

APLICAÇÃO DO MÉTODO GERENCIAL PDCA PARA A GESTÃO DE ATIVOS DE LOCOMOTIVAS

APPLICATION OF THE PDCA MANAGEMENT METHOD FOR THE MANAGEMENT OF LOCOMOTIVE ASSETS

Fernando Alencar Pereira¹, José Ribamar Santos Moraes Filho², Diego Rosa dos Santos³, Hilton Seheris da Silva Santos⁴, Jackeline de Sousa da Silva⁵, Madson Cruz Machado⁶, Osman José de Aguiar Gerude Neto⁷, Patrício Moreira de Araújo Filho⁸

RESUMO: O desempenho de uma organização é composto por um conjunto de práticas e diretrizes que norteiam a empresa para obtenção dos resultados que são planejados. Com base nas práticas e diretrizes que são necessárias, é importante implementar ferramentas que facilitem as organizações atingirem as metas estabelecidas, podendo-se destacar o método gerencial PDCA como uma das principais metodologias para a condução de uma empresa na direção dos melhores resultados. O objetivo do presente artigo foi demonstrar de forma prática que a metodologia PDCA pode ser aplicada na gestão da manutenção, atrelada ao aumento da confiabilidade de um ativo de aplicação em locomotivas. A metodologia aplicada na condução desse trabalho foi de coleta de dados históricos, pesquisas em campo e envolvimento contínuo de todas as partes interessadas.

PALAVRAS-CHAVE: Metodologia PDCA. Gestão da manutenção. Confiabilidade. Ativo.

ABSTRACT: The performance of an organization is composed of a set of practices and guidelines that guide the company to obtain the planned results. Based on the practices and guidelines that are necessary, it is important to implement tools that make it easier for organizations to achieve the established goals, and the PDCA management method can be highlighted as one of the main methodologies for driving a company towards the best results. The aim of this article was to demonstrate in a practical way that the PDCA methodology can be applied in maintenance management, linked to increasing the reliability of an asset for application in locomotives. The methodology applied in conducting this work was the collection of historical data, field research and continuous involvement of all interested parties.

KEYWORDS: PDCA method. Maintenance management. Reliability. Active.

Revista Interlocus, volume 1, número 2, 2025

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15621001>

Editor: Eduardo Mendonça Pinheiro

Artigo recebido: 17/05/2025

Artigo Aceito: 30/05/2025

Artigo Publicado: 03/06/2025

1 Bacharel em Engenharia de Produção- UNICEUMA, fernando_alencar_182@hotmail.com, <http://lattes.cnpq.br/7509733993299278>

2 Mestre em Energia e Ambiente e Engenheiro de Produção, Docente no IFTO, joseribamar.filho@ifto.edu.br, <http://lattes.cnpq.br/3778827762757288>

3 Mestre em Meio Ambiente, Docente no UNICEUMA, diego.santos@ceuma.br, <http://lattes.cnpq.br/2694609672291821>

4 Mestre em Engenharia Elétrica, Docente no UNICEUMA, hilton005062@ceuma.com.br, <http://lattes.cnpq.br/2694609672291821>

5 Mestre em Engenharia Mecânica, Docente no UNICEUMA, jackeline.silva@ceuma.com.br, <https://lattes.cnpq.br/0802532342357653>

6 Mestre em Engenharia Elétrica, Docente no UNICEUMA, madson.machado@ceuma.br, <http://lattes.cnpq.br/3415489729823227>

7 Doutor em Meio Ambiente, Docente no UNICEUMA, osmangerude@hotmail.com, <https://lattes.cnpq.br/1199184922159968>

8 Doutor em Engenharia Mecânica, Docente no UNICEUMA, patricio004893@ceuma.com.br, <https://lattes.cnpq.br/2976670641000837>



1. INTRODUÇÃO

Com a elevação das necessidades de matéria-prima para sustentar a evolução tanto tecnológica quanto da modernização das grandes metrópoles, as indústrias devem ser mais competitivas visando sempre uma maior produtividade ao menor custo possível. Para isso, as ferramentas básicas e gerenciais da qualidade são fundamentais, pois, auxiliam e, até mesmo, direcionam as empresas no caminho em busca da excelência.

