

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ESPECIALIZAÇÃO EM LEAN SIX SIGMA**

VINICIUS LUIZ IANKE

**METODOLOGIA DMAIC PARA GESTÃO DE MANUTENÇÃO
PREVENTIVA: ESTUDO DE CASO APLICADO NA PRESTAÇÃO DE
SERVIÇOS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2021

VINICIUS LUIZ IANKE

**METODOLOGIA DMAIC PARA GESTÃO DE MANUTENÇÃO
PREVENTIVA: ESTUDO DE CASO APLICADO NA PRESTAÇÃO DE
SERVIÇOS**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Lean Six Sigma, do Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

CURITIBA

2021



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Curitiba

Departamento de Engenharia de Produção
Especialização em Lean Six Sigma



TERMO DE APROVAÇÃO

METODOLOGIA DMAIC PARA GESTÃO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA:
ESTUDO DE CASO APLICADO NA PRESTAÇÃO DE SERVIÇOS

por

VINICIUS LUIZ IANKE

Esta Monografia foi apresentada em 06 de julho de 2021 como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Lean Six Sigma. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Marcelo Rodrigues
Prof. Orientador

Wanderson S. Paris
Membro titular

Emerson Rigoni
Membro titular

Dedico todo o meu agradecimento aos
professores que possibilitam a
transmissão do conhecimento aos seus
alunos.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, o agradecimento é direcionado à minha família, pelo apoio em todos os momentos de dificuldade.

Não menos importante, Deus merece destaque especial por conceder-me o direito à vida.

Além disso, deixo minhas homenagens aos professores que puderam compartilhar seus conhecimentos ao longo das disciplinas do curso.

Ademais, agradeço aos meus colegas de curso, os quais tive o privilégio de conhecer nessa jornada.

De forma geral, a todos os que de alguma forma contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

IANKE, Vinicius L. **Metodologia DMAIC para gestão de manutenção preventiva:** Estudo de caso aplicado na prestação de serviços. 2021. 67 páginas. Monografia (Especialização em Lean Six Sigma) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2021.

A busca por estratégias e ferramentas para maximização da eficiência encontra-se cada vez mais evidente nas indústrias e nos setores de serviços. A utilização de métodos eficazes é capaz de tornar a empresa mais competitiva. Dentre as metodologias utilizadas, deve-se dar destaque ao *Lean Six Sigma*, o qual tem como objetivos a identificação das expectativas e necessidades dos clientes, tornando possível também a redução da variabilidade do processo e, por conseguinte, a eliminação de defeitos e incremento nos resultados. Nesse sentido, esse trabalho tem como objetivo a aplicação da metodologia DMAIC (Definir, Medir, Analisar, Melhorar e Controlar) na gestão de planejamento de manutenção preventiva em uma empresa de prestação de serviços da área de climatização, possibilitando a análise dos fatores que impactam a qualidade dos serviços e, conseqüentemente, a satisfação dos clientes. Com o auxílio das ferramentas *Lean* é possível coletar e selecionar dados do processo que necessitam de correção para fornecer um resultado mais satisfatório. A metodologia utilizada foi a seleção de artigos e trabalhos, localizados na base de dados Bibliotec da UTFPR, com pertinência temática na área de manutenção, e análise de um caso aplicado em uma empresa de prestação de serviços de manutenção preventiva. Por meio desse conjunto de métodos, pode-se mensurar os principais desperdícios e entender as variáveis determinantes no desempenho da prestação de um serviço eficiente. Com isso, observa-se a contribuição positiva da metodologia aplicada nesse segmento.

Palavras-chave: Planejamento de Manutenção. Lean Six Sigma. Lean Manufacturing. DMAIC. Manutenção Preventiva.

ABSTRACT

IANKE, Vinicius L. **DMAIC methodology for preventive maintenance management:** Case study applied to the provision of services. 67 pages. Monography (Specialization in Lean Six Sigma) - Federal Technology University - Parana. Curitiba, 2021.

The search for strategies and tools to maximize efficiency is increasingly evident in industries and service sectors. The use of effective methods can make the company more competitive. Among the methodologies used, Lean Six Sigma should be highlighted, which aims to identify customer expectations and needs, also making it possible to reduce process variability and, therefore, eliminate defects and increase results. In this sense, this work aims to apply the DMAIC methodology (Define, Measure, Analyze, Improve and Control) in the management of preventive maintenance planning in a company providing services in the HVAC area, enabling the analysis of the factors that impact the quality of services and, consequently, customer satisfaction. With the help of Lean tools, it is possible to collect and select process data that need correction to provide a more satisfactory result. The methodology used was the selection of articles and works, located in UTFPR's Bibliotec database, with thematic relevance in the area of maintenance, and analysis of a case applied in a company providing preventive maintenance services. Through this set of methods, it is possible to measure the main wastes and understand the variables that determine the performance of providing an efficient service. Thus, the positive contribution of the methodology applied in this segment can be seen.

Keywords: Maintenance Planning. Lean Six Sigma. Lean Manufacturing. DMAIC. Preventive maintenance.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Protocolo de pesquisa.....	17
Figura 2 – Equipamento de ressonância.....	22
Figura 3 – Ilustração de projeto de ressonância magnética.....	23
Figura 4 – Chiller hospitalar.....	24
Figura 5 – Modelos de equipamento de climatização.....	25
Figura 6 – Equipamento de desumidificação.....	26
Figura 7 – Exemplos de atividade otimizadas.....	29
Figura 8 - Tipos de manutenção.....	33
Figura 9 – Diferenças entre tipos de manutenção.....	37
Figura 10 - Conceito de variação sigma de processo.....	38
Figura 11 - Lógica da metodologia Six Sigma.....	39
Figura 12 – Definição das responsabilidades.....	40
Figura 13 - Contribuição das abordagens conjuntas.....	42
Figura 14 - Integração das ferramentas Lean ao método DMAIC.....	43
Figura 15 - Questionamentos metodologia DMAIC.....	44
Figura 16 - Comparação DMAIC e PDCA.....	45
Figura 17 – Principais ferramentas da qualidade.....	47
Figura 18 – Ciclo DMAIC.....	48
Figura 19 - Project charter.....	49
Figura 20 – SIPOC do processo.....	50
Figura 21 – Mapa do processo atual.....	55
Figura 22 – Diagrama de Ishikawa	56
Figura 23 – Plano de manutenção.....	60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Os sete desperdícios da produção.....	30
Quadro 2 – Exemplos de desperdícios em área administrativas e de prestação de serviços	31
Quadro 3 - Ferramentas da qualidade.....	46
Quadro 4 – Plano de ação 5W2H.....	58
Quadro 5 – Checklist do plano de ação.....	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Tempo de equipamentos parados.....	52
Gráfico 2 – Horas de equipamentos parados x clientes.....	52
Gráfico 3 – Quantidade de paradas não-programadas.....	53
Gráfico 4 – Quantidade de horas paradas x defeitos.....	54

LISTA DE SIGLAS

DMAIC	<i>Define, Measure, Analyse, Improve e Control</i>
5W2H	<i>What, Why, When, Where, Who, How e How Much</i>
LSS	<i>Lean Six Sigma</i>
VOC	<i>Voice of Customer</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISA.....	14
1.2 OBJETIVOS.....	15
1.2.1 Objetivo Geral.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
2 TEMA OU ÁREA DE APLICAÇÃO.....	21
2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA APLICADA.....	21
2.1 DESCRIÇÃO DO PROCESSO.....	23
2.3. DESCRIÇÃO DO SERVIÇO.....	26
3 REFERENCIAL TEÓRICO.....	28
3.1 LEAN MANUFACTURING.....	28
3.1.1 Os Sete Desperdícios.....	30
3.2 MANUTENÇÃO.....	31
3.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	32
3.3.1 Manutenção Corretiva.....	33
3.3.2 Manutenção Preventiva.....	34
3.3.3 Manutenção Preditiva.....	35
3.3.4 Manutenção Detectiva.....	36
3.3.5 Engenharia de Manutenção.....	36
3.4 SIX SIGMA.....	37
3.5 LEAN SIX SIGMA.....	40
3.5.1 Metodologia DMAIC.....	42
3.6 FERRAMENTAS DA QUALIDADE.....	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1 DEFINE.....	48
4.2 MEASURE.....	51
4.3 ANALYSE.....	55
4.4 IMPROVE.....	57
4.5 CONTROL.....	62
5 CONCLUSÃO.....	64
REFERÊNCIAS.....	65

1 INTRODUÇÃO

Não há como negar a crescente competitividade e procura por espaço no mercado. Nesse sentido, a busca por meios que tornem possíveis as mudanças na organização, como forma de maximizar os resultados, apresentam-se cada vez mais necessárias. Conforme Werkema (2011), em um cenário cada vez mais eficiente, as estratégias utilizadas devem buscar redução de desperdícios para maximização de resultados.

Em se tratando do campo da manutenção, ele foi notado, ao longo do tempo, como o responsável por paradas indesejadas e que resultavam em custos expressivos para a empresa. Devido à alta produtividade, o setor vem se tornando estratégico para a eficiência dos processos produtivos. Pode-se observar que muitos dos problemas decorrentes do setor de manutenção são resultado de escolhas inadequadas de intervenção, principalmente quando o equipamento desempenha papel vital no processo (XAVIER, 2008).

Com o desenvolvimento das estratégias de manutenção, houve uma mudança no comportamento da metodologia de prevenção, o que pôde tornar a manutenção voltada para uma maior disponibilidade, segurança e confiabilidade. Também pode-se aplicar diversos métodos de controle e dar um foco diferente e, além disso, incrementar o papel de importância do processo de manutenção dentro das organizações (SELLITTO, 2005).

As empresas têm a missão de superar os seus concorrentes em duas áreas de negócios (gerenciamento dos atuais negócios para aumentar o lucro e o planejamento das ações futuras que busquem o crescimento da empresa). Em vista disso, é inegável o foco em atividades que permitam a entrega perfeita das promessas aos clientes, buscando a máxima excelência na superação das expectativas (JUGULUM; SAMUEL, 2008).

Alinhando a isso, Juran (1992), ressalta que qualidade tem um significado muito mais amplo do que se imagina, então, antes de planejá-la, deve-se saber a sua real conceituação, usando o tempo necessário para determinar qual o assunto que tem como objetivo de ser planejado.

Atualmente, nota-se a presença de diversos métodos que visam a promoção de melhorias de processos ou serviços. Cumpre salientar, entre eles, o *Lean Six*

Sigma, que abrange um conhecimento conjunto do *Lean Manufacturing* e *Six Sigma*. Essa metodologia tem papel fundamental na contribuição para uma redução dos desperdícios e custos, além de otimizar a qualidade de serviços ou produtos, por meio de processos mais eficientes (GEORGE et al, 2003).

Em consonância com Lindrmann et. al. (2003), a metodologia *Six Sigma* é uma sistematização para melhoria de processos e serviços que tem como objetivo dirimir os defeitos que não estejam alinhados com as necessidades do cliente. Dentre as opções pertinentes para melhoria, uma metodologia conhecida como DMAIC tem papel de destaque. É um método, que alinhado com o *Lean Six Sigma*, foca na melhoria de processos com meta na resolução de problemas e, posteriormente, aumento de lucratividade (AGUIAR, 2006).

Através da aplicação de cinco estágios, é possível otimizar produtos ou serviços, são eles: definir, medir, analisar, melhorar e controlar. Essa aplicação permite uma análise mais detalhada de toda a situação, o que possibilita um trabalho direto na causa raiz do problema (BRADY; ALLEN, 2006).

Dessa maneira, esse trabalho busca realizar um estudo por meio do modelo DMAIC e da metodologia *Six Sigma* em uma empresa de prestação de serviços de manutenção preventiva do ramo de climatização, visando a melhoria no planejamento de manutenção, como forma de reduzir o percentual de desperdícios provenientes de falhas no processo e mapear os possíveis aperfeiçoamentos. Com auxílio da aplicabilidade das ferramentas atreladas à metodologia, espera-se identificar uma melhor análise e entendimento dos problemas que atualmente impactam os resultados das atividades.

1.1 PREMISSAS E PROBLEMAS DE PESQUISA

Deve-se pontuar, de início, que a literatura oferece diferentes ferramentas para aplicação na melhoria de processos/serviços, porém cada uma delas se mostra mais eficiente em determinadas áreas, o que torna necessária a avaliação prévia das particularidades cuja adequação da empresa/ramo requer para resultar nos efeitos esperados. Nesse sentido, a área de serviços evidencia-se como um grande desafio pelas variáveis envolvidas na pesquisa.

Além disso, o que torna a prestação de serviços eficientes é a valoração da satisfação dos clientes. Diante disso, a presente pesquisa busca melhorar a satisfação dos contratantes (clientes) ao reduzir o número de paradas não-programadas de equipamentos de climatização de sistemas hospitalares.

Dessa hipótese, evidencia-se a questão que norteia o trabalho dessa pesquisa:

- É possível entender a causa de paradas não-programadas de equipamento de climatização por meio da metodologia DMAIC e otimizar um plano de manutenção preventiva para melhorar os indicadores de qualidade na prestação de serviços utilizando ferramentas *Lean Six Sigma*?

1.2 OBJETIVOS

O presente tópico irá detalhar os objetivos que permeiam esta pesquisa, conforme tópicos expostos a seguir.

1.2.1 Objetivo Geral

Elaborar o planejamento de manutenção preventiva utilizando o método DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve e Control*) em uma empresa de prestação de serviços voltados para a área de climatização hospitalar.

1.2.2 Objetivos Específicos

- (i) Levantar informações sobre o atual planejamento e controle de manutenções preventivas de equipamentos de climatização;
- (ii) Identificar os principais equipamentos e níveis de importância dentro do processo;
- (iii) Identificar as principais causas de paradas de equipamentos, quais os fatores de maior influência e custos diretos/indiretos;
- (iv) Verificar a utilização da metodologia DMAIC como o objetivo de diminuir as falhas no planejamento de manutenções preventivas;

- (v) Verificar se a metodologia DMAIC é eficiente para essa aplicação;
- (vi) Criar um procedimento de manutenção preventiva otimizado e verificar possíveis ganhos obtidos.

1.3 JUSTIFICATIVA

O setor de prestação de serviços encontra-se em um cenário muito competitivo, o que torna necessário as empresas trabalharem de forma eficiente. Nesse sentido, com um bom plano de manutenção e intervenção é possível evitar e prever causas indesejadas de falhas de equipamentos que possam trazer prejuízos para o cliente.

O tema desta pesquisa mostra-se relevante para empresas que buscam uma prestação de serviços com excelência, pois o cliente espera que seus equipamentos não falhem em operação prejudicando o processo. Além disso, a busca por otimização de procedimentos deve ter papel de destaque em qualquer tipo de operação, sendo capaz de mapear as melhores ações diante de situações de problema.

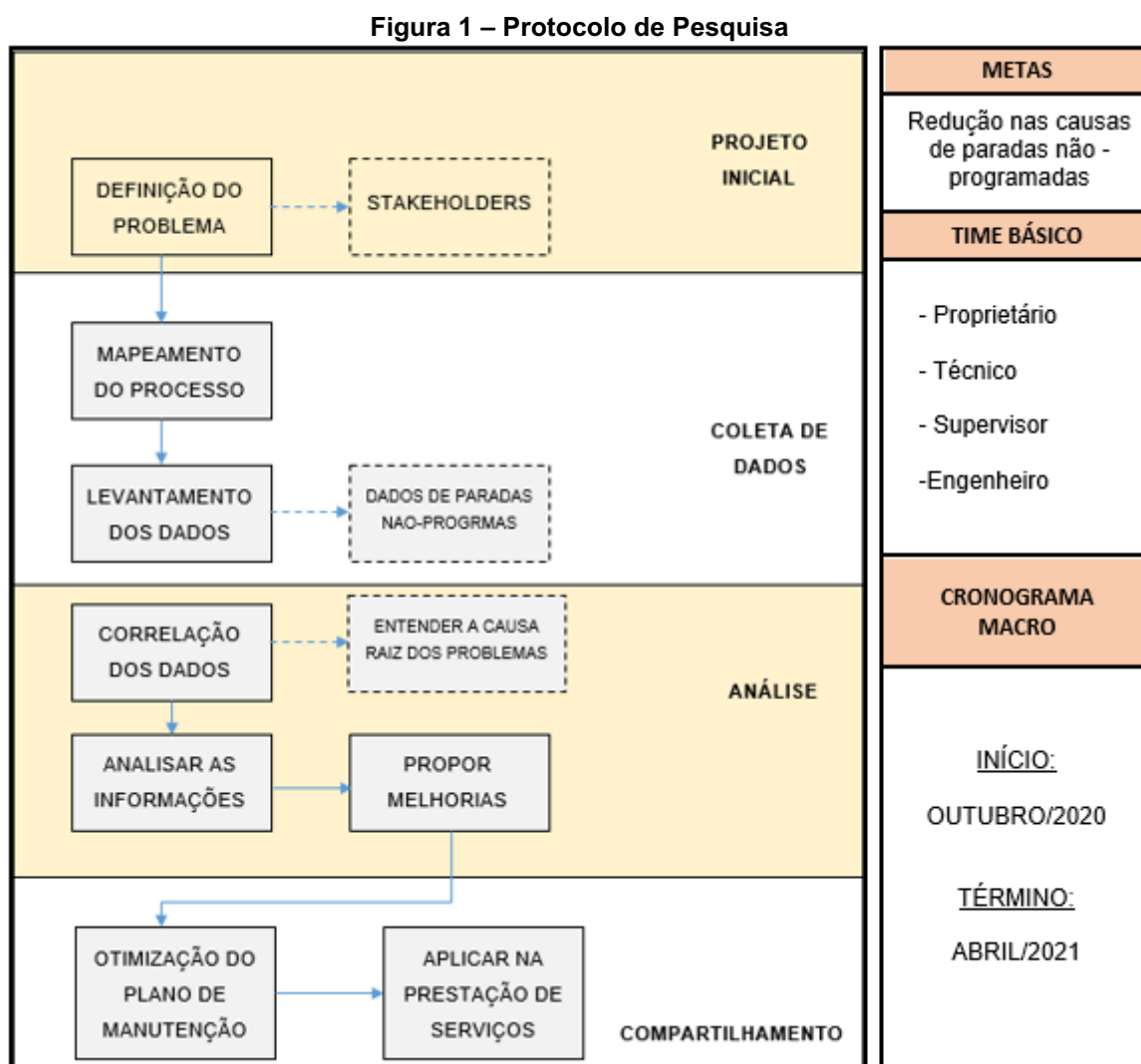
Outrossim, salienta-se que com a utilização da metodologia DMAIC é possível alcançar ganhos financeiros, técnicos e gerenciais. Em um cenário econômico, nota-se diversos custos diretos e indiretos envolvidos em uma prestação de serviços ineficientes, como por exemplo, custos de equipamentos parados, funcionários com tempos ociosos e, conseqüentemente, o mais importante: insatisfação dos clientes. Além disso, com um planejamento bem estruturado, é possível a busca por melhorias no processo que não eram identificadas no dia a dia.

