



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA BIOMÉDICA

YASMIN SAMARA OLIVEIRA DO NASCIMENTO

**DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE PARA ANÁLISE DE
INDICADORES DE DESEMPENHO NO PLANEJAMENTO E
CONTROLE DA MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS DE
ANGIOGRAFIA**

RECIFE
2024

YASMIN SAMARA OLIVEIRA DO NASCIMENTO

**DESENVOLVIMENTO DE INTERFACE PARA ANÁLISE DE
INDICADORES DE DESEMPENHO NO PLANEJAMENTO E
CONTROLE DA MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS DE
ANGIOGRAFIA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Biomédica, pela Universidade Federal de Pernambuco.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Marilú Gomes Netto Monte da Silva

RECIFE
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Nascimento, Yasmin Samara Oliveira do.

Desenvolvimento de interface para análise de indicadores de desempenho no planejamento e controle da manutenção em equipamentos de angiografia / Yasmin Samara Oliveira do Nascimento. - Recife, 2024.

57 p. : il., tab.

Orientador(a): Marilú Gomes Monte da Silva

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Biomédica - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, anexos.

1. Angiógrafo. 2. Business intelligence. 3. KPI. 4. Manutenção. 5. Power BI. I. Silva, Marilú Gomes Monte da. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

Dedico aos meus pais e a toda a minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final.

Gratidão pelos meus pais, sua presença e amor incondicional na minha vida sempre. Esta monografia é a prova de que os esforços deles pela minha educação não foram em vão e valeram a pena.

Agradeço à minha orientadora por sempre estar presente para indicar a direção correta que o trabalho deveria tomar.

A todos os meus amigos do curso de graduação que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo.

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu, mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre aquilo que todo mundo vê.” (Arthur Schopenhauer)

RESUMO

A eficaz manutenção e operação contínua de equipamentos de imagens desempenham um papel fundamental na prestação de serviços de saúde de alta qualidade. No entanto, garantir a operação ininterrupta desses complexos equipamentos demanda um planejamento e controle de manutenção eficiente capaz de garantir uma vida útil prolongada e uma maior disponibilidade operacional. Equipamentos de alta criticidade, como angiógrafos, ressonâncias e tomógrafos, frequentemente não contam com a disponibilidade de equipamentos de reserva. É comum ter apenas uma unidade do dispositivo na instituição, o que se torna problemático, já que a ausência desses dispositivos resulta na interrupção imediata de procedimentos. Assim, torna-se essencial o acompanhamento de indicadores de desempenho (KPIs - *Key Performance Indicators*). Dentre os principais indicadores de manutenção, destacam-se o MTBF (Tempo Médio entre Falhas), o MTTR (Tempo Médio entre Reparos) e a Disponibilidade. O monitoramento destes indicadores proporciona ao gestor de manutenção uma visão abrangente da eficácia do departamento, fornecendo ferramentas para a tomada de decisões preventivas ou corretivas na readequação dos equipamentos. Este estudo visa contribuir para a gestão eficiente de serviços de uma empresa de manutenção em equipamentos de diagnóstico por imagem, por meio da coleta, manipulação e análise de dados, utilizando relatórios de Key Performance Indicators (KPIs) na plataforma *Power BI* da *Microsoft*. São abordados conceitos relevantes associados ao *Business Intelligence*, *Microsoft Power BI* e KPIs de manutenção, todos fundamentais para decisões eficazes dentro do PCM (Planejamento e Controle de Manutenção). A metodologia detalha os métodos aplicados ao desenvolvimento do relatório com informações sobre os KPIs. Ao final, é realizada uma análise do resultado obtido, destacando a aplicação dos conceitos de BI e da ferramenta Power BI, permitindo a avaliação do desempenho da manutenção e fornecendo subsídios para a tomada de decisão visando otimização e aprimoramento do processo.

Palavras-chave: Angiógrafo; Business intelligence; Indicadores chave de performance; KPI; Manutenção; Power BI.

ABSTRACT

The effective maintenance and continuous operation of imaging equipment play a crucial role in providing high-quality healthcare services. However, ensuring the uninterrupted operation of these complex devices requires efficient maintenance planning and control capable of ensuring a long service life and greater operational availability. High-criticality equipment such as angiographs, magnetic resonance imaging (MRI), and computed tomography (CT scan) often do not have backup equipment available. It is common to have only one unit of the device in the institution, which becomes problematic as the absence of these devices results in an immediate interruption of procedures. Therefore, monitoring Key Performance Indicators (KPIs) becomes essential. Among the main maintenance indicators are MTBF (Mean Time Between Failures), MTTR (Mean Time To Repair), and Uptime. Monitoring these indicators provides the maintenance manager with a comprehensive view of the department's effectiveness, providing tools for preventive or corrective decision-making in equipment readjustment. This study aims to contribute to the efficient management of services for an imaging equipment maintenance company through the collection, manipulation, and analysis of data using Key Performance Indicators (KPIs) reports on the Microsoft Power BI platform. Relevant concepts associated with Business Intelligence, Microsoft Power BI, and maintenance KPIs are addressed, all crucial for effective decisions within Maintenance Planning and Control (MPC). The methodology details the methods applied to the development of the report with information on the KPIs. Finally, an analysis of the obtained results is performed, highlighting the application of BI concepts and the Power BI tool, allowing the evaluation of maintenance performance and providing insights for decision-making aimed at optimizing and improving the process.

Keywords: Angiograph; Business intelligence; Key performance indicators; KPI; Maintenance; Power BI.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Esquema de sala de angiografia	16
Figura 2.2 – Arco em C do Angiógrafo	16
Figura 2.3 – Aceitabilidade dos produtos e serviços pelo mercado consumidor antes e após aplicação do BI	20
Figura 2.4 – Tipos de Manutenção Industrial	21
Figura 2.5 – Fluxograma da Rotina de Manutenção Corretiva	25
Figura 2.6 – Histórico do Tubo de Raios-x	27
Figura 2.7 – Estados do Equipamento	30
Figura 2.8 – MTBF e MTTR	31
Figura 3.1 – Ordem de Serviço	33
Figura 3.2 – Estrutura Organizacional dos Dados	34
Figura 3.3 – Base KPI	35
Figura 3.4 – Medida MTBF em DAX	36
Figura 3.5 – Medida MTTR em DAX	37
Figura 3.6 – Medida de Disponibilidade em DAX	38
Figura 3.7 – Menu Principal	38
Figura 3.8 – Página Dados de Service	39
Figura 3.9 – Página Ordens de Serviço - Análise de OS	40
Figura 3.10–Página Ordens de Serviço - Análise Semanal	41
Figura 3.11–Página Distribuição Regional - Ordens de Serviço	41
Figura 3.12–Página Distribuição Regional - Equipamentos	42
Figura 3.13–Página KPIs Gerais	43
Figura 4.1 – Relatório de Performance - Informações Gerais	44
Figura 4.2 – Relatório de Performance - Cliente 2	45
Figura 4.3 – Relatório de Performance - Análise de Tempo	47
Figura 4.4 – Relatório de Performance - Análise de KPI	47
Figura 4.5 – SLA - Suporte Remoto	50
Figura 4.6 – SLA - TPA Corretivo	52
Figura A.1 – Sub-Rotina de Serviços Terceirizados	56
Figura A.2 – Sub-Rotina de Garantias	57
Figura A.3 – Sub-Rotina de Aquisição	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Tipos de Equipamentos	40
Tabela 4.1 – Indicadores Gerais de Manutenção	48
Tabela 4.2 – Disponibilidade Operacional	49
Tabela 4.3 – Tempos de Atendimento	50
Tabela 4.4 – Tempos de Atendimento Presencial Corretivo	51

LISTA DE SIGLAS

BI	Inteligência de Negócio (<i>Business Intelligence</i>)
KPI	Indicadores Chaves de Performance (<i>Key Performance Indicators</i>)
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
SLA	Acordo de Nível de Negócio (<i>Service Level Agreement</i>)
OS	Ordem de Serviço
API	Interface de Programação de Aplicação (<i>Application Programming Interface</i>)
ETL	Extração, Transformação e Carregamento (<i>Extract, Transform, Load</i>)
MTBF	Tempo Médio Entre Falhas (Mean Time Between Failures)
MTTR	Tempo Médio de Reparo (Mean Time to Repair)
SMD	Solucionados no Mesmo Dia
DAX	Linguagem de expressões do Power BI (<i>Data Analysis Expression</i>)
EAS	Estabelecimentos Assistenciais de Saúde
MP	Manutenção Preventiva

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.2	Estrutura do trabalho	14
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	15
2.1	Sistema de Hemodinâmica	15
2.2	Business Intelligence	17
2.3	Planejamento e Controle da Manutenção	19
2.3.1	Manutenção Corretiva	23
2.3.2	Manutenção Preventiva	24
2.3.3	Manutenção Preditiva	26
2.4	Indicadores de Manutenção	27
2.4.1	MTBF	28
2.4.2	MTTR	29
2.4.3	Disponibilidade	29
2.4.4	Confiabilidade	31
3	METODOLOGIA	32
3.1	Coleta de Dados	32
3.2	Estruturação da Base de Dados	33
3.3	Cálculo de Indicadores Chave	35
3.3.1	Cálculo de Downtime	36
3.3.2	Cálculo de MTBF	36
3.3.3	Cálculo de MTTR	37
3.3.4	Cálculo de Disponibilidade	37
3.4	Interface de Usuário	38
3.4.1	Dados de Service	38
3.4.2	Ordens de Serviço	39
3.4.3	Distribuição Regional	41
3.4.4	KPIs Gerais	42
4	RESULTADOS	44
4.1	Relatório de Performance	44
4.2	Análise geral	48
5	CONCLUSÃO	53

REFERÊNCIAS	54
-----------------------	----

ANEXO A – SUB-ROTINAS DE MANUTENÇÃO CORRETIVA .	56
---	----

1 INTRODUÇÃO

A manutenção eficaz e o funcionamento contínuo de equipamentos de imagens são cruciais para a prestação de serviços de saúde de qualidade. Em ambientes hospitalares e clínicas, a precisão e a confiabilidade desses dispositivos são essenciais para diagnósticos precisos e tratamentos eficazes. Entretanto, garantir a operação ininterrupta desses dispositivos complexos requer um planejamento e controle de manutenção eficientes.

De acordo com o DATASUS (BRASIL, 2023) existem cerca de 160.708 equipamentos de diagnóstico por imagem no Brasil, distribuídos em equipamentos de raios-x com fluoroscopia, ressonância magnética, mamografia, tomografia computadorizada, entre outros. Ainda de acordo com a pesquisa, existem 8.718 equipamentos que não estão em uso, o que corresponde a 5,42% do quantitativo total.

O elevado investimento na aquisição e manutenção desses equipamentos tem um impacto direto na necessidade de implementar procedimentos que assegurem uma vida útil mais longa e uma maior disponibilidade operacional. Além disso, de acordo com Baldez et al. (2022), equipamentos como angiógrafos, ressonâncias e tomógrafos são considerados de alta criticidade, uma vez que a sua ausência resulta na interrupção imediata dos procedimentos, sem disponibilidade de equipamentos de reserva, com apenas algumas unidades disponíveis na instituição. Portanto, é fundamental garantir o seu funcionamento adequado e evitar paradas não programadas, a fim de evitar prejuízos econômicos e falta de atendimento adequado aos pacientes.

Ainda no estudo realizado por Baldez et al. (2022), o aumento de 65% nas manutenções preventivas em um hospital resultou em uma redução de 30% nas manutenções corretivas, ao longo de dois períodos avaliados. Isso destaca a importância de um plano de manutenção eficaz. No entanto, é fundamental ressaltar que, mesmo com um plano de manutenção bem estruturado, os equipamentos sempre estarão sujeitos a falhas. Nesse contexto, a manutenção corretiva desempenha um papel crucial ao restabelecer o funcionamento e, por meio de outras estratégias, garantir uma taxa de falhas reduzida ao máximo possível.

Assim, para supervisionar e controlar as atividades de manutenção e verificar sua conformidade com o Planejamento e Controle de Manutenção (PCM), bem como implementar correções e melhorias, torna-se imprescindível o acompanhamento de indicadores de desempenho (KPIs - *Key Performance Indicators*). Entre os principais indicadores de manutenção, destacam-se o MTBF (Tempo Médio entre Falhas), o MTTR (Tempo Médio entre Reparos), a Disponibilidade e a Confiabilidade do equipamento. O monitoramento desses indicadores oferece ao gestor de manutenção uma visão abrangente da eficácia do departamento de manutenção, fornecendo ferramentas para a tomada de decisões preventivas ou corretivas na readequação dos equipamentos.

Portanto, a adoção de métodos de manutenção específicos e a monitorização do

desempenho dos serviços executados são essenciais para diminuir tanto os gastos diretos quanto os indiretos, ao mesmo tempo em que aprimoram o desempenho do equipamento. Um plano de manutenção bem executado é capaz de reduzir as intervenções corretivas, que estão relacionadas a paralisações inesperadas do equipamento devido a falhas, acarretando custos de reparo e redução de receita pela impossibilidade de desempenhar suas funções.

Nesse contexto, a análise de indicadores de desempenho apresenta um papel vital, fornecendo insights valiosos sobre a eficiência operacional, a confiabilidade do equipamento e a monitoração do cumprimento de cláusulas contratuais de serviço de manutenção. A criação de uma interface dedicada para a análise desses indicadores oferece uma abordagem estruturada para avaliar o desempenho dos equipamentos de imagem, bem como para formular estratégias de manutenção personalizadas e eficazes.

A necessidade de uma plataforma simples e intuitiva para análises técnicas e gerenciais surge da complexidade dos equipamentos de imagem e da diversidade das intervenções técnicas. Ao desenvolver uma interface centrada no usuário, que apresenta indicadores de desempenho de forma clara e compreensível, os profissionais de manutenção podem tomar decisões informadas e rápidas. Além disso, a personalização dos indicadores permite que uma empresa de manutenção desses dispositivos adapte suas estratégias de acordo com as necessidades específicas de cada equipamento e de cada cliente, maximizando a eficiência operacional, prolongando a vida útil dos dispositivos.

Ademais, melhorar os serviços prestados por uma empresa de manutenção em equipamentos de imagem não apenas otimiza os recursos financeiros, como contribui significativamente para a segurança dos pacientes. Equipamentos em correto funcionamento significam procedimentos mais seguros, diagnósticos mais precisos e, conseqüentemente, uma melhoria na qualidade do atendimento médico.

Em nichos altamente específicos, como o da manutenção de equipamentos de imagem, é comum encontrar uma falta de variedade de plataformas especializadas que atendam às necessidades únicas desse setor. A complexidade e a natureza técnica dos equipamentos de imagem exigem soluções personalizadas que nem sempre são encontradas em soluções genéricas de gerenciamento de indicadores de desempenho. Nesse sentido, o presente trabalho tem por objetivo desenvolver uma plataforma simples e intuitiva para análises técnicas e gerenciais, a partir da construção de indicadores de performance personalizados que permitam definir estratégias de manutenção e planejamento que auxiliem na melhoria dos serviços prestados por uma empresa de manutenção em equipamentos de imagem.

