegiada – RDC 509/2021. Uma abordagem sistemática e criteriosa no gerenciamento permite priorizar intervenções com base na criticidade dos dispositivos e nos riscos associados ao seu uso.

Entre os aspectos essenciais do gerenciamento, destaca-se a classificação dos riscos físicos dos equipamentos, que avalia o impacto das falhas nos pacientes e operadores. De acordo com a Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares – EBSEH (2020), os riscos físicos são categorizados conforme sua gravidade, como ilustrado na **Tabela 1**, e recebem uma pontuação que auxilia na definição de prioridades para manutenção.

Tabela 1 – Pontuação para determinar o grau de criticidade da tecnologia, baseada no risco que ela apresenta (Adaptado de EBSEH, 2022)

RISCO FÍSICO	PONTUAÇÃO
Morte	7
Injúria	5
Terapia ou Diagnóstico Falho	3
Sem Risco	1

A pontuação para determinar o grau de criticidade da tecnologia é atribuída com base nos riscos associados às falhas no equipamento. Assim, falhas que podem levar à morte do paciente recebem a pontuação mais alta, de 7 pontos. Já aquelas que podem causar danos permanentes ao paciente ou ao operador são pontuadas com 5 pontos. Falhas que induzem a diagnósticos incorretos ou terapias inadequadas recebem 3 pontos, enquanto situações em que

não há impacto direto na segurança do paciente ou na qualidade do atendimento são classificadas com apenas 1 ponto.

Essa classificação é crucial para identificar os dispositivos que demandam maior atenção e monitoramento. Equipamentos que apresentam maior pontuação, como aqueles destinados ao suporte direto à vida – como ventiladores pulmonares e aparelhos de anestesia – requerem uma gestão prioritária e intervenções mais frequentes, especialmente em situações críticas. Já equipamentos utilizados predominantemente para monitorização e diagnóstico, como monitores multiparamétricos, embora essenciais para a avaliação contínua do paciente, não são classificados como equipamentos de suporte vital, sendo enquadrados como dispositivos de diagnóstico conforme a RDC nº 751/2022 (ANVISA, 2022).

Ao adotar essa abordagem baseada em riscos, o gerenciamento de equipamentos médicos torna-se mais estratégico, contribuindo para a redução de falhas e para a promoção de um ambiente seguro e confiável. Além disso, essa metodologia reforça a importância de práticas como manutenção preventiva, testes funcionais e tecnovigilância, assegurando que os dispositivos estejam sempre aptos a operar de maneira eficaz e segura.

2.1.1 EQUIPAMENTOS MÉDICOS

Os equipamentos médico-hospitalares (EMH) desempenham um papel essencial nos cuidados em saúde, abrangendo dispositivos utilizados para diagnóstico, terapia, monitoramento, suporte à vida, análise laboratorial e apoio técnico. Sua gestão envolve um ciclo de vida completo, desde a aquisição até o descarte, passando por etapas como manutenção preventiva, corretiva e tecnovigilância. Essa abordagem assegura a eficiência dos processos clínicos, a segurança dos pacientes e a conformidade regulatória, como estabelecido pelas RDC 509/2021 e RDC 751/2022 (ANVISA, 2021; ANVISA, 2022).

De acordo com a RDC 751/2022, os dispositivos médicos são classificados em quatro classes de risco, conforme **Tabela 2**:

Tabela 2 – Classificação de Equipamentos Médicos por Nível de Risco (Adaptado de ANVISA, 2022)

CLASSE	NÍVEL DE RISCO	EXEMPLOS DE EQUIPAMENTOS
Classe I	Baixo Risco	Estetoscópios e Cadeiras de rodas manuais
Classe II	Médio Risco	Monitores de pressão arterial e Equipamentos de ultrassonografia
Classe III	Alto Risco	Ventiladores pulmonares e Desfibriladores
Classe IV	Máximo Risco	Marcapassos cardíacos e Próteses valvares

Os equipamentos médicos são classificados em quatro categorias de acordo com o nível de risco associado ao seu uso, conforme a ANVISA (2022). A **Classe I** abrange dispositivos de baixo risco, como estetoscópios e cadeiras de rodas manuais, que apresentam menor potencial de causar danos. A **Classe II** inclui dispositivos de risco moderado, como monitores de pressão arterial e equipamentos de ultrassonografia. Na **Classe III**, estão os equipamentos de alto risco, destinados a situações de alta complexidade, como ventiladores pulmonares e desfibriladores. Por fim, a **Classe IV** compreende os dispositivos de máximo risco, como marcapassos cardíacos e próteses valvares, que exigem os mais altos níveis de segurança e controle devido ao impacto direto em funções vitais.

Além da classificação por risco, os equipamentos médicos podem ser organizados funcionalmente. Essa organização é representada pela pirâmide de classificação funcional, adaptada de EBSEH (2022), que categoriza os dispositivos de acordo com sua aplicação clínica. A pirâmide apresentada na **Figura 1** ilustra essa classificação, detalhando as categorias funcionais e seu papel na assistência à saúde.

Figura 1 – Categorização dos equipamentos de acordo com sua função (Adaptado de EBSEH, 2022)



Os equipamentos médicos podem ser categorizados de acordo com sua função em cinco principais grupos. O primeiro é o de **suporte à vida**, que abrange dispositivos essenciais para a preservação de funções vitais, como ventiladores pulmonares, cardioversores e aparelhos de anestesia. O segundo grupo é o de **terapia**, que inclui equipamentos destinados ao tratamento de condições patológicas, como bisturis elétricos, incubadoras, dispositivos de fototerapia e lasers.

O terceiro grupo é o de **diagnóstico**, composto por aparelhos que fornecem informações sobre a condição clínica do paciente, como monitores multiparâmetros, eletrocardiógrafos e equipamentos de imagem, como raios-X e ressonância magnética. O quarto grupo é o de **análise**, que abrange dispositivos laboratoriais utilizados para a análise de amostras, como centrífugas e microscópios. Por fim, há os **equipamentos de apoio**, que fornecem suporte técnico e operacional sem aplicação direta no paciente, como autoclaves e compressores.

A gestão adequada dos EMHs requer atenção especial à obsolescência e descarte. A RDC 509/2021 estabelece que dispositivos obsoletos devem ser identificados e substituídos, evitando riscos à saúde e interrupções no atendimento. Além disso, o descarte de equipamentos deve seguir diretrizes ambientais e sanitárias, como a Lei nº 6.360/1976, para minimizar impactos negativos (BRASIL, 1976; ANVISA, 2021).

Outro aspecto essencial é a tecnovigilância, que consiste no monitoramento contínuo de eventos adversos e problemas relacionados aos dispositivos médicos. Essa prática é fundamental para identificar riscos, garantir a rastreabilidade das ações e promover melhorias contínuas nos processos de gerenciamento. A RDC 509/2021 exige que todas as intervenções realizadas nos equipamentos, sejam elas preventivas, corretivas ou calibrações, sejam registradas de forma detalhada, assegurando a rastreabilidade e a transparência das ações (ANVISA, 2021).

Os equipamentos médico-hospitalares podem ser classificados como dispositivos médicos ativos, que dependem de uma fonte de energia para funcionamento, ou não ativos, que operam sem energia elétrica, como macas e cadeiras de rodas. Essa distinção é importante para o gerenciamento e manutenção dos equipamentos, influenciando diretamente a frequência de inspeções, necessidade de calibração e conformidade técnica exigida (ANVISA, 2023).

A integração da classificação funcional, baseada nas aplicações clínicas, com a classificação de risco, regulamentada pela Anvisa, permite uma abordagem robusta e eficaz no gerenciamento de equipamentos médico-hospitalares. Ao adotar práticas que priorizem a segurança, a rastreabilidade e a conformidade técnica, os estabelecimentos de saúde garantem um ambiente seguro para pacientes e profissionais, além de uma utilização otimizada dos recursos tecnológicos disponíveis.

2.1.2 INTERVENÇÕES TÉCNICAS

As intervenções técnicas em equipamentos médico-hospitalares referem-se a quaisquer atividades realizadas para reparar, calibrar, modificar ou atualizar os dispositivos, com o objetivo de garantir a segurança, o desempenho e a conformidade com as regulamentações

vigentes. Essas atividades são conduzidas por técnicos ou engenheiros especializados, devidamente habilitados, e seguem preceitos de boas práticas e planejamento adequado, conforme estabelecido pela NBR 15943/2011. O gerenciamento eficiente dessas intervenções é essencial para minimizar o tempo de inatividade dos equipamentos, proporcionando maior agilidade no serviço e segurança tanto para os operadores quanto para os pacientes.

Os responsáveis por assegurar o cumprimento dessas intervenções incluem os técnicos especializados, a empresa fabricante da tecnologia, o gestor do equipamento e o responsável indicado pelo Estabelecimento Assistencial de Saúde – EAS. Sempre que possível, as intervenções devem ser realizadas dentro do EAS, em um espaço apropriado e previamente designado para esse fim. Quando o equipamento está em período de garantia, cabe à empresa fabricante ou fornecedora a responsabilidade pela intervenção, conforme definido em contrato, devolvendo o dispositivo em perfeito estado de conservação e funcionamento. Ao gestor do EAS, compete monitorar todo o processo, desde a remoção e transporte da tecnologia até sua reativação, garantindo que as normas de segurança e desempenho sejam atendidas.

As intervenções técnicas demandam conhecimentos especializados para a verificação, análise e correção das características funcionais do equipamento. Durante o processo, deve-se observar os preceitos de segurança na movimentação e transferência do dispositivo, seja para manutenção interna ou externa ao EAS. Adicionalmente, devido ao contato habitual das tecnologias com materiais biológicos e químicos, é imprescindível realizar a desinfecção completa do equipamento antes de enviá-lo para manutenção, eliminando riscos para os profissionais e prevenindo a contaminação do ambiente de trabalho.

O espaço destinado às intervenções técnicas deve atender aos requisitos especificados pela NBR 15943/2011, incluindo instalações elétricas adequadas, iluminação e sistemas de climatização compatíveis com as recomendações do fabricante e com as regulamentações de conservação de tecnologias em saúde. O local também deve ser protegido contra a entrada de insetos, roedores e outros animais, garantindo a segurança do manuseio e conservação dos dispositivos.

Além disso, as intervenções técnicas devem ser realizadas sempre que o equipamento estiver inoperante ou com a tecnologia desatualizada, assegurando que ele só volte a operar após atender aos padrões de segurança e desempenho. Qualquer intervenção que possa afetar as características funcionais do dispositivo deve ser acompanhada de calibração e ajustes necessários para garantir sua conformidade com as normas técnicas e regulamentações aplicáveis.

Por fim, o acompanhamento constante das condições dos equipamentos, associado ao cumprimento das intervenções técnicas previstas, é indispensável para manter a confiabilidade e a eficácia das tecnologias de saúde, promovendo um ambiente seguro e eficiente nos serviços de assistência à saúde.

2.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA (MC)

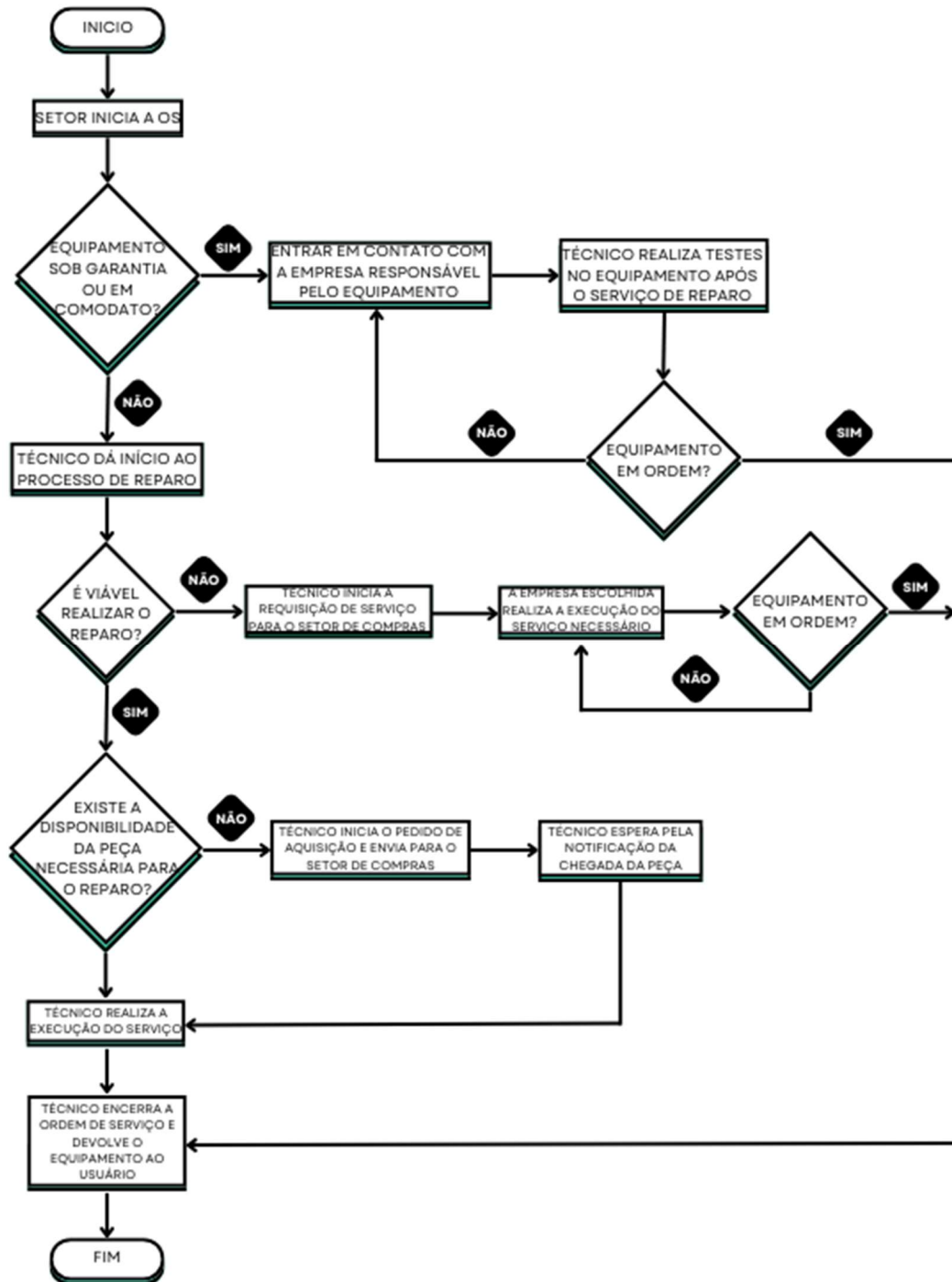
Conforme definida pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1994), a manutenção corretiva é realizada após a ocorrência de uma pane, visando restabelecer o item em condições adequadas para sua função. Essa modalidade corrige falhas ou desempenho insatisfatório e pode ser planejada, quando o reparo é programado, ou não planejada, quando ocorre de forma imediata diante de uma falha inesperada, conforme destacado por Kardec (2001) e Branco Filho (2008).

No entanto, uma organização que se baseia exclusivamente na MC enfrenta desafios significativos. Este método pode resultar na degradação dos equipamentos, aumentando os riscos à integridade das instalações, à segurança humana e à perda de produção (BRANCO FILHO, 2008; KARDEC, 2001). A manutenção corretiva, embora vital para corrigir falhas imprevistas, é mais eficaz quando combinada com outras estratégias, como a manutenção preventiva.

Segundo Pinto e Xavier (2001), a manutenção corretiva desempenha um papel crucial ao corrigir falhas ou garantir o desempenho ideal, intervindo quando um equipamento apresenta defeitos ou não opera conforme o previsto. Em essência, a função da manutenção corretiva é restabelecer as condições ideais de funcionamento dos Equipamentos Médico-Hospitalares (EMH).

Dessa forma, enquanto a manutenção corretiva é indispensável para resolver problemas imediatos, sua eficácia é maximizada quando integrada a abordagens proativas, como a manutenção preventiva. A combinação dessas estratégias não apenas corrige falhas, mas também visa prevenir problemas futuros, assegurando um ambiente operacional mais seguro, confiável e eficiente. A seguir, é possível observar um fluxograma (**Figura 2**) como sugestão para a realização da manutenção corretiva dos equipamentos médicos.

Figura 2 – Fluxograma da rotina da Manutenção Corretiva (Adaptado de AZEVEDO, 2010)



2.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA (MP)

A manutenção preventiva (MP) é uma abordagem sistemática voltada à prevenção de falhas em equipamentos, antecipando problemas antes de sua manifestação. Envolve atividades programadas, como inspeção visual e mecânica, limpeza, lubrificação, ajustes e calibrações, realizadas em intervalos predefinidos (HIRAIWA, 2001). Ao contrário da manutenção

corretiva, que ocorre de forma emergencial e geralmente apresenta custos mais elevados, a MP busca prolongar a vida útil dos equipamentos e reduzir a necessidade de substituições ou interrupções não programadas. Baseia-se nas experiências da equipe de manutenção e nas recomendações dos fabricantes, orientando-se para preservar a confiabilidade e o desempenho dos dispositivos (FERREIRA, 2001; HIRAIWA, 2001).

De acordo com a ABNT (1994), a MP deve ser executada em intervalos definidos ou conforme critérios específicos, com o objetivo de reduzir a probabilidade de falhas ou a degradação do funcionamento de um item. Essa estratégia atua de forma proativa, promovendo a substituição de componentes desgastados e a realização de atividades como revisões periódicas, troca de óleo, lubrificação e pequenos ajustamentos (ISHAK; ALIAS, 2005).

A manutenção preventiva é considerada fundamental para garantir o desempenho eficaz dos equipamentos, evitando paradas não programadas, reduzindo custos com reparos emergenciais e contribuindo para a segurança e qualidade dos serviços prestados (KARDEC, 2001). Seu sucesso depende de um planejamento criterioso dos intervalos entre as intervenções, de modo a otimizar a eficiência do processo sem causar paradas desnecessárias ou substituição prematura de peças (BRANCO FILHO, 2008).