Cumpra salientar, ainda, que o fator motivador dessa pesquisa surgiu através da observação de um procedimento ineficiente de manutenção preventiva nos sistemas de climatização, o qual demanda grande tempo em intervenções corretivas não programadas, e que não está alinhada com uma cultura de melhoria contínua.

1.4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos metodológicos presentes nesse trabalho podem ser classificados como de natureza aplicada, pois são embasados em conceitos teóricos gerando aplicações práticas que tem como objetivo a resolução de problemas específicos. Em relação aos objetivos, nota-se uma pesquisa de caráter normativo, visando o desenvolvimento de uma estrutura para melhoria dos índices e indicadores de uma empresa de prestação de serviços. (TURRIONI; MELLO, 2012)

O protocolo de pesquisa do presente trabalho visa mostrar os passos das atividades desempenhadas ao decorrer do trabalho. Pode-se observar que a estrutura tem como base a estrutura da metodologia DMAIC (Fig. 1).



Fonte: Autoria Própria (2021)

Após definição do problema norteador, o trabalho de pesquisa dar-se-á de maneira aplicada e exploratória, devido à área de aplicação ser restrita e os dados variáveis para cada setor. Inicialmente, o escopo do trabalho tem como embasamento a aplicação de ferramentas *Lean Six Sigma* para mapear a condição atual. Além disso, como passo inicial para a pesquisa será elaborado um Contrato de Projeto (*Project Charter*), o qual tem por objetivo formalizar as ações que serão executadas ao longo do desenvolvimento.

Em um primeiro momento, todas as informações iniciais serão obtidas através de uma análise em campo de trabalho e um levantamento dos procedimentos de operação adotados atualmente. Na sequência, uma busca na base de dados da UTFPR (bibliotec), com pertinência na área de manutenção e prestação de serviços, servirá como base para aplicação das ferramentas utilizadas. A ideia é mapear quais são as principais que possam contribuir e que tenham conexão com a área de atuação.

A sequência da pesquisa será baseada na metodologia DMAIC. Os procedimentos básicos de coleta de dados são inicialmente referentes à etapa *DEFINE* (definir), a qual deve realizar um levantamento das condições iniciais através de aplicação de ferramentas como o Brainstorm e o VOC (*Voice of Customer*) para entender as necessidades e expectativas dos clientes.

A seguir, a fase definida como *MEASURE* (medir) traz a necessidade da compilação dos dados estatísticos que dizem respeito a operação, os quais podem ser levantados através de ferramentas como o gráfico de Pareto e Histogramas. Na sequência a fase definida com *ANALYSE* (analisar) formula as ações de solução do problema e traz melhorias. Nessa etapa, há definição da causa raiz dos problemas encontrados. Para isso, importantes ferramentas mostram-se pertinentes, tais como o Diagrama de Ishikawa e a análise dos 5 porquês.

Posteriormente, a estratégia na fase *IMPROVE* (melhorar) é relacionar as oportunidades de solução baseadas na causa raiz. Ademais, aplicar procedimentos LSS na operação e verificar qual o nível de ganhos possíveis. Nesse momento, há necessidade da elaboração de planos de ação para desenvolvimento coordenados das melhorias levantadas, e para isso utilizar-se-á a ferramenta 5H2H para guiar os procedimentos.

Por fim, a etapa *CONTROL* (controlar) visa a garantia de que a empresa mantenha a busca por uma melhoria contínua dos processos e serviços. Além disso, como forma de maximizar os resultados, a meta é realizar um procedimento de manutenção preventiva padrão que possa ser aplicado para diversos tipos de clientes e que possa garantir um plano de manutenção eficiente e que tenha uma contribuição monetária expressiva para os contratantes. Dessa forma, pode-se monitorar o desempenho e os resultados alcançados.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho conterà uma divisão em 5 capítulos. Sendo eles:

No capítulo 1 são apresentadas uma introdução sobre o tema escolhido, entre elas os objetivos de uma forma geral. Além disso, a justificativa da escolha do trabalho e um levantamento básico dos procedimentos metodológicos.

O capítulo 2 tem como meta a delimitação do tema e da área de aplicação da pesquisa desenvolvida. Para isso, observa-se a descrição detalhadas de equipamentos, processos, serviços, locais de aplicação, entre outros.

No capítulo 3 apresenta-se a revisão da literatura, em que são abordadas as metodologias teóricas. Alinhado a isso, o embasamento das principais ferramentas LSS utilizadas nessa pesquisa.

O capítulo 4 é responsável por apresentar com mais detalhamento a metodologia utilizada na execução da pesquisa e discorrer sobre os principais procedimentos adotados. Nessa linha, traz o desenvolvimento da pesquisa descrita de maneira bem aprofundada, buscando no escopo deste trabalho alcançar os objetivos pressupostos no capítulo 1. Além disso, para alcançar os objetivos, será aplicado o embasamento teórico (Capítulo 3), com descrição das considerações e simplificações utilizadas. Por fim, uma descrição dos resultados obtidos com os respectivos comentários.

O capítulo 5 realiza a finalização da pesquisa, mostrando as principais conclusões obtidas e propostas de trabalhos futuros. No presente capítulo, é realizada uma síntese, identificando as principais dificuldades de aplicação das ferramentas e

soluções pertinentes para a área de serviços. Somado a isso, será feito um compilado dos pontos positivos para a empresa.

2 TEMA OU ÁREA DE APLICAÇÃO

O presente capítulo irá apresentar com detalhes o tema central e a área de aplicação que permeia a pesquisa desenvolvida.

2.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA APLICADA

A empresa alvo da pesquisa desempenha atividades de prestação de serviços de manutenção preventiva com foco na área hospitalar. O segmento refere-se ao ramo de climatização/ar condicionado, o qual busca manter a eficiente troca de calor com os equipamentos necessários para realização de exames hospitalares.

Em se tratando de equipamentos hospitalares, nota-se a necessidade da operação contínua dos equipamentos, o que torna de extrema importância que todo o sistema funcione adequadamente em conjunto, com o objetivo de efetivar uma maior disponibilidade das máquinas. Nesse sentido, uma manutenção preventiva eficiente busca a redução do tempo de equipamentos parados e que possam resultar em expressivos prejuízos.

De maneira geral, a citada empresa busca a prestação de serviços principalmente para clínicas de imagem, sendo destaque equipamentos de ressonância magnética, tomografia computadorizadas, raio-X, entre outros. Esses ambientes necessitam de constante acompanhamento para manter seus parâmetros dentro dos limites toleráveis pelos fabricantes e seja possível a realização de exames com alta grau de qualidade.

Dentre eles, os equipamentos de ressonância magnética (Fig. 2) merecem destaque, pois têm grande papel de contribuição para o desenvolvimento da área da saúde. Eles têm como base um método de diagnóstico por imagem que diferencia as características dos tecidos biológicos e consegue analisar vários aspectos anatômicos do corpo humano. O seu funcionamento é considerado complexo, pois aborda conhecimentos diversificados de várias áreas, como o eletromagnetismo, eletrônica, medicina, entre outros. A imagem é obtida por meio da interação dos sinais de radiofrequência entre o equipamento e o corpo, os quais são emitidos, captados e enviados para um equipamento de processamento.

Figura 2 – Equipamento de Ressonância



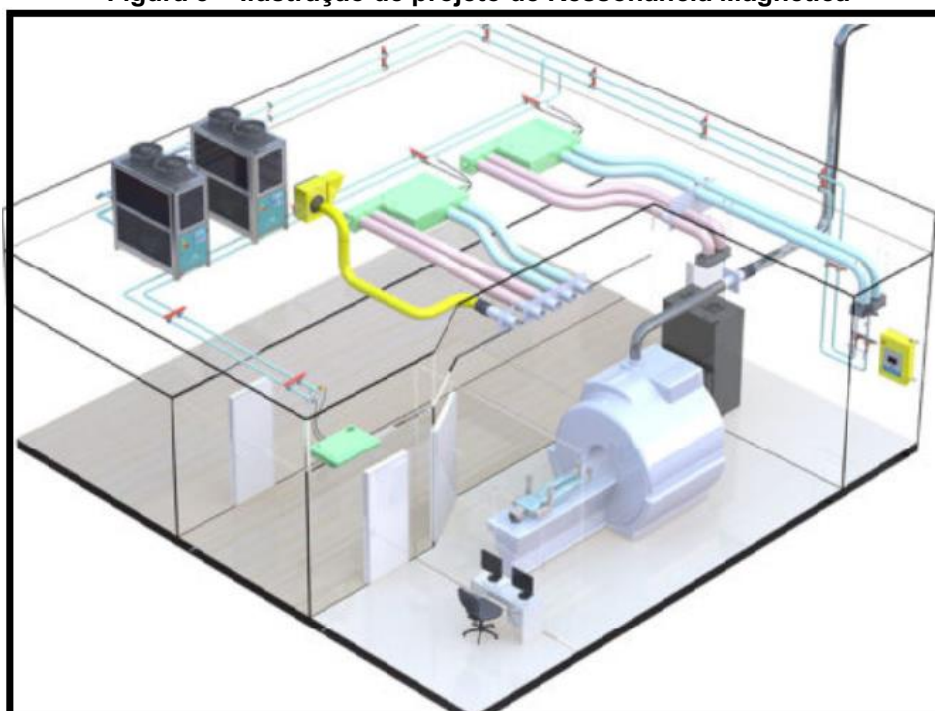
Fonte: GE < <https://www.gehealthcare.com.br/products/magnetic-resonance-imaging> >

Por meio deles é possível identificar doenças que outros tipos de equipamentos de imagem não são eficientes na detecção. Para isso, deve-se ter em paralelo um sistema eficiente de refrigeração que possa ser capaz de realizar toda a troca térmica proveniente dos dissipadores de calor. Portanto, para um desempenho perfeito do equipamento, todos os elementos que trabalham em conjunto de forma direta ou indireta devem estar funcionando simultaneamente.

Deve-se pontuar, que os manuais de operação exigem que os aparelhos de climatização sejam capazes de realizar um controle bem refinado de temperatura e umidade do ar. Diante disso, inicialmente, há necessidade de elaboração de um bom projeto de construção de todo o sistema, que possa ser capaz de levantar detalhes mais específicos de dissipação de calor provenientes de todo o sistema, e assim, ser possível a realização do dimensionamento dos equipamentos para suprir a demanda requerida, conforme ilustrado na Figura 3.

O projeto de dimensionamento dos equipamentos de climatização busca analisar minuciosamente os dados do fabricante para entender a dissipação térmica de cada elemento que compõem o sistema. Em vista disso, é possível selecionar a melhor opção técnica para suprir os requisitos do cliente. A área de medicina apresenta-se cada vez com mais tecnologia aplicada nas mais diversas formas de técnicas e equipamentos utilizados no diagnóstico por imagem, o que ressalta a necessidade de excelente levantamento técnico como forma de fornecer as características ideais de desempenho.

Figura 3 – Ilustração de projeto de Ressonância Magnética



Fonte: Mecalor < <https://mecalor.com.br/es/produto/sistema-integrado/> >

As salas de máquinas são confeccionadas atendendo aos requisitos de projetos e têm como objetivo o dimensionamento e disposição de dutos de ar e equipamentos de modo que seja possível suprir toda a demanda de carga térmica dos equipamentos que integram o conjunto do sistema para que tudo funcione perfeitamente.

2.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

Pode-se observar na área clínica uma gama bem diversificada de tipos de equipamentos de imagem, o que acaba por apresentar diversas particularidades a depender do modelo utilizado. Dentre elas, a ressonância magnética mostra-se com mais evidência, do ponto de vista técnico, pois exige mais precisão dos equipamentos de climatização.

Nesse sentido, o processo é composto por vários equipamentos para realização do controle de temperatura e umidade da sala de equipamentos e da sala de exames. Entre eles, o chiller (Fig. 4) evidencia-se com papel de destaque, pois seu

funcionamento deve ser constante (24 horas por dia) como forma de manter a pressão do sistema estável.

Figura 4 – Chiller Hospital



Fonte: Mecalor <<https://mecalor.com.br/es/produto/chiller-hospitalar-medical-ih/>>

O responsável pela troca de calor dissipada pelo núcleo do aparelho de ressonância magnética é o gás Hélio, o qual necessita manter sua pressão em equilíbrio para que o equipamento funcione adequadamente. Caso haja um aumento repentino no valor dessa pressão, o sistema inicia um processo de perda do gás, e pode chegar a um nível de expurgo de toda a carga presente no sistema. Dessa forma, em situações de emergência, em que ocorra isso, é necessário realizar uma recarga de fluido para reestabelecer os níveis aceitáveis e que se apresenta como um alto custo para o cliente.

Para que esse processo indesejado não ocorra, o equipamento chiller tem papel de extrema importância. Ele é o responsável por manter essa pressão estável através da troca de calor que faz com o fluido do sistema. Essa dissipação de calor

ocorre por meio da interação com água gelada (aproximadamente 10° C) que ele é capaz de refrigerar constantemente para manter o sistema com o controle de temperatura e pressão estáveis. Dessa forma, nota-se que sua operação deve ter uma grande eficiência e ser capaz de disponibilizar o sistema para operação, pois uma parada repentina torna o sistema inoperante e impossibilita a realização dos exames de imagem, o que gera prejuízos para os clientes.

Aliado a isso, os equipamentos de climatização de ar são responsáveis pela dissipação de calor resultantes dos gabinetes de controle e operação. A seleção das máquinas é definida conforme a particularidade de cada aplicação e de cada cliente, pois atualmente o mercado oferece uma grande diversidade de opções e diferentes tipos de tecnologia, a depender da configuração das salas, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Modelos de Equipamentos de Climatização



Fonte: Carrier <<https://carrierdobrasil.com.br/wp-content/uploads/2020/03/CT-Multisplit-40MSE-J-12-20-view.pdf>>

Em relação ao controle de umidade, os níveis devem se apresentar em torno de 30-75% U.R, o que se faz necessário para que as placas e os componentes eletrônicos não sejam afetadas por grandes variações nesses níveis aceitáveis. Tal controle pode ser realizado por meio da utilização de equipamentos específicos (Fig.6) para determinada aplicação.

Figura 6 –Equipamento de Desumidificação



Fonte: BryAir <<https://www.bryair.com.br/produtos/desumidificador-compacto-serie-ffb/>>

O controle de todos os parâmetros que necessitam de acompanhamento rotineiro é feito por um quadro de comando. Os operadores do equipamento ficam atentos para qualquer variação nos níveis de operação e que demonstrem necessidade de intervenção pela equipe de manutenção. A detecção prévia pode garantir a disponibilidade da operação e resultar em economia financeira para o cliente.

2.3 DESCRIÇÃO DO SERVIÇO

A prestação de serviços de manutenção tem como principal objetivo manter o funcionamento permanente de todos os equipamentos que controlam a temperatura e a umidades dos ambientes, de forma que os aparelhos de imagens estejam aptos a desempenhar sua função. Sendo assim, a atividade deve sempre se basear na prevenção de qualquer evento inesperado.

Em vista disso, as atividades desempenhadas visam acompanhar a vida útil das peças que formam o sistema. Cada parâmetro pode evidenciar um desvio de capacidade de operação e, assim, ser capaz de anteceder uma possível parada. Para realizar o controle prévio, mostra-se necessário um acompanhamento dos valores de corrente elétrica, pressão do fluido refrigerante, ruídos incomuns, entre outros.