1.1 Objetivos

Esse estudo tem por objetivo auxiliar na gestão de serviços de uma empresa de manutenção em equipamentos de diagnóstico por imagem a partir da aquisição de dados, manipulação e análise das informações obtidas através de relatórios de *Key Performance Indicators* (KPIs)

na plataforma *Power BI* da *Microsoft*. E tem por objetivos específicos:

- Extrair, transformar e carregar informações das ordens de serviço em planilha de *Excel*;
- Selecionar e implementar indicadores de desempenho que serão utilizados para a análise de performance;
- Desenvolver uma plataforma de análise de dados a partir de *Power BI*;
- Analisar o desempenho de performance dos equipamentos de angiografia a partir dos KPIs gerados;
- Identificar pontos de melhoria do PCM na empresa a partir da plataforma criada.

1.2 Estrutura do trabalho

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. Neste Capítulo 1 foi apresentado o contexto no qual o trabalho está inserido, a justificativa e os objetivos.

Durante o Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica relacionada às ferramentas utilizadas no estudo, tais como conceitos de Equipamentos de Imagem, *Business Intelligence*, Planejamento e Controle da Manutenção e Indicadores de Manutenção.

A metodologia utilizada no trabalho é apresentada no Capítulo 3, incluindo o método de coleta de dados, sua transformação e a criação da plataforma de análise no *Power BI*.

Os resultados são apresentados juntamente com suas devidas discussões no Capítulo 4, avaliando a consistência das informações em relação à literatura de referência, a aplicabilidade dos resultados no setor de manutenção e o desempenho obtido no presente estudo. Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as considerações finais do trabalho, incluindo as principais conclusões alcançadas, as limitações da pesquisa e as recomendações para estudos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Ao longo deste capítulo, serão explorados conceitos técnicos, informações históricas e aplicações relevantes que ajudarão a aprofundar a compreensão do projeto em questão.

2.1 Sistema de Hemodinâmica

Equipamentos de imagem são importantes ferramentas de auxílio na hora do diagnóstico médico. Esses equipamentos permitem a visualização de estruturas internas do corpo com visão detalhada, nitidez e precisão, irregularidades e anomalias que venham a apresentar. De acordo com o DATASUS (BRASIL, 2023) existem cerca de 160.708 equipamentos de diagnóstico por imagem no Brasil, entre os quais 86.700 são equipamentos de raios-x.

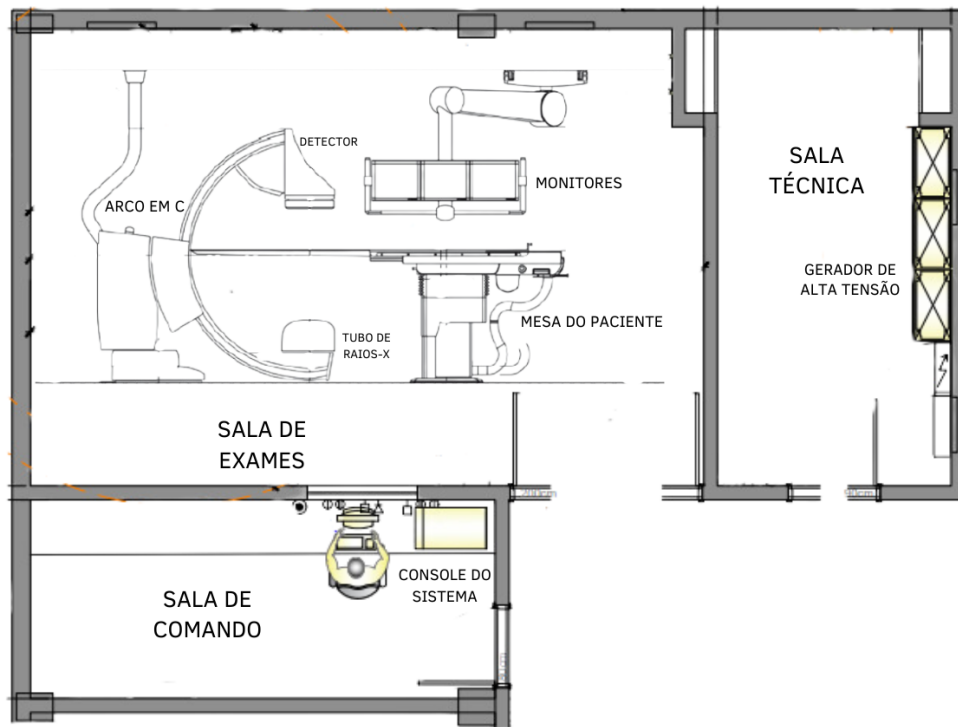
Os angiógrafos são equipamentos cujo princípio de funcionamento é baseado na emissão de raios-x para procedimentos intervencionistas. Sua importância vai além do diagnóstico, sendo crucial em procedimentos cirúrgicos programados e de urgência.

A hemodinâmica representa uma área da cardiologia que utiliza procedimentos minimamente invasivos para o diagnóstico e tratamento de doenças que anteriormente exigiam cirurgias convencionais. Um exemplo desses procedimentos é o cateterismo, e de acordo com Hammermuller e Echer (2001) trata-se de um exame diagnóstico que tem por finalidade conhecer as condições de irrigação e funcionamento do coração, por meio de um cateter inserido em um vaso sanguíneo do punho ou da virilha que avança até o coração.

Outro procedimento comum é a angioplastia, que de acordo com Bie et al. (2021) trata obstruções nas artérias do coração. Durante esse procedimento, um cateter é inserido para desobstruir a artéria e, em seguida, uma malha de metal, *stent*, é colocada no interior do vaso para mantê-lo aberto, restaurando assim o fluxo sanguíneo normal. Essas técnicas minimamente invasivas têm revolucionado a forma como as condições cardíacas são tratadas, proporcionando aos pacientes opções menos invasivas e com recuperação mais rápida.

O exame tem início com a introdução de um cateter em uma veia de maior calibre do corpo, geralmente localizada no pescoço ou virilha. O cateter é então avançado até a parte do vaso em que será realizada a análise. Nesse momento, o médico injeta um contraste radiológico para realçar as estruturas nas imagens. Somente após a administração do contraste, o médico utiliza um equipamento de imagem chamado angiógrafo, (Figura 2.1 e Figura 2.2), para capturar as imagens de raios-X necessárias para o diagnóstico preciso. O angiógrafo é essencial para proporcionar imagens detalhadas e em tempo real dos vasos sanguíneos, permitindo aos médicos avaliar com precisão o estado dos vasos e identificar possíveis obstruções ou anomalias que possam estar afetando a saúde do paciente. Essas imagens desempenham um papel fundamental no diagnóstico e no planejamento de procedimentos médicos, ajudando os profissionais de saúde a oferecer o melhor tratamento possível ao paciente.

Figura 2.1 – Esquema de sala de angiografia



Fonte: Próprio Autor

Figura 2.2 – Arco em C do Angiógrafo



Fonte: Próprio Autor

Para realizar uma manutenção de qualidade em equipamentos específicos desse nicho, o angiógrafo é essencial ter conhecimento de suas particularidades e compreender o seu princípio de funcionamento. O avanço contínuo da tecnologia na área da medicina tem impulsionado transformações significativas, impactando diretamente nos equipamentos utilizados para diagnóstico e intervenção.

Em uma abordagem sistêmica, o acompanhamento dos indicadores de desempenho e a aplicação de conceitos estratégicos em equipamentos médicos apresentam nuances distintas em comparação com um ambiente estritamente industrial. Dada a complexidade inerente a esses dispositivos, que envolvem diversas partes interdependentes para o seu correto funcionamento, a operação ainda pode ser afetada mesmo diante de defeitos em um único componente. Nesse contexto, o profissional encarregado da análise deve possuir conhecimentos técnicos que permita a identificação de anomalias nos indicadores e a adaptação desses parâmetros à realidade específica do equipamento.

2.2 Business Intelligence

Durante a segunda metade do século XX, o mundo testemunhou uma transição significativa na forma como a energia era gerada e controlada. O paradigma tradicional da energia mecânica e hidráulica começou a ceder espaço para a ascendência da eletroeletrônica. Esse período marcou o início de uma era analógica que, de maneira rápida e transformadora, evoluiu para a digitalização e, posteriormente, para a computadorização que define o cenário contemporâneo.

A transição para a eletroeletrônica representou uma mudança fundamental na sociedade, afetando uma ampla gama de setores, desde a indústria até a comunicação e a medicina. Essa transformação não apenas redefiniu as capacidades tecnológicas, mas também moldou significativamente o modo como as pessoas vivem, trabalham e se comunicam.

Com a chegada do século XXI, houve o marco inicial da utilização das áreas de tecnologia da informação e as de produção para promover a digitalização das atividades industriais e melhorar os processos e aumentar a produtividade, definido como Indústria 4.0 (BORGES DE LIMA et al., 2018). Esse período é marcado pela colaboração intensificada no cenário digital, como a disseminação generalizada das redes sociais, atingindo aproximadamente 59.4% de toda a população mundial em 2022 (We Are Social, 2023).

Os novos paradigmas nos processos industriais e comerciais tornaram-se capazes de gerar vastas quantidades de informações sobre o comportamento do consumidor e as etapas dos processos. Conforme destacado pela IBM Marketing Cloud (2017), em 2016, aproximadamente 90% de todos os dados existentes no mundo foram gerados nos últimos 12 meses.

Este fenômeno ressalta a magnitude do desafio de lidar com o volume exponencial de informações, e é nesse contexto que emerge o conceito de *Big Data*. O *Big Data* trata de conjuntos de dados extensos e complexos, provenientes de diversas fontes, incluindo transações online, redes sociais, indicadores, entre outros. Nesse cenário, o processo de coleta, organização,

análise, compartilhamento e monitoramento dessas informações pode ser compreendido como Business Intelligence (BI).

Historicamente, os primeiros conceitos de BI começaram a surgir em 1958. Um artigo publicado por Hans Peter Luhn, cientista da computação da IBM, intitulado "A Business Intelligence System", (LUHN, 1958), no qual discutia um sistema automático em desenvolvimento capaz de distribuir informações para diversos setores de uma organização. Em sua publicação, Luhn enfatizava que o sistema de inteligência empregaria máquinas para processar os dados coletados, visando criar perfis de interesse para cada ponto de ação dentro de uma organização. Durante a década de 90, Howard Dresner foi responsável por popularizar o termo BI e definiu como um conjunto de ferramentas tecnológicas capaz de coletar, armazenar e tratar dados diversos, transformando-os em informações úteis. (FIA Business School, 2021)

No âmbito corporativo, o Business Intelligence (BI) assume a tarefa crucial de aproveitar informações para gerar insights valiosos sobre os processos adotados pela empresa. Por meio de um conjunto refinado de técnicas e ferramentas de extração, tratamento e carregamento (ETL), é possível converter dados brutos em relatórios acessíveis e confiáveis. Esses relatórios desempenham um papel indispensável, servindo como suporte vital para a tomada de decisões por parte dos gestores. Dessa forma, o BI não apenas organiza dados, mas capacita os líderes a agirem de forma informada e estratégica, impulsionando o sucesso e a eficiência organizacional.

A integração de relatórios interativos e dinâmicos, a interconexão com redes sociais, análises preditivas, o compartilhamento instantâneo de informações e a acessibilidade universal para empresas de todos os portes são características marcantes do BI moderno, também conhecido como BI 2.0. Conforme destacado por Barbieri (2011), a nova versão, BI 2.0, busca estabelecer uma conexão entre dois conceitos que, por algum tempo, evoluíram em trajetórias paralelas: BI e qualidade de dados. Os aspectos de maturidade em gerenciamento, governança e qualidade de dados, previamente mencionados, guardam uma correlação significativa com o BI, pois a maturidade de um BI é diretamente proporcional à qualidade dos dados que transitam pelas camadas de ETL.

De acordo com FIA Business School (2021) as atividades desempenhadas para facilitar a tomada de decisões envolvem uma série de etapas cruciais, tais como:

- **Avaliação das necessidades da empresa:** Etapa de compreensão das necessidades das informações para elaboração do projeto.
- **Coleta de dados:** etapa de aquisição das informações por meio de extração das mais diversas fontes de dados da instituição.
- **Tratamento das informações:** Os dados por muitas vezes vêm de forma não estruturada, como fontes de vídeos, redes sociais etc, além de realizar a limpeza nas informações e estabelecer seu correto armazenamento.
- **Análise de dados:** analisar os resultados obtidos a partir de Key Performance Indicators (KPI's), relatórios e gráficos, a fim de possibilitar uma visualização mais rápida e objetiva

dos dados.

- **Pesquisa de tendências:** Identificação de padrões de comportamento do consumidor por meio de análises em redes sociais, indicadores de compras, entre outros.
- **Avaliação da concorrência:** Análise de mercado realizada com o objetivo de definir estratégias que se destaquem em relação aos concorrentes.
- **Análise preditiva:** Capacidade de prever futuros resultados através de análise de padrões.
- **Monitoramento dos resultados:** A avaliação dos resultados, por meio dos KPIs, é fundamental para entender se o trabalho está sendo bem executado e se são necessárias alterações ou adaptações.

Dessa maneira, ao adotar eficazmente o Business Intelligence (BI), a empresa pode mitigar os riscos aos quais está exposta. Os resultados provenientes da coleta e análise de dados conferem à organização a capacidade de conduzir suas operações de maneira mais estratégica, embasando cada decisão em razões específicas e dados concretos.

Um exemplo ilustrativo desse impacto pode ser observado em um estudo conduzido pela Primak (2008). Foi realizada uma análise em 50 empresas de diferentes portes no Brasil, antes e depois da implementação do BI. Os resultados revelaram um aumento expressivo de 71,4% na aceitação dos produtos e serviços pelo mercado consumidor após a aplicação efetiva das práticas de Business Intelligence, Figura 2.3. Isso evidencia como a adoção inteligente de dados pode não apenas reduzir riscos, mas também potencializar a aceitação e o sucesso de produtos e serviços no mercado.

2.3 Planejamento e Controle da Manutenção

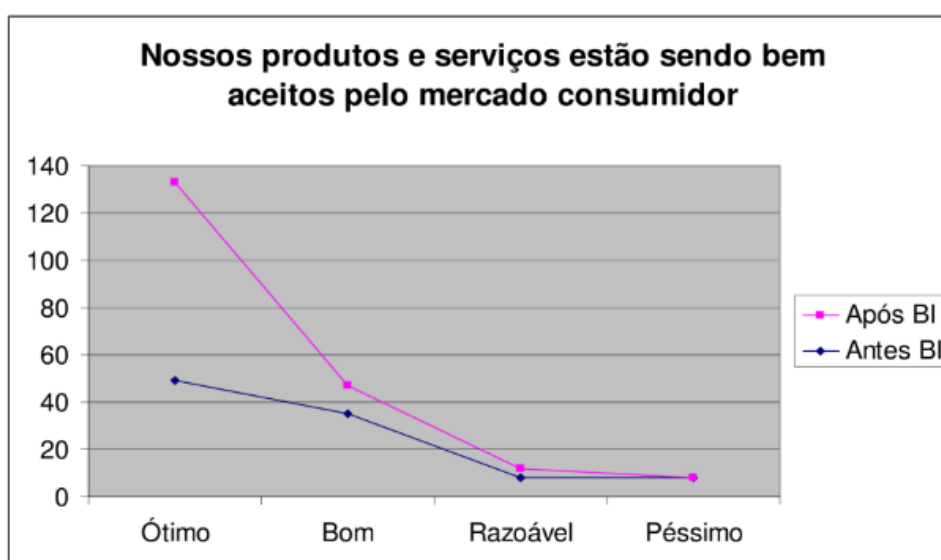
Com o início da Indústria 4.0, chegada de novas tecnologias no mercado, diversos setores adotaram equipamentos cada vez mais sofisticados em seu dia a dia a fim de otimizar os atendimentos, aumentar a produção e reduzir os custos. Atualmente, hospitais, clínicas e consultórios vêm investindo em tecnologias de ponta a fim de alcançar diagnósticos mais precisos, potencializar tratamentos e terapias, aumentar o custo-benefício e atingir o maior público possível.