Dentre as principais ferramentas, destacam-se o diagrama de Ishikawa, o diagrama de Pareto e o histograma, que foram utilizados neste trabalho, em consonância com a metodologia PDCA, sendo possível mensurar as características de um determinado processo e definir as possíveis causas da baixa produtividade que este esteja apresentando, fazendo com que surjam ações capazes de solucionar o problema e tornar o processo mais eficiente. Dessa forma, almejam-se atingir os objetivos necessários para a organização e mantendo-os em um novo patamar.

O desenvolvimento do presente trabalho foi muito importante, pois alia a metodologia PDCA com ferramentas da qualidade voltadas a um processo de manutenção em ativos de locomotivas, visando atingir maiores patamares de confiabilidade destes. Portanto, diante de um problema de confiabilidade em ativos de aplicação em locomotivas, seria possível utilizar o ciclo PDCA para melhorar e manter os patamares, além de atingir a melhoria contínua em processos de manutenção?

Em consonância com tais ações, almeja-se responder tais questões e disponibilizar aos mais variados processos de manutenção as ferramentas e metodologias já existentes e largamente utilizadas em processos produtivos, porém, voltados para o melhoramento da manutenção de um determinado tipo de ativo aplicado em locomotiva. Além disso, trará uma abordagem estatística clara com foco em encontrar o problema na origem e através do método PDCA resolvê-lo e assim elevar o processo a um novo patamar.

Deste modo, o presente trabalho tem por objetivo geral aplicar o método gerencial PDCA para elevar a confiabilidade de ativos de locomotivas, tendo como objetivos específicos: definir um processo de manutenção de ativos para o estudo em questão; analisar detalhadamente tal processo e sua definição com foco de atuação e aplicação de todos os passos do PDCA para elevar os patamares de confiabilidade dos ativos de forma estruturada e contínua e; elucidar os ganhos de sua implementação.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA é um método de gerenciamento com foco na melhoria, que tem como objetivo controlar e refinar os processos e produtos de uma forma contínua. Quando bem aplicado nas empresas, proporciona um aumento de competitividade e padronização dos resultados obtidos (VOITTO, 2017).

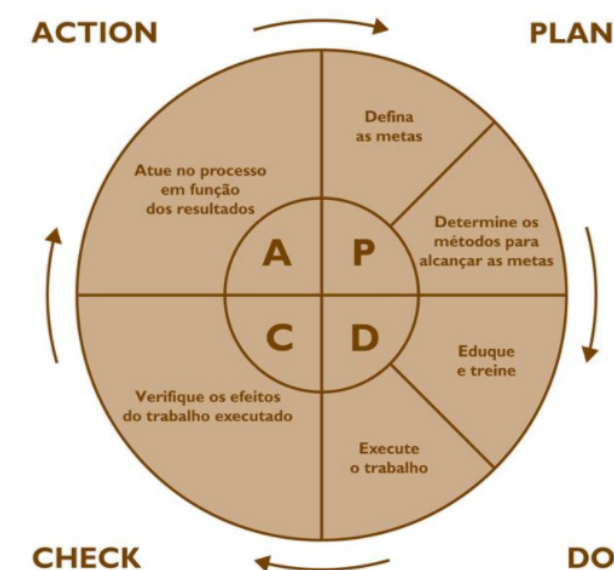
Em suma, o ciclo PDCA é composto das seguintes etapas (WERKEMA, 2012):

- Planejamento (P): que é a etapa em que são estabelecidos as metas e o método para que estas sejam atingidas;
- Execução (D): Etapa em que o método estabelecido para atingimento das metas é aplicado e todas as tarefas propostas são executadas para o alcance do objetivo, além de coleta de dados essenciais para a próxima etapa;