A equipe de trabalho realiza uma visita mensal para executar a manutenção preventiva e tentar identificar um possível desvio na operação. Diante disso, em caso de eventos não-conformes, é necessário programar uma manutenção corretiva para não afetar o funcionamento normal da agenda de trabalhos dos clientes.

Por fim, há casos em que são necessárias intervenções não programadas, pois existem eventos que não podem ser controlados e mensurados ao longo do acompanhamento preventivo. Nessas situações, faz necessário a mobilização da equipe para uma rápida e precisa intervenção com o objetivo de solucionar o problema. A situação mais crítica acontece quando não é possível essa resolução momentaneamente, seja por falta de peça de reposição, seja por dificuldade na identificação da causa raiz do problema.

Este objetivo desse trabalho busca a identificação das particularidades que podem afetar um bom desempenho da operação e o planejamento de manutenção. Nesse sentido, a metodologia DMAIC torna-se atrativa pela gama de ferramentas que podem ser aplicadas.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

No capítulo a seguir serão delineados os conceitos teóricos utilizados ao longo do desenvolvimento da pesquisa. Inicialmente, uma definição do sistema *Lean Manufacturing* contendo as principais ferramentas. Posteriormente, uma breve compreensão da manutenção e dos tipos. Na sequência, um embasamento do *Lean Six Sigma* e a apresentação da metodologia DMAIC. Nesse sentido, determinação das ferramentas da qualidade aplicadas em cada etapa desse método.

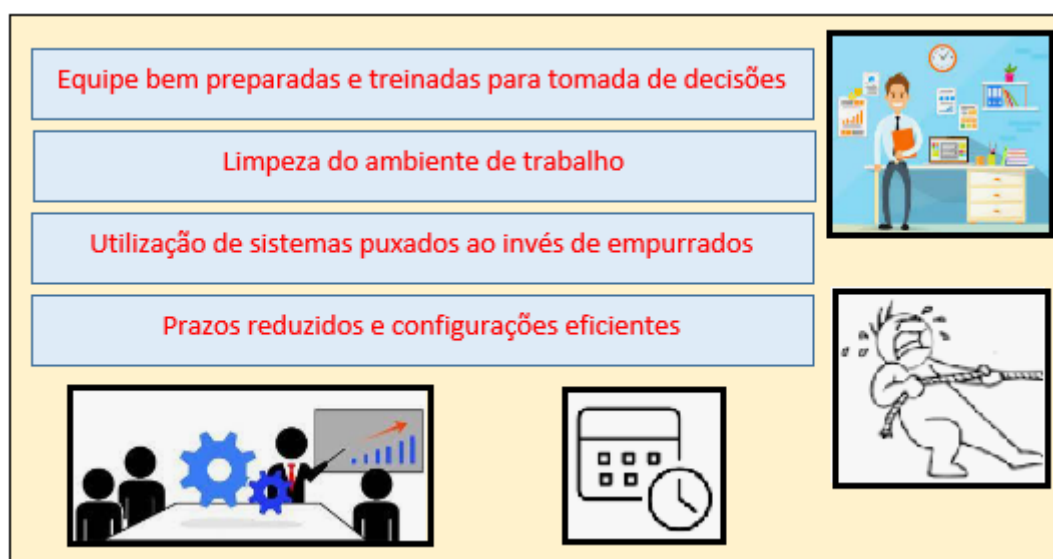
3.1 LEAN MANUFACTURING

A origem do *Lean Manufacturing* tem início no Sistema Toyota de produção, em 1950. A busca por redução de custo e aumento da qualidade fez o executivo *Taiichi Ohno* criar e implementar um sistema de produção que tinha como objetivo reduzir custos e maximizar a entrega de produtos aos clientes. Nesse sentido, como prioriza uma forma de produzir mais com cada vez menos, ficou conhecido como produção enxuta (WERKEMA, 2011).

O *Lean Manufacturing* tem como objetivo a eliminação dos desperdícios, que significa retirar tudo aquilo que não agrega valor para o cliente e, assim, maximizar o desempenho da empresa (WERKEMA, 2011). As empresas têm como meta a superação dos seus concorrentes e o gerenciamento dos negócios, o que corrobora a importância do aprimoramento das atividades para um constante crescimento (JUGULUM; SAMUEL, 2008).

Segundo Kubiak e Benbow (2009), o termo *lean thinking* remete-se a utilização de ideias empregadas para aumentar a eficiência dos diversos setores de uma empresa. Além disso, busca reduzir os desperdícios por meio de atividades otimizadas (Fig. 7). Aliado a isso, Womack, Jones e Roos (1992) trazem que o pensamento enxuto (*Lean Thinking*) se mostra como um artifício poderoso para redução dos desperdícios, o que inclui alguns objetivos otimizados, como especificar o valor, alinhar as ações mais importantes, executar atividades sem interrupção e com eficácia.

Figura 7 – Exemplos de atividade otimizadas



Fonte: Autoria Própria (2021)

De acordo com Womack, Jones e Roos (1992), pode-se definir cinco princípios que são fundamentais na erradicação dos desperdícios, sendo eles: a determinação do valor, a descrição da cadeia de valor e do fluxo de valor, produção puxada e a busca pela perfeição. Cada etapa visa um pensamento enxuto, o qual procura fazer sempre mais com menos (menos equipamentos, menos tempo, menos espaço etc.), sendo assim:

I) Determinação de Valor: significa uma etapa para identificar as necessidades dos clientes que precisam ser atendidas.

II) Descrição do Fluxo de Valor: estão incluídos os processos necessários desde o início da produção (matéria-prima) até o beneficiamento final e entrega ao cliente.

III) Garantia do fluxo: determinar minuciosamente o fluxo de valor, buscando eliminar as etapas desnecessárias e que trazem desperdícios.

IV) Produção Puxada: o cliente que solicita os produtos, ou seja, o processo é baseado na produção conforme a demanda para aquele exato momento. Contudo, o

sistema de informação segue um fluxo inverso, o qual vai do cliente final para o fornecedor da matéria-prima, com o objetivo de reduzir os estoques.

V) Busca pela Perfeição: certifica-se que haja interconexão entre os princípios iniciais e, assim, o fluxo tenha maior rapidez. Com o passar do tempo, o sistema fica mais eficiente e se mostra mais fácil identificar os desperdícios ocultos e eliminação dos obstáculos que impactam ineficiência no sistema de produção.

3.1.1 Os Sete Desperdícios

Nas palavras de Ohno (1997), na raiz do *Lean Manufacturing* está a eliminação dos sete tipos de desperdícios (Quadro 1), sendo eles: defeitos, excesso de produção e processamento desnecessários, perdas por movimentação, transporte de mercadorias e tempo ocioso dos funcionários.

Quadro 1 – Os Sete Desperdícios da Produção

DESPERDÍCIOS	DEFINIÇÃO
SUPERPRODUÇÃO	Produzir em demasia
ESTOQUE	Excesso de componentes
ESPERA	Tempo ocioso de máquina ou funcionário
TRANSPORTE	Movimentação que não agrega valor
DEFEITOS	Produção de peças defeituosas
MOVIMENTAÇÃO	Movimentação desnecessárias
EXCESSO DE PROCESSAMENTO	Processo que não agrega valor ao produto

Fonte: Adaptado de Ohno (1997)

Além disso, para um processo ser otimizado é ideal que a capacidade de produção (mão de obra) seja aproveitada eficientemente e que tenham desperdícios zero (SHINGO, 1996). Complementando, Werkema (2011) salienta que a redução dos

desperdícios (Quadro 2) apresenta-se como uma maneira de prover aumento/melhoria, tais como a qualidade, segurança, ergonomia, motivação dos funcionários.

Quadro 2 - Exemplos de desperdícios em área administrativas e de prestação de serviços

TIPOS DE DESPERDÍCIOS	EXEMPLOS
Defeitos	Erros em faturas, pedidos, cotações de compra de materiais.
Excesso de produção	Processamento e/ou impressão de documentos antes do necessário, aquisição antecipada de materiais.
Estoques	Material de escritório, catálogos de vendas, relatórios.
Processamento Desnecessário	Relatórios não necessários ou em excesso, cópias adicionais de documentos, reentrada de dados.
Movimento Desnecessário	Caminhadas até o fax, copiadora, almoxarifado.
Transporte Desnecessário	Anexos de e-mails em excesso, aprovações múltiplas de um documento.
Espera	Sistema fora do ar ou lento, ramal ocupado, demora na aprovação de um documento.

Fonte: Werkema (2011)

Ademais, é possível diminuir os custos, a necessidade de espaços e a exigência de trabalho. Os desperdícios apresentam-se como causas que devem ser tratadas constantemente para otimização do processo (WERKEMA, 2011).

3.2 MANUTENÇÃO

É definida como o ato de manter o que se tem (ter em mãos) como garantia da disponibilidade dos equipamentos/instalações, ou seja, são as atividades necessárias para o equipamento permanecer de acordo com a sua finalidade. O objetivo é fornecer a um processo de produção as suas necessidades, atendendo fatores como confiabilidade, custos moderados e segurança, conforme Kardec e Nascif (2009). Nesse sentido, Almeida (2018) traz que o termo manutenção deriva do latim e significa “manter o que se tem”. De maneira geral, apresenta foco na recuperação e reparo dos componentes para um adequado funcionamento.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) descreveu o termo manutenção como sendo definido o conjunto das ações que são necessárias para que

um item possa ser conservado ou restaurado e, assim, executar as funções para quais foi desenvolvido. Ademais, as intervenções têm papel de reduzir a degradação do componente e maximizar a vida útil dos equipamentos (ABNT, 2004).

Com o passar do tempo, a prevenção e controle passaram a fazer parte do cenário das equipes. Além disso, trouxeram melhorias em diversos índices, como é o caso do aumento da confiabilidade e da disponibilidade dos equipamentos. As frequentes paradas das máquinas e, conseqüentemente, os custos gerados pelo processo de manutenção preventiva acabaram impactando em uma imagem negativa e afetaram os custos dos produtos. Contudo, o avanço tecnológico proporcionou a difusão dos computadores e, a partir da década de 60, foi possível inovar nos controles de medição para análise de falhas e desenvolver critérios mais céleres para o desenvolvimento de controles estatísticos que auxiliassem nos estudos das avarias. (FILHO, 2008).

Conforme Slack et al. (2002), os objetivos da manutenção podem ser classificados nos tópicos a seguir:

- Reduzir custos;
- Aumentar a qualidade do produto;
- Proporcionar melhoria no ambiente de trabalho;
- Aumentar da segurança da operação;
- Desenvolver os profissionais;
- Proporcionar maior confiabilidade dos equipamentos;
- Resultar em maior disponibilidade;
- Maximizar a vida útil dos componentes;
- Preservar o meio ambiente.;
- Resultar em um poder maior de investimento.

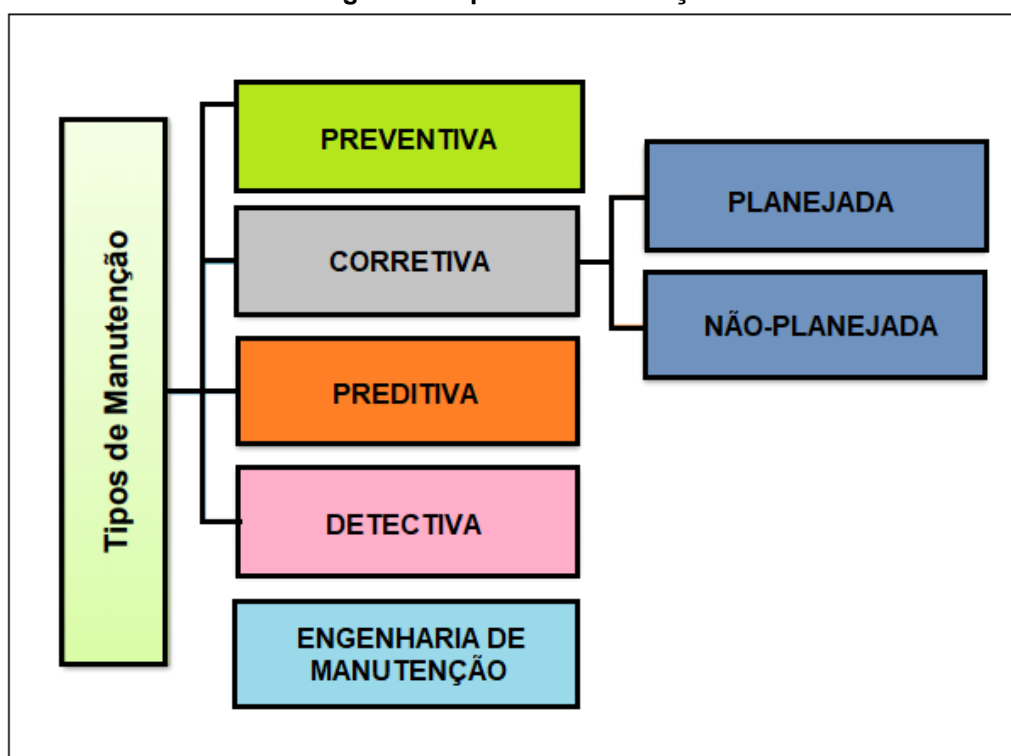
Em vista disso, um processo de manutenção eficiente busca conciliar os objetivos citados para fornecer um produto ou processo de qualidade.

3.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os diversos tipos de manutenção podem ser enquadrados pela maneira como a intervenção é realizada. Conforme Kardec e Nascif (2009), há diversas

denominações para classificação, o que acaba provocando certa confusão pelos autores. A seguir, serão descritas as 6 (seis) principais definições trazidas por diversos autores, sendo elas: a manutenção corretiva (planejada e não-planejada), manutenção preventiva, manutenção preditiva, engenharia de manutenção e manutenção detectiva (Figura. 8).

Figura 8 - Tipos de manutenção



Autor: Adaptado de KARDEC & NASCIF (2009).

É importante citar que cada tipo de manutenção apresenta características exclusivas, diferenciando a natureza das atividades, e que formam a sua base de atuação dentro das empresas.

3.3.1 Manutenção Corretiva

Esse tipo de manutenção está associado a ocorrência de falhas inesperadas que estão fora do controle da equipe. Tem por finalidade executar uma intervenção

imediate, buscando reestabelecer o funcionamento do processo, para que a operação consiga seguir normalmente (VIANA, 2002). Cumpre salientar, ainda, que de acordo com Slack et al. (2002), significa dizer que a operação se mantém até a quebra e a intervenção é feita somente após a ocorrência desse evento danoso.

Como Kardec e Nascif (2009) contextualizam, a manutenção corretiva é a forma mais basilar, pois baseia-se simplesmente na solução de uma falha não prevista, ou seja, é uma intervenção de emergência. Pode-se dividi-la em duas vertentes: corretiva não-planejada e planejada. Primeiramente, a não-planejada tem como finalidade a correção de uma falha aleatoriamente, cenário no qual acontece uma quebra inesperada e sem acompanhamento, o que acaba gerando altos custos para a operação. Já a planejada busca se antecipar à falha, atuando ainda no defeito identificado em uma inspeção, ou programa-se para atuação após a falha (para alguns componentes específicos selecionados pela gerência de manutenção).

A manutenção corretiva planejada tem diferença da não-planejada pelo fato de ser resultado de uma decisão gerencial. Ademais, é uma correção de um desempenho fora do esperado e tem como base a modificação de parâmetros observados na manutenção preditiva. De maneira geral, seu custo é menor quando comparada a uma intervenção inesperada. Em vista disso, caso não haja planejamento, a empresa torna-se refém dos equipamentos. (KARDEC e NASCIF, 2009).

3.3.2 Manutenção Preventiva

Esse tipo de manutenção está associado a intervenção antes do evento danoso, ou seja, visa diminuir as possibilidades de falhas de manutenção dos equipamentos por meio de plano de controle preestabelecido, incluindo verificação, limpeza, lubrificação, entre outros (SLACK et al., 2002). Assim sendo, é baseada em intervalos de tempo pré-estabelecidos em uma programação. Tem como objetivo evitar redução no desempenho do sistema, no qual executam-se manutenções em intervalos pré-definidos. Ao contrário da manutenção corretiva, ela busca prevenir a ocorrência de falhas (XENOS, 1998).

Além disso, Xenos (1998) descreve que a manutenção preventiva apresenta vantagem pois é possível diminuir a recorrência de paradas e, conseqüentemente, aumentar a disponibilidade dos equipamentos, o que acaba tornando ela bem mais atrativa no fator econômico. Esse fator deve-se ao fato que com um planejamento eficiente a equipe está preparada para eventos inesperados e que podem ser capazes de causar grande impacto na continuidade da produção e gerar custos não previsíveis.

Conforme Kardec e Nascif (2009), esse caráter preventivo torna possível um bom gerenciamento das atividades, dos recursos e do estoque de peças de reposição. Por outro lado, promove a retirada do sistema de operação para ser possível executar as intervenções necessárias, o que torna necessário verificar se esse tipo de política é adequado para as aplicações nos sistemas da empresa. Além disso, deve-se atentar para o fato que nem sempre os planos de manutenção fornecem dados precisos e, além disso, existem outros fatores que podem influenciar significativamente a deterioração dos equipamentos.