Equipamentos de imagem deixaram de ser melhorias em estabelecimentos de saúde e passaram a ser necessidade. Por tratarem-se de equipamentos de alto valor agregado, critérios devem ser avaliados na hora da compra, entre eles: qualidade de imagem, custo-benefício, conforto, capacidade de fornecimento e também o desempenho a longo prazo. Os gastos referentes ao sistema de aquisição de imagem vão além do seu valor de mercado, equipamentos como ressonâncias magnéticas, tomógrafos e angiógrafos necessitam de um projeto estrutural, que irão envolver gastos referentes à logística, infraestrutura, treinamento, manutenções e reparos.

Apesar de serem equipamentos voltados para o diagnóstico, também é possível observar o uso deles em práticas intervencionistas, como o uso de arcos cirúrgicos em cirurgias ortopédicas

Figura 2.3 – Aceitabilidade dos produtos e serviços pelo mercado consumidor antes e após aplicação do BI

	Antes B.I. (%)	Após B.I. (%)
Ótimo	49	84
Bom	35	12
Razoável	8	4
Péssimo	8	0



Fonte: (PRIMAK, 2008)

e angiografias em procedimentos de hemodinâmica, como cateterismo. Por se tratarem de equipamentos de saúde, seu mau funcionamento não impacta apenas na demanda e geração de lucros de uma empresa. Quando um angiógrafo não está em pleno funcionamento os exames e cirurgias não podem ser realizados, e caso o erro aconteça durante um procedimento, pode dificultar o trabalho da equipe médica e, em últimos casos, induzir o profissional ao erro. A urgência em ter esses equipamentos em funcionamento é primordial para que o setor continue operando.

Nesse sentido, é necessário que haja um planejamento para a chegada desses equipamentos e um acompanhamento contínuo, seja através de setores específicos, como a Engenharia Clínica, ou através de empresas terceirizadas capazes de cuidar da gestão desses equipamentos. O Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) é fundamental no processo de decisão de uma instituição, seja no âmbito técnico como administrativo, além de garantir maior disponibilidade dos equipamentos e evitar perdas financeiras, insatisfações dos clientes, perdas de mercado e interrupção no atendimento.

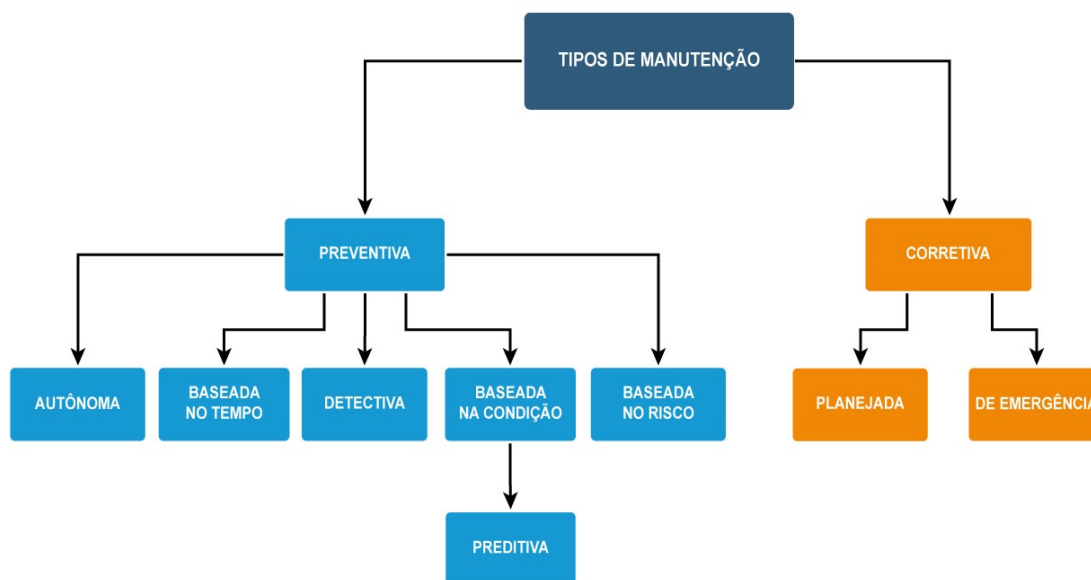
De acordo com Branco Filho (2008) o PCM fortalece o ciclo de gerenciamento da manutenção em uma organização, por meio da implantação das seguintes atividades: assessorar

a gerência em relação a programação e controle; gestão sobre a manutenção; negociar entre a manutenção e produção; revisar e coordenar as programações, planos e instruções de Manutenção; promover avaliações sobre os pontos de perda de produtividade e dentro dessa realidade produzir sugestões; detalhar responsabilidades e outros.

Sendo assim, o ciclo de vida de um equipamento pode ser dado seguinte maneira: aquisição, implantação, operação e desativação. Na fase de aquisição e implantação é realizada a seleção do equipamento adequado, a instalação e os respectivos treinamentos. Durante a fase de operação o principal objetivo concentra-se em garantir o funcionamento do equipamento, evidenciando as deficiências geradas no projeto e na instalação. Além disso, é fundamental que haja um plano de manutenção bem estabelecido, pois a partir dele é possível garantir a segurança dos operadores, usuários e técnicos, reduzindo custos e impactos no meio ambiente e maior vida útil dos equipamentos. Na fase de desativação, observa-se uma redução no uso do equipamento devido ao aumento do número de falhas e, em seguida, ocorre o processo de desativação e, possivelmente, a substituição por um novo aparelho. (BRASIL, 2013).

Segundo Kardec e Nascif (2009) existem vários tipos de intervenções que podem ser realizadas nos equipamentos conforme Figura 2.4. Ainda de acordo com Kardec e Nascif (2009), o tipo de manutenção a ser adotado é uma decisão gerencial que irá depender de fatores como:

Figura 2.4 – Tipos de Manutenção Industrial



Fonte: (JW ENGENHARIA, 2022)

- **Importância operacional:** A depender do setor em que o equipamento está instalado, a disponibilidade imediata dos equipamentos é fundamental para o atendimento aos pacientes e para a organização das atividades em cada um dos serviços.
- **Segurança pessoal, operacional e meio ambiente:** Um equipamento que apresenta falhas e mal funcionamento põe em risco a vida dos pacientes que necessitam do serviço,

dos operadores e técnicos que irão realizar exames e a manutenção, e também apresenta risco ao meio ambiente quando não manuseado de forma consciente, seja no seu descarte como também no contato indireto daqueles que frequentam o ambiente em que ele está inserido.

- **Custos de reparo:** O custo de manutenção é composto dos custos de mão de obra, de peças de reposição, itens consumidos, deslocamento, interferência na produção e perdas no processo. (VIANA, 2002)
- **Consequências das falhas:** As consequências advindas de falhas podem impactar tanto no desempenho do equipamento quanto nos custos relacionados à sua manutenção. Falhas aleatórias apresentam risco em potencial, afetando não só a região de falha, como também outras partes do equipamento.
- **Adequabilidade do equipamento:** Diz respeito à capacidade de adequação do equipamento/instalação favorecer um tipo de manutenção em específico. Instalações que permitem o monitoramento das condições externas e internas do equipamento possibilitam maior viabilidade para manutenções preditivas.

Em um sistema de saúde, a elaboração de um programa de manutenção irá depender de alguns fatores importantes e particulares a cada equipamento. De acordo com Calil e Teixeira (1998), alguns dos fatores são:

- **Classificação dos equipamentos:** Alguns equipamentos possuem nichos e princípio de funcionamento diferentes. Equipamentos que estão alocados no setor cirúrgico necessitam ter uma disponibilidade bem maior quando comparado com equipamentos de setores clínicos e ambulatoriais. Além disso, equipamentos que emitem radiação possuem o princípio de funcionamento similar, o que facilita conhecimento e, consequentemente, o procedimento de manutenção.
- **Contrato de manutenção:** Um exemplo disso seria o contrato de manutenção por período determinado, bastante utilizado para equipamentos de alta complexidade (tomografias, angiógrafos, ressonâncias, entre outros), quando o custo de treinamento, o valor dos equipamentos necessários para teste e calibração, a dificuldade de obtenção de peças de reposição e provavelmente o salário diferenciado a ser pago para o técnico não justificam a manutenção interna. (CALIL; TEIXEIRA, 1998).

Em determinadas situações, pode ocorrer que a manutenção de um equipamento não seja mais uma opção viável. Isso pode ser motivado pelo custo atual de mercado para reparos, que pode tornar-se proibitivo, ou pela obsolescência tecnológica, especialmente quando comparado com os modelos mais recentes disponíveis no mercado.

2.3.1 Manutenção Corretiva

Segundo Slack et al. (2002) a manutenção corretiva “significa deixar as instalações continuarem a operar até que quebrem. O trabalho de manutenção é realizado somente após a quebra do equipamento ter ocorrido [...]”. A manutenção corretiva pode ser entendida como um tipo de manutenção não programada que atua quando o equipamento já apresenta a falha e visa corrigir ou restaurar as condições de funcionamento.

Conforme abordado por Kardec e Nascif (2009) é importante ressaltar que agir após a falha do equipamento não implica necessariamente em uma manutenção de emergência. A natureza emergencial da intervenção dependerá das funcionalidades afetadas e do nível de operação em que a máquina se encontra. Apesar de se tratar de uma manutenção não programada, é possível realizar um planejamento prévio para sua execução. Isso pode incluir estabelecer um protocolo de substituição do equipamento, assegurar a disponibilidade de peças em estoque e criar kits de reparo, proporcionando uma abordagem mais eficiente mesmo diante de eventos não previstos. No Quadro 1 é possível observar as principais diferenças entre manutenção corretiva planejada e manutenção corretiva não planejada.

Quadro 1 – Tipos e características das manutenções corretivas

TIPO	CARACTERÍSTICAS
Manutenção Corretiva Planejada	• Correção do desempenho menor do que o esperado. • Correção da falha por decisão gerencial. • Geralmente possui parâmetros observados pela manutenção preditiva. • Possuir peças de reposição em estoque e ferramentas necessárias.
Manutenção Corretiva Não Planejada	• Correção da falha de maneira aleatória. • Não há tempo para preparação do serviço. • Alto custo: reparo e parada de realização de exames.

Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif (2009)

Em uma análise voltada para os Estabelecimentos Assistenciais de Saúde (EAS), a execução de uma manutenção corretiva em equipamentos hospitalares segue uma rotina de processos, principalmente para dispositivos de alto valor agregado, como as angiografias, que frequentemente possuem contratos de manutenção. Conforme abordado por Calil e Teixeira (1998), o controle de tempo para serviços terceirizados é semelhante ao sugerido para a execução de serviços internos. Isso é especialmente relevante devido ao fato de que o angiógrafo é um equipamento de grande porte, o que inviabiliza sua desmontagem e envio para a empresa

terceirizada durante os períodos de manutenção. Assim, torna-se necessário o deslocamento de mão de obra especializada até o cliente para a realização de serviços.

Na Figura 2.5 existem sub-rotinas de manutenção, como é o caso da aquisição de peças (A), equipamentos sob contrato (B) e em garantia (D), conforme consta no **Anexo A**.

2.3.2 Manutenção Preventiva

Manutenção preventiva (MP) é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo (KARDEC; NASCIF, 2009). Em algumas literaturas, a manutenção preventiva não necessariamente é baseada em intervalos de tempo, e sim manutenções programadas, que podem ser baseadas em diversos fatores como risco, condição, detectiva e autônoma, conforme Figura 2.4.

A manutenção preventiva, em contraste com a manutenção corretiva, tem como objetivo prevenir falhas nos equipamentos, reduzindo os custos associados às intervenções corretivas e evitando custos indiretos decorrentes de possíveis interrupções de funcionamento da máquina, como o aumento da fila de pacientes e diminuição da receita do hospital na realização dos exames. De acordo com Calil e Teixeira (1998), o planejamento das manutenções preventivas depende de alguns critérios, como:

- **Risco:** equipamentos que apresentam alto risco à vida do paciente ou operador em caso de falha.
- **Importância estratégica:** equipamentos cuja paralisação ocasiona receita cessante, e equipamentos de reserva e/ou que possuem alto grau de utilização, ou seja, cuja paralisação impossibilita ou dificulta a realização de um ou mais serviços oferecidos pelos EAS.
- **Recomendação:** equipamentos sujeitos a algum tipo de norma de fiscalização por parte de órgãos governamentais para seu funcionamento; equipamentos sujeitos a recomendações dos seus fabricantes, ou seja, que possuem peças de vida útil predeterminada ou que devem sofrer procedimentos de rotina.

Além disso, é importante estabelecer quem irá executar o serviço, se será a própria engenharia clínica do hospital ou uma empresa terceirizada. Quando se trata de equipamentos médicos-hospitalares, a necessidade de mão de obra especializada, peças específicas e frequentemente mais caras, juntamente com desafios na reposição, torna-se um fator determinante na criação de um planejamento anual de preventivas.

Outro aspecto essencial é a segurança. Equipamentos cujas falhas possam implicar em riscos para a segurança pessoal e operacional exigem um acompanhamento periódico rigoroso. De acordo com Calil e Teixeira (1998), a prevenção nesse contexto vai além da conservação do equipamento, envolvendo medidas específicas, como testes de desempenho e de segurança

elétrica, radiológica, mecânica e biológica, além de realizar a calibração e verificação dos níveis de corrente, tensão, potência, etc quando necessário para garantir a conformidade com normas de segurança e a integridade operacional.

A interrupção inesperada de um equipamento, especialmente em operações contínuas, pode ter impactos significativos. Além do aumento dos custos diretos, como serviços de reparo e substituição de peças, há um efeito cascata que pode prejudicar outras partes do equipamento. Um exemplo prático é uma falha no sistema de refrigeração de um tubo de raio-x, onde o superaquecimento não apenas compromete o funcionamento adequado do tubo, mas pode levar à sua condenação irreversível.

A relevância desse cenário reside na impossibilidade de reparar estruturas danificadas, como o tubo de raio-x mencionado. Nesses casos, a substituição torna-se a única solução viável, acarretando custos substanciais. Portanto, ao adotar manutenções periódicas, é possível prevenir o desgaste prematuro, identificar potenciais falhas antes que se tornem críticas e assegurar o desempenho consistente do equipamento ao longo do tempo.

Durante a manutenção preventiva, é necessário seguir um checklist de pontos importantes a serem avaliados para que possamos garantir o pleno funcionamento do equipamento e prolongar sua vida útil. Conforme Viana (2002), as atividades realizadas durante uma manutenção preventiva podem incluir:

- Verificação da integridade física do equipamento: carcaça, componentes internos, folgas, desgastes, temperatura, ruído, entre outros.
- Verificação das tensões de trabalho.
- Lubrificação de componentes mecânicos e partes móveis.
- Troca de itens de desgaste, peças e acessórios com a vida útil vencida.
- Calibração, se aplicável.
- Limpeza externa e interna do equipamento e placas eletrônicas.
- Verificação da climatização e infraestrutura física do ambiente.
- Execução de todas as rotinas de preventiva presentes no manual do equipamento.