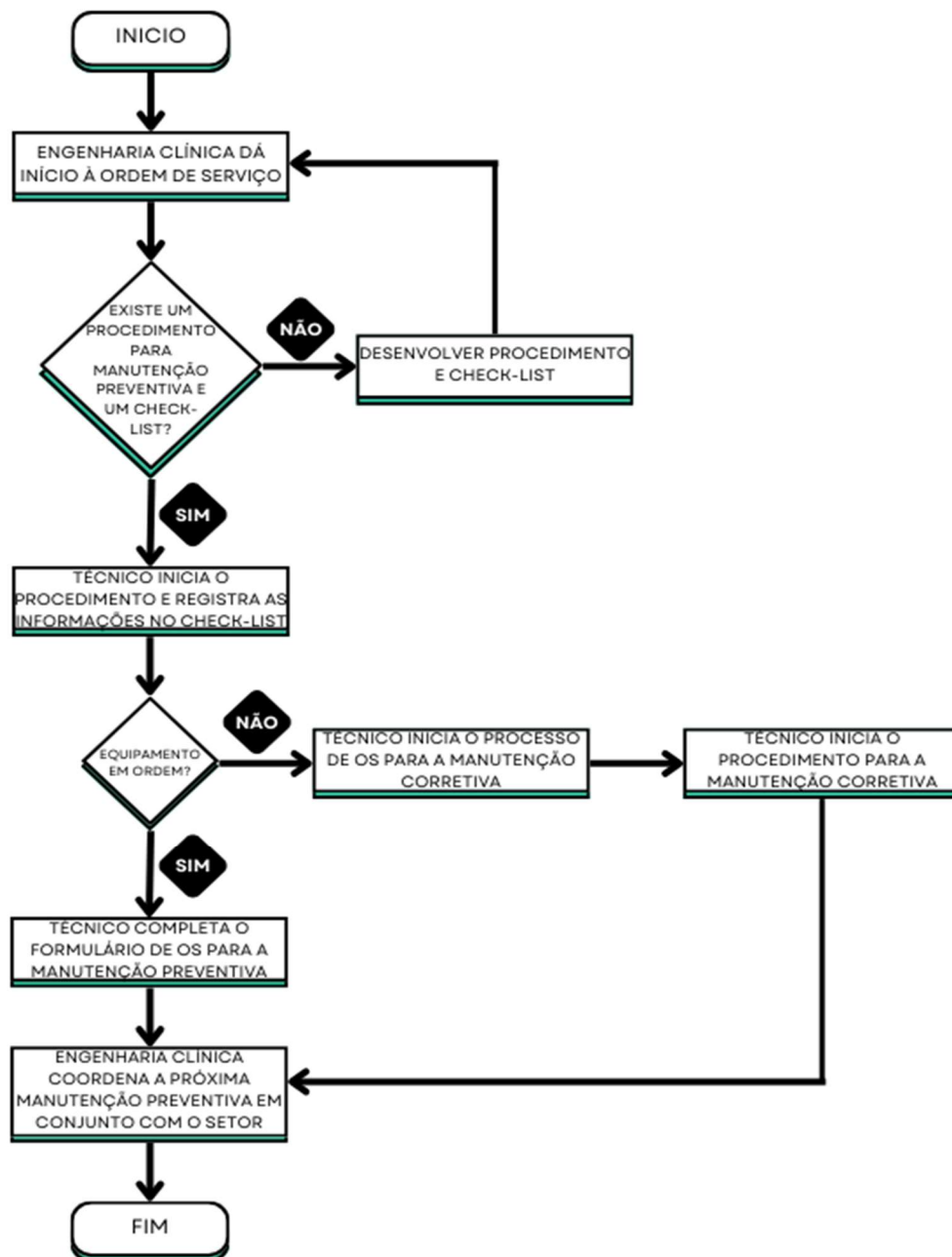
A complexidade dos equipamentos hospitalares exige que estes sejam submetidos a constantes manutenções preventivas, reparações e substituições de peças. Assim, é essencial que as instituições invistam em ferramentas que promovam melhor gerenciamento e controle das atividades de manutenção, assegurando maior qualidade e durabilidade dos equipamentos. Além de aumentar a capacidade operacional, essa prática contribui para um serviço mais eficiente, evitando gastos fora do orçamento e comprometimentos no funcionamento hospitalar (DOS SANTOS; BAUER, 2022).

O foco em uma boa gestão dos equipamentos médico-hospitalares está na prevenção da interrupção de funcionamento dos aparelhos, diminuindo o tempo de inatividade, os custos de mão de obra e prolongando sua vida útil. Inspeções e testes periódicos realizados dentro dos programas de manutenção preventiva são de grande relevância para garantir a qualidade dos serviços de saúde, já que equipamentos fora de operação geram altos custos, tanto sociais quanto financeiros (LUCATELLI, 1998).

Dessa forma, a prática da manutenção preventiva não apenas preserva a integridade e confiabilidade dos ativos, antecipando potenciais falhas, mas também promove significativa redução dos custos associados a intervenções corretivas emergenciais. A implementação criteriosa de programas preventivos, respaldada pela expertise da equipe técnica e pelas

orientações dos fabricantes, prolonga a vida útil dos equipamentos, assegura a segurança operacional e mantém a consistência na qualidade dos resultados obtidos. Essa abordagem constitui um pilar essencial na gestão eficaz das tecnologias em saúde, contribuindo para a eficiência operacional e a sustentabilidade a longo prazo das instituições hospitalares. A seguir, apresenta-se uma sugestão de fluxograma (**Figura 3**) para a realização da manutenção preventiva dos equipamentos médicos.

Figura 3 – Fluxograma de Manutenção Preventiva (Adaptado de AZEVEDO, 2010)



2.4 CALIBRAÇÃO (CAL)

A calibração, conforme definida pelo Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO, 2012), é uma operação que, sob condições específicas, estabelece uma relação entre os valores e as incertezas de medição fornecidos por padrões e as correspondentes indicações, utilizando essa relação para obter resultados de medição a partir dessas indicações. De forma complementar, o *International Vocabulary of Metrology* (JCGM 200:2012) define calibração como o processo que estabelece a relação entre o valor de uma quantidade indicada por um padrão de medida e a correspondente indicação de um instrumento ou sistema de medição, incluindo a determinação das incertezas associadas.

Segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia – Conceitos Básicos e Gerais e Termos Associados (VIM), a calibração compreende:

“Conjunto de operações que, sob condições especificadas, estabelece a relação entre os valores indicados por um instrumento ou sistema de medição e os valores correspondentes estabelecidos por padrões.”

Esses padrões servem como referência para uma grandeza específica, garantindo rastreabilidade metrológica e permitindo o ajuste e a correção de outros padrões, instrumentos ou sistemas de medição.

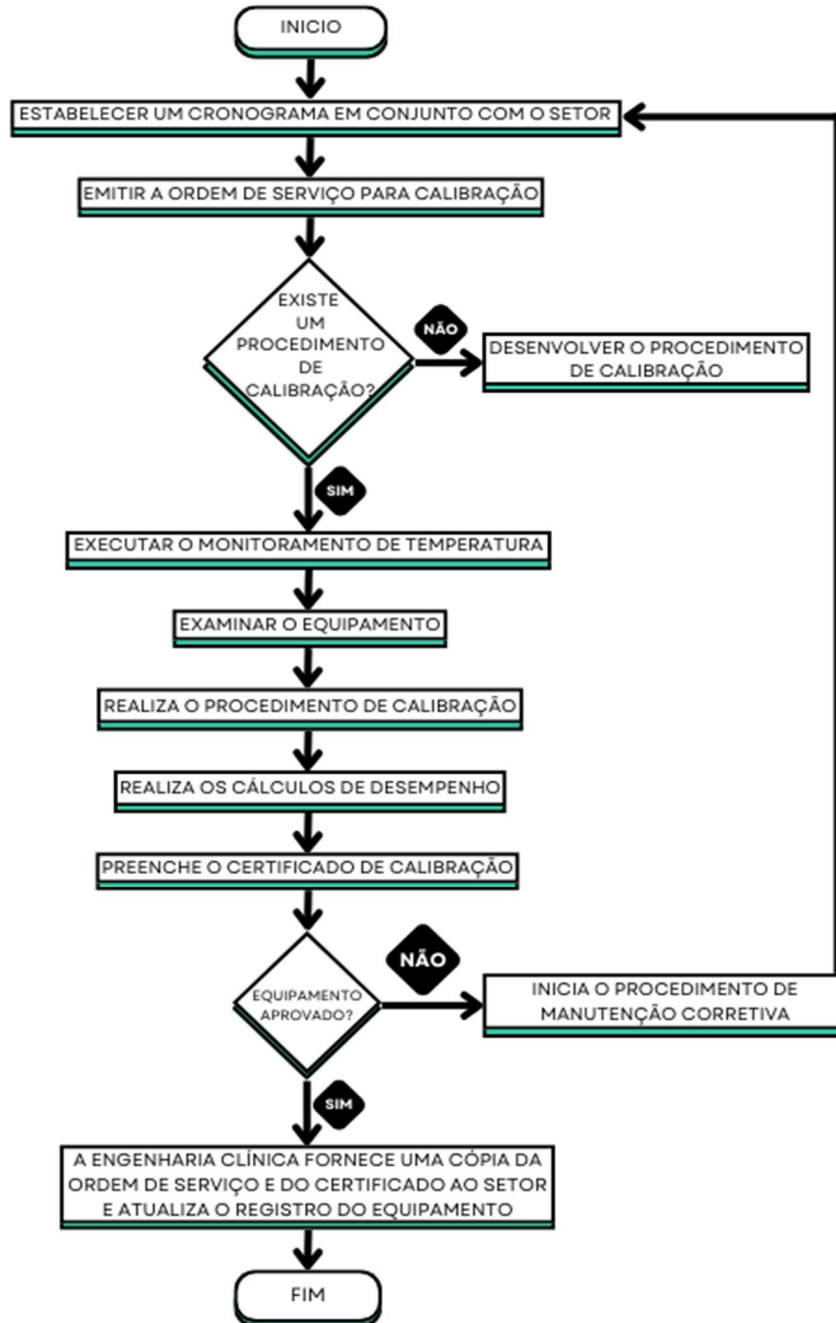
De acordo com Campos (2015), a calibração tem como objetivo determinar o erro e a incerteza de medição associada a um instrumento, por meio da comparação com um padrão de referência. O autor ressalta que calibração não é sinônimo de ajuste, mas sim um processo de comparação que fornece informações sobre a exatidão e o desempenho do equipamento.

A necessidade de realizar calibrações adequadas está relacionada à avaliação dos erros máximos admissíveis definidos para cada tipo de instrumento de medição. Para isso, é essencial que os laboratórios de calibração estabeleçam a Capacidade de Medição e Calibração (CMC) de maneira coerente e referenciada em documentos normativos válidos e atualizados, conforme destacado por Beckert e Andrade (2017).

Em termos práticos, a calibração é uma medida indispensável para assegurar a confiabilidade e rastreabilidade dos instrumentos utilizados em serviços de saúde. O resultado desse procedimento é registrado em um certificado de calibração ou relatório de calibração, que comprova a conformidade metrológica do equipamento. Embora a ABNT (2005) não estabeleça uma periodicidade fixa para a realização das calibrações, a norma enfatiza que os intervalos devem ser definidos de modo a garantir a manutenção da conformidade com os

requisitos técnicos e regulatórios aplicáveis. A seguir, apresenta-se uma sugestão de fluxograma (Figura 4) para o procedimento de calibração dos equipamentos médicos.

Figura 4 – Fluxograma de Calibração (Adaptado de AZEVEDO, 2010)



2.5 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

Segundo a Federação Brasileira de Hospitais (2014), um dos setores que mais recebe investimentos atualmente no Brasil é a área hospitalar, onde diversos equipamentos são

adquiridos todos os anos para manter os hospitais em pleno funcionamento, possibilitando prestar um serviço eficiente aos pacientes.

Moura e Viriato (2008) retratam que o controle de qualidade no gerenciamento dos equipamentos hospitalares é uma etapa fundamental que faz parte da engenharia de manutenção e consiste na utilização de padrões para medir seu desenvolvimento. Os técnicos têm uma função imprescindível na manutenção, mantendo o cuidado e zelo pelo estado de conservação dos equipamentos, com a realização de limpezas, descontaminação etc.

Neste sentido, é necessário que se tenha um gerenciamento adequado da manutenção desses equipamentos utilizando a engenharia como forma de ajustes da funcionalidade dos equipamentos e as peças adequadas, conhecendo o nível de importância de cada um nos procedimentos, as características de fabricação e o tempo de vida útil, o que permite realizar um mapeamento da frequência com que cada um desses equipamentos quebra e partir dessas informações, montar um plano de ação para evitar falhas futuras.

A engenharia de manutenção é uma disciplina técnica e gerencial que organiza e executa as atividades necessárias para garantir o desempenho, a segurança e a confiabilidade dos equipamentos médico-hospitalares (EMH). No contexto de saúde, sua aplicação é indispensável para assegurar que os dispositivos estejam sempre em conformidade com os padrões normativos e atendam às exigências regulatórias estabelecidas por documentos como a RDC 509/2021 e a NBR 15943/2011.

O foco da engenharia de manutenção em saúde vai além da simples correção de falhas, promovendo uma abordagem preventiva e estratégica. Ela integra práticas como manutenção preditiva, preventiva e corretiva, além de calibração e monitoramento contínuo dos equipamentos. Também é responsável pelo planejamento da manutenção corretiva, pelo Planejamento e Controle da Manutenção (PCM), bem como pela análise de indicadores de desempenho e de eventos adversos. Essa atuação busca reduzir o tempo de inatividade dos equipamentos, aumentar sua durabilidade e garantir a segurança do paciente, por meio da elaboração de um plano de manutenção, do planejamento detalhado das ações e do controle sistemático das intervenções realizada.

2.5.1 PLANO DE MANUTENÇÃO

O plano de manutenção é o documento que orienta todas as atividades relacionadas à manutenção dos equipamentos médico-hospitalares. Ele é estruturado com base nas recomendações dos fabricantes e pelo histórico do equipamento, na criticidade dos dispositivos e nas condições de uso. Equipamentos classificados críticos, como ventiladores pulmonares,

monitores multiparâmetros e aparelhos de anestesia, recebem atenção prioritária, conforme estipulado pela RDC 509/2021.

De acordo com a NBR 15943/2011, o plano de manutenção deve conter:

- **Cronogramas de Manutenção Preventiva:** Estabelece intervalos regulares para inspeções, ajustes e calibrações, com o objetivo de evitar falhas inesperadas.
- **Testes Funcionais e Calibrações:** Verificações específicas para garantir que os equipamentos operem dentro dos padrões técnicos exigidos.
- **Histórico de Manutenção:** Registra todas as intervenções realizadas, incluindo correções de falhas, trocas de componentes e inspeções técnicas.

A criação de um plano de manutenção robusto permite que os estabelecimentos antecipem possíveis falhas e otimizem a utilização de recursos, evitando gastos excessivos com manutenções emergenciais. Além disso, o plano deve ser revisado e atualizado regularmente, considerando as mudanças tecnológicas e o histórico de desempenho dos dispositivos.

2.5.2 PLANEJAMENTO DA MANUTENÇÃO

O planejamento da manutenção é a etapa operacional que organiza as ações descritas no plano de manutenção, garantindo que sejam executadas de forma eficiente e dentro dos prazos estabelecidos. Essa fase envolve a alocação de recursos, a definição de responsabilidades e a coordenação das equipes técnicas para que as atividades de manutenção sejam realizadas sem interferir nos serviços assistenciais. Conforme os princípios da NBR ISO 55000/2014 e da NBR 15943/2011, o planejamento da manutenção deve incluir:

- **Priorização de Equipamentos Críticos:** Identificar dispositivos cuja falha pode comprometer a segurança do paciente ou o fluxo hospitalar, como bombas de infusão e ventiladores.
- **Gestão de Recursos:** Garantir a disponibilidade de peças de reposição, ferramentas e infraestrutura adequada para as intervenções técnicas.
- **Integração com as Rotinas Clínicas:** Programar as manutenções em horários que minimizem os impactos nas operações clínicas, evitando atrasos em procedimentos essenciais.

Um planejamento eficiente diminui o tempo de inatividade dos equipamentos, otimiza a alocação de recursos financeiros e humanos e aumenta a confiabilidade nos serviços oferecidos. Além disso, essa etapa contribui para identificar necessidades de treinamento,

garantindo que os profissionais estejam devidamente capacitados para lidar com as complexidades das tecnologias em saúde.

2.5.3 CONTROLE DA MANUTENÇÃO

O controle da manutenção é uma etapa fundamental que envolve o monitoramento, registro e avaliação de todas as atividades realizadas nos equipamentos, garantindo que estas estejam alinhadas com o plano de manutenção e em conformidade com as normas técnicas vigentes. Esse processo não apenas assegura o histórico detalhado de intervenções, mas também permite uma análise sistemática do desempenho dos equipamentos ao longo do tempo. Por meio da identificação de tendências de falhas e padrões recorrentes, o controle da manutenção possibilita a implementação de ações preventivas e corretivas mais eficazes, além de contribuir para a otimização dos recursos e para a segurança dos usuários. Essa abordagem sistemática promove a melhoria contínua dos processos e fortalece a confiabilidade dos serviços prestados.

Segundo a RDC 509/2021 e a NBR 15943/2011, o controle da manutenção deve incluir:

- **Registros Detalhados:** Documentação completa de todas as ações realizadas, incluindo data, tipo de intervenção, falhas identificadas, peças substituídas e resultados obtidos.
- **Indicadores de Desempenho:** Monitoramento de métricas como taxa de falhas, custo de manutenção por equipamento, tempo médio entre falhas (MTBF) e tempo médio para reparo (MTTR).
- **Auditorias Internas:** Revisão periódica das práticas de manutenção para garantir conformidade com as regulamentações e identificar áreas que podem ser aprimoradas.
- **Integração com Sistemas de Gestão:** Uso de sistemas informatizados para gerenciar dados de manutenção, facilitando a análise e a tomada de decisões estratégicas.

O controle eficaz da manutenção não apenas assegura a funcionalidade dos equipamentos, mas também contribui para a conformidade regulatória e para a segurança dos pacientes e profissionais. Além disso, ele permite que os gestores identifiquem tendências, como dispositivos que frequentemente apresentam problemas, e tomem decisões embasadas para substituição ou atualização de tecnologias.

2.6 EVENTOS ADVERSOS E TECNOVIGILÂNCIA

A tecnovigilância é um sistema de vigilância voltado à segurança das tecnologias em saúde, com foco no monitoramento contínuo da eficácia e dos riscos associados aos equipamentos médicos após sua comercialização e uso. Seu principal objetivo é identificar,

avaliar e mitigar os riscos decorrentes do uso de dispositivos médicos, como instrumentos cirúrgicos, equipamentos de diagnóstico, próteses e aparelhos de suporte à vida. Com o avanço tecnológico e a diversificação crescente desses dispositivos, a tecnovigilância tem se tornado essencial para assegurar a segurança e a qualidade dos serviços de saúde.

De acordo com a RDC/Anvisa nº 551/2021, é responsabilidade dos estabelecimentos de saúde manter processos estruturados de identificação, registro e análise de eventos adversos, visando reduzir a ocorrência de falhas relacionadas às tecnologias utilizadas. Quando um evento adverso ocorre, é imprescindível que seja notificado à ANVISA, à gestão do Estabelecimento Assistencial de Saúde (EAS) e, quando necessário, aos fornecedores, garantindo que todas as partes envolvidas tenham ciência do problema e adotem medidas corretivas.

No âmbito hospitalar, o gestor de risco é responsável por coordenar o processo de investigação e propor as ações corretivas necessárias. A notificação de não conformidade pode ser realizada por qualquer colaborador, mas deve ser encaminhada ao gestor de risco ou ao responsável técnico, que avaliará o ocorrido e determinará as providências cabíveis. Nos casos em que o problema estiver relacionado a falhas operacionais, recomenda-se a realização de treinamentos com os usuários, assegurando a correção das causas e a prevenção de novas ocorrências.

A tecnovigilância também desempenha papel estratégico na gestão de equipamentos médico-hospitalares, pois possibilita a identificação de tendências e padrões de falhas que orientam ações preventivas e educativas. No contexto deste trabalho, os princípios da tecnovigilância foram aplicados à análise das falhas operacionais observadas nos aparelhos de anestesia, apresentada no Capítulo 5, servindo de base para a elaboração do fluxograma de diagnóstico proposto. Essa aplicação reforça o papel da tecnovigilância não apenas como ferramenta de segurança, mas também como meio de promover **eficiência operacional** — reduzindo o tempo de inatividade dos equipamentos —, **eficiência técnica**, ao otimizar o uso dos recursos da engenharia clínica, e **eficiência assistencial**, ao garantir maior continuidade e segurança durante os procedimentos anestésicos.