3.3.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva tem como objetivo a execução somente quando as instalações necessitarem dela. Fica evidente a sua importância em equipamentos que fazem parte de processos contínuos, que funcionam por um grande período de tempo e de forma ininterrupta, de modo a ter alta importância dentro do sistema de produção. Essa manutenção é baseada na condição, ou seja, ela avalia os sintomas do equipamento e, se necessário, aciona uma manutenção corretiva planejada. (SLACK ET AL, 2002).

Kardec e Nascif (2009) trazem que o objetivo desse tipo de manutenção é prevenir falhas por meio do acompanhamento dos diversos parâmetros de controle do processo e, assim, seja possível que a operação permaneça contínua e permita o maior tempo de trabalho dos sistemas eficientemente. Pode-se associar a designação do termo ao fato de prever as condições dos equipamentos, ou seja, busca a disponibilidade de produção, pois os parâmetros são acompanhados paralelamente com a operação e predizem uma possível falha que possa vir a ser ocasionada. Nesse sentido, existem condições básicas para adoção desse tipo de monitoramento, pois

as falhas devem ser provenientes de causas que possam ser monitoradas e que permitam um acompanhamento progressivo e capaz de mapear a situação de funcionamento.

Segundo Almeida (2000), é uma condição para incrementar a produtividade, a disponibilidade, a qualidade, o lucro e a efetividade da produção. Isso é possível pois utiliza-se de uma abordagem que fornece informações a respeito da condição mecânica de cada equipamento, delineando o tempo da ocorrência de falha e possibilitando a tomada de decisões com antecedência. Dessa forma, a programação das atividades é feita conforme a necessidade.

Cumprido salientar que a principal diferença entre a manutenção preditiva e reativa é a possibilidade de programação prévia da reparação do dano no momento que ela possa causar o menor impacto na produção e, conseqüentemente, cause menor impacto financeiro possível. O tempo perdido na intervenção reativa raramente pode ser recuperado, o que gera grande confusão em uma empresa que opera suas linhas 24 horas por dia (ALMEIDA, 2000).

3.3.4 Manutenção Detectiva

De acordo com Kardec e Nascif (2009), a manutenção detectiva teve menção a partir da década de 90. Sua relação está na detecção de falhas que não estão claras no processo de manutenção e operação (denominadas falhas ocultas). Basicamente consiste em verificações, feitas por especialistas, sem tirar o sistema de operação. Por meio delas, é possível detectar as ocorrências que estão ocultas e necessitam de correção, sempre mantendo os equipamentos em operação.

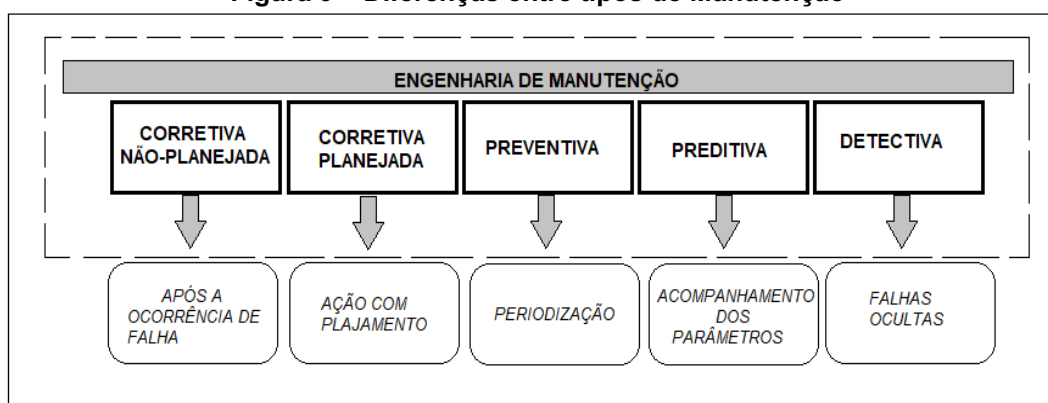
Fica evidente a aplicação desse tipo de manutenção como forma de aumentar a confiabilidade do processo, como é o caso de um exemplo que o circuito controla a entrada de um gerador de um hospital. No momento em que ocorrer uma falta de energia o sistema deve ser hábil para entrar em operação, o que gera a necessidade de constantemente realizar o teste de operação de funcionamento para não ser surpreendido em uma possível emergência. Assim sendo, a detecção é importante quando o patamar de automação tem uma aplicabilidade alta dentro da empresa ou o processo é crítico, pois em um momento de criticidade tudo deve estar apto a operar. (FERREIRA, 2009).

3.3.5 Engenharia de Manutenção

A engenharia de manutenção trouxe muitas inovações na rotina das atividades e na aplicabilidade de uma política de melhoria contínua para o departamento de manutenção. Nessa mesma linha, Kardec & Nascif (2009) traduzem como sendo a aplicação de modernas técnicas. Para isso, busca maximização de fatores dentro da área.

Para Viana (2002), a engenharia de manutenção está intimamente relacionada à gerência de manutenção, pois a equipe é formada por um conjunto multidisciplinar de técnicos que são responsáveis pelo gerenciamento das atividades. A Figura 9 mostra as principais diferenças nos tipos da manutenção e ilustra a aplicabilidade da engenharia da manutenção dentro desse sistema (KARDEC & NASCIF, 2009).

Figura 9 – Diferenças entre tipos de Manutenção

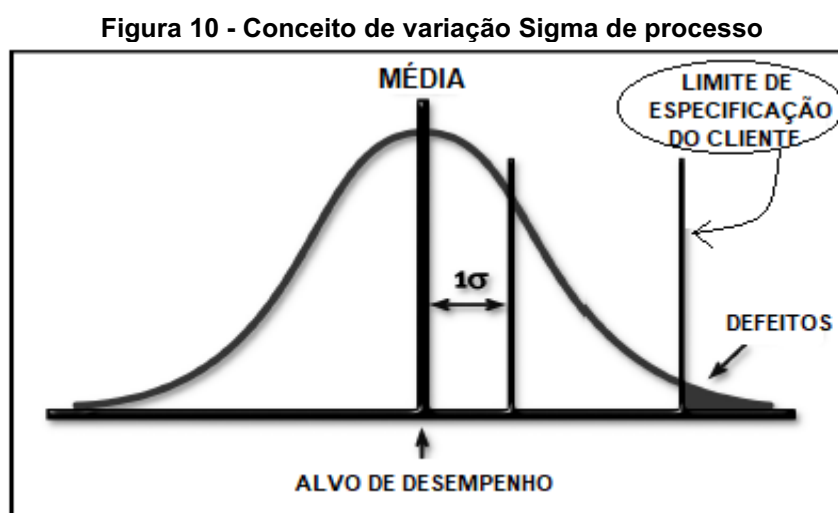


Fonte: Adaptado de KARDEC & NASCIF (2009).

De acordo com Branco Filho (2008), a gestão da manutenção também tem papel importante na organização e compreende uma sistemática de normatizações e procedimentos para obter um melhor resultado no aproveitamento de materiais, máquinas e pessoas. Além disso, percebe-se que a engenharia de manutenção está baseada em uma otimização dos equipamentos/processos, com a proposta de alcançar um confiável nível de disponibilidade (KARDEC & NASCIF, 2009).

3.4 SIX SIGMA

O *Six Sigma* pode ser conceituado como estratégia gerencial que tem como meta maximizar o lucro e a performance das companhias, utilizando técnicas para melhorar a qualidade dos produtos/processos e, assim, resultar em uma satisfação para os consumidores. Além disso, ele é uma estratégia disciplinada e caracterizada como quantitativa. (WERKEMA, 2011). Um processo *Sigma* pode ser traduzido como aquele que produz 3,4 ou menos defeitos por milhão de oportunidades, ou seja, estatisticamente significa uma distribuição normal, conforme observado na Figura 10 (JUGULUM; SAMUEL, 2008).



Fonte: Adaptado de JUGULUM & SAMUEL (2008)

Segundo Gordon (2002), é um programa que busca encontrar a satisfação dos consumidores para encontrarem confiabilidade nos produtos ou serviços ofertados pela empresa, o que significa diminuir os riscos dos negócios. Ademais, não é tido apenas como programa de melhoria e, sim, como uma estratégia que busca o sucesso dos negócios.

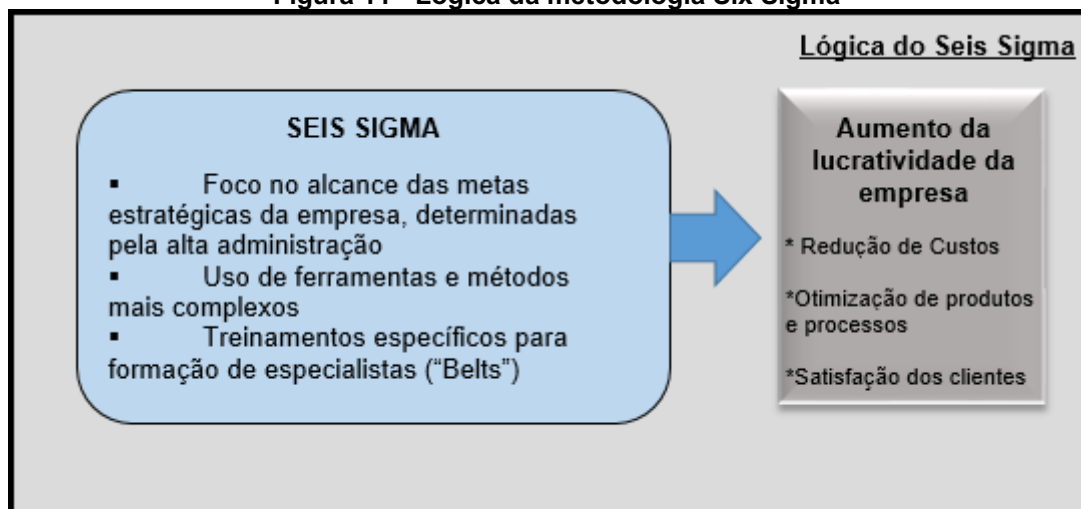
Nessa linha, Kubiak e Benbow (2009) descrevem que diversas empresas notaram que no momento em que a filosofia *Six Sigma* é integrada, a empresa prospera. Sua definição pode ser delineada através de alguns tópicos comuns entre diversos autores, como sendo: o uso de equipes determinadas a projetos bem definidos (impactam em resultados financeiros), treinamentos voltados a dados

estatísticos, gerenciamento de projetos, ênfase na abordagem DMAIC, formação de um cenário de gestão que busca iniciativas como um negócio estratégico.

Teve seu nascimento na empresa Motorola em 1987 e tinha como meta tornar a empresa capaz de encarar os seus concorrentes, pois eles fabricavam produtos com preços baixos e com qualidade de excelência. Nos anos seguintes a empresa foi agraciada com diversos prêmios e começou a chamar a atenção de outras empresas, como a GE, Sony, Kodak, entre outras, que começaram a utilizar o programa que foi capaz de gerar resultados bem-sucedidos. Já no Brasil o interesse vem ganhando destaque ao longo dos anos, tendo sido implementado pela primeira vez em 1999 no grupo Brasmotor (Multibrás e Embraco) (WERKEMA,2011).

As metas de melhorias são definidas em métricas quantificáveis e que são alcançadas através de projetos conduzidos por equipes gerenciadas por especialistas *Six Sigma (Black Belt ou Green Belt)*, baseados na metodologia DMAIC e DMADV (*Define, Measure, Analyze, Design, Verify*), conforme a lógica apresentada na Figura 11.

Figura 11 - Lógica da metodologia Six Sigma



Fonte: Adaptado de Werkema (2011)

Cumpra salientar, ainda, que corroborando essa definição, Kubiak e Benbow (2009) trazem que as empresas notaram a necessidade de delinear as responsabilidades dos colaboradores envolvidos na atividade do projeto para obter um melhor desempenho nos resultados obtidos. Tais definições variam de companhia

para companhia, porém é possível encontrar um pensamento geral sobre cada uma delas (Figura 12).

Figura 12 – Definição das responsabilidades

	Patrocinador/ Especialista	Nível de Atuação	Principais atribuições
Patrocinador	Sponsor	Principal executivo da empresa	Promover e definir as diretrizes para a implementação do Seis Sigma
	Sponsor Facilitador	Diretoria	Assessorar o <i>Sponsor</i> do Seis Sigma na implementação do programa
	Champion	Gerência	Apoiar os projetos e remover possíveis barreiras para o seu desenvolvimento
Especialista	Master Black Belt	<i>Staff</i>	Assessorar os <i>Sponsors</i> e <i>Champions</i> e atuar como mentores dos <i>Black Belt</i> e <i>Green Belt</i>
	Black Belt	<i>Staff</i>	Liderar equipes na condução de projetos multifuncionais (preferencialmente) ou funcionais
	Green Belt	<i>Staff</i>	Liderar equipes na condução de projetos funcionais ou participar de equipes lideradas por <i>Black Belts</i>
	Yellow Belt	Supervisão	Supervisionar a utilização das ferramentas Seis Sigma na rotina da empresa e executar projetos mais focados e de desenvolvimento mais rápido que os executados pelos <i>Green Belts</i>
	White Belt	Operacional	Executar ações na operação de rotina da empresa que irão garantir a manutenção, a longo prazo, dos resultados obtidos por meio dos projetos

Fonte: Adaptado de Werkema (2011)

A definição permite que cada profissional saiba o seu papel dentro dos projetos e, também, sejam especialistas dentro da organização. Além disso, a seleção dos profissionais baseia-se na natureza do projeto e visa definir qual a principal responsabilidade de cada um dos participantes de um projeto.

3.5 LEAN SIX SIGMA

A união entre o *Lean Manufacturing* e o *Six Sigma* acontece naturalmente e a empresa deve aproveitar os pontos fortes das duas estratégias como forma de obter a melhor combinação das características (WERKEMA, 2011). De acordo com Kubiak

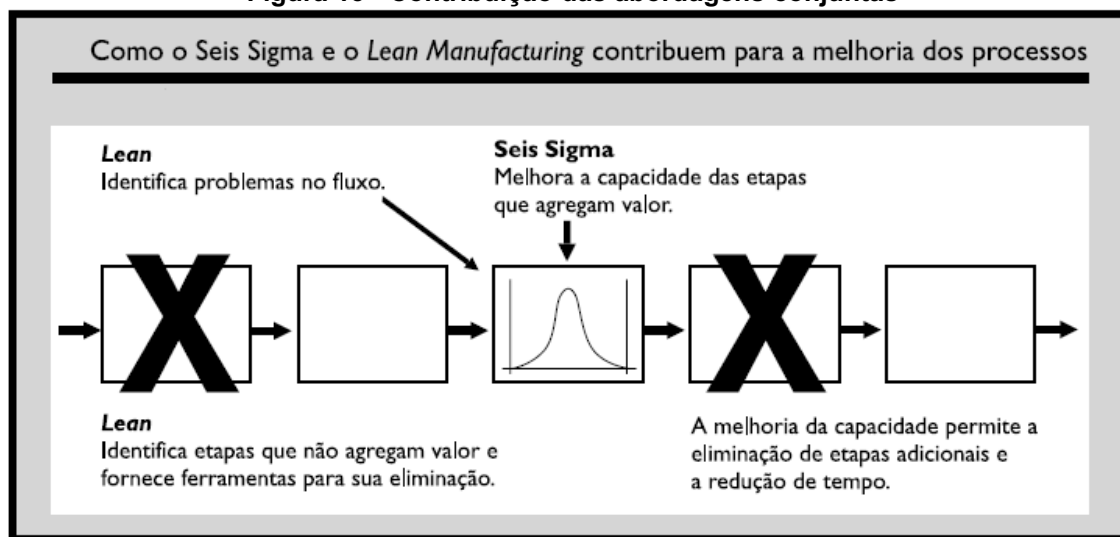
e Benbow (2009), eles têm o mesmo objetivo de serem capazes de fornecer produtos e serviços aos clientes com a máxima qualidade, menor custo e agilidade. As duas vertentes buscam um propósito em comum, porém com a análise de diferentes ângulos:

- O *Lean* busca redução de resíduos, enquanto o *Six Sigma* a redução da variação;
- O *Lean* utiliza ferramentas com menos técnicas, por exemplo, o *Kaizen*, que tem como base a organização do ambiente e controle visuais. Ao passo que o *Six Sigma* se utiliza de análises estatísticas, testes de hipóteses e projetos de experimentos.

Pode ser definida como combinação das duas técnicas mais significativas para aplicação na melhoria contínua dos processos produtivos (*Lean Manufacturing* e *Six Sigma*). Elas disponibilizam técnicas e ferramentas que são capazes de melhorar o desempenho das organizações, as quais contribuem para otimização de tempo e e recursos financeiros (dinheiro), buscando redução da produção de defeitos gerados no processo. (TAGHIZADEGAN, 2010). Em muitas empresas o *Lean Six Sigma* mostrou-se como uma estratégia operacional que foi capaz de ser mais eficiente às mudanças de as necessidades dos clientes. Além disso, as promessas feitas a eles puderam ser atendidas e também houve uma definição de um custo de mercado capaz de ser competitivo (JUGULUM; SAMUEL,2008).