De acordo Calil e Teixeira (1998), a definição da periodicidade da manutenção preventiva irá depender de fatores como as condições de operação do equipamento (os riscos apresentados em caso de falha), a facilidade de realização da MP e a frequência de utilização do equipamento. Nesse sentido, equipamentos de angiografia emitem radiação ionizante, o que aumenta a probabilidade de falhas devido a condições inseguras de operação.

2.3.3 Manutenção Preditiva

De acordo com Viana (2002) a manutenção preditiva nada mais é do que tarefas de manutenção preventiva que visam acompanhar a máquina ou as peças, por monitoramento, medições ou controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha. Esse

tipo de manutenção permite que o equipamento opere por maior tempo possível, estabelecendo através de previsões um planejamento para a intervenção.

A manutenção preditiva se destaca pela capacidade de oferecer insights em tempo real sobre o desempenho dos equipamentos. Ao empregar tecnologias como sensores, monitoramento online e análise de dados, é possível detectar padrões que indicam possíveis falhas iminentes. Isso possibilita a programação de intervenções de manutenção no momento mais apropriado, maximizando a eficiência operacional e minimizando os custos associados.

Essa abordagem proativa baseada em previsões não apenas estende a vida útil dos equipamentos, mas também reduz o risco de corretivas emergenciais, visto que há um monitoramento constante dos indicadores da máquina. Além disso, a manutenção preditiva contribui para a otimização dos custos, uma vez que as intervenções ocorrem de maneira estratégica, evitando paradas desnecessárias e consequentemente a interrupção dos exames de diagnóstico e intervenção.

Sendo assim, a manutenção preditiva é aquela que é executada no momento adequado, antes que se dê a falha. Deve ser feito o monitoramento do equipamento para detectar seus sinais (NEPOMUCENO, 1989). Como exemplo, pode-se citar o acompanhamento do desgaste de um tubo de raio-x, através de sensores de temperatura e indicadores de arcos elétricos, por meio do log de erros apresentado pela máquina.(Figura 2.6)

Figura 2.6 – Histórico do Tubo de Raios-x

Plane	Part Number	Serial Number	Tube Load Units	Tube Load Units ANG	Overload	Overload ANG	Warranty	Warranty ANG
A	10144181	164362004	19446	19446	0	0	yes	yes

Fonte: (Medsystems, 2021)

O tipo de análise vai depender do tipo de equipamento e das necessidades de acompanhamento preditivo. Algumas das técnicas preditivas exemplificadas por Viana (2002) incluem: termografia, análise de vibrações, análise de óleo, monitoramento de ruídos, ensaios por ultrassom, etc.

2.4 Indicadores de Manutenção

Com o aumento das possibilidades de serviços disponíveis no mercado e ampliação da competitividade nos setores industriais, as empresas buscam cada vez mais novas formas e

métodos de melhorar suas estratégias de operação.

De acordo com Xavier (2015), o "*benchmarking*" é definido como uma estratégia que busca otimizar o desempenho de uma empresa a partir da análise das melhores práticas do mercado em que ela está inserida. Em outras palavras, é analisar o funcionamento e modo de operação de empresas com características semelhantes que se encontram como líderes de mercado e definir estratégias que possibilitem alcançar os mesmos resultados.

É fundamental que o projeto não seja uma cópia das estratégias concorrentes e, para que o *benchmarking* funcione, é necessário adaptar à realidade da empresa, a partir de práticas elaboradas pensadas no modelo de negócios e dados concretos que auxiliem na tomada de decisão de forma viável e realista.

Nesse sentido, uma das práticas que podem ser adotadas é a utilização de indicadores chaves de performance (KPI - *Key Performance Indicators*). A partir desses indicadores é possível verificar o desempenho dos serviços executados e comparar com os serviços prestados pelas grandes empresas líderes, e a partir disso, definir estratégias que melhorem o desempenho e consequentemente aumentem a competitividade.

Alguns dos indicadores utilizados para a monitoração dos serviços de manutenção são:

- MTBF - Tempo Médio Entre Falhas.
- MTTR - Tempo Médio Para Reparo.
- Disponibilidade.
- Confiabilidade.

2.4.1 MTBF

O MTBF - Mean Time Between Failures é o tempo médio entre falhas, ou seja, mede o tempo decorrido desde a finalização de um reparo e disponibilidade do equipamento até a ocorrência de um novo reparo. A métrica representa a frequência de intervenções no equipamento durante um período específico determinado. (MARTINS, 2012)

O MTBF é uma das métricas mais importantes no setor industrial capaz de calcular o grau de confiabilidade que um equipamento apresenta para a operação.

Conforme Slack et al. (2002), a fórmula utilizada para o cálculo do MTBF é apresentada na Equação (2.1).

$$MTBF = \frac{\sum t_{OP}}{N} \quad (2.1)$$

O MTBF pode ser descrito como a razão entre o somatório dos tempos de operação (t_{OP}) e número de paradas (N), geradas por falhas. Nesse sentido, os tempos de operação somados são referentes ao período de análise escolhido em que a máquina funcionou de forma plena.

2.4.2 MTTR

De acordo com a norma NBR 5462, o MTTR pode ser definido como:

2.14.8 Capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994)

O MTTR - Mean Time To Repair é o tempo médio para reparo do equipamento. Essa medida envolve todo o período de reparo do equipamento, e inclui:

- Tempo de diagnóstico.
- Tempo de deslocamento.
- Tempo de logística de peças.
- Tempo de reparo e manutenção.
- Finalização e restauração do sistema.

O tempo total de manutenção é dado pela somatória da duração das manutenções realizadas durante o período analisado. Por exemplo: caso tenham sido realizadas manutenções mensais com 2h de duração, o tempo total de manutenção seria de 24h/ano. A Equação (2.2) é utilizada para calcular o tempo médio para reparo.

$$MTTR = \frac{\sum t_R}{N} \quad (2.2)$$

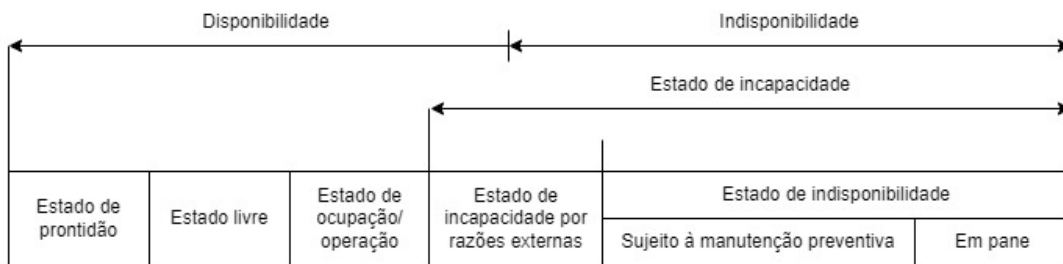
O MTTR pode ser descrito como a razão entre o somatório dos tempos de reparo (t^R) e o número de paradas (N), geradas por falhas.

2.4.3 Disponibilidade

De acordo com a NBR 5462, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1994), a disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos sejam assegurados.

Ainda de acordo com a NBR 5462, o equipamento pode ter diversos estados de disponibilidade e indisponibilidade. A indisponibilidade de um equipamento não necessariamente é resultado de uma falha, a qual pode ser atribuída também a manutenções planejadas. Os estados do equipamento podem ser observados conforme Figura 2.7.

Figura 2.7 – Estados do Equipamento



Fonte: Adaptado de ABNT NBR 5462

Existem três tipos de disponibilidade (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1994):

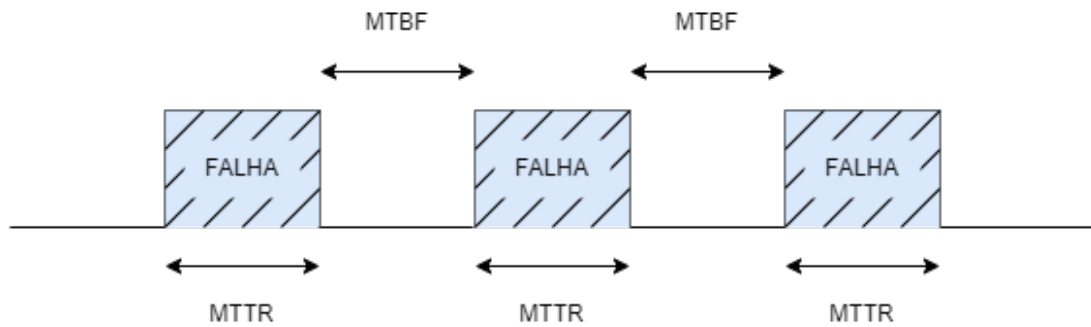
- **Disponibilidade Física** - Corresponde a todo tempo de funcionamento do equipamento. Se o equipamento opera 24 horas por dia, sua disponibilidade física será exatamente 24 horas.
- **Disponibilidade Inerente (%)** - A disponibilidade inerente leva em consideração o tempo de operação apenas quando o equipamento não estava em pane, ou seja, o tempo de operação subtraído do tempo gasto em manutenções corretivas.

$$\text{Disponibilidade Inerente} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \cdot 100 \quad (2.3)$$

- **Disponibilidade Operacional** - A disponibilidade operacional leva em consideração todas as paradas e intervenções realizadas no equipamento, seja manutenção corretiva ou preventiva.

Conforme visto, o MTBF e o MTTR são inversamente relacionados. Quando o MTBF é alto, significa que o sistema tem uma baixa taxa de falha e, portanto, intervalos mais longos entre falhas. Por outro lado, quando o MTTR é alto, o tempo de reparo é maior, o que significa que leva mais tempo para restaurar o sistema após uma falha. Sendo assim, a análise conjunta do MTBF e MTTR ajuda na compreensão global da eficácia do sistema. É possível ter um sistema com um MTBF alto, mas se o MTTR for igualmente alto, a disponibilidade ainda pode ser afetada, Figura 2.8.

Figura 2.8 – MTBF e MTTR



Fonte: Próprio autor

2.4.4 Confiabilidade

Conforme a NBR 5462, a confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo.

A função de confiabilidade $R(t)$, indica a probabilidade de uma unidade apresentar sucesso em seu funcionamento, ausência de falhas, no intervalo de tempo $(0, t)$ e ainda estar funcionando no tempo t (FOGLIATTO F. S.; RIBEIRO, 2011):

$$R(t) = \int_t^{\infty} f(u) du. \quad (2.4)$$

Uma forma mais simples de calcular a confiabilidade seria através do MTBF. É possível obter, através desta métrica, a taxa de falhas (λ), conforme Equação (2.5).

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}. \quad (2.5)$$

A confiabilidade também pode ser dada de acordo com a Equação (2.6), sendo λ a taxa de falhas e t o tempo em que se quer medir.

$$R(t) = e^{\lambda \cdot t} \cdot 100. \quad (2.6)$$

A taxa de confiabilidade é fundamental para a análise de desempenho em um setor industrial, pois a partir dessa métrica é possível melhorar a produtividade na manutenção, adotar táticas eficientes na resolução de problemas, prolongar o tempo de vida útil dos equipamentos, entre outros.

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado em uma empresa especializada em serviços técnicos em equipamentos de diagnóstico por imagem, a qual presta serviços para clínicas, hospitais e consultórios em todo o país. Apesar de atender diversos tipos de equipamentos, para o presente estudo foram realizadas análises apenas para os sistemas de angiografia.

Com a finalidade de aprimorar de forma contínua os processos dessa empresa, delinearam-se procedimentos metodológicos subdivididos nas seguintes etapas: coleta de dados, modelagem e estruturação da base de dados, cálculo de indicadores e desenvolvimento de uma interface de usuário. O escopo deste estudo centra-se na análise desses elementos, visando a transformação dos dados em informações de rápida visualização para fomentar a melhoria contínua dos processos organizacionais.

3.1 Coleta de Dados

Os dados referentes às manutenções foram extraídos a partir da plataforma de serviço utilizada pela empresa, na qual é possível registrar as ordens de serviço referentes aos atendimentos realizados. O período amostral dos dados é de um ano, 2023. Ao todo foram avaliadas 470 ordens de serviço e 104 equipamentos.

A plataforma de serviços é responsável pela gestão de ativos, manutenção preventiva, manutenção de equipamentos e gestão de ordens de serviço. O software possui capacidade de automatizar atividades, garantindo rastreabilidade dos processos e maior eficiência operacional, além de permitir a interação entre a empresa e o cliente. Apesar de possuir relatórios com base nos KPI's calculados, as métricas não levam em consideração as especificidades demandadas do serviço em questão. Casos de restrição de funcionamento, agendamento de corretivas e entre outras situações não eram consideradas para os cálculos finais, o que impossibilitava um resultado preciso e coerente com a realidade.

Para o registro das atividades realizadas são elaboradas ordens de serviço (OS), documentos contendo todas as informações pertinentes ao atendimento, que ficam disponíveis tanto para a empresa como para o cliente. Em uma ordem de serviço é possível armazenar informações como:

- Equipamento em atendimento;
- Tipo de serviço;
- Descrição do problema;
- Início, duração e término do atendimento;
- Técnico responsável pela manutenção;
- Checklists;

- Observações;
- Horário do início do atendimento;
- Tempo até o início do atendimento;
- Tempo total do serviço.

Na Figura 3.1 é possível observar os campos de preenchimento e as informações contidas. As informações foram selecionadas de acordo com a relevância e necessidade para a elaboração das análises. Para a composição da base de dados, foram extraídas as informações e salvas em planilhas de *Excel* conforme o Quadro 2.

Figura 3.1 – Ordem de Serviço

Ordem de Serviço | nº 1727

Ação

Documentos

Dados Gerais

Plano: PREVENTIVA
Estado: Fechada
Data de Criação: 01/03/2024 - 08:00
Data Estimada de Conclusão: 28/06/2024
Data de Fechamento: 01/03/2024 - 11:41
Máquina parada?: NAO

Dados do Solicitante

Nome: CLIENTE 1
Tipo: Cliente Externo
Email:
Telefone:
Localização: RECIFE PE

Observações de Usuário

Dados do Serviço

Tipo de Serviço: Manutenção Preventiva
Origem do Problema: SERVIÇO AGENDADO COM O CLIENTE.
Descrição do Serviço: 01/03/2023 - (Atendimento Presencial): Manutenção preventiva realizada com sucesso de acordo com as especificações do fabricante. Durante a realização da preventiva identificamos alguns pontos que não estão de acordo as especificações e, também, sem integridade: O armário do gerador está apoiado sobre calços de madeira, com o tempo estes calços possam vir a apodrecer e ceder a fixação do mesmo, alguns cabos estavam com as proteções plásticas danificadas/cortadas protegidas somente por fita isolante, falta do parafuso de travamento da rosca do cabo de alta do transformador, redundância de um aterramento do equipamento estava partido, pedal de liberação dos freios da mesa bastante desgastado, com a proteção do cabeamento solta e com um emborrachado colado por cima e por baixo.
Problema Reclamado: SERVIÇO AGENDADO COM O CLIENTE.

Instrumento / Equipamento

Tipo: RAIOS X
Fabricante: SIEMENS
Modelo: MULTIX B POLYDOROS LX
Número de Série:

Horas Trabalhadas

Usuário	Data de Início	Data de Término	Observações	Localização
TÉCNICO 1	01/03/2024 - 09:00	01/03/2024 - 10:45	Atendimento Presencial	
TÉCNICO 2	01/03/2024 - 09:00	01/03/2024 - 10:45	Atendimento Presencial.	