CAPÍTULO 03 – APARELHOS DE ANESTESIA

Este capítulo analisa os aparelhos de anestesia em três dimensões essenciais: (1) evolução histórica, desde os primeiros modelos até as modernas estações de trabalho digitalizadas; (2) arquitetura tecnológica, detalhando componentes críticos como vaporizadores, circuitos respiratórios e sistemas de monitoramento; e (3) modos de falha operacional, com ênfase em vazamentos, erros de calibração e falhas eletrônicas que impactam a segurança do paciente.

3.1 EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA

A progressão dos dispositivos de anestesia reflete o avanço constante da ciência e da tecnologia, sempre voltados à segurança e à eficácia dos procedimentos médicos. Desde as primeiras experiências com éter no século XIX, os aparelhos de anestesia passaram por diversas transformações, evoluindo de dispositivos simples para sistemas complexos e multifuncionais. Inicialmente restritos à administração manual de anestésicos, com o tempo incorporaram recursos de ventilação assistida, monitoramento de sinais vitais e controle preciso de gases anestésicos, elevando o nível de segurança e eficiência nos procedimentos (FONSECA, 2006; FORNAZIER *et al.*, 2012; MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2002).

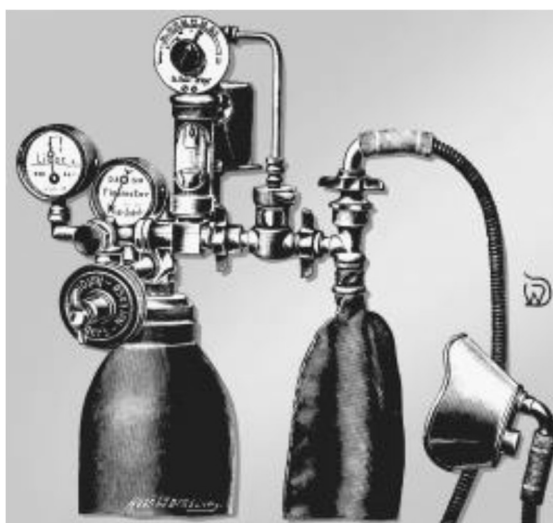
Entre os fabricantes que mais contribuíram para essa evolução, destaca-se a Dräger, fundada em 1889 na Alemanha, responsável por desenvolver um dos primeiros sistemas integrados de anestesia com ventilação mecânica e controle automatizado de fluxos gasosos. Suas inovações estabeleceram um novo padrão de qualidade e confiabilidade na área, sendo amplamente adotadas em hospitais de alta complexidade. Outros fabricantes também desempenharam papel relevante nesse processo, como a Penlon, no Reino Unido, pioneira em vaporizadores de precisão; a GE Healthcare, que incorporou sistemas digitais de monitoramento aos aparelhos modernos; e a K. Takaoka, empresa brasileira reconhecida por produzir equipamentos robustos e adaptados às realidades hospitalares nacionais.

Cada avanço tecnológico promoveu melhorias significativas na segurança, eficiência e precisão dos procedimentos anestésicos. A contínua modernização desses dispositivos consolidou-os como ferramentas essenciais na prática médica contemporânea, contribuindo para a redução de riscos, o aumento da confiabilidade e o aperfeiçoamento do controle dos parâmetros vitais durante o ato anestésico.

Para compreender a relevância da anestesiologia moderna, é fundamental considerar os eventos históricos e tecnológicos que impulsionaram o desenvolvimento desses equipamentos e a consolidação de fabricantes de referência no setor. A seguir, são apresentados os marcos cronológicos que evidenciam essa evolução, destacando como as inovações transformaram os aparelhos de anestesia em sistemas essenciais à segurança do paciente.

- **1846 – 1903:** A primeira cirurgia com anestesia geral ocorreu em 1846, sob a direção do dentista William Thomas Green Morton. Ele utilizou éter administrado através de um inalador que ele mesmo inventou (REZENDE, 2009). Este acontecimento marcou o começo da anestesia moderna e destacou a importância do controle das substâncias anestésicas. Em 1902, foi criado o **Handapparat 145 N**, também conhecido como **Roth-Dräger**, composto por um conta-gotas de clorofórmio, uma válvula reguladora e uma máscara de respiração, conforme ilustrado na **Figura 5**. Em 1903, o conta-gotas para éter foi introduzido, expandindo sua aplicabilidade em diversas cirurgias ao possibilitar combinações com clorofórmio e oxigênio (DRÄGERWEK, s/d).

Figura 5 – Handapparat 145 N ou Roth-Dräger



Fonte: http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Generic/UK/Booklets/4212-Br-History-of-Anaesthesia_A5_en_191212-LR.pdf

- **1911 – 1912:** Heinrich e Bernhard, sob a orientação do Doutor Otto Roth, desenvolveram o **Roth-Dräger-Krönig** em 1911, visando diferenciar a ventilação da anestesia. Este dispositivo, apresentado na **Figura 6**, possibilitava ao anestesista interromper a aplicação de anestesia em caso de complicações, mantendo simultaneamente a ventilação com alto teor de oxigênio. Ele tinha ventilação mecânica artificial e dois cilindros de oxigênio: um para anestesia e outro para ventilação. Depois

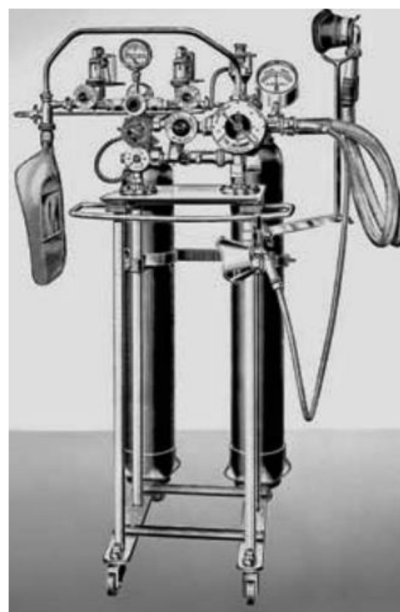
de um ano de pesquisas, o **Dräger-Kombi**, um marco mundial, foi lançado em 1912. Ele combinava anestesia mista (clorofórmio e éter) com ventilação mecânica positiva. Este modelo, ilustrado na **Figura 7**, implementou uma válvula seletora que possibilitava a mudança entre ventilação e anestesia, definindo novos padrões de segurança e funcionalidade em equipamentos anestésicos (DRÄGERWERK, s/d).

Figura 6 – Roth-Dräger-Krönig



Fonte: LOURENÇO (2017, p. 5)

Figura 7 – Dräger-Kombi



Fonte:

http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Generic/UK/Booklets/4212-Br-History-of-Anaesthesia_A5_en_191212-LR.pdf

- **1925 – 1926:** O aparelho **Narcylene** (1925), apresentado na **Figura 8**, foi o pioneiro a incluir um circuito fechado que remove o CO₂ através de cal sodada. Contudo, a utilização do gás acetileno como agente anestésico foi interrompida devido ao elevado risco de explosão ligado ao seu uso como anestésico, devido à sua alta inflamabilidade e potencial explosivo. Em 1926, o **Modelo A**, ilustrado na **Figura 9**, apresentou progressos notáveis, como aprimoramento dos circuitos fechados, controle acurado dos gases anestésicos e a habilidade de eliminar parcialmente ou totalmente o dióxido de carbono (CO₂), sendo amplamente empregado por mais de duas décadas (DRÄGERWERK, s/d).

Figura 8 – Narcylene



Figura 9 – Modelo A



Fonte: http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Generic/UK/Booklets/4212-Br-History-of-Anaesthesia_A5_en_191212-LR.pdf

- **Década de 1930 – 1935:** Os primeiros trabalhos do Dr. Tiegel-Dräger surgiram durante esse período. O modelo **Dr. Tiegel-Dräger**, ilustrado na **Figura 10**, usava vaporização de éter a 60°C para minimizar efeitos colaterais, e o modelo **MÜ type** (1935), também apresentado na **Figura 11**, foi projetado para cirurgias torácicas abertas, incorporando um sistema de pressão positiva e uma oscilação reduzida entre inspiração e expiração, melhorando significativamente a administração da anestesia (DRÄGERWERK, s/d).

Figura 10 – Dr. Tiegel-Dräger

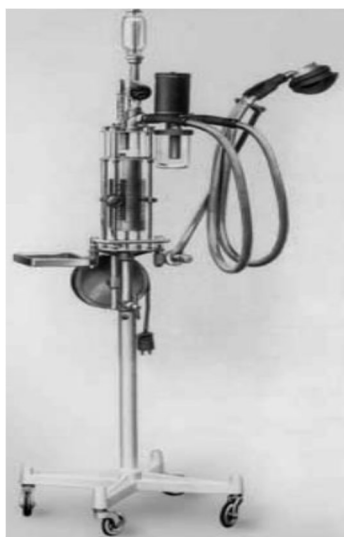


Figura 11 – MÜ type



Fonte: http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Generic/UK/Booklets/4212-Br-History-of-Anaesthesia_A5_en_191212-LR.pdf

- **1946 – 1948:** No pós-guerra, o **Modelo D** (1946), apresentado pela **Figura 12**, foi criado para atender à elevada demanda cirúrgica, proporcionando recursos simplificados e um painel informativo revolucionário, que ajudava os anestesistas a controlarem os parâmetros durante as operações. O **Modelo F** (**Figura 13**), introduzido em 1948, introduziu rotômetros que possibilitavam um controle mais exato do fluxo de gases anestésicos, além de um circuito fechado removível, que simplificava a limpeza e esterilização, diminuindo as chances de contaminação. Este modelo incluiu a aspiração pulmonar, estabelecendo o circuito fechado como norma na prática da anestesia (DRÄGERWERK, s/d).

Figura 12 – Modelo D



Figura 13 – Modelo F



Fonte: http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Generic/UK/Booklets/4212-Br-History-of-Anaesthesia_A5_en_191212-LR.pdf

- **1950 – 1952:** O **Modelo G** (1950), ilustrado na **Figura 14**, foi uma versão compacta e inovadora, adaptável a diversos gases anestésicos e com maior versatilidade para diferentes demandas cirúrgicas. Destacou-se pela simplicidade de operação e integração com diversas configurações. Já em 1952, o **Modelo Romulus** (**Figura 15**) surgiu para melhorar a eficiência operacional, com ajustes rápidos e personalizados para cada procedimento. Paralelamente, o Pulmomat, um ventilador pulmonar acoplável, ampliou a eficiência em cirurgias complexas, proporcionando ventilação assistida confiável, especialmente em pacientes críticos, marcando uma nova era na anestesiologia (DRÄGERWERK, s/d).

Figura 14 – Modelo G



Figura 15 – Modelo Romulus



Fonte: http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Generic/UK/Booklets/4212-Br-History-of-Anaesthesia_A5_en_191212-LR.pdf

- **1956 – 1960:** Em 1956, foi desenvolvido o **Fabius**, um aparelho portátil de anestesia projetado para uso hospitalar e atendimento de emergências, com sistema de círculo ajustável (aberto ou fechado) e opção de ventilação com ar ambiente, embora pouco utilizada devido ao risco de complicações por falta de controle preciso dos gases. Entre 1958 e 1960, o halotano, um agente anestésico mais seguro que o éter, foi introduzido, acompanhado por um vaporizador específico com bloco de cobre, garantindo concentrações precisas de vapor (0,3 a 12 L/min) em combinação com oxigênio. Em 1959, surgiu o **Spiromat 5000 (Figura 16)**, que integrava eletricidade para controle de gases e ventilação, com ajustes de volume (50 a 1000 ml), frequência ventilatória (10 a 40 ciclos/min) e pressão de 45 milibar, ideal para cirurgias complexas. Em 1960, foi lançado o **Tiberius (Figura 17)**, um equipamento com vaporizadores em série e armazenamento integrado para acessórios, destacando-se pela praticidade e organização (DRÄGERWERK, s/d).

Figura 16 – Spiromat 5000



Figura 17 – Tiberius



Fonte: http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Generic/UK/Booklets/4212-Br-History-of-Anaesthesia_A5_en_191212-LR.pdf

- **Década de 60:** Surgiu a tendência de realizar a indução e recuperação anestésica em salas separadas, levando à criação de uma central de anestesia específica para a sala de indução, composta por acessórios como vaporizador, fluxômetro, máscara e absorvedor de CO₂ (cal sodada) para circuito fechado. Esses acessórios, ilustrados na **Figura 18**, foram acoplados na parede, dando origem ao primeiro aparelho de anestesia de parede. Com essa inovação, o oxigênio e o óxido nitroso passaram a ser distribuídos por uma linha de gás hospitalar, eliminando os cilindros que anteriormente acompanhavam os equipamentos. Em 1966, foi desenvolvido o **Spiromat 650**, representado na **Figura 19**, que reunia todos os avanços em anestesia até então, com melhorias significativas na ventilação. Apesar de ser maior que outros aparelhos da época, era o mais completo, possuindo vaporizadores por pressão que podiam ser trocados conforme a necessidade. Este modelo era compatível com todos os gases anestésicos descobertos até então e utilizava um sistema fechado com cal sodada para absorção de CO₂. A ventilação podia ser controlada manual ou eletricamente, com volumes ajustáveis entre 20 e 1500 ml, adequados para crianças e adultos. O equipamento consolidou-se como o mais avançado de sua época, contendo quase todas as funcionalidades presentes nos modernos aparelhos de anestesia (DRÄGERWERK, s/d).

Figura 18 – Anestesia de Parede

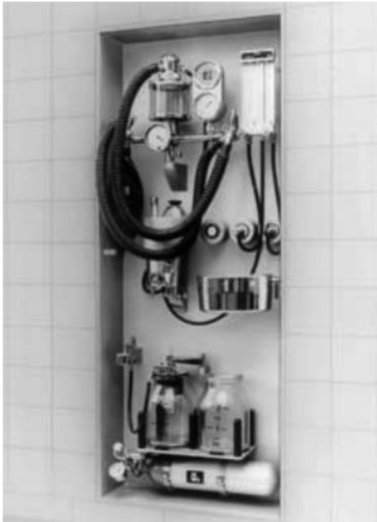


Figura 19 – Spiromat 650



Fonte: http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Generic/UK/Booklets/4212-Br-History-of-Anaesthesia_A5_en_191212-LR.pdf

- **1988:** Foi lançado o **Cicero**, ilustrado na **Figura 20**, marcando a era das estações de trabalho de anestesia integradas. Este equipamento revolucionou a prática médica ao unir, em um único sistema, a dosagem de gases anestésicos, ventilação e monitoramento de parâmetros hemodinâmicos e respiratórios. O Cicero introduziu a ventilação por pistão, com vantagens sobre a ventilação por fole, e foi projetado para operar com agentes anestésicos modernos, como o isoflurano e o desflurano, consolidando-se como um marco na anestesiologia (DRÄGERWERK, s/d).

Figura 20 – Cicero



Fonte: LOURENÇO (2017, p. 9).

- **Século XXI:** Com o desenvolvimento de aparelhos cada vez mais modernos, os carrinhos de anestesia passaram a incorporar ventilação a pistão e alta precisão, reduzindo riscos para pacientes neonatais e adultos e consolidando o uso de sistemas digitais na anestesiologia (DRÄGERWERK, s/d).

Ao longo da história, ficou evidente que os aparelhos de anestesia tiveram um papel crucial no progresso da medicina, se ajustando à crescente complexidade dos procedimentos cirúrgicos. Essas inovações tecnológicas não só satisfaziam as necessidades de cada período, como também se estabeleceram como componentes essenciais para a segurança e o êxito dos procedimentos, assegurando o conforto dos pacientes.

Neste estudo, embora a análise prática seja fundamentada no modelo **Takaoka SAT 500**, optou-se por apresentar a linha do tempo da Dräger devido à sua significativa contribuição para o progresso da tecnologia anestésica e à escassez de dados documentados sobre a história da Takaoka. A cronologia da Dräger oferece um panorama valioso para compreender como os avanços tecnológicos globais influenciaram o desenvolvimento de equipamentos em diferentes mercados. Apesar de a cronologia focar nos progressos da Dräger, o Takaoka SAT 500 reflete tendências semelhantes da anestesiologia contemporânea, como a ventilação a pistão, o monitoramento preciso de parâmetros vitais e a capacidade de incorporar inovações destacando-se como um equipamento projetado para atender às especificidades do mercado nacional.

3.2 TECNOLOGIAS ATUAIS

Os aparelhos de anestesia modernos incorporam avanços tecnológicos que transformaram a prática médica, proporcionando maior segurança e eficiência nos procedimentos cirúrgicos (PEREIRA; IÓRIO, 2015). O Takaoka SAT 500 é um exemplo de equipamento que reflete essas inovações, apresentando tecnologias que atendem às demandas dos centros cirúrgicos e unidades de terapia intensiva. O modelo incorpora recursos de precisão, conectividade e automação, características que contribuem para a execução segura e controlada de procedimentos anestésicos em ambientes de alta complexidade.

Entre suas principais inovações, destaca-se o uso de tecnologias voltadas para o controle exato dos fluxos de gases e a administração precisa de agentes anestésicos. Essas funcionalidades são aliadas a sistemas de monitoramento multiparâmetros integrados, que permitem a visualização em tempo real de sinais vitais e a configuração de alarmes personalizados, garantindo maior segurança ao paciente. A conectividade do equipamento

também possibilita a integração com redes hospitalares, otimizando a gestão de informações e facilitando o acompanhamento clínico.

Adicionalmente, o SAT 500 incorpora recursos avançados de ventilação automatizada, projetados para atender a pacientes neonatais, pediátricos e adultos. Essas tecnologias utilizam algoritmos sofisticados para ajustar os parâmetros respiratórios de acordo com as necessidades específicas de cada paciente, reduzindo a necessidade de intervenção manual e garantindo maior precisão e segurança nos ciclos ventilatórios (K. TAKAOKA, 2009a e 2009b).

Os detalhes sobre os componentes que integram o SAT 500, como o rotâmetro, o filtro SIVA 3400, o ventilador (módulo eletrônico e pneumático) e o vaporizador Delta Sigma, serão abordados no tópico 3.4 – Partes constituintes, com uma análise mais aprofundada sobre sua estrutura e funcionamento.

3.3 PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO

Os aparelhos de anestesia operam por meio da integração de sistemas pneumáticos e eletrônicos que garantem a administração controlada de gases anestésicos, a ventilação adequada do paciente e o monitoramento contínuo dos parâmetros respiratórios. O funcionamento do SAT 500, por exemplo, baseia-se em mecanismos precisos de regulação da mistura de gases, vaporização dos anestésicos e controle ventilatório, assegurando um alto nível de segurança e eficiência durante os procedimentos anestésicos (K. TAKAOKA, 2009a e 2009b).

O processo inicia-se com o suprimento de gases medicinais, como oxigênio (O_2), óxido nitroso (N_2O) e ar comprimido, que podem ser fornecidos por cilindros ou pela rede hospitalar. Esses gases passam por reguladores de pressão e são direcionados ao rotâmetro, onde seu fluxo é ajustado conforme a necessidade do procedimento. Um dos principais mecanismos de segurança do aparelho é o sistema Servomático, que impede a administração de N_2O sem a presença de O_2 , prevenindo riscos de hipóxia. Após a regulação do fluxo, os gases seguem para o vaporizador, onde são misturados com agentes anestésicos voláteis, como sevoflurano e isoflurano. O vaporizador Delta Sigma, utilizado no SAT 500, é projetado para garantir a estabilidade da concentração do anestésico, independentemente das variações de fluxo e temperatura (K. TAKAOKA, 2009a e 2009b).