O objetivo da adoção da metodologia é permitir que a empresa seja capaz de alcançar seus resultados de forma eficiente e fácil, por meio de uma linguagem comum a todos. De certa forma, a junção das duas abordagens traz desafios, pois quando se melhora alguns parâmetros, outros podem ser afetados e, assim, dificultado na análise. Por exemplo, quando se reduz os defeitos de produção e aumenta a qualidade do produto, é bem provável que os custos aumentem de maneira proporcional. Para isso, a integração das metodologias deve combinar as características de forma equilibrada, como produzir mais rápido, com menor custo, com melhor qualidade, mais segurança, mais eficiência, melhores técnicas entre outras. Resumindo, utilizar das técnicas corretas para o problema em questão e obter o desempenho otimizado (JUGULUM; SAMUEL,2008). A figura a seguir (Figura 13) mostra como as metodologias, conjuntamente, contribuem para a melhoria do processo.

Figura 13 - Contribuição das abordagens conjuntas



Fonte: Werkema (2011)

Para implementação das ferramentas de maneira bem-sucedida é necessário um grupo com apoio da alta cúpula de gerenciamento da organização na qual o projeto será executado, o qual auxilia na definição dos problemas da organização e fornece o suporte necessário para possibilitar o alcance dos resultados desejados. (KUBIAK; BENBOW,2009).

3.5.1 Metodologia DMAIC

A metodologia DMAIC consiste em uma estrutura que busca a melhoria dos processos já existentes na organização com a meta de atingir os níveis aceitáveis de qualidade e excelência *Six Sigma*. O acrônimo, ou seja, as letras que compõem a palavra, significa as etapas que compõem a estrutura do método (KUBIAK; BENBOW,2009).

Os projetos definidos como *Lean Six Sigma* são estruturados na metodologia DMAIC, a qual é composta por diferentes etapas, que se traduzem em Definir, Mensurar, Analisar, Melhorar e Controlar. Esse método foi elaborado para maximizar as mudanças ocorridas na organização e torná-las mais eficientes (PYZDEK, 2003). Segundo Werkema (2011) é possível observar a necessidades da utilização de ferramentas *Lean Manufacturing* e *Six Sigma* nas diversas etapas de um projeto,

porém com maior preponderância daquelas nas etapas *Improve* e *Control*, conforme Figura 14.

Figura 14 - Integração das ferramentas Lean ao método DMAIC

Integração das ferramentas <i>Lean</i> ao método <i>DMAIC</i>	
Etapa do <i>DMAIC</i>	Ferramenta <i>Lean</i>
Define	Mapeamento do Fluxo de Valor, Métricas <i>Lean</i>
Measure	Mapeamento do Fluxo de Valor, Métricas <i>Lean</i> , <i>Kaizen</i>
Analyze	Mapeamento do Fluxo de Valor, Métricas <i>Lean</i>
Improve	Mapeamento do Fluxo de Valor, <i>Kaizen</i> , <i>Kanban</i> , <i>5S</i> , <i>TPM</i> , Redução de <i>Setup</i> , Gestão Visual, <i>Poka-Yoke</i> , Métricas <i>Lean</i>
Control	Padronização, Gestão Visual, <i>Poka-Yoke</i> , <i>5S</i> , <i>TPM</i> , Métricas <i>Lean</i>

Fonte: Werkema (2011)

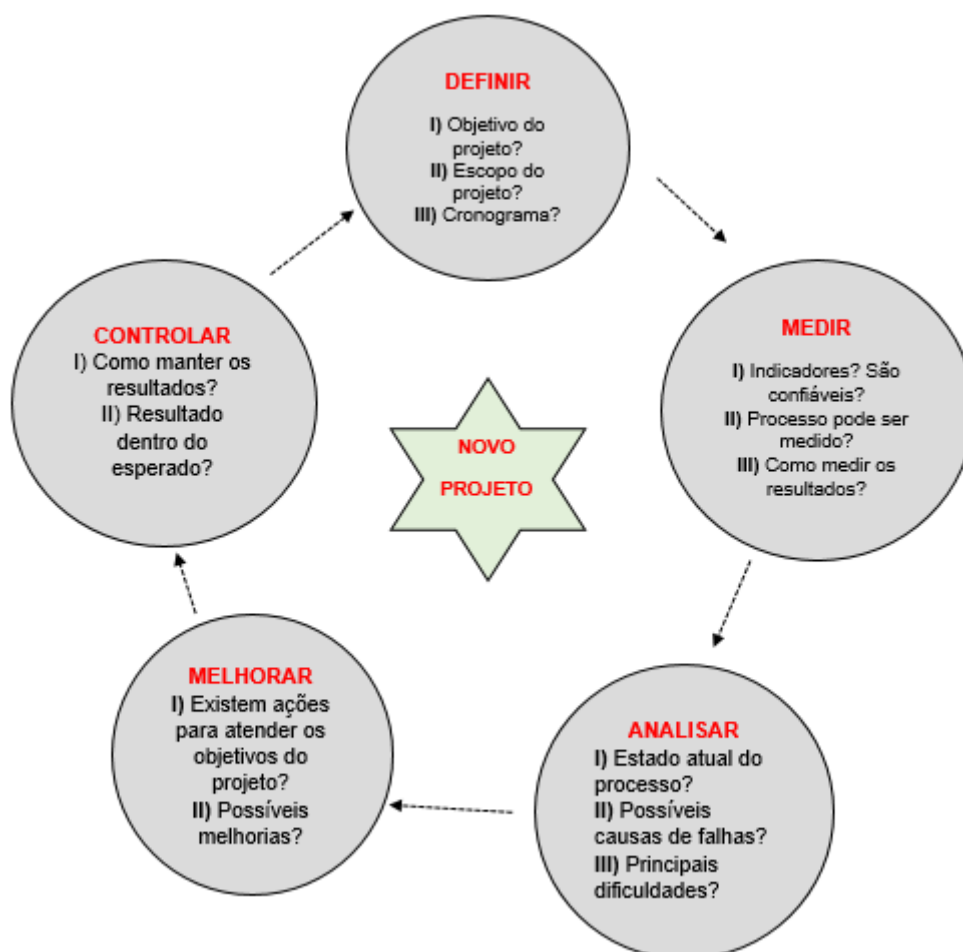
Para Werkema (2011) a metodologia DMAIC é basicamente um roteiro que detalha as etapas e pode ser aplicada nas melhorias dos processos em andamento ou em desenvolvimento. De acordo com Jugulum e Samuel (2008), a metodologia consiste em seguir algumas etapas que permeiam o desenvolvimento, sendo elas as seguintes etapas:

- **DEFINIR** – consiste em definir o projeto com sua justificativa de aplicação, o inclui a declaração do problema, a definição do defeito e o plano de execução;
- **MEDIR** – mensura o desempenho atual do processo analisado (coleta de dados e informações);
- **ANALISAR** – etapa em que se define a relação causal entre cada um dos fatores que contribuem para obtenção dos resultados, procurando entender a relação entre eles;
- **MELHORAR** – consiste na etapa visando a melhoria do processo, sempre buscando a otimização dos fatores que contribuem para o desempenho do resultado;

- **CONTROLAR** – etapa que busca controlar o processo para garantir que continuem atingindo o desempenho desejado e que verifique se os resultados obtidos são contínuos dentro do processo.

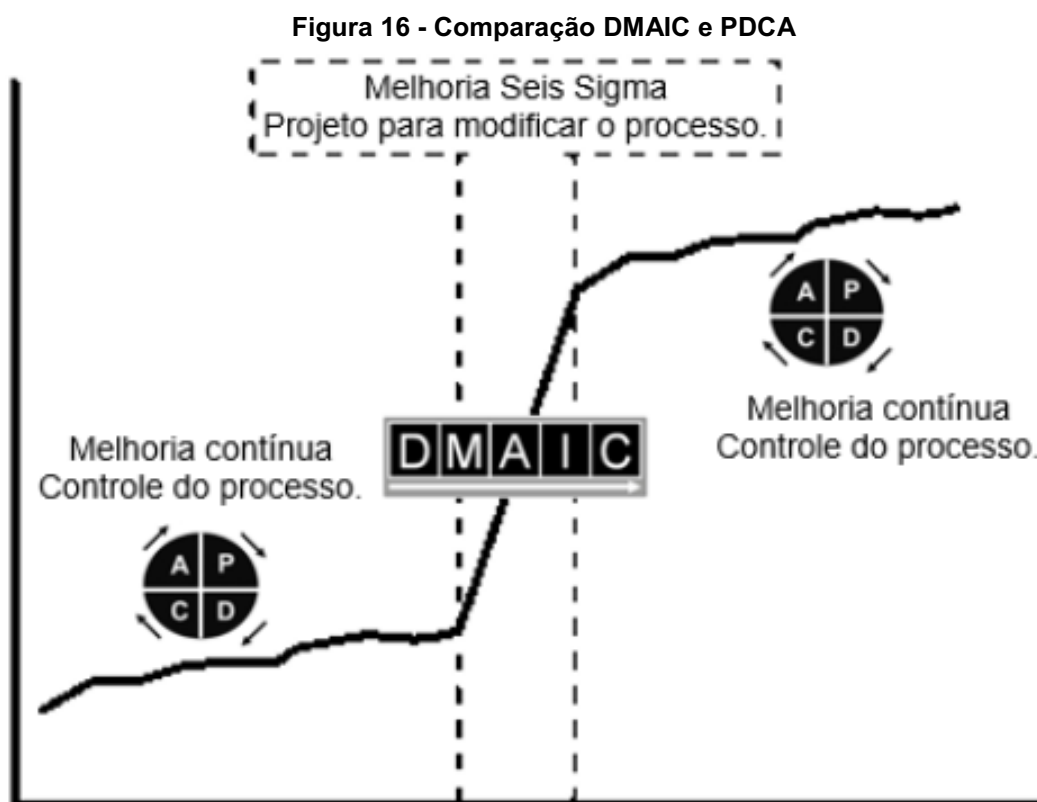
Além disso, em cada etapa algumas perguntas devem ser respondidas como forma de mapear a situação e organizar o cenário, conforme observado na Figura 15 (PYZDEK, 2003).

Figura 15 - Questionamentos metodologia DMAIC



Fonte: Adaptada de Pyzdek (2003)

Conforme Rodrigues (2015), a metodologia DMAIC é utilizada como ferramenta para atingir níveis de excelência para os processos e produtos, buscando uma quebra na obtenção nos resultados. Na mesma lógica, o ciclo PDCA (*Plan, Do, Check e Act*) apresenta-se de um modo similar a essa metodologia, porém encaixa-se melhor na melhoria contínua dos processos produtivos (Fig.16) (RODRIGUES, 2015).



Pode-se considerar que na metodologia DMAIC o planejamento é feito de modo mais detalhado, ou seja, permite um estudo mais pormenorizado quando comparado ao ciclo PDCA, o que inclui até métodos estatísticos, baseado em indicadores de performance. Essa etapa de planejamento permite um estudo mais aprofundado do problema, porém ambas ferramentas buscam no final o mesmo objetivo.

3.6 FERRAMENTAS DA QUALIDADE

As ferramentas da qualidade (Quadro 3) utilizadas nos projetos ajudam na melhoria dos processos e buscam a melhoria contínua das organizações em que são aplicadas (MARSHALL JUNIOR ET AL; 2006). Sob essa mesma ótica, Carpinetti (2010) define que essas ferramentas de melhoria promovem auxílio na identificação do problema estudado. Além disso, elas contribuem para identificar, analisar,

gerenciar e eliminá-lo para buscar promover uma melhoria e alcançar os resultados desejados.

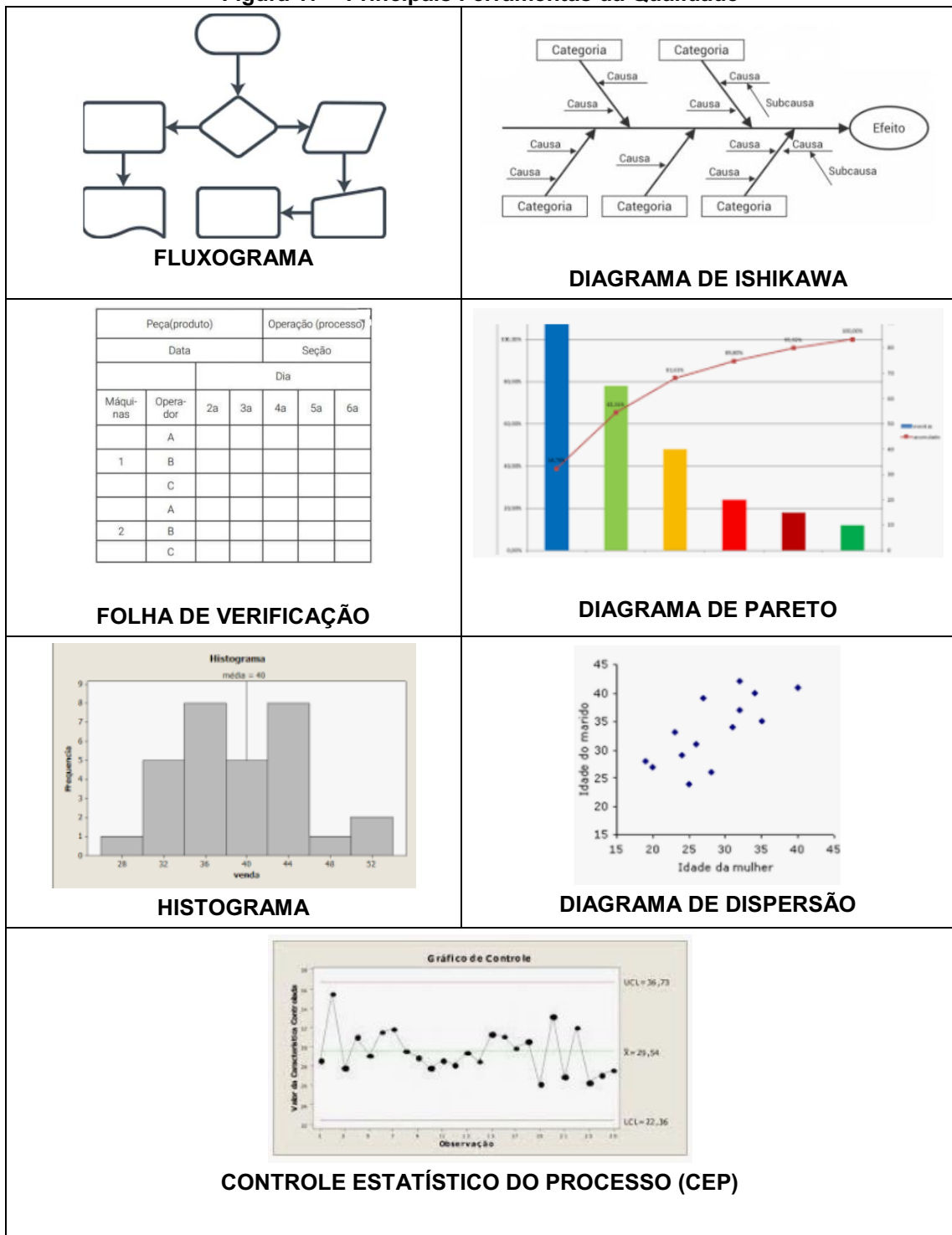
Quadro 3 - Ferramentas da Qualidade

FERRAMENTAS DA QUALIDADE	FINALIDADE
Carta de Controle	Acompanha a variabilidade com auxílio da medição e o tempo de processo (gráfico)
Gráfico de Pareto	Auxilia a identificação, a medição e a prioridade dos problemas mais recorrentes de um processo
Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama de Ishikawa	Possibilita a identificação das similaridade entre as causas de um problema e o resultado
Fluxograma	Permite elaborar uma melhor visualização das etapas presentes no processo
Folha de Verificação	Levantamento das constantes ocorrências de um processo de produção durante um período de tempo preestabelecido
5H2H	Organizar um plano de ação por meio da definição de atividades (cunho gerencial). O acrônimo significa resposta a perguntas (<i>What, Why, Who, Whose, Where, How e How Much</i>).
Histograma	Ilustração de determinada amostra de dados, de modo que as informações facilitem a visualização da distribuição dos dados
Diagrama de Dispersão	É uma representação gráfica que correlaciona e analisa duas variáveis quantitativas (causa e efeito)
Matriz GUT	Ferramenta baseada em três critérios: gravidade, urgência e tendência. Atribui-se a cada uma dela uma nota variando de 1 a 5. A pontuação da matriz GUT é definida com a multiplicação delas.

Fonte Adaptado de MARSHALL JUNIOR et al (2006)

Aguiar (2006) descreve que a qualidade do produto e do processo está alinhada com as ferramentas básicas que são utilizadas no planejamento (Figura 17), sendo elas responsáveis pela ajuda na compreensão dos problemas e análise para solução deles em um cenário organizacional. De modo geral são ferramentas de fácil utilização capazes de auxiliar a melhoria contínua em todos os níveis organizacionais. Elas são úteis na resolução de problemas que apresentam relação com a qualidade e são adaptáveis a várias configurações de negócios, o que as torna muito versáteis nos diversos tipos de aplicação.