Fonte: Arkmeds

3.2 Estruturação da Base de Dados

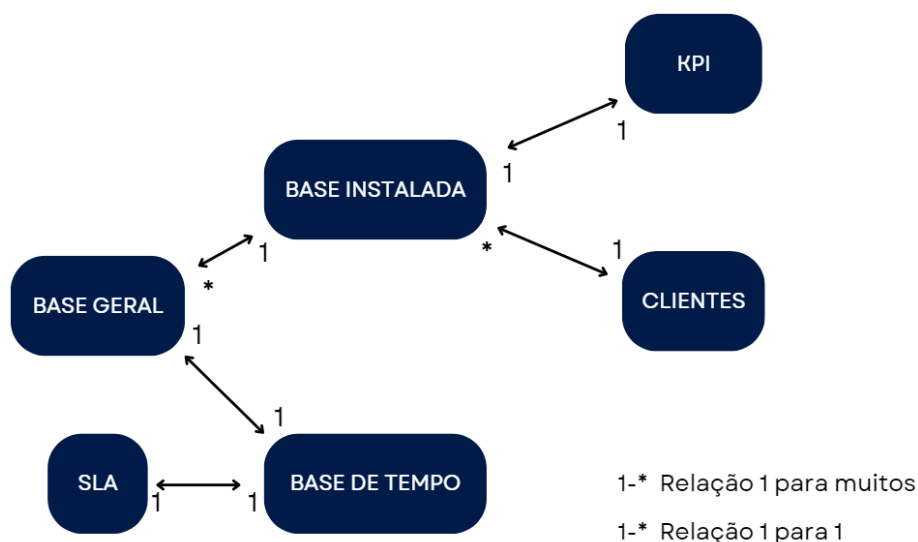
Para melhor divisão das informações coletadas, foram criadas bases adjacentes que se relacionam entre si. Sendo assim, a estrutura organizacional dos dados é representada na Figura 3.2.

Quadro 2 – Colunas da Base de Dados

Coluna	Descrição
Número	Referente à chave de identificação da OS.
Estado	Qual o estado que se encontra a ordem de serviço. Exemplo: Em atendimento, fechada, suporte remoto etc.
Tipo de Serviço	Qual o tipo de manutenção foi executada. Exemplo: Corretiva, preventiva etc.
Solicitante	Cliente responsável por solicitar a abertura do chamado.
Tipo de Equipamento	Referente ao nome do equipamento. Também foi extraído o modelo, fabricante e número de série.
Atendimento	Divisão entre atendimentos presenciais e remotos.
Responsável	Nome do técnico responsável pela ordem de serviço. Geralmente se trata do mesmo técnico executor.
Data de Criação	Data de criação da ordem de serviço.
Data de Conclusão	Data de conclusão da ordem de serviço.
Prioridade	Referente ao nível de urgência para o atendimento da ordem de serviço. Prioridades classificadas como muito urgentes quase sempre se referem a máquina parada.
Problema Relatado	Solicitante informa o problema apresentado pelo equipamento.
Origem do Problema	Campo a ser preenchido após o diagnóstico do problema. Ao ser identificada a origem da falha é possível registrar para que análises de reincidências possam ser feitas.
Descrição do Serviço	Durante a execução do serviço, tudo que for realizado deve ser registrado.

Fonte: Próprio autor

Figura 3.2 – Estrutura Organizacional dos Dados



Fonte: Próprio autor

- **Base Geral:** Base contendo as informações gerais das ordens de serviço, como por exemplo, o nome do solicitante, dados do equipamento, atendimento e prioridade.
- **Base de Tempo:** Base contendo todas as informações de tempo referentes à OS, por exemplo, horário de início do atendimento e de conclusão da OS.
- **SLA:** Para a análise de SLA de atendimento de cada ordem de serviço foi criada uma base responsável pelos cálculos de tempos de atendimento e análise de resultados.
- **Base Instalada:** Base de dados de todos os equipamentos que já tiveram serviços prestados pela empresa.
- **Clientes:** Base de registro de clientes.
- **KPI:** A partir das informações e registro de tempo das OS de cada equipamento, são calculados os indicadores chaves, (Figura 3.3).

Algumas colunas chaves foram utilizadas para criar as relações entre as bases de dados, como número de OS, número de série do equipamento e ID do cliente. Além disso, tipos de relações foram estabelecidas. O relacionamento 1 - * corresponde a uma informação relacionada a mais de um objeto. Um cliente pode ter mais de um equipamento sob atendimento, entretanto o equipamento só irá possuir um proprietário. Já o relacionamento 1 - 1 corresponde à especificidade da informação. A base de SLA das ordens de serviço só terá um registro de tempo correspondente a cada OS e vice-versa.

Para melhor otimização nos cálculos realizados, todas as informações numéricas foram salvas no formato de dias (números decimais), o que permite a possibilidade de realizar operações matemáticas.

Figura 3.3 – Base KPI

 PERÍODO AVALIADO INÍCIO 91/01/2023 FINAL 1/08/2023 QTD. DIAS 222 ← MENU										
NÚMERO DE SÉRIE	MÉDIA DE TEMPO DE CORRETIVA (PRESENCIAL)	MÉDIA DE TEMPO DE ATENDIMENTO	DOWNTIME TOTAL	DISPONIBILIDADE	DOWNTIME CORRETIVAS	MÉDIA ATÉ SUPORTE REMOTO	MÉDIA ATÉ ATENDIMENTO PRESENCIAL	MÉDIA TEMPO DE PREVENTIVA	MTBF	MTTR
10	12,21	12,21	15,22	93,15%	15,05	0,05	4,05	0,17	68,98	12,29
82	3,89	2,95	22,86	89,70%	22,45	2,21	0,12	0,42	18,14	4,28
35	0,75	0,42	0,93	99,58%	0,05	0,17	0,00	0,44	73,98	5,40
12	16,10	6,46	18,54	91,65%	17,59	50,97	0,21	0,48	51,10	10,09
137	16,00	16,00	13,38	93,97%	12,82	0,00	0,00	0,28	209,18	12,82
35			0,35	99,84%	0,00			0,17	222,00	0,00
160	5,78	4,18	1,73	99,22%	1,44	14,65	5,70	0,28	44,11	4,12
314			0,01	100,00%	0,00			0,01	222,00	0,00
136			0,27	99,88%	0,00			0,27	222,00	0,00

Fonte: Próprio autor

3.3 Cálculo de Indicadores Chave

Para a elaboração dos indicadores chave de desempenho (KPIs) de manutenção, adotaram-se dois métodos distintos. Uma parte dos dados foi manipulada diretamente pelo *Excel* enquanto outra porção foi manipulada pela plataforma de BI *Power BI*. O propósito subjacente a essa abordagem metodológica era conferir uma maior confiabilidade aos dados apresentados, possibilitando, assim, uma manipulação mais eficaz das informações.

3.3.1 Cálculo de Downtime

Para o cálculo de indisponibilidade da máquina foram considerados dois critérios: máquina parada e em atendimento.

Caracteriza-se como atendimento muito urgente qualquer falha que comprometa o funcionamento da máquina, sendo denominado de "máquina parada". Esses tipos de atendimento demandam prioridade máxima, especialmente no caso de equipamentos médicos, principalmente aqueles utilizados em procedimentos de intervenção, os quais precisam estar prontamente disponíveis para situações de urgência.

Durante um procedimento de manutenção, independentemente de sua natureza, o equipamento não estará disponível para uso. Nesse sentido, os períodos decorridos durante atendimentos também devem ser considerados como *downtime* (tempo de inatividade). Nos atendimentos de urgência, o *downtime* total será contabilizado como o tempo em que a máquina ficou indisponível para exames/procedimentos antes da chegada do técnico, acrescido do tempo necessário para a realização do reparo.

Devido a falta de indicador de máquina parada, o *downtime* foi calculado de acordo com a prioridade da ordem de serviço. Caso a OS estivesse categorizada como "muito urgente", o *downtime* seria o tempo total da ordem de serviço até o seu fechamento.

O tempo de fechamento da OS corresponde a todo o período, desde a abertura até a finalização do atendimento. Para os casos em que o problema relatado não indicava interrupção de funcionamento do equipamento, o *downtime* foi calculado como o tempo total do atendimento.

3.3.2 Cálculo de MTBF

O MTBF é o tempo médio entre falhas, medição fundamental para avaliar a performance e qualidade das manutenções realizadas. O cálculo de MTBF é expresso como a razão entre o tempo total da máquina funcionando e o somatório de falhas no período avaliado.

Para que o cálculo não fosse incompleto, foram filtradas apenas as ordens de serviço de manutenção corretiva que estavam fechadas. A estrutura em linguagem DAX no *Power BI* está exposta conforme a Figura 3.4.

Figura 3.4 – Medida MTBF em DAX

```
1 MTBF DO EQUIPAMENTO = IF(
2     'Métricas'[QTD CORRETIVAS]= 0, [QTD DIAS],
3     //caso não haja atendimento, o MTBF será igual a quantidade de dias avaliados
4     ([QTD DIAS]-SUM('Análise de Tempo'[DOWNTIME]))/'Métricas'[QTD CORRETIVAS])
```

Fonte: Próprio autor

3.3.3 Cálculo de MTTR

A métrica de MTTR consiste no tempo médio para reparo, ou seja, o tempo decorrido até o equipamento estar operacional novamente sobre a quantidade de intervenções realizadas. Ao apresentar um defeito, o equipamento apenas volta a sua plena atividade após a finalização do atendimento, logo, o tempo decorrido desde a abertura do chamado até a finalização do reparo pode ser entendido como tempo total da manutenção.

Para a métrica de MTTR no *Power BI* foi definido como o tempo total da manutenção o tempo de fechamento da OS apenas das ordens de serviço finalizadas, conforme a Figura 3.5

Figura 3.5 – Medida MTTR em DAX

```
1 MTTR DO EQUIPAMENTO = IF(
2   [QTD CORRETIVAS] = 0, 0, //se não houve atendimentos corretivos, o MTTR será 0;
3   DIVIDE((SUM('Análise de Tempo'[TEMPO DE FECHAMENTO])),[QTD CORRETIVAS]))
```

Fonte: Próprio autor

3.3.4 Cálculo de Disponibilidade

A medida de disponibilidade pode ser entendida como o percentual de disposição do equipamento para a realização de exames. Devido às particularidades atreladas aos equipamentos médicos, pode-se afirmar que manutenção corretiva nem sempre significa que o aparelho está inoperante. A variedade de funções e componentes existentes nesses equipamentos permite que eles ainda sim estejam em funcionamento, porém com restrição. Por exemplo, um defeito no motor de elevação da mesa pode resultar em um funcionamento restrito, limitando a capacidade operacional a uma faixa de peso inferior àquela disponibilizada. Em situações envolvendo pacientes mais leves, é possível que a máquina permaneça operacional, embora com algumas limitações em seu desempenho.

Nesse sentido, as manutenções corretivas realizadas pela empresa nem sempre apresentavam situação de máquina parada, o que impactava no cálculo de disponibilidade amplamente utilizada pela indústria, conforme Equação (2.3).

A forma encontrada para que a medição estivesse de acordo com a realidade da empresa foi considerar a disponibilidade operacional do equipamento no período avaliado, o que significa incluir atendimentos corretivos e preventivos. Sendo assim, a medição utilizada, Equação (3.1), pode ser descrita conforme a Figura 3.6.

$$Disponibilidade(\%) = \frac{\text{dias avaliados} - \text{tempo de máquina indisponível}}{\text{dias avaliados}} \cdot 100 \quad (3.1)$$

Figura 3.6 – Medida de Disponibilidade em DAX

```

1 DISPONIBILIDADE = ([QTD DIAS]-sum('Análise de Tempo'[DOWNTIME]))/[QTD DIAS]
2 //a soma de downtime corresponde ao tempo total de máquina parada em todos os atendimentos.

```

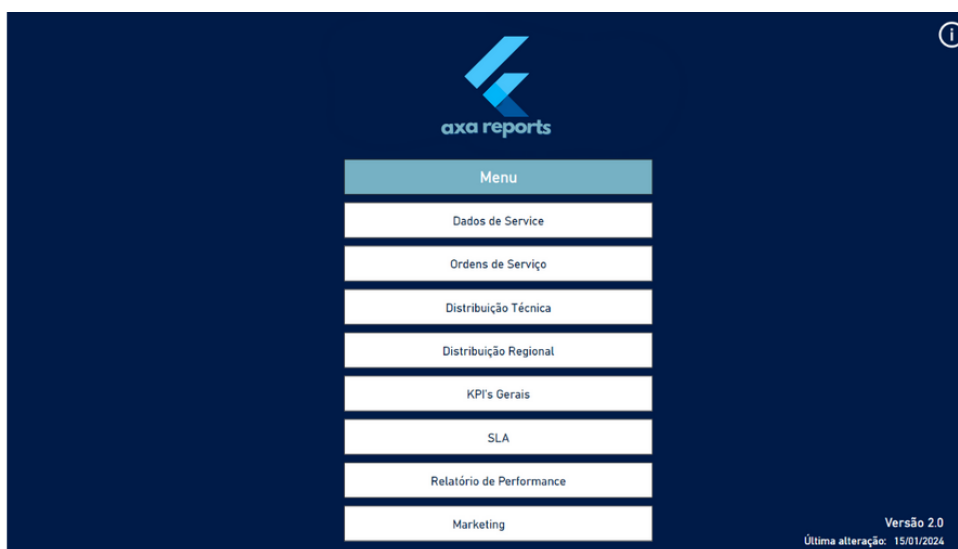
Fonte: Próprio autor

3.4 Interface de Usuário

A integração das informações obtidas e aplicabilidades ocorreu por meio de uma ferramenta de *business intelligence* desenvolvida pela *Microsoft*, *Power BI*. O desenvolvimento de uma interface interativa com o usuário tem por objetivo reunir as informações e possibilitar análises mais aprofundadas a respeito do desempenho do setor de serviços.

O projeto consiste em um relatório gráfico dividido em 5 páginas contendo informações gerais e específicas dos serviços prestados.

Figura 3.7 – Menu Principal

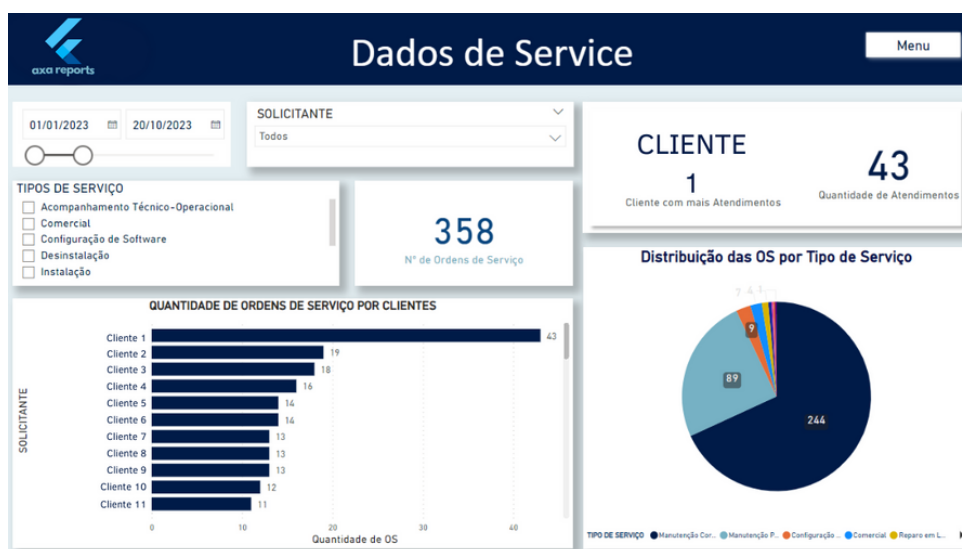


Fonte: Próprio autor

3.4.1 Dados de Service

A primeira página do relatório, Figura 3.8 apresenta as informações gerais das ordens de serviço, podendo realizar a filtragem de acordo com o solicitante, tipo de serviço e também pelo período de tempo.