Uma vez preparada, a mistura gasosa é conduzida ao circuito respiratório, onde pode ser administrada ao paciente por meio de ventilação espontânea, manual ou mecânica. Os circuitos respiratórios utilizados podem ser com reinalação (circulares) ou sem reinalação (não circulares).

Nos circuitos com reinalação, parte dos gases expirados pelo paciente é reutilizada após a remoção do dióxido de carbono (CO_2) por meio de filtros e absorventes, como o SIVA 3400. Esse tipo de circuito é o mais utilizado em anestesia inalatória moderna, pois reduz o consumo de gases e agentes anestésicos, mantendo a estabilidade da concentração inspirada e melhorando a eficiência do sistema.

Já nos circuitos sem reinalação, o gás expirado é eliminado diretamente no ambiente, sendo indicado para procedimentos de curta duração, pacientes pediátricos ou situações em que se deseja evitar resistência respiratória adicional. Embora ofereçam menor complexidade, esses sistemas demandam maior fluxo de gás fresco, o que aumenta o consumo e o desperdício de anestésico.

O módulo pneumático gerencia a pressão e o fluxo dos gases entregues ao paciente, ajustando automaticamente as proporções de acordo com as necessidades respiratórias e monitorando possíveis variações anormais ou vazamentos (K. TAKAOKA, 2009a e 2009b).

O ventilador eletrônico do SAT 500 oferece diferentes modos ventilatórios para adaptação a diversos perfis de pacientes, incluindo neonatais, pediátricos e adultos. Entre os modos mais utilizados estão a Ventilação Controlada a Volume (VCV), Ventilação Controlada a Pressão (PCV), Ventilação Mandatória Intermitente Sincronizada (SIMV) e Ventilação com Suporte de Pressão (PSV). Para garantir um controle preciso, sensores eletrônicos monitoram continuamente parâmetros como pressão das vias aéreas, volume corrente e saturação de oxigênio, possibilitando ajustes automáticos para uma ventilação segura e eficiente (K. TAKAOKA, 2009a e 2009b).

Além disso, os aparelhos de anestesia possuem sistemas de monitoramento e segurança altamente sofisticados. O SAT 500 conta com alarmes audiovisuais que alertam a equipe médica sobre qualquer anormalidade nos parâmetros respiratórios ou falhas operacionais do sistema. Entre os mecanismos de proteção, destacam-se a válvula APL (Adjustable Pressure-Limiting), que impede pressões excessivas no circuito respiratório; o sistema anti-hipóxia, que garante uma concentração mínima de 25% de O_2 na mistura de gases; e o monitoramento contínuo do Fluxo de Gás Fresco (FGF), que evita desperdícios e assegura a eficiência na administração da anestesia (K. TAKAOKA, 2009a e 2009b).

Dessa forma, os aparelhos de anestesia funcionam por meio de uma complexa interação entre sistemas pneumáticos, eletrônicos e de segurança, garantindo um controle preciso da ventilação e da administração dos agentes anestésicos. O conhecimento aprofundado desses

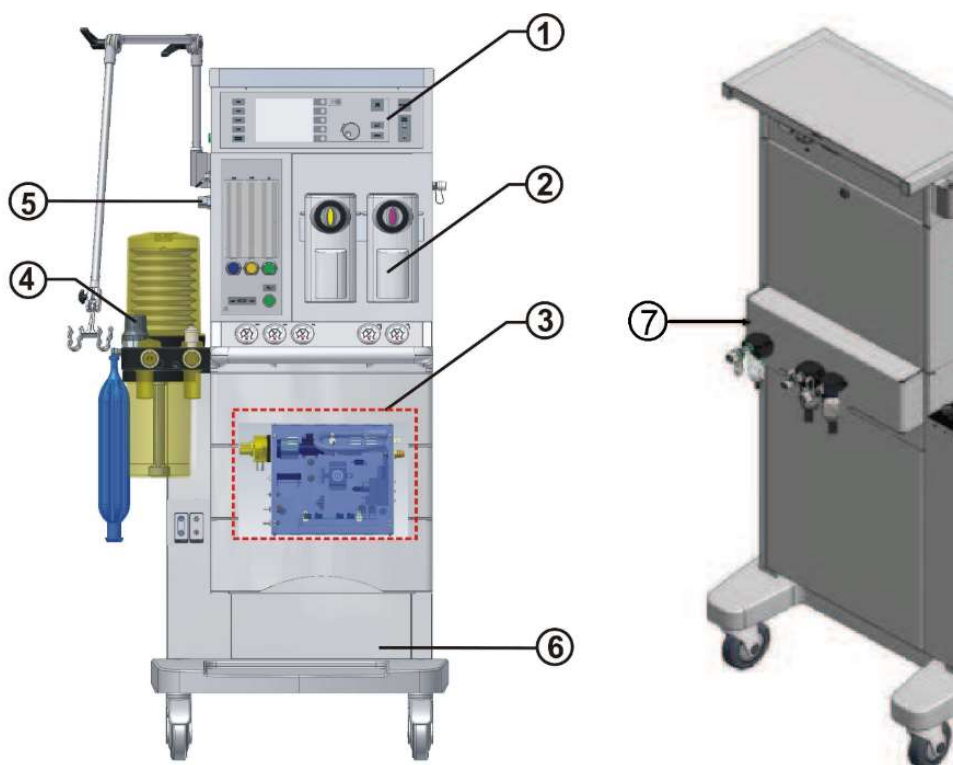
princípios é essencial para a correta utilização do equipamento, permitindo a prevenção de falhas e garantindo a segurança do paciente durante os procedimentos anestésicos.

3.4 PARTES CONSTITUINTES

Os aparelhos de anestesia modernos incorporam avanços tecnológicos que transformaram a prática médica, proporcionando maior segurança e eficácia nos procedimentos cirúrgicos. Estes dispositivos são projetados com ênfase na exatidão, conectividade e automação, características fundamentais para atender às necessidades de centros cirúrgicos (PINHO, 2023; PEREIRA; IÓRIO, 2015).

A **Figura 21** apresenta a visão frontal do equipamento, destacando suas partes relevantes.

Figura 21 – Identificação do Sistema de Anestesia SAT 500 (Adaptado de K. Takaoka, 2009a e 2009b)



O **Ventilador SAT 500** (item 1) é um dos principais componentes do aparelho de anestesia, responsável pela ventilação do paciente. O **Vaporizador** (item 2) permite a administração controlada dos agentes anestésicos voláteis. O **Módulo Pneumático do Ventilador** (item 3) é essencial para o funcionamento adequado do sistema de ventilação. O **Filtro SIVA 3400** (item 4) contribui para a purificação dos gases utilizados no processo. O **Rotâmetro SAT 500** (item 5) mede e regula o fluxo de gases anestésicos. A **Unidade Básica**

– **Móvel SAT 500** (item 6) oferece mobilidade ao equipamento, permitindo sua utilização em diferentes ambientes hospitalares. Por fim, a **Régua de Gases** (item 7) é responsável pela distribuição e controle do suprimento de gases medicinais, garantindo o fornecimento adequado de oxigênio (O_2), óxido nitroso (N_2O) e ar comprimido ao aparelho.

Entre os componentes do SAT 500, destaca-se o **Vaporizador Delta Sigma (Figura 22)**, reconhecido por sua precisão na administração de agentes anestésicos voláteis. Ele é capaz de manter concentrações constantes mesmo em condições variáveis de fluxo e temperatura, sendo eficiente com fluxos mínimos de 300 ml/min. Seu sistema de segurança permite o uso independente de dois vaporizadores, minimizando riscos durante o procedimento (K. TAKAOKA, 2009a).

Figura 22 – Vaporizador Delta Sigma



Fonte: Penlon, 2025.

O **Rotâmetro (Figura 23)**, outro componente essencial pois monitora e controla os fluxos de gases anestésicos, como oxigênio, óxido nitroso e ar comprimido. Ele incorpora sistemas avançados de segurança, como o Servomático de Pressão, que impede a administração de óxido nitroso na ausência de pressão de oxigênio, e o Servomático de Fluxo, que mantém uma concentração mínima de 25% de oxigênio na mistura com óxido nitroso. Além disso, o rotâmetro possui válvulas reguladoras de pressão e tubulações internas padronizadas, prevenindo erros de manutenção e operação (K. TAKAOKA, 2009a).

Figura 23 – Visão frontal e lateral do Rotâmetro



Fonte: Autora, 2025.

Outro destaque do SAT 500 é o seu **Ventilador (Módulos Eletrônico e Pneumático)**, pois oferece modalidades de ventilação, descritos na **Tabela 3**, tais como VCV, PCV, SIMV e PSV, sendo compatível com pacientes neonatais, pediátricos e adultos. Equipado com sensores de alta sensibilidade, o ventilador realiza ajustes automáticos e apresenta gráficos em tempo real no display, permitindo um controle mais preciso dos parâmetros respiratórios. O recurso de disparo por pressão ou fluxo é particularmente relevante para pacientes neonatais, otimizando os ciclos ventilatórios (K. TAKAOKA, 2009a).

Tabela 3 – Modalidades de ventilação (Adaptado de K. Takaoka, 2009a)

MODO DE VENTILAÇÃO	DESCRIÇÃO
VCV	Ventilação controlada a volume
PCV	Ventilação controlada a pressão
SIMV	Ventilação mandatória intermitente sincronizada
PSV	Ventilação com suporte de pressão

Os modos ventilatórios disponíveis no SAT 500 apresentam características específicas que possibilitam sua aplicação conforme as necessidades clínicas do paciente. No modo **VCV (Volume Controlled Ventilation)**, o volume corrente é pré-definido pelo operador, garantindo que um volume fixo de ar seja entregue ao paciente a cada ciclo respiratório. Nesse formato, a pressão resultante varia de acordo com a complacência e a resistência do sistema respiratório.

Esse modo é frequentemente utilizado em situações nas quais o controle preciso do volume alveolar é prioritário.

No modo **PCV (Pressure Controlled Ventilation)**, a pressão inspiratória é estabelecida e mantida constante durante a inspiração, enquanto o volume entregue varia conforme a mecânica pulmonar do paciente. Esse modo é indicado em cenários que exigem limitação da pressão inspiratória para proteção pulmonar, como em casos de síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA).

O modo **SIMV (Synchronized Intermittent Mandatory Ventilation)** permite que o paciente realize respirações espontâneas entre os ciclos mandatórios programados pelo ventilador, que sincroniza as respirações obrigatórias com o esforço respiratório do paciente. Esse modo é amplamente utilizado durante o processo de desmame ventilatório, por possibilitar uma transição gradual para a ventilação espontânea.

Já o **modo PSV (Pressure Support Ventilation)** é totalmente dependente do esforço respiratório do paciente, fornecendo um nível de pressão positiva para auxiliar a inspiração espontânea. Esse suporte reduz o trabalho respiratório, sendo indicado principalmente em pacientes em processo de desmame da ventilação mecânica e em ventilação espontânea assistida.

O Módulo Eletrônico centraliza as principais funções do aparelho, incluindo alimentação de energia, processamento de imagens, controle do teclado, gerenciamento da bateria, alarmes, capnografia e monitoramento de FIO₂. A comunicação entre o módulo eletrônico, o módulo pneumático e o sensor de capnografia ocorre por meio de uma interface serial RS-232, eliminando a necessidade de um módulo de capnografia separado e aumentando a confiabilidade do sistema. O módulo também exibe parâmetros vitais no display e aciona alarmes quando os limites de segurança são excedidos, garantindo um monitoramento contínuo e preciso durante o procedimento anestésico (K. TAKAOKA, 2009a). A **Figura 24** e a **Tabela 4** ilustram a parte frontal do módulo eletrônico do ventilador e seus respectivos pontos de interesse.

Figura 24 – Parte frontal do módulo eletrônico e seus pontos de interesse do Ventilador SAT 500



Fonte: Autora, 2025.

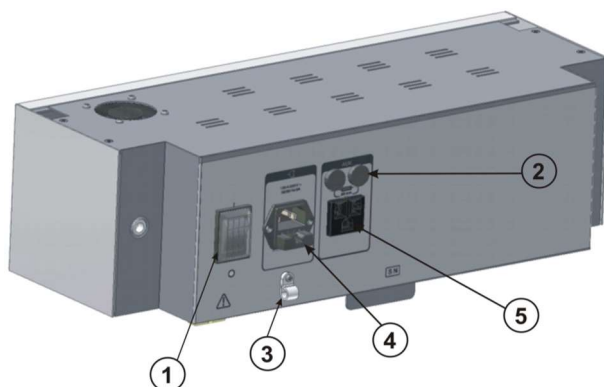
Tabela 4 – Pontos de interesse e descrições da parte frontal do Ventilador (Adaptado de K. Takaoka, 2009a).

ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
1	Painel de controle e de monitorização do ventilador	9	MENU
2	Parâmetros Ajustáveis	10	Botão de Programação (<i>Easy Touch</i>)
3	Tecla para mudança de tela do display de controle	11	Tecla de MANUL/ESPONT
4	Tecla para silenciar alarmes – RESET	12	Tecla de Modalidade – PSV
5	Tecla de espera – <i>STAND BY</i>	13	Tecla de Modalidade – SIMV
6	Indicador de alimentação por rede elétrica (verde)	14	Tecla de Modalidade – PCV
7	Indicador de bateria interna fraca (vermelho)	15	Tecla de Modalidade – VCV
8	Tecla de Mudança de Gráfico – GRÁFICO		

O Painel de controle e monitorização do ventilador (item 1) permite a configuração e supervisão dos parâmetros de ventilação. Os Parâmetros Ajustáveis (item 2) possibilitam a personalização das variáveis respiratórias. A Tecla para mudança de tela do display de controle (item 3) facilita a navegação entre as informações exibidas. A Tecla para silenciar alarmes – RESET (item 4) interrompe notificações sonoras temporariamente. A Tecla de espera – *STAND BY* (item 5) coloca o equipamento em modo de espera. O Indicador de alimentação por rede elétrica (verde) (item 6) sinaliza o fornecimento de energia. O Indicador de bateria interna fraca (vermelho) (item 7) alerta sobre a necessidade de recarga. A Tecla de Mudança de Gráfico – GRÁFICO (item 8) altera a exibição dos gráficos no display. O MENU (item 9) permite o acesso às configurações do sistema. O Botão de Programação (*Easy Touch*) (item 10) simplifica o ajuste dos parâmetros. A Tecla de MANUAL/ESPONT (item 11) alterna entre os modos de ventilação. As teclas de Modalidade PSV (item 12), SIMV (item 13), PCV (item 14) e VCV (item 15) possibilitam a seleção do modo ventilatório adequado ao paciente.

Na **Figura 25** e na **Tabela 5**, é exibido o painel traseiro do módulo eletrônico do Ventilador juntamente com seus pontos de interesse.

Figura 25 – Painel traseiro do módulo eletrônico e seus pontos de interesse do Ventilador SAT 500



Fonte: K. TAKAOKA, 2009b.

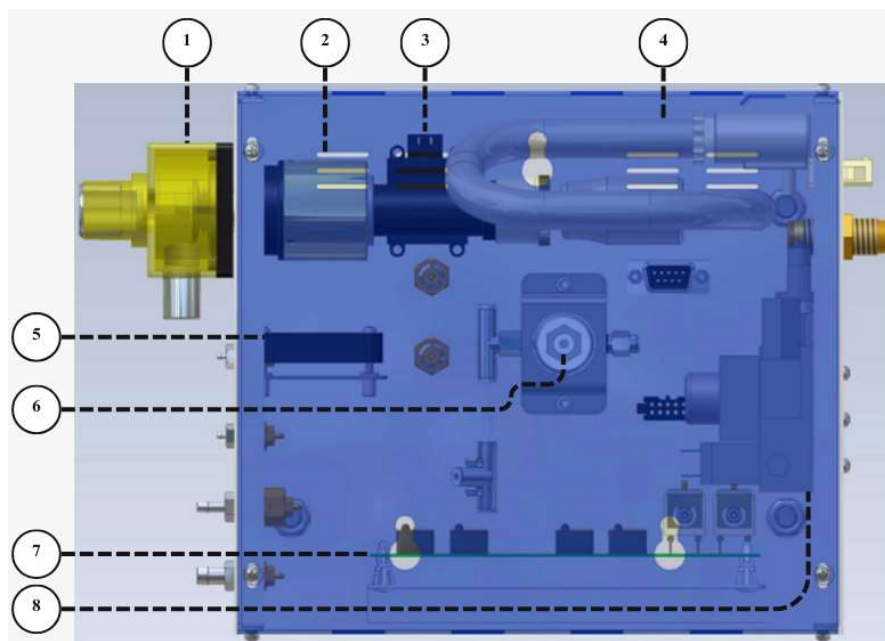
Tabela 5 – Pontos de interesse e descrições do painel traseiro do Ventilador SAT 500 (Adaptado de K. TAKAOKA, 2009b)

ITEM	DESCRIÇÃO
1	Chave Liga / Desliga
2	Fusível de 3A para saída auxiliar de energia
3	Abraçadeira plástica com parafuso de fixação
4	Entrada de energia elétrica
5	Saída Auxiliar de energia

A Chave Liga/Desliga (item 1) controla o acionamento do equipamento. O Fusível de 3A para saída auxiliar de energia (item 2) protege o sistema contra sobrecargas. A Abraçadeira plástica com parafuso de fixação (item 3) garante a fixação segura dos componentes. A Entrada de energia elétrica (item 4) possibilita a conexão do equipamento à rede elétrica. Por fim, a Saída auxiliar de energia (item 5) permite a alimentação de dispositivos externos.

O Módulo Pneumático é responsável pelo controle dos ciclos respiratórios do ventilador, incluindo a gestão da inspiração e expiração, leitura de pressões, volumes e fluxos, além da realização de testes funcionais e do controle das válvulas. Ele também armazena dados operacionais, como o desempenho das válvulas e ajustes de offset. Em constante comunicação com o Módulo Eletrônico, o módulo pneumático envia informações sobre a ventilação e testes para exibição na tela e recebe comandos do operador sobre modalidades e parâmetros de ventilação, assegurando o funcionamento eficiente e seguro do aparelho. A **Figura 26** e a **Tabela 6** ilustram sua composição.

Figura 26 – Composição do módulo pneumático e seus pontos de interesse do Ventilador SAT 500



Fonte: Adaptado de K. TAKAOKA, 2009b.