Figura 17 – Principais Ferramentas da Qualidade



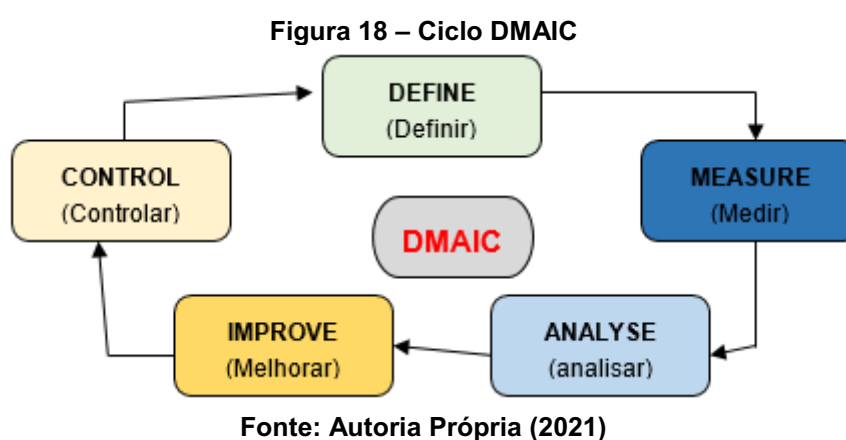
Fonte: Autoria própria baseada em Aguiar (2006) e Werkema (2011).

Nessa mesma linha de raciocínio, Werkema (2011) traz que as ferramentas da qualidade são técnicas estatísticas e gerenciais que possibilitam a análise dos dados coletados e pertinentes para a resolução dos problemas.

4 RESULTADO E DISCUSSÕES

Nesse capítulo serão apresentados os resultados e discussões acerca dos dados da pesquisa, ou seja, contém uma exposição ordenada e pormenorizada do assunto tratado no objeto da pesquisa.

A pesquisa está estruturada na metodologia DMAIC (Fig. 18) como forma de melhorar a satisfação dos clientes ao entender e reduzir o número de paradas não-programadas de equipamentos de climatização de sistemas hospitalares.



Como se observa é uma ferramenta iterativa que guia o projeto e orienta o desenvolvimento de melhorias no processo de prestação de serviços.

4.1 DEFINE

Inicialmente foi necessário definir uma carta de projeto (*Project Charter*) com a chefia e os *stakeholders* (envolvidos) objetivando a descrição dos principais aspectos do projeto, que incluem o objeto, cronograma, restrições etc. A finalidade do documento é direcionar o foco do projeto para todos os envolvidos e discutir a necessidade de melhorias no sistema de planejamento da manutenção por meio da aplicação de ferramentas Lean Six Sigma. A Figura 19 ilustra a documentação mencionada de forma sucinta.

Figura 19 - Project Charter

PROJECT CHARTER
Entender a causa de paradas não-programadas de equipamentos de climatização de sistemas hospitalares.
STAKEHOLDERS (BRAINSTORMING INICIAL)
<p>Proprietário</p> <p>Clientes Envolvidos (5 clínicas/hospitais com contrato de manutenção). Sendo:</p> <p>Cliente A – Clínica localizada em Curitiba/PR</p> <p>Cliente B – Clínica localizada em Curitiba/PR</p> <p>Cliente C – Hospital localizado em Curitiba/PR</p> <p>Cliente D – Clínica localizado em Paranaguá/PR</p> <p>Cliente E – Hospital localizado em Irati/PR</p> <p>Engenheiro Responsável</p> <p>Supervisor de Manutenção</p>
OBJETIVOS
Aplicar a metodologia DMAIC com o objetivo de entender e acompanhar as causas de paradas não-programadas de manutenção corretiva nos sistemas de climatização e, assim, melhorar a gestão de manutenção da empresa.
META
Identificar todas as causas de paradas não-programadas, analisar a relação de quais podem ser prevenidas com uma boa manutenção preventiva e eliminá-las em 100%.
JUSTIFICATIVA
Um controle de manutenção preventiva bem estruturado é capaz de orientar a gestão de manutenção da empresa. Além disso, entender as principais causas de problemas é condição que proporciona focar as ações em itens que causem grande impacto nas operações.
LIMITAÇÕES
A empresa trabalha com uma diversidade de equipamentos de climatização/refrigeração. Dessa forma, a pesquisa irá ser delimitada pelo tipo de equipamento que apresenta maior importância dentro do sistema (Chiller Hospitalar).
CRONOGRAMA
<p>DEFINIR – Outubro/2020</p> <p>MEDIR – Novembro/2020, Dezembro/2020 e Janeiro/2021</p> <p>ANALISAR – Fevereiro/2021</p> <p>MELHORAR – Março/2021</p> <p>CONTROLAR – Abril/2021</p>

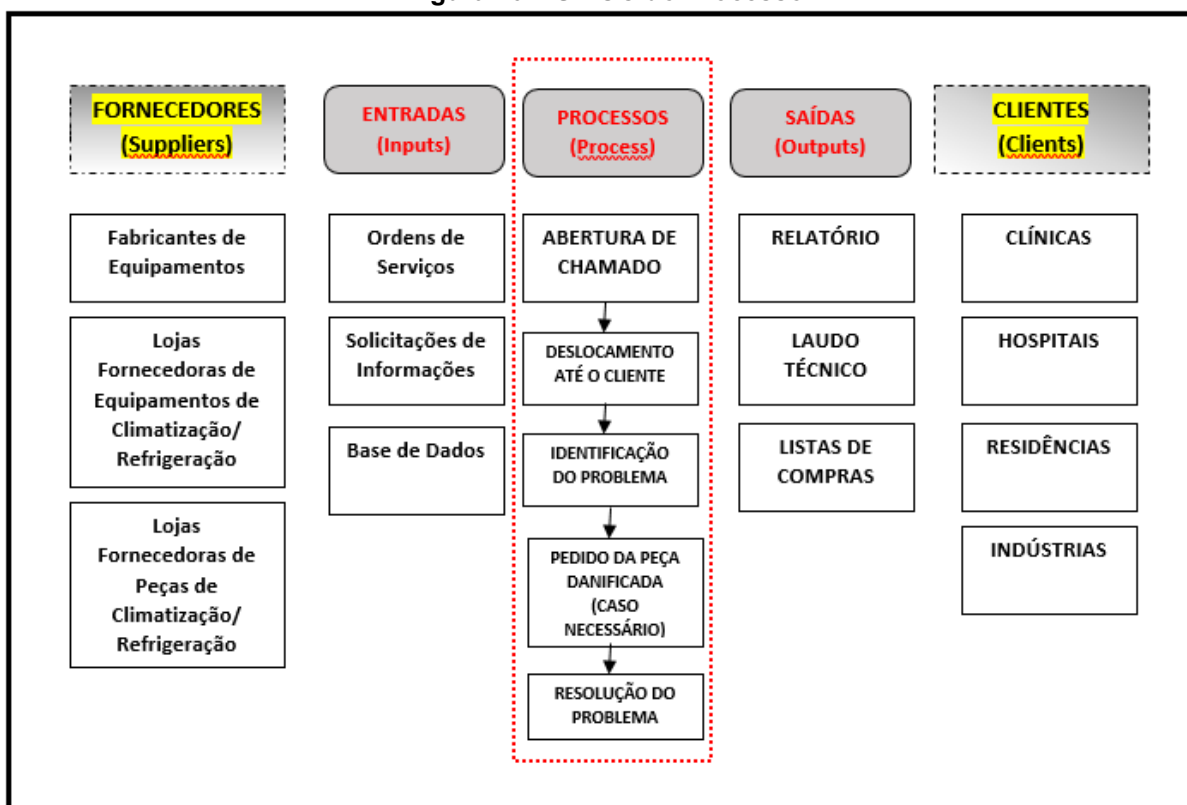
Fonte: Autoria Própria (2021)

Deve-se pontuar que o modelo de equipamento escolhido para permear a pesquisa se apresenta como o de maior relevância no sistema. Ele é o responsável por manter a pressão do gás Hélio estável e permitir a execução dos exames de ressonância magnética. Dessa forma, em caso de parada, o contratante não consegue manter a agenda de programação de exames.

Além disso, os custos envolvidos são altos para os contratantes, porém o principal fator é a insatisfação dos clientes, que têm seus exames agendados e não conseguem realizá-los. Para ter uma ideia o custo de cada exame de ressonância gira em torno de R\$ 900,00 (média das clínicas contratantes) e tem duração média de aproximadamente 20 minutos. Dessa forma, um equipamento parado pode gerar custos diretos de quase R\$ 3.000,00 por hora, sem levar em conta os custos indiretos com funcionários ociosos e clientes insatisfeitos.

Com o objetivo de formar uma visão geral e mais clara das principais etapas que compõem o processo de manutenção atual, foi elaborada uma matriz SIPOC (Figura 20) para entender quais são os diversos fatores do processo, como entradas, saídas, fornecedores e clientes.

Figura 20 – SIPOC do Processo



Fonte: Autoria Própria (2021)

Ademais, foi necessária a realização de um *Brainstorm* entre os envolvidos e, ainda, uma coleta de informações diretamente dos clientes (*Voice of Customer* - VOC) para entender quais as necessidades para prestação de um serviço de manutenção preventiva de qualidade e que tenham impacto positivo no resultado final da operação. As ferramentas da qualidade SIPOC e VOC aliadas são itens importantes no levantamento de informações, pois direcionam de maneira mais detalhada o trabalho de melhoria.

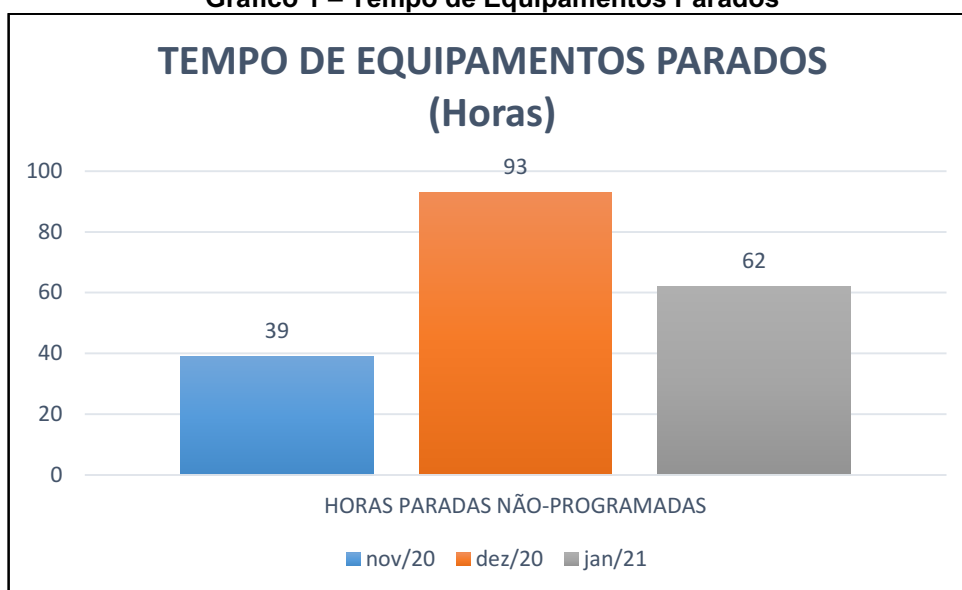
De forma unânime, os clientes definem que uma boa prestação de serviços está refletida em um eficiente funcionamento dos equipamentos (ausência de paradas não-programadas). Além disso, para complementar, é necessária uma equipe técnica composta com profissionais qualificados na resolução de problemas específicos e um excelente plano de manutenção que seja capaz de evitar problemas inesperados ao decorrer da operação. Além disso, em caso de alguma parada repentina, um fator de extrema importância é que a equipe seja capaz de solucioná-la de forma rápida para não afetar a agenda de exames preestabelecida.

4.2 MEASURE

O objetivo dessa etapa é identificar e avaliar o desempenho dos equipamentos por meio do levantamento de paradas não-programadas entre os meses de novembro/2020 até janeiro/2021. A ideia foi levantar os dados e informações acerca do processo com o objetivo de levantar as possíveis causas dos problemas que impactam a prestação de serviços e tem reflexo no desempenho dos equipamentos. O levantamento baseou-se na análise de horas que cada equipamento ficou inoperante ao decorrer dos meses citados

A fim de identificar as características foi realizada uma estratificação dos dados e, assim, ser possível priorizar os maiores causadores de impacto no resultado final. Ao todo foram contabilizadas 194 horas (Gráfico 1) ao longo dos três meses de coleta de dados de equipamento parados por causas não planejadas. Levando em conta o custo médio de cada exame de ressonância, o valor de perda nos cinco clientes analisados gira em torno de R\$ 500.000,00, sem mensurar os custos indiretos decorrentes dessa não-conformidade.

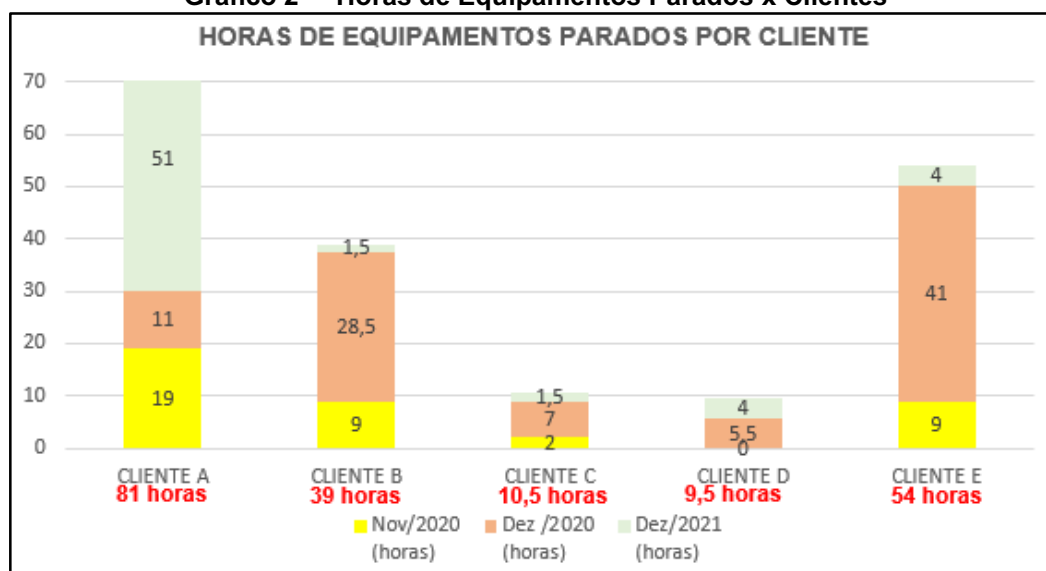
Gráfico 1 – Tempo de Equipamentos Parados



Fonte: Autoria Própria (2021)

Em vista disso, durante o período analisado pode-se verificar que a média de tempo parado de equipamentos gira em torno de 65 horas por mês. Deve-se dar destaque que o mês de dezembro apresentou um maior tempo de horas paradas não-programadas.

Gráfico 2 – Horas de Equipamentos Parados x Clientes

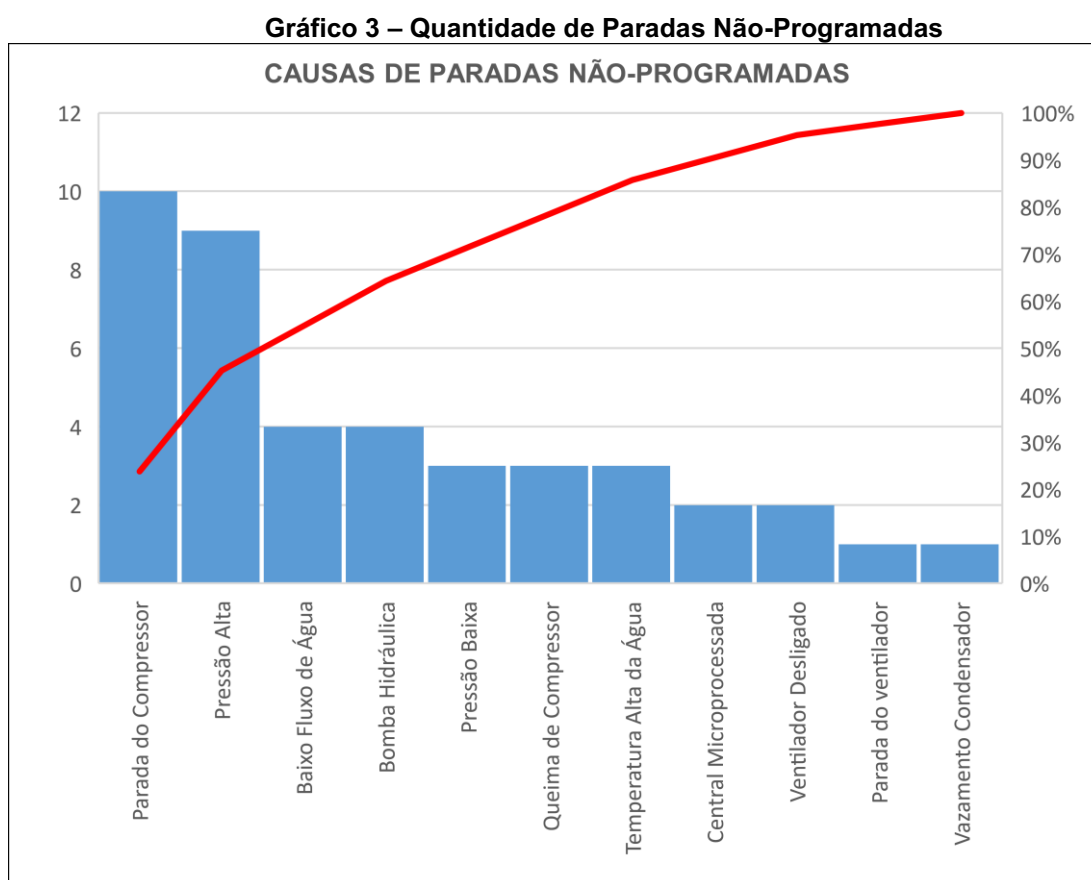


Fonte: Autoria Própria (2021)

Deve-se mencionar que a disparidade de horas paradas entre os clientes (Gráfico 2) não deve ser levada em conta, pois cada um deles apresenta uma

quantidade diferente de equipamentos. Além disso, a condição de trabalho é uma particularidade de cada ambiente de trabalho.