Figura 3.8 – Página Dados de Service



Fonte: Próprio autor

Esta página permite ao usuário visualizações rápidas a respeito da quantidade de ordens de serviço criadas até o momento e como elas estão distribuídas pelos seus solicitantes. A partir disso, pode-se afirmar que dentre todos os solicitantes, o cliente 1 foi o que mais solicitou atendimento durante o período de 01/01/23 a 20/10/23, com um acumulado de 43 ordens de serviço.

3.4.2 Ordens de Serviço

Esta segunda página foi desenvolvida com o propósito de apresentar informações a respeito dos estados das ordens de serviço. É fundamental durante o planejamento de operação que suas OS, em sua maioria, estejam concluídas ou em alguma etapa de atendimento, seja suporte ou atendimento presencial. O grande quantitativo de OS ocasionam a interrupção do fluxo de atendimento, além de não atender ao SLA da empresa, o que pode provocar atrasos na entrega do serviço e insatisfação dos clientes.

Na Figura 3.9 as OS são divididas de acordo com seus estados, que corresponde às fases de execução, como "fechada", "suporte remoto", "em execução" e entre outras. Um percentual referente à quantidade de OS fechadas é apresentado em destaque para controle de operações. Caso esse percentual se apresente abaixo do esperado, medidas devem ser tomadas para que o fluxo não seja interrompido.

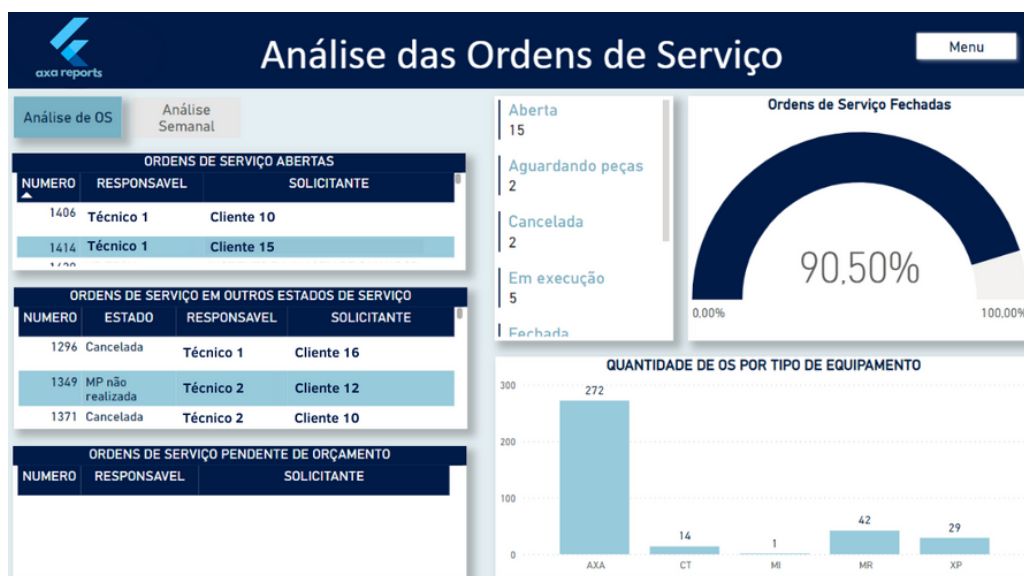
Além disso, nessa página há a primeira divisão em relação ao tipo de equipamento em questão. Devido à nomenclatura adotada pela fabricante, os equipamentos podem ser divididos de acordo com a Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Tipos de Equipamentos

Sigla	Equipamento
AXA	Hemodinâmica e Arcos Cirúrgicos
CT	Tomografia Computadorizada
MR	Ressonância Magnética
MI	Medicina Nuclear
XP	Raio-x
US	Ultrassom

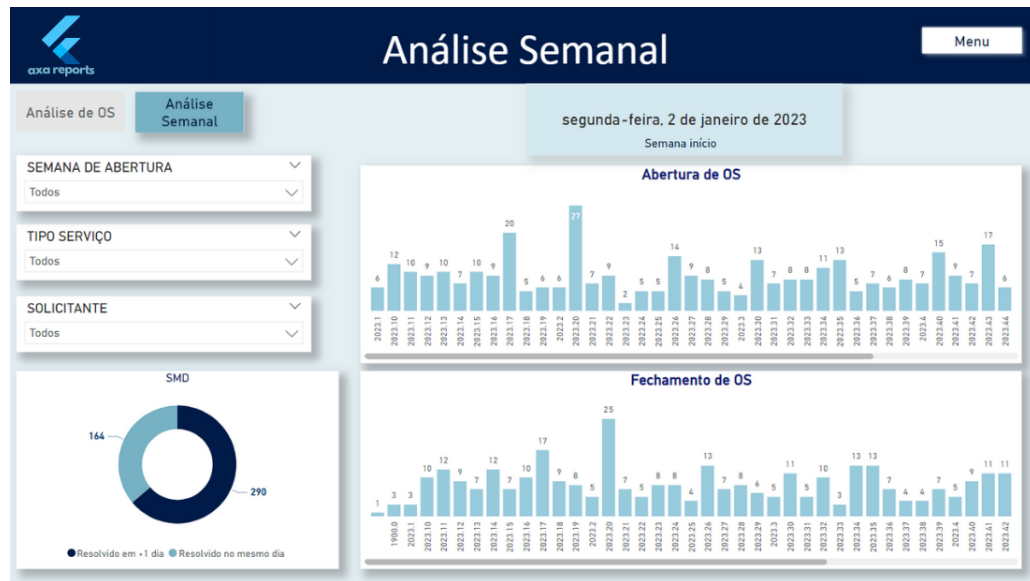
Fonte: Autoria própria.

Figura 3.9 – Página Ordens de Serviço - Análise de OS



Fonte: Próprio autor

Figura 3.10 – Página Ordens de Serviço - Análise Semanal



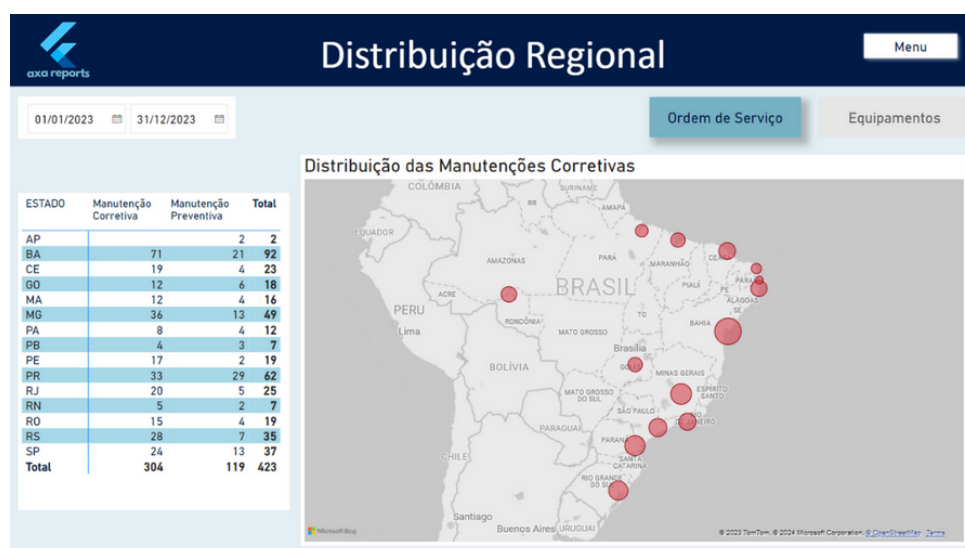
Fonte: Próprio autor

3.4.3 Distribuição Regional

Por se tratar de uma empresa com atuação em todo o país, é fundamental apresentar uma análise da distribuição geográfica das ordens de serviço e dos clientes. Nesse sentido, foi criado um relatório com o objetivo de auxiliar na tomada de decisões estratégicas, a fim de reduzir custos de deslocamento e o planejamento de expansão em novas filiais.

Na Figura 3.11 é possível observar a distribuição das manutenções corretivas e preventivas na tabela do canto esquerdo, enquanto o mapa apresenta informações a respeito das ordens de serviço de manutenção corretiva.

Figura 3.11 – Página Distribuição Regional - Ordens de Serviço



Fonte: Próprio autor

Como discutido na Seção 2.3, as manutenções corretivas podem ser classificadas como emergenciais, exigindo atendimento o mais rápido possível. Dessa forma, o gráfico proporciona uma representação geográfica dos estados que apresentam maior volume de atendimentos corretivos. Essa informação é apresentada através do tamanho das bolhas, visando auxiliar na logística de deslocamento dos técnicos para otimizar o tempo de resposta.

Figura 3.12 – Página Distribuição Regional - Equipamentos



Fonte: Próprio autor

Na Figura 3.12 a análise concentra-se na distribuição dos clientes com base na quantidade de equipamentos sob contrato. Embora não seja uma métrica fixa, a quantidade de equipamentos tem um impacto direto no volume de chamados de serviço. Um exemplo ilustrativo é o Cliente 1, que, devido à posse de 14 equipamentos sob contrato, destaca-se como o cliente com maior número de ordens de serviço abertas.

3.4.4 KPIs Gerais

De acordo com a Seção 2.3, um dos métodos para averiguar o desempenho da empresa é através da análise de indicadores de manutenção. Na página da Figura 3.13 são apresentados alguns dos indicadores de performance, como:

- Disponibilidade média.
- MTBF médio dos equipamentos.
- MTTR médio dos equipamentos.
- Tempo até atendimento presencial.
- Tempo até o suporte remoto.
- Tempo médio dos atendimentos corretivos.

Figura 3.13 – Página KPIs Gerais



Fonte: Próprio autor

- Tempo médio dos atendimentos preventivos.

Para o cálculo dos indicadores, a fonte utilizada foi a tabela apresentada na Figura 3.3. Essa tabela possibilitou o cálculo das médias dos indicadores para cada equipamento sob contrato, oferecendo uma visão abrangente sobre o desempenho geral da empresa.

Os tempos registrados foram empregados para atender aos requisitos do SLA (Service Level Agreement) da empresa, estabelecendo que os atendimentos presenciais devem ocorrer em até 2 dias úteis, enquanto o suporte remoto deve ser providenciado em até 4 horas úteis. As medições dos tempos em intervenções corretivas e preventivas foram realizadas com o intuito de embasar cálculos futuros, especialmente no que diz respeito ao planejamento dos custos de atendimento.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, serão abordadas a elaboração do relatório de desempenho por meio do BI, com métricas específicas para cada equipamento, bem como uma análise individualizada. Além disso, será realizada uma análise dos dados coletados ao longo do ano de 2023, proporcionando uma compreensão mais aprofundada do cenário operacional e permitindo a identificação de áreas de destaque, desafios e oportunidades de aprimoramento.

4.1 Relatório de Performance

Além dos indicadores gerais de desempenho da empresa e ordens de serviço, a funcionalidade principal do dashboard foi pensada em criar relatórios de performance da máquina de forma intuitiva e customizável, para que gestores pudessem ter acesso às informações de forma rápida e simples.

Na Figura 4.1 são apresentadas as informações gerais de todos os equipamentos de contrato, sendo possível filtrar por: Cliente, Data, Equipamento, Tipo de serviço e Mês de referência.

Figura 4.1 – Relatório de Performance - Informações Gerais

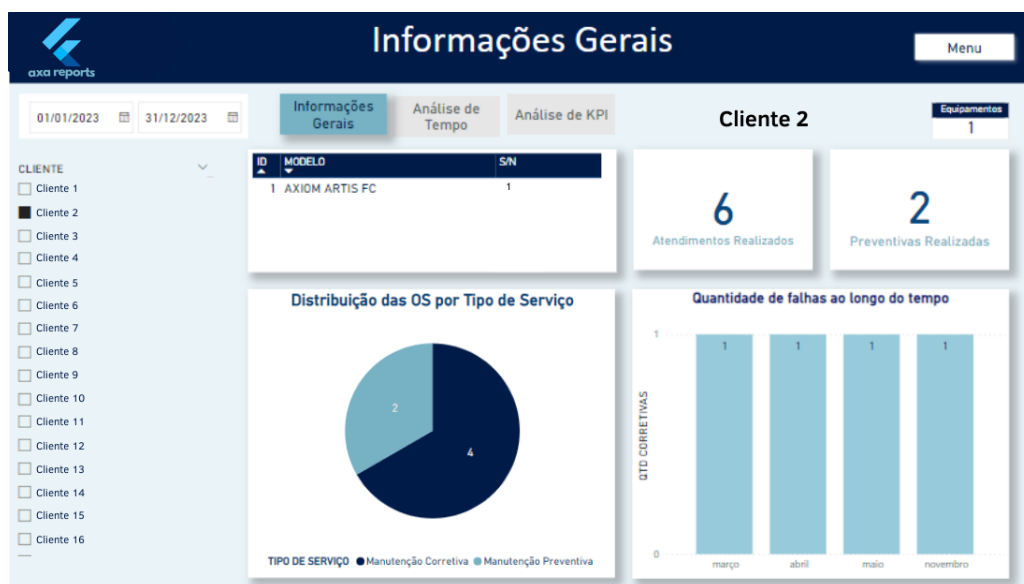


Fonte: Próprio autor

A vantagem de concentrar as informações iniciais em uma única página reside na facilidade de localizar dados gerais. Isso inclui informações como a quantidade de equipamentos sob contrato que o cliente possui e seus respectivos números de série, o tipo de serviço com maior incidência de ocorrências durante o período avaliado, o número total de atendimentos realizados e o comportamento das falhas ao longo dos meses.

Na Figura 4.2 foi utilizado o filtro no cliente 2 e observa-se que ao longo do ano de 2023 foram efetuados 6 atendimentos, dos quais 2 foram preventivos e 4 corretivos. Nota-se que, especificamente, 3 desses atendimentos corretivos foram realizados durante o primeiro semestre do ano.

Figura 4.2 – Relatório de Performance - Cliente 2



Fonte: Próprio autor

Na seção de análise de tempo, Figura 4.3, é possível observar os indicadores de tempo do equipamento, como:

- **Tempo de atendimento corretivo:** representa o tempo médio de duração de uma manutenção corretiva presencial do equipamento, com base nas informações coletadas durante o período avaliado. Essa métrica assume relevância tanto no contexto técnico quanto comercial. Do ponto de vista técnico, ela permite uma avaliação precisa do tempo necessário para concluir uma manutenção corretiva, possibilitando calcular o tempo estimado de *downtime* que a máquina apresentará durante o serviço. Além disso, fornece informações valiosas para a programação conjunta com o cliente, determinando quanto tempo será necessário bloquear na agenda para a execução do serviço. Comercialmente, a métrica é utilizada para a precificação de orçamentos, considerando o valor da hora técnica.
- **Tempo médio de preventiva:** assim como o tempo de manutenção corretiva, o tempo médio de manutenção preventiva também é empregado comercialmente na elaboração de propostas, utilizando a hora técnica como referência. Essa métrica é calculada como uma média das horas consumidas nas manutenções preventivas do equipamento.