Tabela 6 – Pontos de interesse e descrições do módulo pneumático do Ventilador SAT 500 (Adaptado de K. TAKAOKA, 2009b)

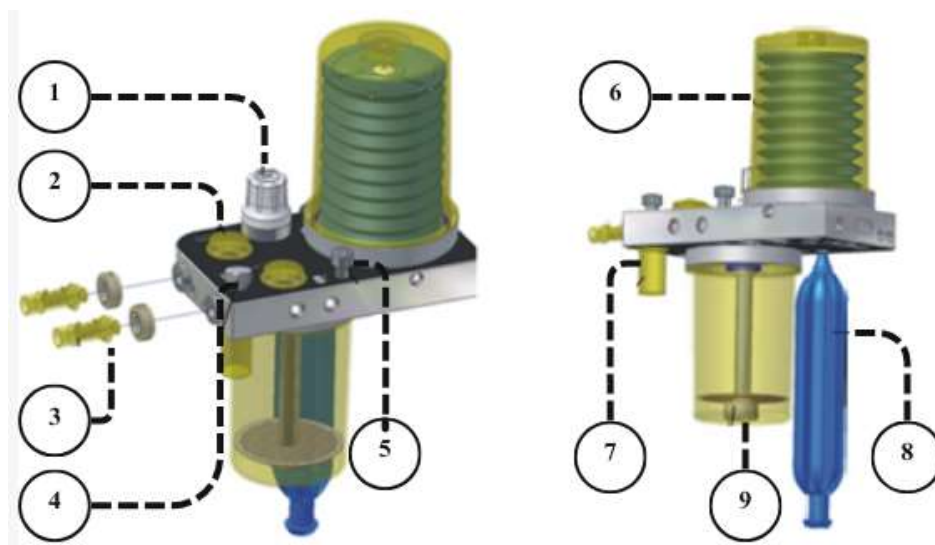
ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
1	Bloco expiratório	5	Micro ventilador
2	Válvula magnética	6	Válvula reguladora
3	Sensor de fluxo	7	PCI controle de válvulas
4	Traqueia	8	Bloco de anestesia

O Bloco expiratório (item 1) é responsável pela condução do ar expirado. A Válvula magnética (item 2) controla o fluxo de gases no sistema. O Sensor de fluxo (item 3) monitora e ajusta o volume de ar entregue ao paciente. A Traqueia (item 4) conduz os gases respiratórios. O Micro ventilador (item 5) auxilia na ventilação do paciente. A Válvula reguladora (item 6) mantém a pressão adequada no sistema. A PCI controle de válvulas (item 7) gerencia eletronicamente a operação das válvulas. Por fim, o Bloco de anestesia (item 8) integra os componentes essenciais para a administração dos gases anestésicos.

O **Filtro Valvular SIVA 3400**, ilustrado na **Figura 27** e detalhado na **Tabela 7**, é um componente projetado para otimizar o consumo de gases anestésicos e garantir a segurança do paciente. Ele realiza o sistema circular valvular com absorção de dióxido de carbono por meio de um cânister transparente com capacidade de até 1600 ml, permitindo o reaproveitamento dos gases expirados pelo paciente e reduzindo a poluição ambiental. O filtro também demonstra o

volume inspirado, insere o fluxo de gás fresco (FGF) junto ao gás inspiratório e direciona o gás expirado não utilizado e o FGF em excesso ao sistema de vácuo, funcionando como um sistema de antipoluição. Além disso, possui uma válvula de controle de pressão (APL) que regula a pressão no circuito respiratório, garantindo segurança durante o procedimento e adaptabilidade a pacientes de diferentes tamanhos, desde neonatos até adultos (K. TAKAOKA, 2009a).

Figura 27 – Pontos de interesse do Filtro Valvular SIVA 3400 presentes no Takaoka SAT 500



Fonte: Adaptado de K. TAKAOKA, 2009b.

Tabela 7 – Descrições dos pontos de interesse do Filtro Valvular SIVA 3400 presentes no Takaoka SAT 500 (Adaptado de K. TAKAOKA, 2009b)

ITEM	DESCRIÇÃO	ITEM	DESCRIÇÃO
1	Válvula APL	6	Campânula completa
2	Tampa roscada para válvulas INS e EXP	7	Reservatório do dreno
3	Sensor de fluxo adulto/infantil ou neonatal	8	Balão
4	Tampão para célula de O ₂	9	Cânister completo
5	Porca de fixação		

A Válvula APL (item 1) controla a pressão expiratória do paciente. A Tampa roscada para válvulas INS e EXP (item 2) garante a vedação adequada do sistema. O Sensor de fluxo adulto/infantil ou neonatal (item 3) mede o fluxo de gases de acordo com o tipo de paciente. O Tampão para célula de O₂ (item 4) protege a célula de oxigênio. A Porca de fixação (item 5) assegura a estabilidade dos componentes. A Campânula completa (item 6) auxilia na condução dos gases. O Reservatório do dreno (item 7) coleta resíduos do sistema. O Balão (item 8) atua

no armazenamento e controle da ventilação. Por fim, o Cânister completo (item 9) permite a absorção do dióxido de carbono, garantindo a eficiência do equipamento.

Combinando conectividade, automação e segurança, os dispositivos modernos de anestesia, como o Takaoka SAT 500, refletem os avanços tecnológicos que proporcionam suporte essencial à equipe médica em procedimentos complexos. Essas inovações demonstram como a engenharia clínica tem influenciado positivamente a prática anestésica, garantindo maior eficiência e proteção ao paciente (PINHO, 2023; PEREIRA; IÓRIO, 2015).

3.5 INSUMOS

Os insumos utilizados em aparelhos de anestesia são fundamentais para garantir o funcionamento eficiente e seguro do equipamento durante os procedimentos cirúrgicos. Eles englobam desde gases medicinais essenciais até componentes descartáveis e agentes anestésicos, todos cuidadosamente selecionados para assegurar a eficácia do sistema e a segurança do paciente.

Os gases medicinais, como oxigênio (O_2), óxido nitroso (N_2O) e ar comprimido, são insumos primários essenciais para o funcionamento do aparelho de anestesia, pois são combinados em proporções controladas para manter a oxigenação adequada do paciente e viabilizar a administração de agentes anestésicos voláteis. De acordo com revisão sistemática da Cochrane (2016), o uso de N_2O não demonstrou diferenças significativas em desfechos cirúrgicos importantes, como mortalidade ou complicações graves, embora possa oferecer alguns benefícios, como efeito analgésico e redução da quantidade de outros agentes necessários. Ainda assim, seu emprego não é obrigatório em todos os procedimentos, sendo plenamente viável conduzir cirurgias somente com O_2 e ar comprimido, desde que sejam adotadas estratégias anestésicas e analgésicas adequadas. A pureza e o fornecimento contínuo desses gases são cruciais para o sucesso do procedimento, sendo monitorados por sistemas de alarme que indicam eventuais falhas ou quedas de pressão.

Os agentes anestésicos voláteis, como sevoflurano, isoflurano e desflurano, são utilizados nos vaporizadores do aparelho para induzir e manter o estado anestésico. Esses compostos são cuidadosamente dosados por meio dos vaporizadores calibrados, que garantem a concentração correta do agente anestésico, independentemente de variações de fluxo ou temperatura. A escolha do agente anestésico depende de fatores clínicos e das características específicas do paciente.

Os circuitos respiratórios são componentes essenciais que conectam o aparelho de anestesia ao paciente, permitindo a condução segura da mistura de gases. Eles são projetados

para prevenir contaminações cruzadas e garantindo a higiene durante o procedimento. Além disso, os circuitos respiratórios podem incluir filtros bacterianos e virais para maior proteção do paciente e da equipe médica.

A cal sodada (forma específica do hidróxido de sódio – NaOH, ou soda cáustica) é outro insumo crítico, utilizada no sistema de absorção de dióxido de carbono (CO₂) expirado pelo paciente. Localizada no cânister do circuito respiratório, a cal sodada reage quimicamente com o CO₂, permitindo o reaproveitamento dos gases anestésicos e possibilitando que o gás respirado (mistura de agentes anestésicos e oxigênio) seja reutilizado, formando um sistema circular fechado no aparelho de anestesia. O correto monitoramento e a substituição periódica da cal sodada são essenciais para evitar a reinalação de CO₂ e manter a eficiência do sistema.

Por fim, outros insumos complementares incluem sensores de monitoramento, como oxímetros de pulso, capnógrafos — que medem em tempo real a quantidade de dióxido de carbono (CO₂) expirado pelo paciente — e analisadores de gases, que possibilitam o acompanhamento contínuo dos parâmetros vitais. Além disso, materiais de manutenção, como lubrificantes específicos e soluções de limpeza, são utilizados para garantir o bom funcionamento e a durabilidade do equipamento.

Uma gestão eficiente dos insumos é fundamental para assegurar a continuidade dos procedimentos, reduzir custos operacionais e garantir a segurança do paciente. A adequada armazenagem, controle de validade e reposição desses materiais contribuem para a otimização do desempenho dos aparelhos de anestesia e a qualidade do atendimento médico.

CAPÍTULO 04 – PROCEDIMENTOS DE OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

Este capítulo sistematiza os protocolos operacionais de aparelhos de anestesia, com ênfase nos testes funcionais como ferramenta preventiva essencial. Detalha a verificação pré-operatória – desde a conexão de gases e circuitos respiratórios até a execução de autotestes para detecção de vazamentos e falhas de calibração – com base no modelo SAT 500. Por meio de fluxogramas e imagens técnicas, evidencia-se como a padronização desses procedimentos reduz riscos em anestésias, fundamentando o fluxograma diagnóstico do Capítulo 5.

4.1 MONTAGEM DO CIRCUITO

Nos aparelhos de anestesia, a montagem correta do circuito respiratório é fundamental para garantir a segurança do paciente e o funcionamento adequado do sistema durante os procedimentos anestésicos. O circuito é responsável por conduzir a mistura de gases anestésicos e oxigênio entre o aparelho e o paciente, assegurando ventilação controlada e remoção eficiente do dióxido de carbono (CO₂) (K. TAKAOKA, 2009).

Antes do início da montagem do circuito, recomenda-se que a equipe assistencial realize a verificação da pressão da rede de gases, especialmente do oxigênio, assegurando que os valores estejam dentro da faixa adequada para o funcionamento do equipamento. Essa checagem inicial é essencial para garantir suprimento adequado ao sistema respiratório e evitar falhas relacionadas à alimentação de gás da rede hospitalar. A leitura deve ser realizada no manômetro localizado no painel frontal do equipamento ou no ponto de saída da rede, conforme demonstrado na **Figura 28**.

Figura 28 – Verificação da pressão da rede de gases medicinais antes da montagem do circuito respiratório.



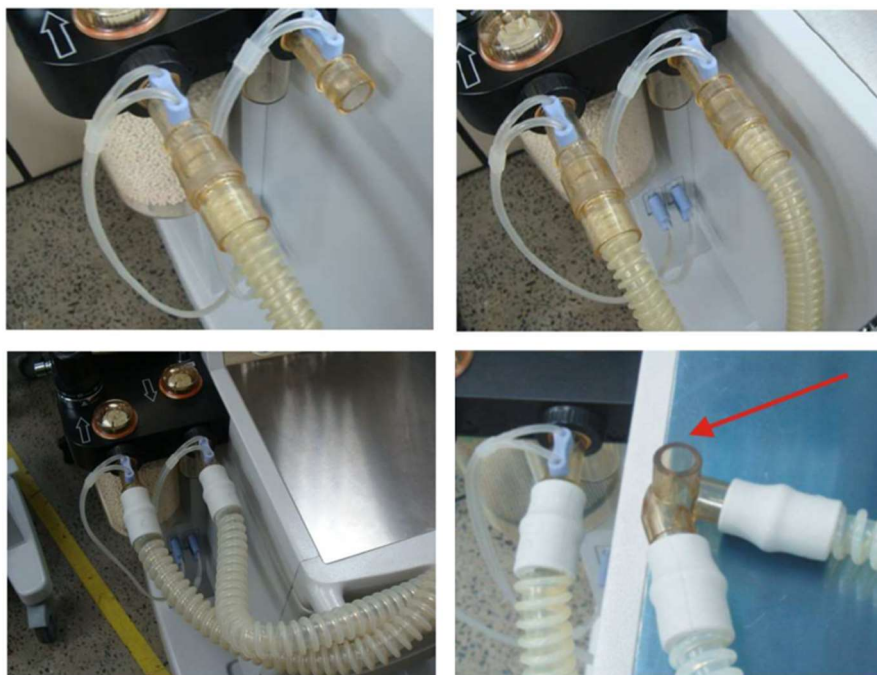
Fonte: Autora, 2025.

De modo geral, os sistemas respiratórios utilizados em anestesia podem ser classificados em circuitos com reinalação e sem reinalação. O circuito com reinalação, também denominado sistema circular fechado ou semifechado, é o mais amplamente utilizado em centros cirúrgicos, especialmente em procedimentos de média e longa duração. Esse sistema permite o reaproveitamento dos gases anestésicos, que retornam ao circuito após a absorção do CO₂ pela cal sodada. Tal característica reduz o consumo de agentes anestésicos e oxigênio, mantém a temperatura e a umidade do gás inspirado e proporciona maior estabilidade ventilatória ao paciente.

O circuito sem reinalação, por sua vez, é mais empregado em situações específicas, como em pacientes pediátricos ou em procedimentos de curta duração. Nesse sistema, não há reaproveitamento dos gases expirados — todo o volume é eliminado ao ambiente, exigindo fluxos de gás fresco mais elevados. Embora simplifique o circuito, essa configuração demanda maior consumo de anestésico e oxigênio, além de oferecer menor controle sobre as variáveis respiratórias.

A **Figura 29** ilustra a montagem do circuito com reinalação no aparelho de anestesia SAT 500, modelo amplamente utilizado em centros cirúrgicos. Nelas, observa-se a correta conexão das mangueiras inspiratória e expiratória aos portos correspondentes, indicados por setas que orientam o sentido do fluxo dos gases. O sistema conta com o absorvedor de cal sodada, responsável pela remoção do CO₂, completando o ciclo de reinalação.

Figura 29 – Montagem do circuito respiratório com reinalação (Adaptado de K. Takaoka, 2009a).



A correta preparação do sistema respiratório é uma etapa essencial antes do início de qualquer procedimento anestésico. Nessa fase, deve-se confirmar a montagem adequada do circuito, observando a firmeza das conexões, a posição do absorvedor de cal sodada, a integridade das traqueias e o funcionamento das válvulas unidirecionais. Após essa inspeção visual e funcional, recomenda-se a realização do autoteste do equipamento, conforme orientações do fabricante, para verificar possíveis vazamentos, falhas de vedação ou anormalidades nos sensores. Essa rotina assegura o desempenho eficiente do sistema respiratório e a segurança do paciente durante todo o ato anestésico (K. TAKAOKA, 2009a; 2009b).

4.2 TESTES FUNCIONAIS

Os testes funcionais são essenciais para garantir que os aparelhos de anestesia estejam em condições adequadas para uso. O SAT 500, por exemplo, possui um sistema de autoteste que auxilia na verificação de diversos componentes críticos do equipamento, tais como a comunicação entre os módulos internos, a disponibilidade e pressão da rede de oxigênio (O₂), o fluxo inspiratório, o funcionamento das válvulas proporcional e magnética, assim como a presença de vazamentos no sistema.

A verificação inicial do ventilador SAT 500 deve ser realizada antes do uso para garantir o funcionamento correto do equipamento. Primeiramente, é necessário conectar as extensões de O₂ e Ar comprimido na parte traseira do aparelho, assegurando que estejam devidamente fixadas para evitar vazamentos, conforme mostra **Figura 30**.

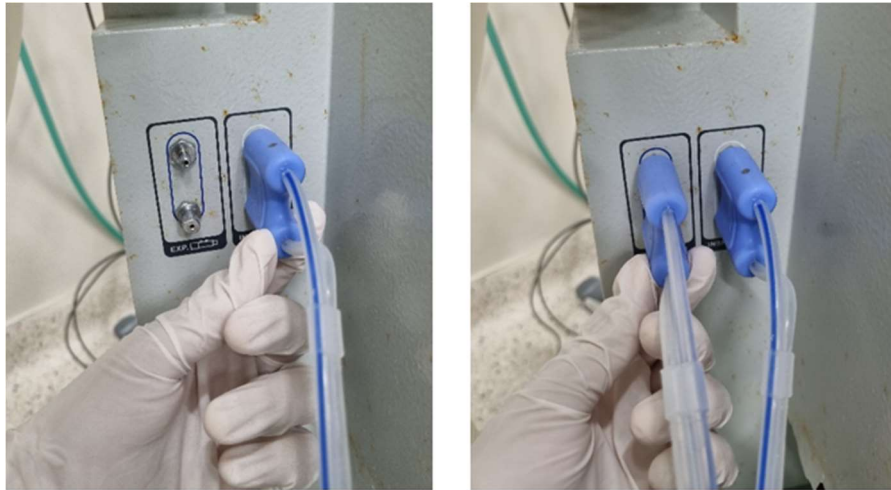
Figura 30 – Conexões das Linhas de Gases no Ventilador SAT 500



Fonte: Autora, 2025.

Em seguida, deve-se proceder com a montagem das linhas do sensor de fluxo, de acordo com a **Figura 31**, certificando-se de que os pinos de segurança estão corretamente encaixados. Essa etapa é crucial para garantir medições precisas e um funcionamento adequado do equipamento durante o procedimento anestésico.

Figura 31 – Conexão das linhas do sensor de fluxo no Ventilador SAT 500



Fonte: Autora, 2025

Após a conexão das linhas, procede-se à ligação delas aos sensores de fluxo inspiratório e expiratório, tanto para pacientes adultos quanto neonatais. A montagem do circuito respiratório deve ser realizada de acordo com a necessidade do paciente, seguindo os parâmetros recomendados para cada tipo de procedimento. A **Figura 32** ilustra esse processo, que é essencial para garantir a distribuição eficiente e segura dos gases anestésicos.

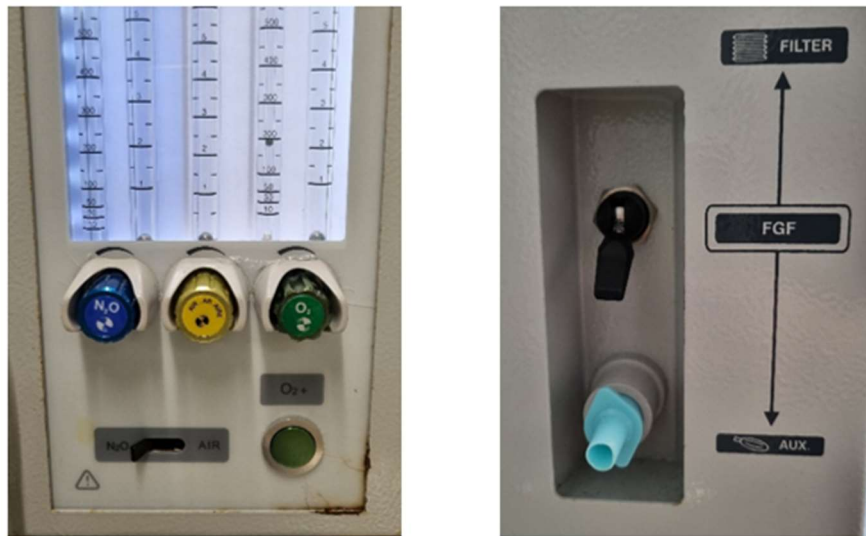
Figura 32 – Conexão do Circuito Respiratório ao Ventilador SAT 500



Fonte: Autora, 2025.

O próximo passo é a realização do autoteste, um procedimento que avalia a integridade dos componentes internos do equipamento. Para isso, todas as agulhas de fluxo do rotômetro SAT 500 devem ser fechadas, enquanto a chave seletora de F.G.F deve ser posicionada para garantir o direcionamento correto do fluxo, como é possível observar na **Figura 33**. O fole deve ser completamente insuflado pressionando o botão de O₂ direto do rotômetro, permitindo uma análise detalhada do desempenho do aparelho, conforme ilustra a **Figura 34**.