Nesse sentido, foram levantadas todas as causas de não-conformidades no funcionamento dos sistemas e que acabam causando as paradas indesejadas. No Gráfico 3 a seguir é possível identificar a quantidade de vezes que cada motivo foi responsável pelo dano no sistema e, conseqüentemente, inoperabilidade do equipamento.

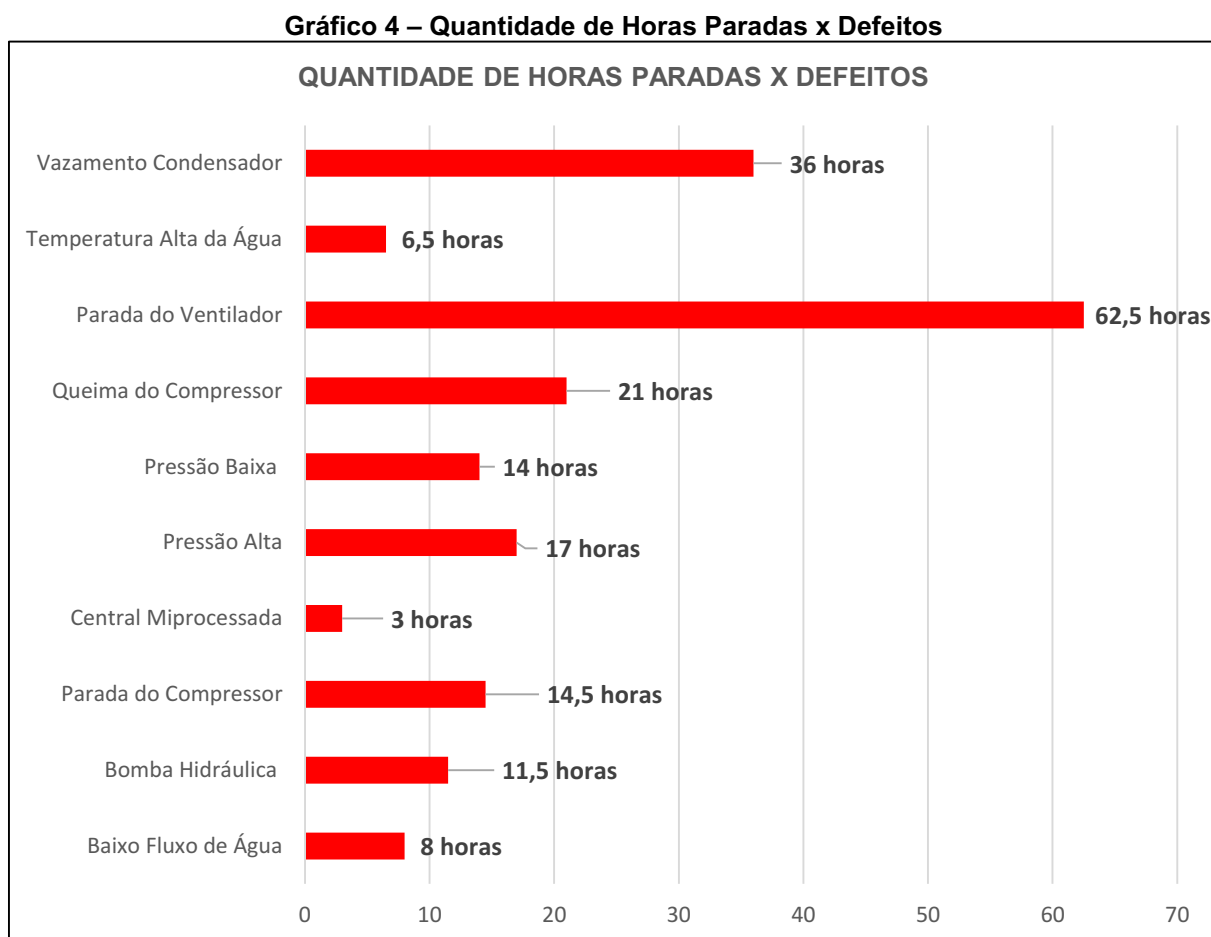


Fonte: Autoria Própria (2021)

Preliminarmente nota-se que as duas causas mais recorrentes de paradas (parada do compressor e pressão alta do sistema) correspondem há aproximadamente 50% do total levantado durante o período analisado. Outro fator que fica claro é que a grande parte dos defeitos detectados mostram uma forte relação com uma peça específica do sistema de refrigeração: compressor.

Complementando os dados expostos, há a necessidade de entender a contribuição em horas que cada defeito impacta para o valor total de horas que os

equipamentos ficaram inoperantes (Gráfico 4). Dessa forma, ficam evidentes as causas que merecem maior atenção por parte da equipe para evitar maiores danos não planejados.



Fonte: Autoria Própria (2021)

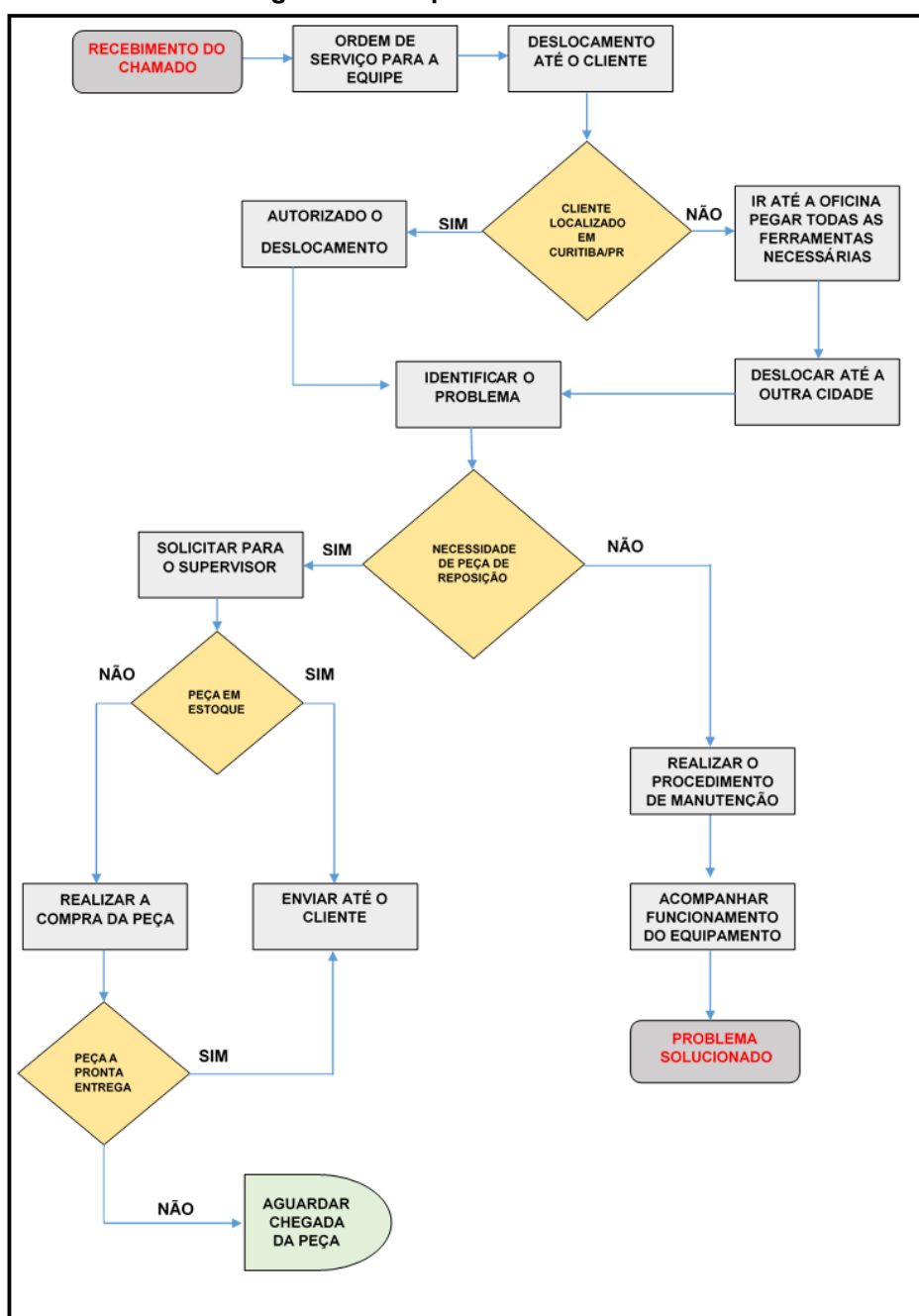
Diante do cenário levantado no Gráfico 3, duas causas (vazamento condensador e parada do ventilador) representam aproximadamente 50% do tempo total de horas de equipamentos parados. As demais também contribuem de maneira significativa na análise em questão.

Assim sendo, nota-se a importância de avaliar cada um dos fatores citados separadamente e entender as possíveis causas pormenorizadas nas ocorrências de falhas como forma de tornar possível a tomada de decisões de forma antecipada e eficaz, contribuindo assim para uma maior eficiência e disponibilidade, por conseguinte, um menor número de falhas imprevisíveis que causem insatisfação para os clientes.

4.3 ANALYSE

Nessa etapa, após a coleta de dados, tem-se como objetivo a identificação de uma análise mais detalhada dos problemas que tem contribuído para as paradas de equipamentos não-programadas. Em vista disso, cumpre realizar um diagnóstico preliminar do processo de prestação de serviços. Para isso, utiliza-se a elaboração de um mapa do processo, conforme Figura 21.

Figura 21 – Mapa do Processo Atual

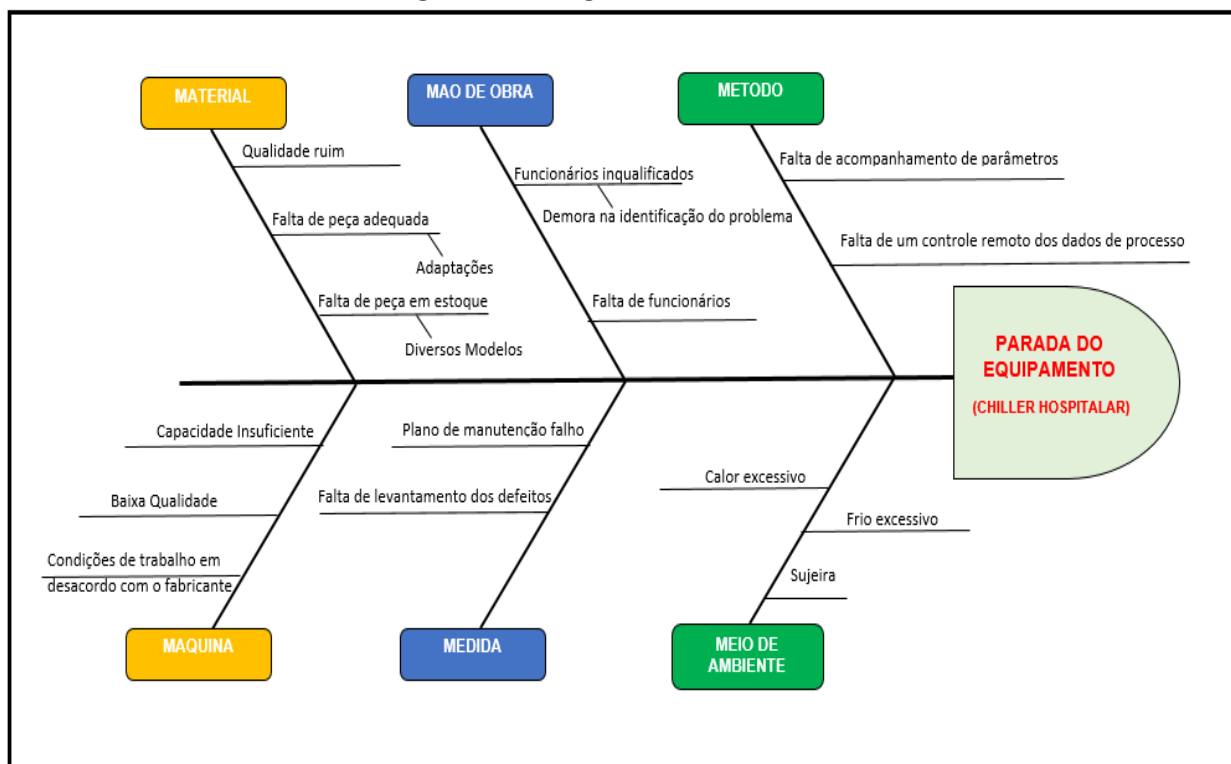


Fonte: Autoria Própria (2021)

Diante da análise preliminar do mapa de processos evidenciam-se duas principais causas que são responsáveis pela demora na resolução do problema. Primeiramente, percebe-se que, quando o atendimento é fora da cidade de Curitiba/PR, o intervalo de deslocamento entre os trajetos contribui para um aumento no tempo em que o equipamento ficará parado. Além disso, caso haja a necessidade de compra de algum componente danificado e não tenha em disponibilidade no momento, o cliente deve aguardar a chegada da peça.

Para ajudar a entender a causa raiz das paradas não-programadas mostra-se pertinente realizar uma análise mais detalhada com auxílio do Diagrama de Ishikawa ou Diagrama de causa e efeito (Figura 22), com o objetivo de organizar o raciocínio e relacionar os efeitos a serem analisados com as causas mais influentes para os resultados não desejados.

Figura 22 – Diagrama de Ishikawa



Fonte: Autoria Própria (2021)

Após análise do diagrama notam-se fatores que estão intimamente ligados com as causas raízes das paradas do equipamento. Corroborando as informações com o Gráfico 4, o fator que mais contribuiu para que o equipamento ficasse fora de

operação foi a indisponibilidade de peças de reposição consideradas cruciais para os sistemas, como é o caso dos ventiladores, compressores e serpentina.

Tal situação é extremamente impactante pois dependendo da situação há a necessidade encomendar a peça do fabricante, os quais normalmente ficam localizado em outros estados, o que acaba sendo necessário esperar alguns dias até o item chegar por via aérea ou terrestre. Essa situação acontece porque algumas peças de reposição são fornecidas exclusivamente pela fábrica e, assim, não é possível encontrar outro distribuidor que atenda às necessidades dos clientes.

4.4 IMPROVE

Nessa etapa evidenciou-se a necessidade de definir algumas recomendações para tentar melhorar o procedimento de manutenção e combater os possíveis fatores que venham a causar a parada dos equipamentos por um tempo muito grande. Para isso, inicialmente foi realizado um *brainstorm* com todos os profissionais envolvidos para encontrar medidas que possam prevenir tais ocorrências.

As ideias foram agrupadas e compiladas para formar uma lista com as melhores estratégicas para se preparar para um potencial evento danoso. São elas:

- a) Comprar peças cruciais para deixar em estoque;
- b) Mapear e catalogar os principais defeitos com sua regularidade;
- c) Elaborar de um plano de manutenção específico para esse tipo de equipamento;
- d) Instalar um sistema de controle remoto dos parâmetros do processo (principalmente para os clientes localizados em outras cidades).
- e) Preparar kit's de ferramentas prontos para eventuais chamados (acelerar o processo de separação de ferramentas);
- f) Adquirir um automóvel e prepará-lo com todas as ferramentas necessárias.

Com essa troca de informações foi possível levantar simples ações que podem ter um impacto significativo nas melhorias das causas raízes dos problemas levantados. Contudo, o fator mais impactante é a possibilidade de compra de peças para deixar em estoque, pois há uma diversidade grande de modelos de

equipamentos, o que envolve diferentes tipos e capacidades e, assim, acabam sendo necessárias muitas peças.