- **Atendimento presencial:** corresponde ao tempo decorrido, em horas úteis, até a chegada do técnico para o atendimento presencial. O cálculo inicia-se a partir da abertura da ordem de serviço, considerando como horas úteis o período de segunda a sexta-feira, das 08h às 18h.

O tempo até o atendimento presencial, como estabelecido em todos os contratos de manutenção com uma SLA a ser seguida, desempenha o papel de monitoramento do intervalo decorrido até a chegada ao cliente. Essa métrica não apenas possibilita uma otimização eficiente da logística de chegada, mas também serve como base para eventuais ajustes na SLA do contrato.

- **Tempo até suporte remoto:** referente ao tempo decorrido da abertura do chamado, em horas úteis, até a realização do atendimento remoto. Em determinadas situações, é conduzido um atendimento remoto para diagnosticar as possíveis causas do problema. Caso não seja viável resolver a questão de forma remota, o técnico pode deslocar-se até o cliente, portando uma lista das potenciais causas identificadas e dos insumos necessários para a execução da manutenção.
- **SMD:** corresponde à quantidade de atendimentos finalizados no mesmo dia de abertura. Essa métrica pode ser aplicada tanto a atendimentos presenciais quanto remotos, uma vez que clientes localizados nas proximidades da empresa podem apresentar uma taxa de SMD (Solucionados no Mesmo Dia) maior em comparação aos que enfrentam desvantagens geográficas.
- **Tempo de primeiro atendimento presencial:** O gráfico de barras fornece a mesma informação referente ao tempo até o atendimento presencial, porém, diferencia-se ao detalhar de acordo com as ordens de serviço realizadas. Isso permite a identificação específica dos atendimentos que demandaram um maior tempo até a chegada do técnico. Em alguns casos, onde uma falha específica na máquina não afeta o seu funcionamento global, é comum, por opção do cliente, agendar algumas manutenções corretivas para períodos de menor fluxo de exames.
- **Atendimentos realizados no cliente e na sede:** essa métrica é importante para avaliar a eficiência do suporte remoto prestado. Ao minimizar a quantidade de atendimentos presenciais, a empresa não apenas reduz os custos associados ao deslocamento, mas também proporciona uma economia significativa de tempo para o cliente, evitando paradas prolongadas da máquina.

Figura 4.3 – Relatório de Performance - Análise de Tempo



Fonte: Próprio autor

Para obter informações sobre o desempenho do equipamento, a Figura 4.4 apresenta dados, como a disponibilidade do equipamento, o tempo de máquina parada, *downtime*, MTTR e MTBF. Todas as métricas de tempo são expressas no formato de dias.

Além disso, para garantir que todas as informações necessárias sobre a OS estejam disponíveis na plataforma, é apresentado um gráfico de barras que mostra a distribuição dos dias de máquina parada por OS. Adicionalmente, é disponibilizado um descritivo detalhado para cada OS, permitindo a análise da causa por trás das métricas apresentadas.

Figura 4.4 – Relatório de Performance - Análise de KPI



Fonte: Próprio autor

4.2 Análise geral

Na Tabela 4.1 estão os indicadores gerais de manutenção do equipamento, como quantidade de corretivas realizadas, quantidade de preventivas, o tempo de máquina parada, MTBF e MTTR. É importante observar que possuir um *downtime* elevado não implica em um MTBF baixo obrigatoriamente. É o caso dos equipamentos 4 e 7, que apesar de possuírem diferentes tempos de máquina parada, 1 dia e 20 dias respectivamente, o MTBF é próximo devido a quantidade de atendimentos corretivos ser maior para o equipamento 4.

Em contrapartida o MTTR depende do tempo total da manutenção, não necessariamente do tempo de máquina parada, já que em equipamentos médicos, nem todo atendimento corretivo resulta na parada total da máquina. É por isso que os equipamentos 1 e 5 apresentam MTTR de 9,4 e 30,8, respectivamente, já que, apesar do equipamento 5 possuir menor tempo de máquina parada, seus atendimentos corretivos duraram mais tempo para serem realizados.

Tabela 4.1 – Indicadores Gerais de Manutenção

ID	Qtd. Corretivas	Qtd. Preventivas	Downtime	MTBF	MTTR
1	4	2	16	87	9,4
2	3	2	1	121	5,9
3	11	2	32	30	4,1
4	6	2	1	61	4,6
5	6	2	6	60	30,8
6	8	2	5	45	2,8
7	5	2	20	69	4,0
8	7	2	22	49	11,8
9	9	2	6	40	3,0
10	3	2	5	120	9,9

Fonte: Autoria própria.

Na Tabela 4.2 é observada a evolução da disponibilidade de máquina ao longo do ano. O valor apresentado é de forma acumulativa, ou seja, a disponibilidade apresentada no 4º trimestre é correspondente à disponibilidade total do equipamento até o dia 31/12, enquanto a disponibilidade do 1º trimestre é até o dia 31/03.

De acordo com os dados, alguns equipamentos apresentaram um aumento na disponibilidade, enquanto outros apresentaram uma diminuição. Esse indicador possibilita inferir quais

trimestres apresentaram maior período de máquina parada. Como é o caso do equipamento 3, que apenas no 3° trimestre veio apresentar diminuição na disponibilidade, o que indica que seu tempo de máquina parada ficou concentrado durante esse período.

Tabela 4.2 – Disponibilidade Operacional

ID	1° Trimestre Disp. (%)	2° Trimestre Disp. (%)	3° Trimestre Disp. (%)	4° Trimestre Disp. (%)
1	93,13	91,55	94,41	95,72
2	99,53	99,77	99,66	99,74
3	99,95	99,66	88,15	91,15
4	99,88	99,64	99,69	99,59
5	99,08	99,14	99,13	98,44
6	95,26	97,62	98,41	98,69
7	95,29	89,93	93,11	94,56
8	78,69	89,29	92,73	93,92
9	99,67	96,76	97,66	92,25
10	99,67	97,56	98,03	98,53

Fonte: Autoria própria.

O tempo médio de atendimento presencial pode ser dividido em atendimentos corretivos e atendimentos preventivos. Na Tabela 4.3, é possível observar que o tempo médio de uma intervenção corretiva é mais variável, pois depende do problema específico e de sua complexidade. Por outro lado, o tempo médio de um atendimento preventivo é mais previsível, pois envolve etapas fixas a serem seguidas.

Além disso, a empresa possui um regimento interno de cumprimento de prazos. Atendimentos presenciais devem ser atendidos em até 2 dias úteis e os suportes remotos realizados em até 4 horas úteis. Nesse sentido, é visto na Tabela 4.3 que nenhum equipamento da análise conseguiu cumprir a SLA proposta no que diz respeito ao tempo até atendimento presencial, enquanto 70% dos avaliados atingiram a meta do tempo até suporte remoto, conforme Figura 4.5.

Tabela 4.3 – Tempos de Atendimento

ID	Tempo de Corretiva Médio (horas corridas)	Tempo de Preventiva Médio (horas corridas)	Tempo até Suporte Remoto (horas úteis)	Tempo até Atendimento Presencial (horas úteis)
1	12:12:42	06:30:00	00:35:00	57:06:42
2	00:45:00	09:15:00	00:00:00	200:28:00
3	06:35:24	07:30:00	05:50:42	106:46:12
4	06:52:00	05:53:00	08:06:00	64:05:00
5	04:00:00	10:40:00	00:09:12	55:07:18
6	08:48:42	09:30:00	04:19:24	23:49:00
7	08:58:42	09:00:00	01:42:24	66:35:18
8	13:35:48	02:30:00	00:49:24	41:15:48
9	05:58:36	06:30:00	01:06:12	44:34:30
10	04:56:18	10:30:00	01:28:30	47:52:18

Fonte: Autoria própria.

Figura 4.5 – SLA - Suporte Remoto



Fonte: Próprio autor

Em alguns casos, o atendimento corretivo pode ser programado, seja por conta de pendência em aprovação de orçamento ou devido ao problema apresentado não ocasionar a interrupção total do funcionamento da máquina para não prejudicar a agenda de atendimentos do setor. Nesse sentido, também foi analisado apenas os serviços corretivos que não foram agendados com o cliente ou que não foram atrasados devido a pendências internas, a fim de

observar a efetividade dos atendimentos realizados no prazo estipulado em contrato, conforme Tabela 4.4.

Tabela 4.4 – Tempos de Atendimento Presencial Corretivo

ID	TPA
1	31:08:00
2	sem registro
3	46:47:00
4	01:60:00
5	08:29:00
6	23:49:00
7	51:56:30
8	29:38:36
9	24:33:12
10	37:27:30

Fonte: Autoria própria.

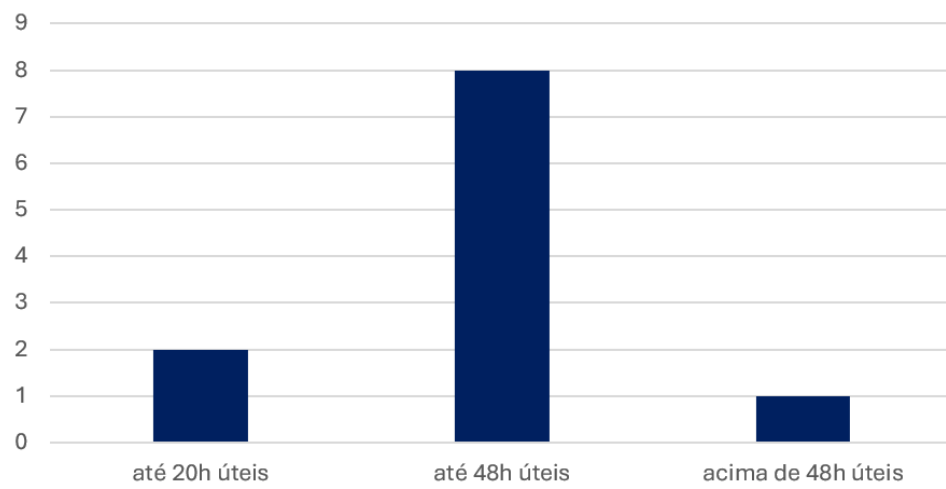
Ao estabelecer o tempo de atendimento presencial em 2 dias úteis, subentende-se que o atendimento será concluído em até 20 horas úteis, considerando o horário comercial das 08:00 às 18:00. De acordo com a Tabela 4.4, observa-se uma notável redução no tempo do primeiro atendimento para todos os equipamentos, especialmente para o equipamento 2, que, ao filtrar os atendimentos não agendados, resultou apenas em atendimentos remotos.

Além disso, os equipamentos estão distribuídos em diversos estados do país, como mostrado na Figura 3.12 da Subseção 3.4.3, o que dificulta atender à mesma SLA para todos os clientes a partir de uma única cidade. Uma maneira de reduzir o tempo de resposta seria adotar diferentes SLAs de acordo com a localização de cada cliente, além de utilizar o termo "horas úteis" em vez de "dias úteis". Ao considerar 1 dia útil como equivalente a até 10 horas úteis, ampliar o prazo para 24 horas úteis permitiria um atendimento em aproximadamente 2 dias e meio.

Conforme ilustrado na Figura 4.6, é possível observar a diferença na quantidade de atendimentos realizados presencialmente em até 20 horas úteis e em até 48 horas úteis. Nesse contexto, enquanto apenas 2 atendimentos foram realizados em até 20 horas úteis, 8 foram concluídos em até 48 horas úteis, o que significa que apenas 22% dos clientes são atendidos no

prazo.

Figura 4.6 – SLA - TPA Corretivo



Fonte: Próprio autor

5 CONCLUSÃO

Equipamentos de imagem são importantes ferramentas de auxílio ao diagnóstico e/ou a terapia, como o equipamento de angiografia. A manutenção eficaz e o funcionamento contínuo desses equipamentos são fundamentais para a prestação de serviços de saúde de qualidade. Em ambientes hospitalares e clínicas, a precisão e a confiabilidade desses dispositivos são essenciais para diagnósticos precisos e tratamentos eficazes.

A adoção de métodos de manutenção específicos e a monitorização do desempenho dos serviços executados, através de indicadores de performance como MTBF, MTTR e disponibilidade, são essenciais para diminuir tanto os gastos diretos quanto os indiretos, ao mesmo tempo em que aprimoram o desempenho do equipamento. O monitoramento desses indicadores oferece ao gestor de manutenção uma visão abrangente da eficácia do departamento de manutenção. Ferramentas de *Business Intelligence* podem auxiliar a tomada de decisões preventivas ou corretivas na readequação dos equipamentos.

Nesse sentido, esse trabalho utilizou BI para auxiliar na gestão de serviços de uma empresa de manutenção em equipamentos de diagnóstico por imagem a partir da coleta de dados, manipulação e análise das informações obtidas através de relatórios de KPIs. A plataforma *Power BI* da *Microsoft* permitiu a criação de um BI com os requisitos necessários para o cumprimento dos objetivos do trabalho.

Através do relatório de performance gerado, foi possível observar o desempenho de cada equipamento individualmente, com uma descrição detalhada dos motivos de parada e os tempos respectivos de inatividade. A possibilidade de personalização da ferramenta através de filtros também torna a plataforma interativa e de fácil utilização, permitindo a otimização das demandas do dia a dia e auxiliando os gestores na tomada de decisão.

Um dos resultados observados foi em relação ao tempo proposto na SLA dos contratos, que não acompanhou o crescimento da empresa. Com base nos resultados apresentados pela plataforma, foi possível perceber que não é possível atender todos os clientes de forma presencial no mesmo prazo, tornando-se necessário adotar prazos específicos para determinadas regiões do país.

Por fim, ainda não é possível determinar o ganho financeiro da plataforma e os impactos a longo prazo, pois isso demandaria uma análise temporal de uso e a avaliação das decisões tomadas, para verificar se foram embasadas pelas informações da ferramenta. Uma possibilidade para desenvolvimento futuro seria a alimentação do sistema de *Power BI* em tempo real de forma automatizada, seja através de APIs ou de outra plataforma de preenchimento das informações.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade**. [S.l.]: Rio de Janeiro: ABNT, 1994. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 30.
- BALDEZ, M. B. et al. A importância da manutenção preventiva com foco na redução da manutenção corretiva em equipamentos médicos do hospital universitário de vassouras/ rj. **Rev Teccen.**, p. 15(1); 45–51, 2022. Citado na página 12.
- BARBIERI, C. **BI2 - Business Intelligence: modelagem e qualidade**. [S.l.]: Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. Citado na página 18.
- BIE, A. L. d. A. et al. Angioplastia coronária: adversidades e possibilidades na assistência de enfermagem. **Brazilian Journal of Health Review, Curitiba, v.4, n.1**, p. p.2347–2366, 2021. Citado na página 15.
- BORGES DE LIMA, A. et al. **Indústria 4.0: Conceitos e Fundamentos**. [S.l.]: São Paulo : Blucher, 2018. Citado na página 17.
- BRANCO FILHO, G. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. [S.l.]: Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008. Citado na página 20.
- BRASIL. **Ministério da Saúde. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. Diretrizes metodológicas: elaboração de estudos para avaliação de equipamentos médicos assistenciais**. [S.l.]: Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2013. Disponível em: <https://www.gov.br/conitec/pt-br/midias/artigos_publicacoes/diretrizes/diretrizes_metodologicas_elaboracao_estudos.pdf>, Acesso em: 20 mar. 2024. Citado na página 21.
- BRASIL. **Ministério da Saúde. DATASUS. Tabnet**. [S.l.]: Brasília, DF: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <<https://datasus.saude.gov.br/cnes-recursos-fisicos>>, Acesso em: 29 out. 2023. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 15.
- CALIL, S. J.; TEIXEIRA, M. S. **Gerenciamento de manutenção de equipamentos hospitalares**. [S.l.]: Faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 1998. Citado 8 vezes nas páginas 22, 23, 24, 25, 26, 56, 57 e 58.
- FIA Business School. **BI: o que é, importância, ferramentas e dicas de implementação**. 2021. <<https://fia.com.br/blog/bi/>>, Acesso em 15 nov. 2023. Citado na página 18.
- FOGLIATTO F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. [S.l.]: Rio de Janeiro: Elsevier, 2011. Citado na página 31.
- HAMMERMULLER, A.; ECHER, I. C. Cateterismo cardíaco, orientações para pacientes e familiares. **Repositório Institucional da UFRGS**, 2001. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/80012>>, Acesso em: 9 nov. 2023. Citado na página 15.
- IBM Marketing Cloud. **10 Key Marketing Trends for 2017 and Ideas for Exceeding Customer Expectations**. 2017. <<https://www.studocu.com/en-au/document/monash-university/taxation-law/10-key-marketing-trends-for-2017-and-ideas-for-exceeding-customer-expectations/5963924>>, Acesso em 15 nov. 2023. Citado na página 17.