Figura 33 – Ausência de Fluxo no Rotômetro e Posicionamento da Chave Seletora de F.G.F no Modo Filtro



Fonte: Autora, 2025.

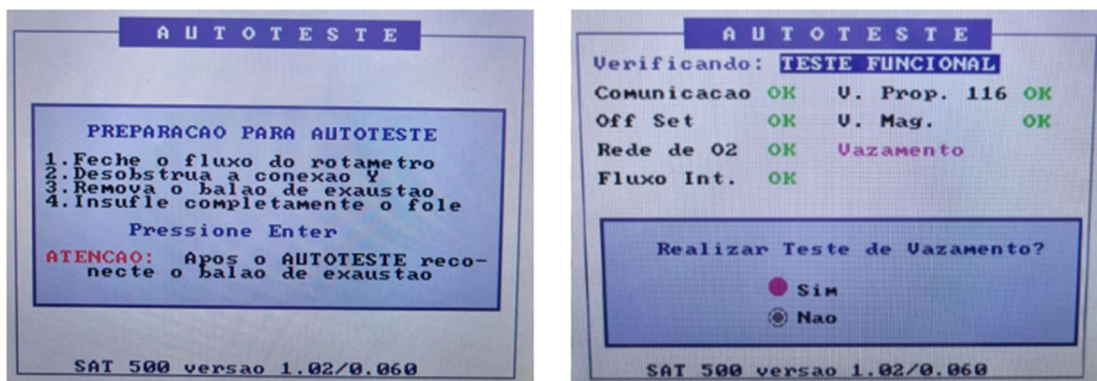
Figura 34 – Insuflação do fole para análise do desempenho do equipamento



Fonte: Autora, 2025.

Na **Figura 35** a seguir são apresentadas as etapas do autoteste do aparelho de anestesia SAT 500, processo que assegura a ausência de fugas de gases no sistema. A imagem à esquerda exibe a tela de preparação para o autoteste, onde o operador é instruído a fechar o fluxo do rotâmetro, desobstruir a conexão em "Y" e remover o balão de exaustão antes de iniciar o teste. Após seguir as instruções, o operador deve pressionar "Enter" para iniciar o procedimento. Já a imagem à direita mostra a tela de verificação do teste funcional, que avalia parâmetros como comunicação, rede de oxigênio, fluxo interno e sensores. O sistema informa o status de cada item testado e, ao final, solicita ao operador a realização do teste de vazamento, oferecendo as opções "Sim" ou "Não" para prosseguir. Esses autotestes são essenciais para garantir o correto funcionamento do equipamento antes de seu uso clínico, assegurando a segurança do paciente e a eficiência do procedimento anestésico. Qualquer anormalidade identificada requer uma avaliação adicional antes do uso do equipamento (K. Takaoka, 2009b).

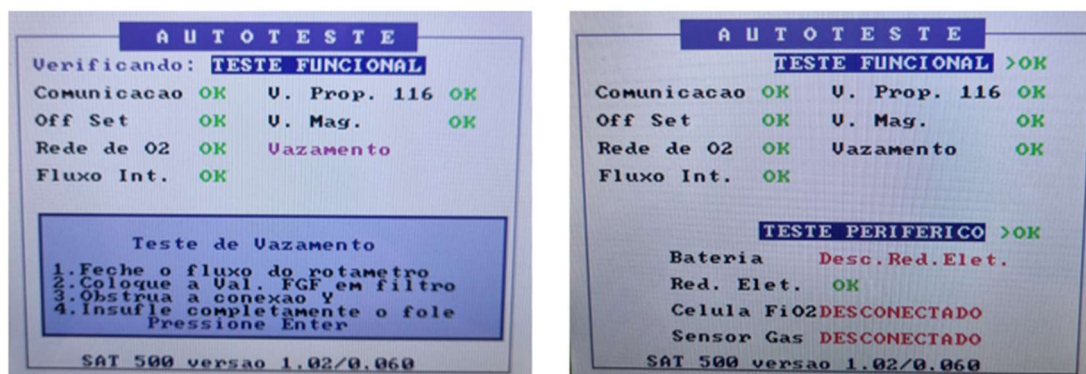
Figura 35 – Etapas do Autoteste em Aparelho de Anestesia Takaoka SAT 500



Fonte: Autora, 2025.

Na **Figura 36**, a imagem à esquerda apresenta a tela de verificação do Teste Funcional do sistema de anestesia SAT 500, destacando a preparação para o autoteste. Para iniciar essa verificação, o operador deve seguir uma sequência de instruções: fechar o fluxo de gases do rotâmetro, posicionar a válvula FGF no modo filtro, obstruir a saída "Y" do circuito respiratório adulto/neonatal e insuflar completamente o fole. Após a realização dessas etapas, o operador deve pressionar "Enter" para dar início ao teste. Ainda na **Figura 36**, a imagem à direita exibe a tela de conclusão do Autoteste, confirmando o sucesso do teste funcional.

Figura 36 – Processo de teste de vazamento e conclusão do autoteste do sistema de anestesia SAT 500



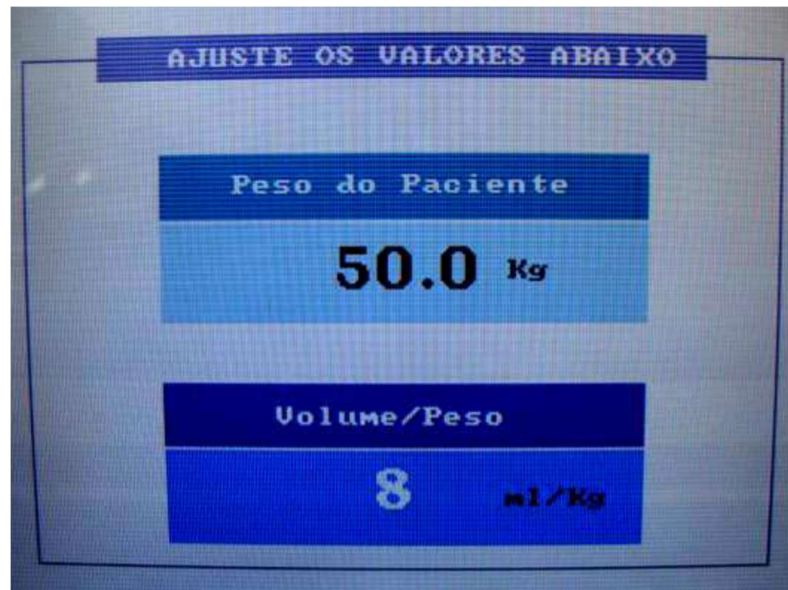
Fonte: Autora, 2025.

Os procedimentos operacionais sistematizados neste capítulo evidenciam que a realização rigorosa de testes funcionais em aparelhos de anestesia, seguindo protocolos padronizados e documentação técnica adequada, constitui uma barreira fundamental contra falhas operacionais. A metodologia apresentada, especialmente desenvolvida para o modelo SAT 500, demonstra na prática como a verificação sistemática de componentes críticos – desde a integridade dos circuitos gasosos até a calibração de sensores – pode prevenir eventos adversos durante procedimentos anestésicos. Estes resultados reforçam a premissa central do trabalho de que a implementação estruturada de *checklists* técnicos, complementada por recursos visuais como fluxogramas, representa uma estratégia eficaz para garantir a segurança do paciente e a confiabilidade dos equipamentos, servindo como base científica para a proposta do fluxograma de diagnóstico que será detalhado no capítulo seguinte.

4.3 PARAMETRIZAÇÃO DO APARELHO

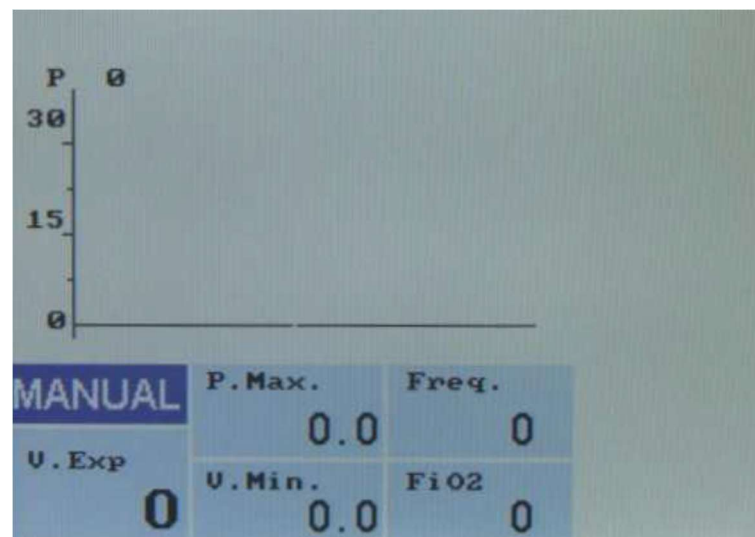
Após a conclusão bem-sucedida do autoteste, o aparelho de anestesia SAT 500 exibe a tela de seleção dos parâmetros iniciais, na qual o operador deve inserir o peso do paciente e o volume/peso (mL/kg), conforme ilustrado na **Figura 37**. Esses dados servem de base para o cálculo automático do volume corrente (V_t), ajustado proporcionalmente à massa corporal e ao modo ventilatório escolhido, permitindo que o sistema opere dentro dos limites fisiológicos adequados a cada paciente.

Figura 37 – Tela de seleção dos parâmetros iniciais de peso e volume/peso (K. TAKAOKA, 2009a)



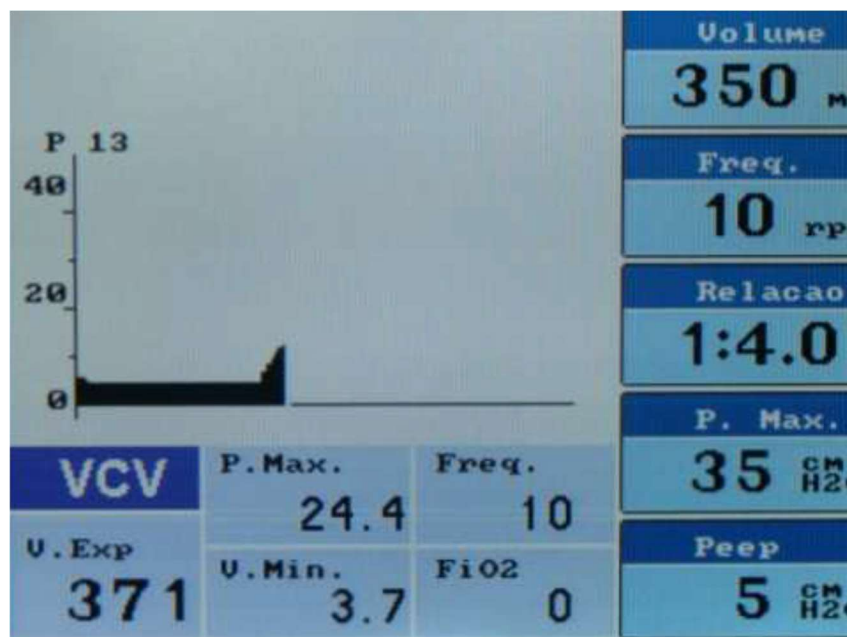
Em seguida, o equipamento apresenta a tela inicial de operação, ilustrada na **Figura 38**, onde são exibidos os campos de configuração e os parâmetros de monitoramento. Nessa etapa, o operador deve selecionar o modo ventilatório desejado — como Manual, VCV (Volume Controlado), PCV (Pressão Controlada), SIMV (Ventilação Mandatória Intermitente Sincronizada) ou PSV (Pressão de Suporte) — e ajustar as variáveis básicas de ventilação. Entre os principais parâmetros configuráveis estão o volume corrente (V_t), a frequência respiratória (Freq.), a relação inspiração/expiração (I:E) e a pressão positiva expiratória final (PEEP). Esses ajustes devem ser definidos conforme o tipo de procedimento anestésico, o porte do paciente e as condições clínicas observadas.

Figura 38 – Tela inicial (K. TAKAOKA, 2009a)



Ao selecionar o modo VCV, o visor apresenta a tela específica da modalidade (**Figura 39**), onde é possível visualizar e alterar os valores de referência. Nesta configuração, o operador ajusta o volume corrente (por exemplo, 350 mL), a frequência respiratória (10 rpm), a relação I:E (1:4), a pressão máxima (35 cmH₂O) e o PEEP (5 cmH₂O). Essas variáveis podem ser modificadas conforme a resposta ventilatória do paciente e o plano anestésico adotado. O sistema do SAT 500 permite o acompanhamento em tempo real de parâmetros como pressão inspiratória máxima, volume expirado e FiO₂, assegurando o controle adequado da ventilação durante todo o procedimento.

Figura 39 – Tela VCV (K. TAKAOKA, 2009a)



Durante os ciclos de ventilação, deve-se observar o comportamento do fole para verificar se o ventilador está operando corretamente e sem quedas durante a ciclagem. O fole deve completar o ciclo de enchimento e esvaziamento, aproximando-se da parte superior da campânula (ímã) durante a fase inspiratória, como ilustrado na **Figura 40**. Essa observação permite confirmar a execução correta dos ciclos ventilatórios e detectar eventuais anormalidades, como vazamentos, obstruções ou parametrizações incorretas, que possam comprometer a eficiência do sistema.

Figura 40 – Fole ciclando (K. TAKAOKA, 2009a)



A parametrização adequada do SAT 500 é essencial para garantir a ventilação segura e eficaz do paciente durante o ato anestésico, além de prevenir falhas decorrentes de ajustes incorretos ou desvios de calibração. Dessa forma, o correto entendimento das etapas de configuração contribui diretamente para a segurança do paciente e para a confiabilidade do procedimento anestésico (K. TAKAOKA, 2009a; 2009b).

4.4 MODOS DE FALHA

Os aparelhos de anestesia, apesar de sua alta complexidade e avanços tecnológicos, estão sujeitos a falhas que podem comprometer a segurança do paciente e o sucesso do procedimento anestésico. A identificação e análise dos modos de falha mais comuns são essenciais para a implementação de protocolos de manutenção preventiva e corretiva, além de orientar as equipes médicas e de engenharia clínica em ações rápidas e eficazes. A seguir, são apresentados os principais modos de falha observados em aparelhos como o SAT 500, com base em pesquisas e análises técnicas (K. TAKAOKA, 2009a; K. TAKAOKA, 2009b).

Um dos modos de falha mais frequentes ocorre nos vaporizadores, responsáveis pela vaporização e mistura dos agentes anestésicos voláteis com os gases medicinais. Problemas como vazamentos, má vedação, falhas nas válvulas internas ou imprecisão na calibração podem levar à administração incorreta de anestésicos, resultando em subdosagem ou superdosagem. Além disso, oscilações de temperatura podem comprometer a estabilidade da concentração do agente anestésico, afetando diretamente a segurança do paciente.

Outro ponto crítico de falha são os circuitos respiratórios. Vazamentos, desconexões ou obstruções nesses circuitos podem comprometer a ventilação adequada do paciente. Vazamentos podem ocorrer em conexões mal ajustadas, tubos danificados ou desgaste natural dos materiais. Obstruções podem ser causadas por acúmulo de secreções, umidificadores entupidos ou válvulas travadas, resultando em aumento da resistência respiratória e risco de hipóxia.

Problemas comuns incluem falhas nos sensores de fluxo e pressão, mau funcionamento das válvulas de controle e interrupções no fornecimento de energia elétrica. Essas falhas podem levar a modos ventilatórios inadequados ou interrupção completa da ventilação mecânica. Além disso, erros de calibração nos modos de ventilação podem gerar volumes inadequados ou pressões excessivas nas vias aéreas.

Os sistemas de alarme e monitoramento são fundamentais para a detecção precoce de anomalias no funcionamento do aparelho. Falhas nesses sistemas, como alarmes inoperantes, sensores defeituosos ou configurações inadequadas, podem comprometer a segurança do paciente ao não alertar a equipe médica sobre situações críticas, como quedas de pressão, desconexões ou concentrações irregulares de gases anestésicos.

Outro modo de falha relevante envolve o suprimento de gases medicinais. Problemas como vazamentos em cilindros, falhas nos reguladores de pressão ou interrupções no fornecimento central podem resultar em fluxos insuficientes de oxigênio ou óxido nítrico. O sistema de segurança Servomático, presente no SAT 500, atua para minimizar esses riscos, impedindo a administração de N_2O sem a presença mínima de 25% de O_2 . No entanto, falhas nesse sistema também representam um risco considerável.

Por fim, falhas relacionadas ao software e firmware dos aparelhos modernos também devem ser consideradas. Atualizações incompletas, erros de programação ou falhas de comunicação entre os módulos podem resultar em comandos incorretos ou travamentos do sistema. Interferências eletromagnéticas e panes elétricas também podem comprometer o desempenho dos componentes eletrônicos.

Diante desses possíveis modos de falha, é essencial a realização de manutenções preventivas regulares, testes funcionais antes de cada uso e treinamentos adequados para as equipes envolvidas. A detecção precoce de falhas e a adoção de medidas corretivas imediatas são fundamentais para garantir a segurança do paciente e a continuidade dos procedimentos anestésicos.

4.5 LIMPEZA E DESINFECÇÃO DE ACESSÓRIOS

O processamento dos circuitos respiratórios utilizados em aparelhos de anestesia compreende um conjunto de etapas padronizadas que envolvem limpeza, desinfecção, secagem e acondicionamento dos acessórios após o uso clínico. Essas práticas têm como finalidade garantir a segurança microbiológica, a preservação da integridade física dos materiais e a manutenção da eficiência funcional dos equipamentos. Além de prevenir contaminações cruzadas, esses procedimentos contribuem para prolongar a vida útil dos componentes e assegurar que os dispositivos retornem ao uso em condições adequadas de desempenho (KARDEC, 2001; BRANCO FILHO, 2008).

Conforme informações obtidas junto à equipe do Centro de Material e Esterilização (CME) da instituição estudada, todos os circuitos respiratórios passam, obrigatoriamente, por um processo de desinfecção de alto nível, independentemente de o material ser posteriormente encaminhado para autoclave, esterilizador de peróxido de hidrogênio ou apenas armazenado.

Inicialmente, os circuitos provenientes do bloco cirúrgico – frequentemente contaminados com sangue, secreções e outros fluidos biológicos – são imersos em solução enzimática por aproximadamente cinco minutos, para a remoção de resíduos orgânicos aderidos às superfícies internas. Em seguida, os componentes são enxaguados, secos e submetidos à imersão em solução de ácido peracético ($\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$) por cerca de dez minutos, o que garante a desinfecção de alto nível, eliminando microrganismos, fungos e esporos sem deixar resíduos tóxicos. Após essa etapa, os circuitos são novamente lavados em água purificada e secos completamente, evitando a retenção de umidade nas conexões.

Somente após a conclusão desse processo é definido o método de acondicionamento ou esterilização. Quando os circuitos são apenas desinfetados e embalados em saco plástico, o tempo de validade é de, em média, sete dias. Quando acondicionados em embalagens do tipo Epodran, o período de validade pode se estender para até trinta dias, devido à melhor barreira microbiológica.

Nos casos em que o fabricante do circuito autoriza o processamento térmico, o material pode ser submetido à esterilização em autoclave a 121 °C, sendo posteriormente embalado em papel grau cirúrgico, o que assegura validade de até seis meses. Alternativamente, quando a esterilização é realizada em equipamentos de peróxido de hidrogênio (plasma de baixa temperatura), o material é embalado em papel Tyvek, podendo manter-se válido por até um ano.