Diante de tal situação cumpre elaborar um plano de ação das melhorias por meio da ferramenta 5W2H (Quadro 4) com a função de compreender o problema e notar a importância da solução. A atenção da equipe será voltada para um mapeamento dos principais componentes que compõem os diferentes tipos de equipamentos para identificar a similaridade e a correlação das peças que possam ser adquiridas antecipadamente e sejam economicamente viáveis para a empresa.

Quadro 4 – Plano de Ação 5W2H

WHAT (O quê?)	WHY (Por quê?)	WHEN (Quando?)	WHERE (Onde?)	WHO (Por quem?)	HOW (Como?)	HOW MUCH (Quanto?)
Levantar as informações sobre especificações técnicas dos equipamentos	Correlacionar os diferentes modelos	01/Março	Equipamentos: Chiller Hospitalar	Supervisor de Manutenção	Verificar manualmente cada etiqueta dos equipamentos	R\$ 500,00
Correlacionar os diferentes modelos de equipamentos	Elaborar uma lista para compra de peças	05/Março	Equipamento	Engenheiro Responsável	Verificar os dados dos modelos levantados	R\$ 0,00
Comprar peças de reposição	Disponibilizar itens em estoque	10/Março	Estoque	Proprietário	Pedir cotações via e-mail	Levantar os custos
Investigar as causas de defeitos	Acompanhar os eventos danosos	01/Março	Equipamentos	Supervisor de Manutenção	Criar uma listagem de registro	R\$ 0,00
Elaborar um plano de manutenção específico para o equipamento	Atender as particulares específicas desse tipo de equipamento	30/Março	Atendimentos	Engenheiro Responsável	Criar um modelo de documentação	R\$ 150,00
Instalar um sistema automatizado de controle	Acompanhar os parâmetros de processo	05/Março	Equipamentos	Empresa Terceirizada	Instalação de sensores	R\$ 700,00 mensais
Preparar kit's de ferramentas para manutenção	Eliminar o tempo para separação dos itens necessários	05/Março	Ferramentas	Ajudantes (Auxiliares)	Levantar todos os itens necessários e montar	R\$ 5.000,00

WHAT (O quê?)	WHY (Por quê?)	WHEN (Quando ?)	WHERE (Onde?)	WHO (Por quem?)	HOW (Como?)	HOW MUCH (Quanto?)
Comprar automóvel Novo	Facilitar o deslocamento até os clientes	Avaliar	Atendimento	Proprietário	Comprar um automóvel novo e adaptar todas as ferramentas nele	R\$ 60.000,00

Fonte: Autoria Própria (2021)

Após a elaboração do plano de ação evidenciaram-se que algumas medidas necessitam de investimento relativamente alto para implementação e demandarão maior empenho da equipe. Diante disso, as medidas levantadas foram organizadas em uma matriz de priorização (Matriz GUT) para agilizar na tomada de decisões, com critérios e níveis de importância de cada uma, o que auxiliará na execução.

Tabela 1 – Matriz de Priorização (GUT)

PROBLEMA	GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA	GRAU CRÍTICO (GxUxT)	SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES
Falta de Peças de Reposição	5	4	3	60	2º
Falta de acompanhamento do parâmetros	4	4	3	48	3ª
Falta de um plano de manutenção eficiente	5	5	4	100	1ª
Demora no deslocamento até o cliente	4	3	2	24	4ª

Fonte: Autoria Própria (2021)

Cumprido salientar, ainda, que a matriz traz o grau crítico de cada problema levantado e mostra a necessidade de focar esforços nas atividades relacionadas a parte de documentação para auxílio da equipe técnica, pois é um item que tem alto grau de importância e não demanda alto investimento pela empresa. Nesse sentido, a equipe de engenharia elaborou um plano de manutenção específico para o equipamento em análise (chiller hospitalar), de forma a direcionar os técnicos no momento das manutenções preventivas.

Figura 23 – Plano de Manutenção

PLANO DE MANUTENÇÃO PREVENTIVA (CHILLER HOSPITALAR)					
CLIENTE				TÉCNICO RESPONSÁVEL	
ENDEREÇO					
DATA DA REALIZAÇÃO					
DADOS DO EQUIPAMENTO					
DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS					
ITEM	ATIVIDADE	FREQUÊNCIA	REALIZADA	MEDIÇÕES	OBSERV.
ELÉTRICA	1	Verificar tensão de entrada	quinzenal		
	2	Verificar corrente elétrica dos compressores	quinzenal		
	3	Verificar corrente elétrica dos ventiladores	quinzenal		
	4	Verificar corrente elétrica da bomba hidráulica	quinzenal		
	5	Inspecionar visualmente a central microprocessada (LED danificado/alarmes)	quinzenal		
	6	Verificar cabos elétricos de alimentação elétrica	mensal		
MECÂNICA	7	Inspecionar visualmente o ventilador (barulhos anormais/deterioração)	quinzenal		
	8	Inspecionar visualmente o compressor (barulhos anormais/deterioração)	quinzenal		
	9	Inspecionar visualmente a bomba hidráulica (barulhos anormais/deterioração)	quinzenal		
	10	Verificar funcionamento válvula de expansão	mensal		
	11	Verificar trocadores de calor	mensal		
	12	Verificar condições do filtro	mensal		
	13	Verificar condições da água de processo	mensal		
	14	Medir pressão dos compressores	mensal		
	15	Verificar pressão da água	mensal		
	16	Inspecionar condições de fixação	mensal		
	17	Verificar fluxo da água (vazão)	mensal		
LIMPEZA	18	Limpeza dos filtros	mensal		
	19	Limpeza das serpentinas (condensador)	mensal		
	20	Limpeza geral do equipamento	mensal		
	21	Inspecionar pontos de corrosão	mensal		
	22	Inspecionar tubulações hidráulicas	mensal		
	23	Inspecionar isolamento térmico	mensal		
	24	Limpeza reservatório de água gelada	mensal		

Fonte: Autoria Própria (2021)

A falta de peças de reposição mostrou-se com um dos principais fatores impactantes e para buscar uma solução foi necessário mapear todos os modelos de equipamentos para correlacionar as peças do sistema. Em vista disso, detectou-se

que aproximadamente 70% dos equipamentos apresentam similaridades de peças, sendo elas:

VENTILADOR: Vazão Requerida 16.000 m³/h – Condensação Ar Ambiente

COMPRESSOR: Capacidade de 36.000 BTUS - Trifásico 220 V – R410

BOMBA HIDRÁULICA: 4,0 m³/h - 35 mca

CENTRAL MICROPROCESSADA – Versão 2.6

Em um levantamento prévio de valores foi possível determinar que a compra de todos os itens acima pode girar em torno de R\$ 15.000,00. Por outro lado, aproximadamente 30% dos equipamentos não apresentam praticamente nenhuma similaridade de componentes, pois há diferentes modelos (anos de fabricação) e capacidade de processo, o que tornam as peças específicas para aquele item. Dessa forma, caso o cliente tenha interesse em adquirir peças de reposição, elas irão ser úteis apenas para aquela máquina.








Outro ponto levantado foi em relação à falta de acompanhamento dos parâmetros do processo de modo remoto, o que tornaria a identificação de algum problema no sistema mais ágil, pois qualquer variação nos aspectos do processo (variação da pressão do Hélio, temperatura da água gelada, fluxo de água, entre outros) pode sinalizar uma eventual falha em algum componente. Tal fato pode ajudar na detecção de uma eventual parada total do equipamento. Para instalação de um sistema desse tipo é necessário contratar outra empresa prestadora de serviços de automação que busque integrar essas informações por meio da instalação de sensores.

Por fim, para a demora no tempo de atendimento sugeriu-se a implementação de kit's prontos de ferramentas. Atualmente a equipe carrega as ferramentas básicas de atendimento, ou seja, dependendo do tipo de problema é necessário deslocar até a empresa para buscar o restante delas. No caso de atendimento fora da cidade, a orientação é levar outros tipos de equipamentos para estar apto a resolver qualquer intervenção. Portanto, a ideia é deixar tudo organizado para não perder tempo na separação e, ainda, providenciar um automóvel adaptado que possibilite a equipe estar sempre acompanhada de todos os tipos de ferramentas necessárias à atividade de manutenção preventiva e corretiva.

4.5 CONTROL

Nessa etapa o objetivo é controlar as ações que foram levantadas anteriormente no plano de ação. Para isso, elaborou-se um *checklist* para acompanhar quais ações foram implementadas.

Quadro 5 – Checklist do Plano de Ação

WHAT (O quê?)	WHEN (Quando?)	STATUS
Levantar as informações sobre especificações técnicas dos equipamentos	01/Março	 Levantamento concluído
Correlacionar os diferentes modelos de equipamentos	05/Março	 Levantamento concluído
Comprar peças de reposição	10/Março	 Estudo de viabilidade pelos clientes
Investigar as causas de defeitos	01/Março	 Todas as causas estão sendo catalogadas e investigadas
Elaborar um plano de manutenção específico para o equipamento	30/Março	 Documento Implementado
Instalar um sistema automatizado de controle	05/Março	 Estudo de viabilidade pelos clientes
Preparar kit's de ferramentas para manutenção	05/Março	 Compra realizada de alguns itens da lista.
Comprar automóvel novo	Avaliar	 Estudo de viabilidade pela empresa

Fonte: Autoria Própria (2021)

Deve-se mencionar que a parte de documentação referente ao procedimento de manutenção preventiva foi elaborada especificamente para o equipamento em análise (chiller hospitalar) buscando incluir todos itens que se mostrem essenciais para o processo. Além disso, todas as causas de paradas não-programas já começaram a fazer parte de um acervo de dados, registrando todas os defeitos e

levantando as possíveis causas, com o objetivo de facilitar a tomada de decisões para futuras medidas preventivas.

Em relação às peças de reposição e do sistema automatizado de controle, a equipe realizou o levantamento de todos os dados necessários (dados técnicos, custos e viabilidade) para implementação dessas melhorias e encaminhou-as para os clientes. Além disso, surgiu a ideia de comprar os principais itens relacionados e dividir os custos entre todos os clientes que possam utilizá-los. Dessa forma, em caso de substituição o item poderá ser utilizado em quem necessitar e, assim, não ter a necessidade de cada cliente ter em estoque as peças.

Por fim, a empresa está buscando alterar e melhorar o sistema de deslocamento até o cliente para diminuir o tempo de atendimento após o recebimento do chamado. A ideia é disponibilizar formas de minimizar a perda de tempo que a equipe gasta com a separação de ferramentas necessárias para o atendimento. Para isso, ela está buscando meios de viabilidade para aquisição de um automóvel novo e adaptá-lo para que ele fique a disposição para um eventual atendimento em clientes localizados em cidades vizinhas.

De maneira geral, a metodologia aplicada mostra-se extremamente útil na melhoria contínua da prestação de serviços, permitindo que os aperfeiçoamentos no processo sejam avaliados. Além disso, permite julgar se estão acontecendo conforme o previsto, de forma a transformar em resultados contínuos para a empresa. A ideia é que a etapa *control* ajude a estabelecer meios de controle que sustentem os resultados obtidos. Portanto, cabe a empresa estabelecer formas de continuar coletando os dados que impactam negativamente nos serviços e seja capaz de sempre estar maximizando os seus resultados.

5 CONCLUSÃO

Deve-se concluir que com o presente trabalho foi possível levantar e implementar ações de melhoria na área de prestação de serviços, com o objetivo de diminuir o número de paradas de manutenção corretiva não-planejadas. Após análises obtidas na pesquisa, evidenciou-se a efetividade da metodologia DMAIC na detecção e otimização de causas raízes que impactam os resultados da empresa.

Além disso, com o auxílio das ferramentas de qualidade dessa metodologia, elaborou-se um plano de manutenção preventiva, de forma a atender especificamente o tipo de equipamento que embasou a pesquisa: Chiller hospitalar. Nesse sentido, a ideia é atribuir atenção necessária aos principais itens que compõem o sistema. Dessa forma, a aplicabilidade de uma documentação específica pode maximizar o processo de manutenção preventiva.

Outrossim, verificou-se que os clientes envolvidos puderam obter resultados positivos com a realização dessa pesquisa, pois notadamente obtiveram melhorias na sistematização da prestação de serviços. Aliado a isso, foram levantadas informações sobre os dados técnicos para auxiliá-los na decisão de compra de peças de reposição, o que contribui em uma eventual parada não-programada dos sistemas de refrigeração.

Ao decorrer da pesquisa notou-se dificuldades na coleta dos dados referente aos eventos inesperados, pois na prestação de serviços dificilmente há uma linearidade nessas ocorrências. Nesse sentido, não foi possível mensurar exatamente o custo monetário economizado com as mudanças implementadas, pelo fato de muitos deles serem intangíveis, como é o caso da satisfação dos clientes na execução de um serviço de qualidade.

Entende-se, portanto, que todos os objetivos da pesquisa puderam ser respondidos com a aplicação da metodologia e, além disso, ela mostrou-se eficaz em sua aplicabilidade na área de prestação de serviços. Ademais, possibilitou o entendimento e registro de causas de eventos inesperados que trazem impactos negativo para a empresa.

Para estudos futuros, sugere-se o mapeamento de outros tipos de equipamentos que compõem o escopo da prestação de serviços.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR S. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. Nova Lima: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2006.
- ALMEIDA, M. T. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade**. 2000.
- ALMEIDA, P. S. **Manutenção Mecânica Industrial – Conceitos Básicos e Tecnologia Aplicada**. Editora Saraiva, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BRADY, J E.; ALLEN, T. T. **Six Sigma literature: a review and agenda for future research**. Quality and reliability engineering International, v. 22, n. 3, 2006.
- BRANCO FILHO, Gil. **A Organização, O Planejamento e o Controle da Manutenção**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Moderna Ltda., 2008.
- CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas**. São Paulo: Atlas, 2010.
- FERREIRA, L. L. **Implementação da Central de Ativos para melhor desempenho do setor de manutenção: um estudo de caso Votorantim Metais**. 2009. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2009.
- FILHO, R. A. **Introdução à Manutenção Centrada na Confiabilidade – MCC**. Programa de Atualização Técnica 2008 – Sistema FIRJAN - SESI/SENAI – Rio de Janeiro.
- GEORGE, M. L.; WATSON-HEMPHILL, K.; SKEWES, R. A. **Lean Six Sigma for Service: How to Use Lean Speed and Six Sigma Quality to Improve Services and Transactions**. Designing World-class Services (design for Lean Six Sigma). McGrawHill, 2003.
- GORDON, J. MJ. **Six Sigma quality for business and manufacture**. [S.l.]: Elsevier, 2002.
- JUGULUM, R.; SAMUEL, P. **Design for lean six sigma: A holistic approach to design and innovation.**, 2008.

JURAN, J. M. **Juran planejando para a qualidade**. 2ª Ed. São Paulo: Pioneira, 1992.

KARDEC, A.; NASCIF J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª Ed. Rio de Janeiro: Qualitymark: Petrobrás, 2009.

KUBIAK, T. M; BENBOW, D. W. **The Certified Six Sigma Black Belt Handbook**, 2ª Ed., 2009.

LINDERMAN, K.; SCHROEDER, R. G. ; ZAHEER, S. ; CHOO , A. S. . **Six Sigma: a goal-theoretic perspective**. Journal of Operations management, v. 21, n. 2, 2003.

MARSHALL JUNIOR, Isnard et al. **Gestão da qualidade**. Rio de Janeiro. FGV, 2006.

OHNO, T. **O Sistema Totyota de Produção: além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

PYZDEK, T. **The Six Sigma Handbook: The Complete Guide for Green belts, Black belts, and Managers at All Levels, Revised and Expanded Edition**. [S.I.]: McGraw-Hill NewYork, 2003.

RODRIGUES, M. V. **Entendendo, aprendendo e desenvolvendo sistemas de produção Lean Manufacturing**. [S.I.]:Elsevier Brasil, 2015.

SELLITTO, M. A. **Formulação estratégica da manutenção industrial com base na confiabilidade dos equipamentos**. Production, v. 15, n. 1, 2005.

SHINGO, S. **O SistemaToyota de produção**. [S.I.]:Bookman Editora,1996.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. São Paulo: Atlas, 2002.

TAGHIZADEGAN, S. **Essentials of lean six sigma**. [S.I.]:Elsevier, 2010.

TURRIONI, J. B; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Itajubá. Itajubá: UNIFEI, 2012.

VIANA, H. R. G. **PCM-Planejamento e Controle da Manutenção**. Qualitymark Editora Ltda, 2002.

WERKEMA, C. **Lean Seis Sigma: Introdução às ferramentas do lean manufacturing.** 2ª Ed., 2011.

WOMACK, J. P.; JONES, D.T.; ROOS, D. **A máquina que mudou o mundo.** 3ª Ed. Rio de Janeiro: Campus, 1992.

XAVIER, J. N. **Manutenção classe mundial.** São Paulo: Fundação Nacional da Qualidade, 2008.

XENOS, H. G. **Gerenciando a Manutenção Produtiva: O Caminho para Eliminar Falhas nos Equipamentos e Aumentar a Produtividade.** 1ª Ed. Rio de Janeiro: EDG, 1998.