JW ENGENHARIA. **Tipos de Manutenção Industrial**. 2022. <<https://jweng.com.br/noticias/tipos-de-manutencao-industrial/>>, Acesso em 09 fev. 2024. Citado na página 21.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção - Função Estratégica**. [S.l.]: Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. v. 3^aEd. Citado 3 vezes nas páginas 21, 23 e 24.

LUHN, H. P. A business intelligence system. **IBM Journal of Research and Development**, v.2, p 314–319, October 1958. <<https://doi.org/10.1147/rd.24.0314>>, Acesso em 15 nov. 2023. Citado na página 18.

MARTINS, A. P. R. de A. P. **A Influência da Manutenção Industrial no Índice Global de Eficiência (OEE)**. [S.l.]: Dissertação (Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial) — Universidade Nova de Lisboa,, 2012. Citado na página 28.

Medsystems. **Siemens Axiom Artis Zee Floor**. 2021. <<https://medsystems.eu/en/cath-angio-labs/156-siemens-axiom-artis-zee-floor.html>>, Acesso em 12 fev. 2024. Citado na página 27.

NEPOMUCENO, L. X. **Técnicas de Manutenção Preditiva - Vol. 1**. [S.l.]: São Paulo: Blucher, 1989. Vol. 1. Citado na página 27.

PRIMAK, F. V. **Decisões com bi (business intelligence)**. [S.l.]: Fabio Vinicius Primak, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

SLACK, N. et al. **Administração da Produção**. [S.l.]: São Paulo: Atlas, 2002. Citado 2 vezes nas páginas 23 e 28.

SOUZA, A. Análise da disponibilidade em equipamentos de ressonância magnética baseada em indicadores de manutenção. Rio de Janeiro, Brasil, 10 2023. Nenhuma citação no texto.

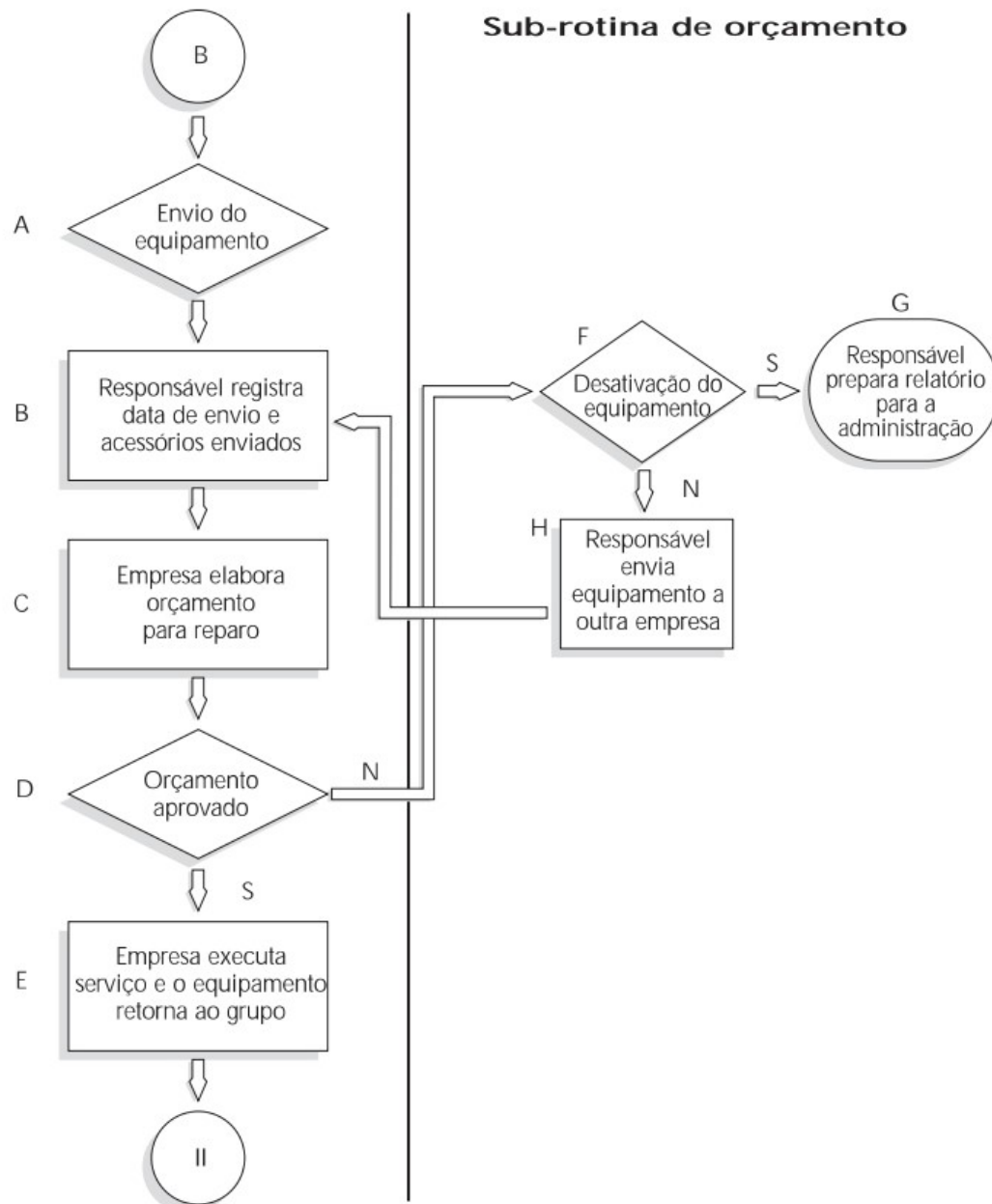
VIANA, H. **PCM, planejamento e controle de manutenção**. [S.l.]: Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. v. 3^aEd. Citado 3 vezes nas páginas 22, 26 e 27.

We Are Social. **Digital 2023 Global Overview Report v01**. 2023. <<https://wearesocial.com/uk/blog/2023/01/digital-2023/>>, Acesso em 30 set. 2023. Citado na página 17.

XAVIER, J. N. Indicadores de manutenção. 2015. <<https://manter.com.br/>>, Acesso em: 22 out. 2023. Citado na página 28.

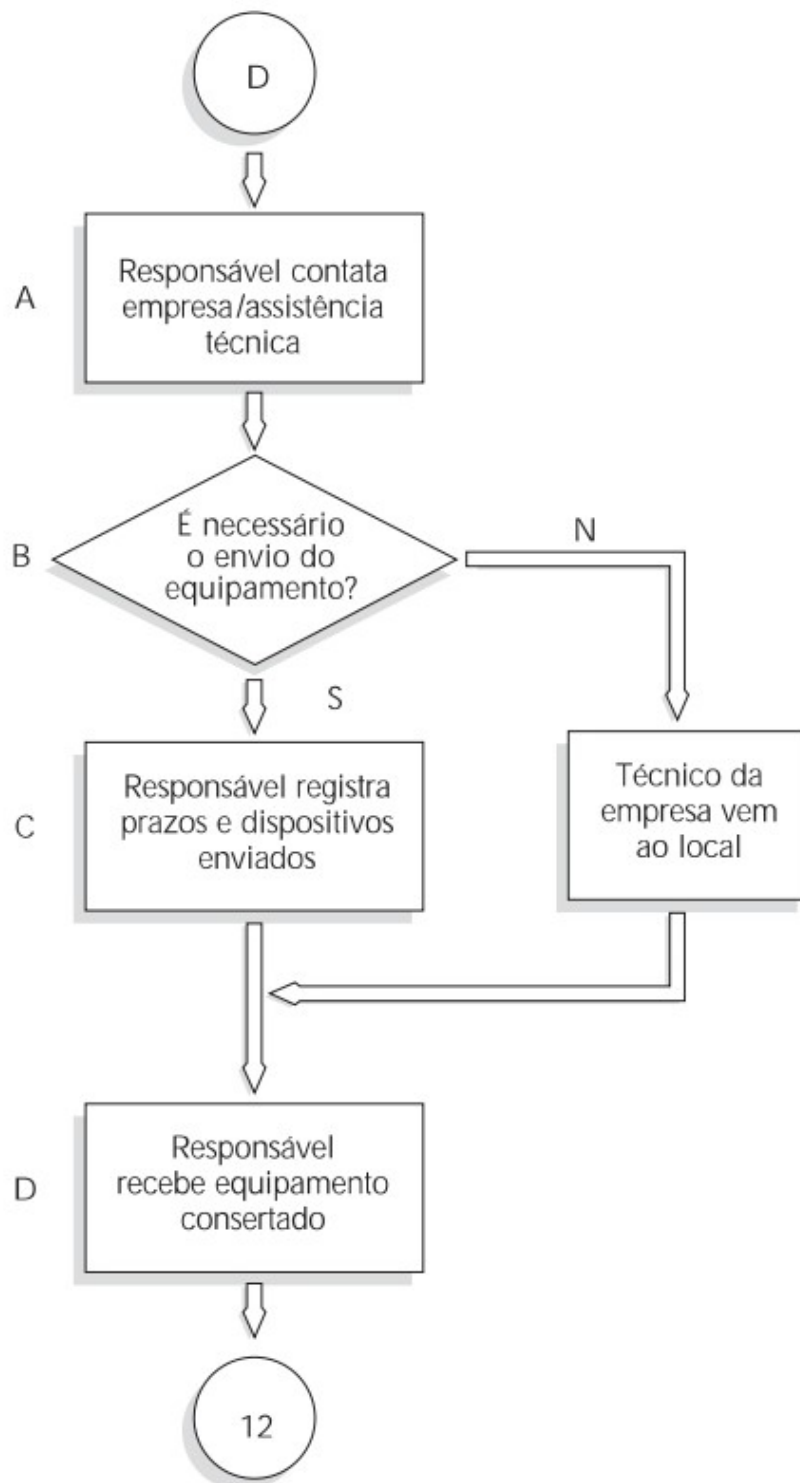
ANEXO A – Sub-Rotinas de Manutenção Corretiva

Figura A.1 – Sub-Rotina de Serviços Terceirizados



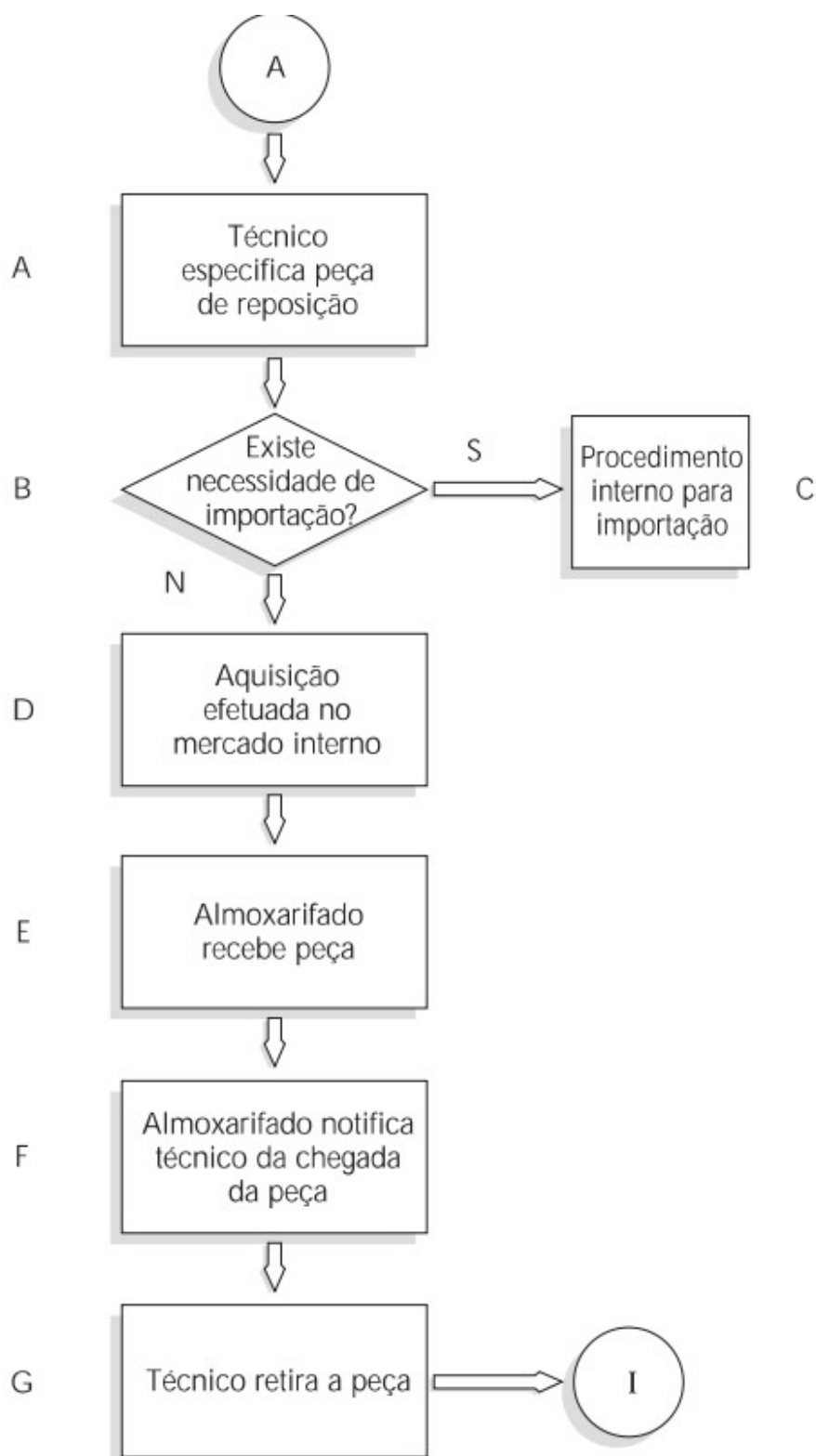
Fonte: (CALIL; TEIXEIRA, 1998)

Figura A.2 – Sub-Rotina de Garantias



Fonte: (CALIL; TEIXEIRA, 1998)

Figura A.3 – Sub-Rotina de Aquisição



Fonte: (CALIL; TEIXEIRA, 1998)