De acordo com o manual técnico do fabricante K. Takaoka (2009, p. 11–13), o processo de limpeza e desinfecção dos componentes do sistema de anestesia SAT 500 deve seguir métodos padronizados, conforme apresentado nas **Figuras 41 (a), (b) e (c)**, que especifica as recomendações de limpeza, desinfecção e esterilização de acordo com o tipo de componente. Essas orientações complementam os protocolos institucionais e reforçam a importância do uso de produtos compatíveis, evitando danos estruturais aos materiais e garantindo a segurança do reprocessamento.

Figura 41A – Recomendações de limpeza, desinfecção e esterilização (parte 1) (continua na próxima página)
(Adaptado de K. Takaoka, 2009a)

Figura	Componente	Limpeza	Desinfecção	Esterilização
	Campânula	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor
	Canister	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor
	Diafragma da válvula expiratória	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor
	Bloco expiratório	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor
	Fluxômetro	Pano úmido	Álcool 70%	NÃO RECOMENDADA

Figura 41B – Recomendações de limpeza, desinfecção e esterilização (parte 2) (continua na próxima página)
(Adaptado de K. Takaoka, 2009a)

	Fole	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor
	Intermediário em "Y"	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor
	Sensor de Fluxo	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor
	Linha do Sensor de Fluxo Silicose	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor
	Linha do Sensor de Fluxo PVC	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio
	Reservatório do Dreno	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor
	Tubos Corrugados Silicose	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor
	Tubos Corrugados PVC	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio
	Válvulas Inspiratórias e Expiratórias	Solução Detergente Neutro	Glutaraldeído Termodesinfecção	Óxido de Etileno ou Glutaraldeído ou Peróxido de Hidrogênio ou Vapor

Figura 41C – *Recomendações de limpeza, desinfecção e esterilização (continuação) (Adaptado de K. Takaoka, 2009a)*

	Balão de látex free	Solução Detergente Neutro	Termodesinfecção	Vapor
	Balão de LATEX.	Solução Detergente Neutro	Termodesinfecção	Vapor

O cumprimento desses procedimentos assegura que os dispositivos retornem ao uso em condições adequadas, preservando a eficiência do equipamento e a segurança do paciente. Em todos os casos, o cumprimento rigoroso das etapas de desinfecção e processamento garante a segurança do reuso e está em conformidade com a RDC nº 15/2012 da ANVISA, que estabelece os requisitos de boas práticas para o processamento de produtos para saúde (BRASIL, 2012).

CAPÍTULO 05 – ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta um estudo de caso realizado em um Estabelecimento Assistencial de Saúde (EAS), com base na análise de falhas operacionais em aparelhos de anestesia registradas no sistema Gênesis entre janeiro de 2024 e abril de 2025. A partir dos dados obtidos, foram identificados padrões recorrentes de falhas simples, o que motivou a elaboração de um fluxograma de diagnóstico prático. A proposta visa orientar profissionais da saúde e da engenharia clínica na resolução rápida dessas falhas, reduzindo o tempo de inatividade dos equipamentos e aumentando a segurança dos procedimentos anestésicos.

5.1 LOCAL DE ESTUDO

O presente estudo foi conduzido em uma instituição pública de saúde situada na região metropolitana de Belém – PA. Por questões privativas, o nome da unidade não será citado ao longo do trabalho; no entanto, alguns aspectos de sua estrutura física e funcional serão descritos para contextualização do cenário de aplicação. Trata-se de um hospital de grande porte, reconhecido como referência regional e nacional no atendimento a casos de alta complexidade, especialmente nas áreas de oncologia e hematologia, além de atuar em diversas outras especialidades médicas.

A unidade hospitalar é responsável por atender pacientes oriundos de diferentes municípios do estado e de regiões vizinhas, o que gera uma demanda assistencial elevada e contínua. Essa realidade exige um corpo técnico especializado e a disponibilidade ininterrupta de recursos tecnológicos, com destaque para os equipamentos médico-hospitalares utilizados em ambientes críticos, como centros cirúrgicos e unidades de terapia intensiva.

A estrutura física da instituição é composta por diversas salas cirúrgicas, unidades de terapia intensiva (UTIs adulto, pediátrica e neonatal), ambulatórios especializados, centros de diagnóstico por imagem, laboratórios clínicos, além de espaços destinados à pesquisa e ao ensino. Essa complexidade organizacional reflete um ambiente de alta exigência operacional, no qual a eficiência dos processos e a confiabilidade dos equipamentos são fatores decisivos para a qualidade e segurança da assistência prestada.

Dentre os diversos dispositivos utilizados diariamente, os aparelhos de anestesia assumem papel central na condução de procedimentos cirúrgicos. Por serem equipamentos críticos e de uso frequente, sua disponibilidade imediata é fundamental para o funcionamento regular do hospital. Pequenas falhas nesses aparelhos podem comprometer o agendamento de

cirurgias, impactar o fluxo assistencial e, em casos extremos, representar risco à segurança do paciente.

Apesar de contar com uma equipe de engenharia clínica fixa, capacitada e atuante, a instituição enfrenta desafios recorrentes relacionados ao número elevado de chamados corretivos. Parte expressiva dessas ocorrências está relacionada a falhas operacionais simples, que, embora não exijam reparos complexos, geram atrasos ou interrupções nos procedimentos e aumento no tempo de inatividade dos equipamentos.

Essa realidade evidencia a necessidade de estratégias complementares que otimizem a resolução de falhas diretamente no ponto de uso, sem dependência imediata da engenharia clínica. A implementação de ferramentas de orientação, como protocolos visuais ou fluxogramas de verificação, pode oferecer suporte direto aos profissionais da saúde, promovendo maior autonomia na identificação e correção de problemas de baixa complexidade. Além de reduzir a sobrecarga da equipe técnica, essas medidas contribuem para a melhoria da eficiência operacional e para o fortalecimento da cultura de segurança do paciente.

5.2 LEVANTAMENTO DE DADOS

Os dados utilizados neste estudo foram extraídos do sistema Gênesis, plataforma informatizada utilizada pela empresa Biomeditech para a gestão dos equipamentos médico-hospitalares da unidade analisada. O período avaliado compreendeu de janeiro de 2024 a abril de 2025, totalizando 78 chamados de manutenção corretiva relacionados a aparelhos de anestesia.

A coleta concentrou-se nas informações detalhadas de cada ocorrência, incluindo a descrição da falha relatada pelos usuários, a data do chamado, o tempo de resposta da equipe técnica e as ações corretivas realizadas. A análise técnica dos registros permitiu identificar padrões recorrentes de falhas, em sua maioria operacionais, associadas a causas de baixa complexidade e que poderiam, muitas vezes, ser resolvidas no próprio local de uso.

Grande parte dos chamados envolvia vazamentos identificados durante os testes funcionais dos equipamentos, principalmente causados por falhas em conexões e desgaste de sensores. Também foram frequentes os registros de acessórios montados de forma inadequada, como copos do fole e compartimentos de cal sodada mal encaixados, além de sensores e peças do tipo “Y” desconectadas, impactando diretamente na performance dos testes de segurança.

Outro conjunto relevante de falhas dizia respeito a interrupções no fluxo de gases, relacionadas a obstruções pontuais ou ao mau funcionamento do fluxômetro. Em alguns casos,

a presença de resíduos, como restos de cal sodada, foi suficiente para comprometer o funcionamento do equipamento. Além disso, foram observadas falhas operacionais simples, como equipamentos desligados da tomada ou desconectados da fonte de energia, que resultaram na abertura de chamados, embora não exigissem intervenção técnica.

Todas as ocorrências foram classificadas com base em critérios padronizados, distinguindo-se entre falhas técnicas, que exigiram atuação especializada, e falhas operacionais, passíveis de correção por parte da equipe usuária. A consistência e a precisão dos dados foram validadas pela equipe técnica responsável pelo sistema Gênesis, garantindo a confiabilidade das informações analisadas. Ressalta-se que os registros refletem situações práticas vivenciadas pelas equipes assistenciais e técnicas da instituição, conferindo solidez à base empírica sobre a qual se fundamenta a proposta deste trabalho.

5.3 TRATAMENTO DE DADOS, ANÁLISE E DIAGNÓSTICO DE FALHAS

A análise dos 78 chamados corretivos registrados entre janeiro de 2024 e abril de 2025 permitiu uma compreensão aprofundada das falhas relacionadas aos aparelhos de anestesia utilizados na instituição estudada. A partir dos dados extraídos do sistema Gênesis, foi realizada uma triagem detalhada, seguida de tratamento e organização no software Microsoft Excel, com o objetivo de identificar padrões recorrentes e classificar as ocorrências conforme a complexidade da intervenção necessária.

A primeira etapa consistiu na distinção entre chamados originados por falhas técnicas e aqueles atribuídos a falhas operacionais. As **falhas operacionais** referem-se a situações decorrentes do uso incorreto do equipamento ou de procedimentos inadequados durante sua operação, sem que haja defeito técnico real nos componentes. Já as **falhas técnicas** (ou funcionais) correspondem a problemas que comprometem o desempenho do equipamento mesmo quando utilizado corretamente, exigindo intervenção da Engenharia Clínica. Essa categorização foi fundamental para compreender até que ponto os problemas relatados dependiam exclusivamente da atuação da equipe técnica ou poderiam ser resolvidos diretamente pelos profissionais de saúde mediante orientação básica.

A **Figura 42** apresenta a distribuição percentual entre essas duas categorias. Verificou-se que 58% dos chamados (45 ocorrências) foram classificados como falhas técnicas, exigindo intervenções especializadas, como substituição de componentes internos, reparos eletrônicos ou ajustes técnicos não acessíveis à equipe usuária. Esse percentual reflete a presença de

problemas mais complexos e inerentes à estrutura técnica dos equipamentos, justificando plenamente a abertura de chamados corretivos.

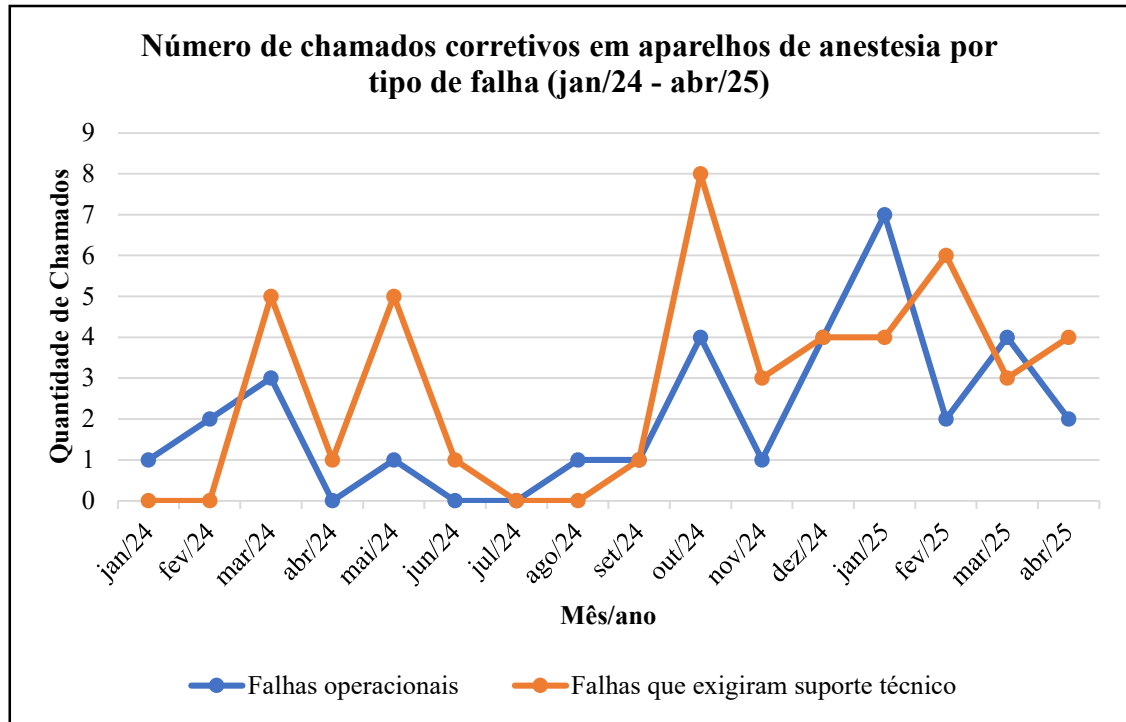
Figura 42 – Classificação percentual dos chamados corretivos em aparelhos de anestesia



Por outro lado, 42% dos chamados (33 ocorrências) foram identificados como falhas operacionais, ou seja, não envolveram defeitos estruturais nos equipamentos, mas sim erros de uso, montagem incorreta de acessórios ou falhas durante os testes automáticos que poderiam ser evitadas com verificações simples. Esse dado é particularmente relevante, pois indica que quase metade das intervenções solicitadas ao setor técnico poderia ter sido evitada, caso houvesse protocolos claros de verificação prévia ou treinamentos mais eficazes junto à equipe assistencial.

A observação da variação temporal das falhas foi realizada com base na **Figura 43**, que apresenta a quantidade mensal de chamados corretivos ao longo do período analisado. Os dados revelam flutuações expressivas, com picos registrados nos meses de março, maio e dezembro de 2024, além de janeiro de 2025. Esses aumentos pontuais podem estar relacionados a múltiplos fatores, como intensificação da demanda cirúrgica, maior utilização dos aparelhos em determinados períodos do ano, desgaste natural de componentes ou lacunas na realização de verificações operacionais básicas antes do uso.

Figura 43 – Quantidade de chamados corretivos em aparelhos de anestesia registrados mensalmente entre janeiro/24 e abril/25.

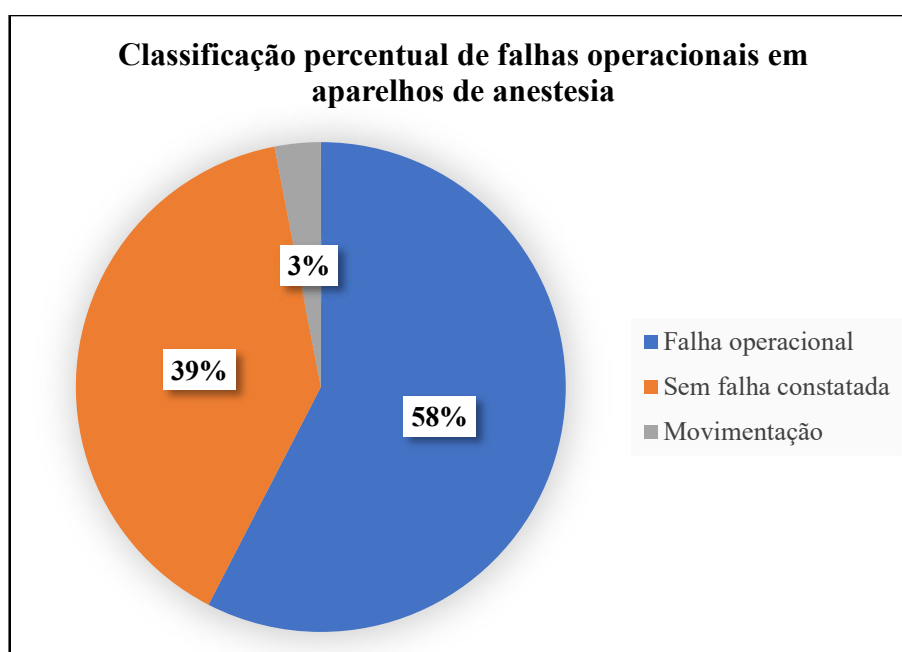


Os meses de menor incidência de chamados, por sua vez, podem estar associados a pausas em programações cirúrgicas eletivas, substituição recente de equipamentos ou intervenções corretivas que solucionaram causas pontuais. A análise dessa oscilação mensal permite identificar padrões sazonais e operacionais, os quais podem servir de base para o planejamento de ações preventivas, como revisões técnicas programadas, reforço das orientações aos usuários e distribuição estratégica de equipamentos conforme a demanda assistencial.

Além da categorização geral das falhas, foi realizada uma análise mais detalhada das falhas operacionais, conforme demonstrado na **Figura 44**. Esta figura apresenta a distribuição percentual das ocorrências classificadas como operacionais, evidenciando que a maior parte dos casos (58%) correspondeu a situações em que o equipamento apresentou anormalidades durante autotestes, interrupções na ciclagem ou mensagens de erro, sem que houvesse defeito técnico real. Em geral, tais ocorrências estavam associadas a erros na montagem do circuito respiratório, acessórios mal posicionados, sensores desconectados ou manuseio inadequado por parte da equipe usuária.

Em seguida, 39% dos chamados operacionais foram classificados como sem falha constatada, ou seja, no momento da avaliação técnica, o equipamento funcionava normalmente, sem apresentar qualquer anormalidade. Esse dado reforça a hipótese de que muitos desses chamados foram gerados por erro de operação, desconhecimento do equipamento ou ausência de verificação prévia antes do uso. Apenas 3% das ocorrências operacionais estiveram relacionadas à movimentação de equipamentos, nas quais o chamado foi aberto para realocação entre setores, sem envolvimento direto de falhas.

Figura 44 – Distribuição percentual das falhas operacionais em aparelhos de anestesia



Esses resultados indicam que a maioria das falhas operacionais relatadas poderia ter sido evitada ou solucionada diretamente no ponto de uso, desde que os profissionais da saúde estivessem devidamente orientados a realizar uma rotina mínima de verificação antes de acionar a equipe técnica de Engenharia Clínica. Tal cenário evidencia uma oportunidade concreta para a adoção de medidas educativas e organizacionais, como a implementação de um fluxograma de diagnóstico padronizado, que auxilie o usuário na identificação e correção de falhas simples, contribuindo para uma tomada de decisão mais assertiva no momento da ocorrência.

Além de evitar deslocamentos técnicos desnecessários, a utilização de protocolos visuais ou checklists funcionais contribui para a redução do tempo de inatividade dos equipamentos, otimização dos recursos de manutenção corretiva e fortalecimento da cultura de

segurança do paciente, assegurando que os aparelhos estejam plenamente operacionais e prontos para uso no contexto clínico.

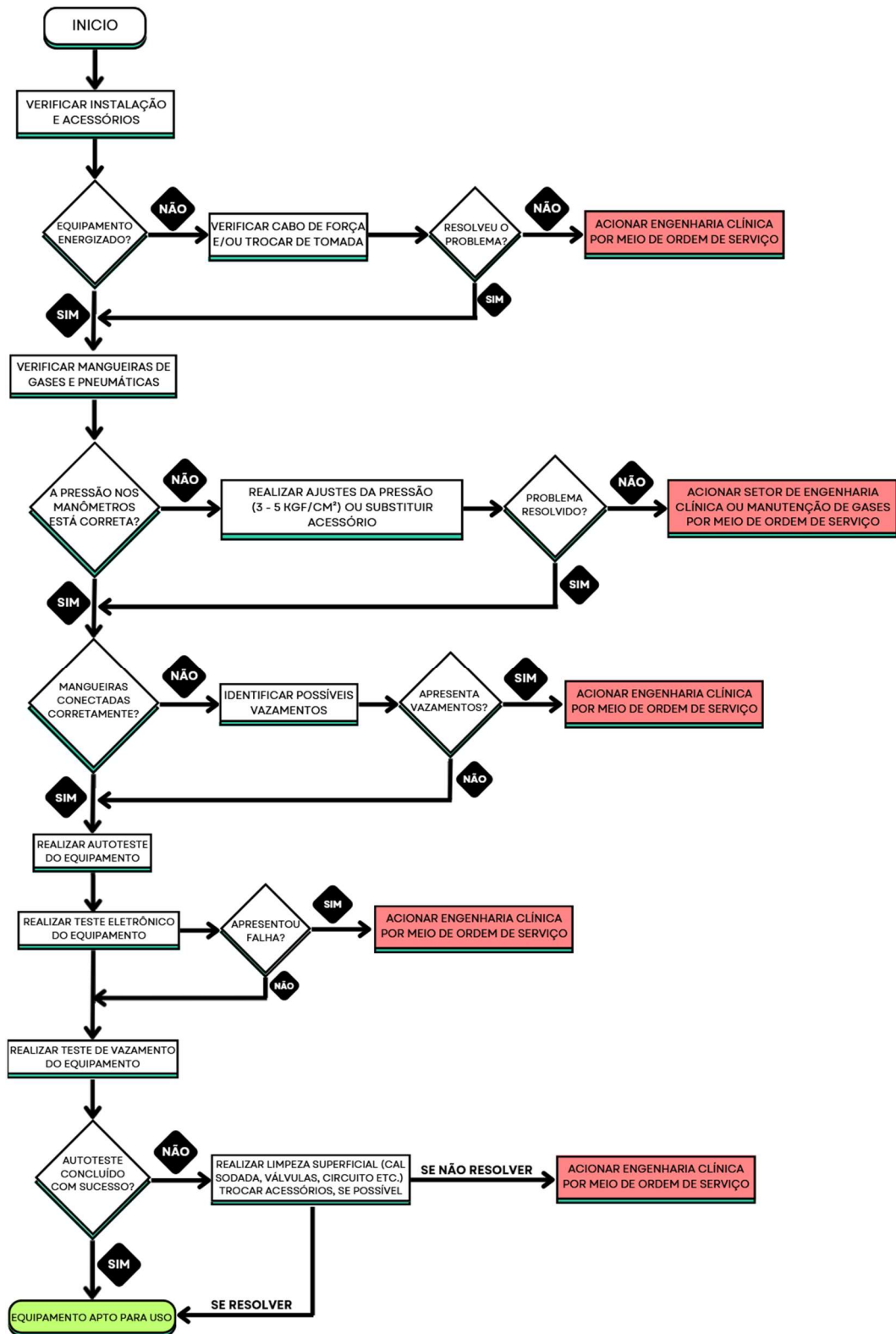
5.4 SOLUÇÃO PARA O PROBLEMA: FLUXOGRAMA DE DIAGNÓSTICO

Diante da expressiva incidência de falhas operacionais simples identificadas ao longo da análise – muitas das quais poderiam ser resolvidas diretamente pelos usuários – elaborou-se um fluxograma de diagnóstico para falhas funcionais com o objetivo de padronizar e otimizar a triagem inicial dessas ocorrências. A proposta visa suprir a ausência de um protocolo claro e acessível que auxilie os profissionais da saúde na identificação de falhas de baixa complexidade em aparelhos de anestesia, evitando assim chamados desnecessários à equipe de engenharia clínica. Essa ausência, verificada a partir dos registros de manutenção e da rotina hospitalar observada, resulta em interrupções nos procedimentos cirúrgicos, aumento no tempo de inatividade dos equipamentos e sobrecarga técnica com demandas que poderiam ser solucionadas com intervenções simples.

O fluxograma foi desenvolvido com base na análise das 33 falhas operacionais (42%) registradas entre janeiro de 2024 e abril de 2025, complementada pela experiência prática da equipe responsável pelo suporte aos aparelhos de anestesia. Considerou-se, para sua estruturação, os pontos mais recorrentes de falha – como acessórios mal conectados, sensores desligados, baixa pressão nos manômetros e resultados incorretos em autotestes – organizando-os em uma sequência lógica de verificação e ação. O objetivo foi construir uma ferramenta prática, de fácil compreensão e aplicável no ambiente hospitalar por profissionais da área da saúde, sem exigir conhecimentos técnicos aprofundados.

A **Figura 45** apresenta visualmente esse fluxograma de diagnóstico. Sua estrutura inicia pela verificação da instalação e dos acessórios do equipamento, incluindo cabos de força, conexões pneumáticas e montagem adequada do circuito respiratório. Caso o equipamento não esteja energizado, o fluxograma orienta a checagem da tomada e do cabo de força, prosseguindo com o teste de funcionamento. Se o problema persistir, recomenda-se acionar a Engenharia Clínica. Em seguida, o usuário é direcionado à verificação da pressão nos manômetros e das conexões das mangueiras de gases, com instruções para realizar ajustes simples nos parâmetros de pressão ou substituir acessórios quando necessário. Persistindo a falha após essas etapas, o equipamento deve ser encaminhado à Engenharia Clínica. Não havendo anormalidades até este ponto, o fluxo conduz à realização do autoteste e, posteriormente, dos testes eletrônicos e de vazamento do equipamento.

Figura 45 – Fluxograma de diagnóstico para verificação funcional em aparelhos de anestesia.



Durante o autoteste, caso o sistema identifique falhas, o fluxograma orienta a realização de limpeza superficial – como a remoção de resíduos de cal sodada, limpeza de válvulas e substituição de peças acessíveis – antes de acionar a Engenharia Clínica. Se, após essa intervenção, o equipamento estiver operando normalmente, ele poderá ser liberado para uso. Caso contrário, será necessário o encaminhamento para a Engenharia Clínica. Cada etapa foi estruturada para que o usuário possa avaliar o estado funcional do aparelho com base em indicadores objetivos, como luzes de sinalização, resultados de autotestes, níveis de pressão e integridade física dos acessórios.

A implementação do fluxograma busca promover maior autonomia dos profissionais da saúde na resolução de falhas operacionais, reduzir a sobrecarga do setor técnico e minimizar o tempo de indisponibilidade dos equipamentos. Ao permitir que erros simples sejam identificados e corrigidos ainda no ponto de uso, essa ferramenta contribui diretamente para o bom andamento das atividades cirúrgicas, promovendo mais agilidade, eficiência e segurança assistencial. Além disso, favorece a padronização das condutas frente a situações comuns, reduzindo a variabilidade nas respostas diante de falhas similares.

Espera-se que, com a adoção sistemática desse fluxograma, seja possível evitar a recorrência de chamados desnecessários, liberar a engenharia clínica para atender demandas de maior complexidade e reforçar a cultura institucional de corresponsabilidade entre as equipes usuárias e técnicas. Para isso, recomenda-se que o fluxograma seja fixado em locais estratégicos, próximo aos equipamentos, incorporado aos treinamentos periódicos dos profissionais e revisado de forma contínua, considerando atualizações técnicas e o retorno das equipes envolvidas. Assim, a proposta não se limita à sua função operacional imediata, mas insere-se também em uma perspectiva de melhoria contínua da qualidade dos processos e da segurança do paciente.

CAPÍTULO 06 – CONCLUSÃO

Este estudo analisou as falhas operacionais em aparelhos de anestesia no contexto de um hospital público de alta complexidade localizado na região metropolitana de Belém (PA), propondo uma solução estruturada para um problema recorrente. Os resultados evidenciaram aspectos relevantes relacionados ao uso e à manutenção dos aparelhos, reforçando a necessidade de aprimorar os processos operacionais e as práticas de capacitação dos usuários.

A análise dos 78 chamados de manutenção registrados entre janeiro de 2024 e abril de 2025 demonstrou um padrão expressivo de falhas operacionais evitáveis, correspondendo a 46% do total de ocorrências. Essa constatação reforçou a necessidade de intervenções voltadas à capacitação dos usuários e à melhoria dos processos operacionais. As falhas mais recorrentes — como montagem inadequada de circuitos respiratórios, desconexão de sensores e erros na interpretação de alarmes — evidenciam a importância de medidas educativas voltadas aos procedimentos e ao uso adequado dos equipamentos.

O fluxograma de diagnóstico desenvolvido atendeu aos objetivos gerais e específicos propostos, ao oferecer uma ferramenta prática que orienta profissionais da saúde e da engenharia clínica na identificação e resolução de falhas operacionais simples, contribuindo para a redução do tempo de inatividade dos equipamentos e para o aumento da segurança durante os procedimentos anestésicos. Sua estrutura, organizada em etapas lógicas e sequenciais de verificação, foi elaborada para facilitar a tomada de decisão e o reconhecimento rápido das causas mais prováveis de falhas. Além disso, o uso de linguagem clara e elementos visuais intuitivos buscou tornar o material acessível a diferentes perfis de usuários, favorecendo a comunicação e a colaboração entre as equipes envolvidas no processo assistencial.

Do ponto de vista teórico, o trabalho apresenta avanços em dois aspectos principais. O primeiro consiste na proposição de uma metodologia de análise voltada à identificação de falhas operacionais simples em aparelhos de anestesia, elaborada de forma a se adequar às rotinas e condições dos ambientes assistenciais. O segundo refere-se ao desenvolvimento de um modelo de diagnóstico que orienta a resolução dessas falhas de maneira prática e sistematizada, contribuindo para a continuidade dos procedimentos e para a maior disponibilidade dos equipamentos.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se a dependência de registros históricos obtidos no sistema de gestão Gênesis, que, embora representem dados reais do ambiente hospitalar, podem não abranger todas as variáveis envolvidas nas falhas operacionais. Outro fator limitante refere-se à realização da pesquisa em uma única instituição pública da região

metropolitana de Belém, o que restringe a generalização dos resultados para outros contextos hospitalares com diferentes estruturas, fluxos de trabalho e recursos disponíveis. Além disso, o período de observação delimitado entre janeiro de 2024 e abril de 2025 pode não refletir variações sazonais, mudanças na equipe técnica ou atualizações tecnológicas ocorridas fora desse intervalo. Ainda assim, as evidências levantadas fornecem uma base consistente para futuras investigações e aprimoramentos do fluxograma proposto em realidades distintas.

Em síntese, este trabalho reforça a importância da Engenharia Clínica como área fundamental na gestão e na segurança das tecnologias em saúde. A partir da análise sistemática das falhas operacionais em aparelhos de anestesia, foi possível demonstrar que a adoção de ferramentas simples e bem estruturadas pode contribuir de forma significativa para a redução de erros, a otimização do uso dos equipamentos e a melhoria dos processos de manutenção. O fluxograma proposto representa um recurso aplicável à rotina hospitalar, favorecendo a integração entre as equipes assistenciais e técnicas e promovendo uma atuação mais segura, eficiente e colaborativa no ambiente hospitalar.

REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025:2005** – Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 55000:2014** – Gestão de ativos – Visão geral, princípios e terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- [3] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:1994** – Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15943:2011** – Diretrizes para um programa de gerenciamento de equipamentos de infraestrutura de serviços de saúde e de equipamentos para a saúde. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- [5] ANVISA. **Classificação de Equipamentos Médicos**. Portal Gov.br, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/anvisa/pt-br>. Acesso em: out. 2024.
- [6] AZEVEDO, F. S. **Gestão de equipamentos médico-hospitalares em estabelecimentos assistenciais de saúde**. 2010. 98 f. Dissertação (Mestrado em Gestão dos Serviços de Saúde) – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa, 2010.
- [7] BECKERT, S. F.; ANDRADE, G. A. M. de. **Capacidade de medição e calibração: uma ferramenta para seleção de serviços de calibração**. In: CIMEC, 3., 2017. Disponível em: <https://extensaometrologia.paginas.ufsc.br/files/2016/02/03-CMC.pdf>. Acesso em: 17 jan. 2025.
- [8] BEZERRA, M. C. P. *et al.* **Lidocaína como adjuvante na anestesia peridural para cesariana: avaliação de eficácia e resultados**. Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences, v. 6, n. 1, p. 1631–1645, 2024.

- [9] BRAGA, Í. F. F. **Manutenção baseada em evidências: estudo aplicado à uma rede de hospitais públicos municipais**. 2021. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2021.
- [10] BRANCO FILHO, G. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.
- [11] BRASIL. Lei nº 6.360, de 23 de setembro de 1976. **Dispõe sobre a vigilância sanitária a que ficam sujeitos os medicamentos, as drogas, os insumos farmacêuticos e correlatos, cosméticos, saneantes e outros produtos, e dá outras providências**. Diário Oficial da União, Brasília, 1976.
- [12] BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Manual de tecnovigilância: abordagens de vigilância sanitária de produtos para a saúde comercializados no Brasil**. Brasília: Ministério da Saúde, 2010. 629 p.
- [13] CALIL, S. J.; TEIXEIRA, M. S. **Equipamentos médico-hospitalares e o gerenciamento da manutenção: capacitação a distância**. Brasília: Ministério da Saúde, 2002.
- [14] CAMPOS, C. A. B. DE. **Processo de Medição e Calibração**. Curitiba: Instituto de Pesos e Medidas do Estado do Paraná (IPEM-PR), 2015. Disponível em: http://www.ipem.pr.gov.br/arquivos/File/Laboratorio_-_material_de_apoio/Processo_de_Medicao_e_Calibracao.pdf. Acesso em: 17 jan. 2025
- [15] COOK, J. E. **Healthcare technology management problems in developing countries**. Business Briefing: Hospital Engineering & Facilities Management, p. 24–27, 2001.
- [16] DOS SANTOS, J. C.; BAUER, C. M. **A importância da manutenção preventiva em equipamentos hospitalares**. Revista Renovare, v. 2, 2022.
- [17] DRÄGERWERK. **The history of anaesthesia at Dräger**. Lübeck: Drägerwerk AG & Co. KGaA, 2015. Disponível em:

http://www.draeger.com/sites/assets/PublishingImages/Generic/UK/Booklets/4212-Br-History-ofAnaesthesia_A5_en_191212-LR.pdf. Acesso em 18 fev. 2025

[18] EBSEH – Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares. **Plano de gerenciamento de equipamentos médico-hospitalares – PGEMH**. Brasília: EBSEH, 2020. Disponível em: <https://brunoroma.eng.br/wp-content/uploads/2023/08/PGEMH.pdf>. Acesso em 20 fev. 2025

[19] FERREIRA, F. R. **Proposta de implementação em estruturas de engenharia clínica**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

[20] FONSECA, N. M. **Conceitos fundamentais do aparelho de anestesia**. In: CAVALCANTI, I. L.; CANTINHO, F. A. F.; ASSAD, A. (Org.). *Medicina perioperatória*. Rio de Janeiro: SAERJ, 2006. v. 251.

[21] FORNAZIER, C. *et al.* **Abordagem de vigilância sanitária de produtos para saúde comercializados no Brasil: sistema de anestesia**. Boletim Informativo de Tecnovigilância – BIT, v. 1, p. 1–79, 2012.

[22] GODOI, C. **Metodologia para classificação de equipamentos médico-hospitalares no Hospital de Clínicas de Uberlândia da Universidade Federal de Uberlândia**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2014.

[23] GODOI, C. M. de. **Análise da disponibilidade de equipamentos médico-assistenciais após reestruturação da programação de manutenção preventiva em um hospital público de grande porte e alta complexidade**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-graduação em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

[24] HIRAIWA, G. L. **Metodologia para determinação do período de manutenção preventiva em equipamentos eletromédicos**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

- [25] ISHAK, I. S.; ALIAS, R. A. **Designing a strategic information system planning methodology for Malaysian institutes of higher learning (ISP-IPTA)**. Johor Bahru: Universiti Teknologi Malaysia, 2005.
- [26] KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- [27] LOURENÇO, N. **Manutenção de equipamentos de eletromedicina: estágio na Dräger**. 2017. Relatório de Estágio (Mestrado em Instrumentação Biomédica) – Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra, 2017.
- [28] LUCATELLI, M. V. **Estudo de procedimento de manutenção preventiva de equipamentos eletromédicos**. 1998. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- [29] MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Equipamentos médico-hospitalares e o gerenciamento da manutenção**. Brasília: Ministério da Saúde, 2002.
- [30] MORAIS, V. C. **Metodologia de priorização de equipamentos médico-hospitalares em programas de manutenção preventiva**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.
- [31] MOURA, A. D.; VIRIATO, A. **Gestão hospitalar: da organização ao Serviço de Apoio Diagnóstico e Terapêutico**. Barueri: Manole, 2008.
- [32] OLIVEIRA, E. F. de S. **Inovação tecnológica em saúde: uma visão nas últimas duas décadas**. 2014. Tese (Doutorado em Ciências Sociais) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2014.
- [33] PAZETO, A. C. **Modelo de priorização da manutenção corretiva em ambientes hospitalares**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

- [34] PENLON. **Vaporizador Sigma Delta**. Abingdon: Penlon Limited, 2020. Disponível em: <https://www.penlon.com/?s=vaporizador+sigma+delta>. Acesso em: 8 jan. 2025.
- [35] PEREIRA, S. R. G.; IÓRIO, L. R. M. **Evolução do aparelho de anestesia**. Bauru: Faculdade de Tecnologia de Bauru – FATEC, 2015.
- [36] PINTO, A. K.; XAVIER, J. A. N. **Manutenção: função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- [37] PORTER, M. E.; TEISBERG, E. O. **Repensando a saúde: estratégias para melhorar a qualidade e reduzir os custos**. Porto Alegre: Bookman, 2007.
- [38] REZENDE, J. M. **À sombra do plátano: crônicas de história da medicina**. São Paulo: Editora Unifesp, 2009. Disponível em: <http://static.scielo.org/scielobooks/8kf92/pdf/rezende9788561673635.pdf>.
- [39] SANTOS, A. P. dos. **Metodologia de elaboração de programa de treinamento no uso de equipamentos médicos assistenciais**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Biomédica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2023.
- [40] TAKAOKA IND. E COM. LTDA. **Manual de Operação – Sistema de Anestesia SAT 500**. São Bernardo do Campo: K. Takaoka, 2009.
- [41] TAKAOKA IND. E COM. LTDA. **Manual de Serviço – Sistema de Anestesia SAT 500**. São Bernardo do Campo: K. Takaoka, 2009.
- [42] URMAN, R. D.; DESAI, S. P. **History of anesthesia for ambulatory surgery**. *Current Opinion in Anaesthesiology*, v. 25, n. 6, p. 641–647, 2012.
- [43] WEINGARTEN, T. N. *et al.* **Anesthesia with nitrous oxide versus anesthesia without nitrous oxide for surgical patients**. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Issue 8, 2016. Art. No.: CD008984. doi: 10.1002/14651858.CD008984.pub2.

[44] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 509, de 27 de maio de 2021. **Dispõe sobre o gerenciamento de tecnologias em saúde em estabelecimentos de saúde.** Diário Oficial da União, Brasília, 2021.

[45] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 551, de 30 de agosto de 2021. **Dispõe sobre a obrigatoriedade de execução e notificação de ações de campo por detentores de registro de produtos para a saúde no Brasil.** Diário Oficial da União, Brasília, 2021.

[46] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. RDC nº 751, de 15 de setembro de 2022. **Dispõe sobre a classificação de risco, o regime de notificação, cadastro, registro, alterações, revalidações e o cancelamento de registros de dispositivos médicos.** Diário Oficial da União, Brasília, 2022.

[47] BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). RDC nº 15, de 15 de março de 2012. **Dispõe sobre requisitos de boas práticas para o processamento de produtos para saúde e dá outras providências.** Diário Oficial da União, Brasília, 2012.