- Checagem (C): Etapa em que os dados coletados na etapa de execução são analisados a fim de garantir que as metas estabelecidas foram alcançadas;
- Atuação corretiva (A): Etapa fundamental no ciclo PDCA pois é quando o processo é analisado a partir dos resultados obtidos nas etapas anteriores, isso ocorre levando em conta duas vertentes importantes, que são: adoção do novo processo como padrão nos casos em que a meta foi atingida e; atuação nas causas que impactaram o atingimento das metas para quando esta não tiver sido atingida.

A figura 1 ilustra a representação do ciclo PDCA, que apresenta um círculo contínuo que, uma vez aplicado e fixado na cultura de uma empresa, independentemente de seu segmento, faz com que essas empresas atinjam patamares cada vez maiores de produtividade e qualidade em seus produtos e serviços.

Figura 1. Ciclo PDCA.



Fonte: Werkema (2012).

2.2 Ferramentas da qualidade

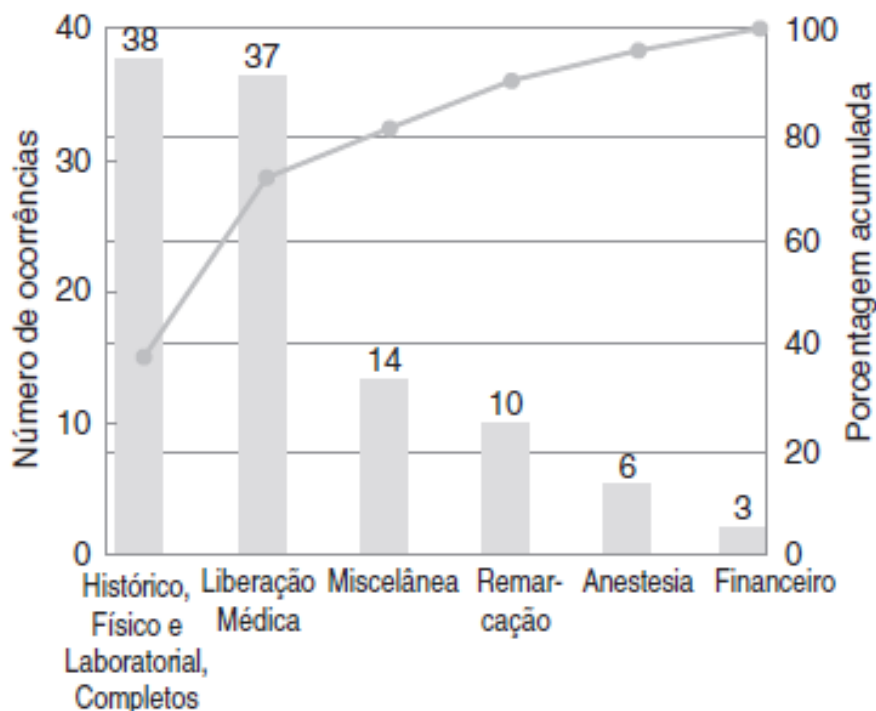
As ferramentas da qualidade são um conjunto de técnicas estatísticas que auxiliam na identificação de possíveis problemas em processos produtivos, em que a chave para a aplicação dos métodos de controle estatístico da qualidade é a concentração dos esforços na adequação de um processo, e a definição de um sistema de medida válido e que seja capaz de dar ao processo a possibilidade de aplicação das ferramentas da qualidade (MONTGOMERY, 2016). Além disso, cada ferramenta refere-se a uma área específica do projeto ou do funcionamento do sistema da qualidade ou, ainda, da avaliação de seu desempenho (LIMEIRA; LOBO; MARQUES, 2015).

No presente trabalho objetivou-se a aplicação do gráfico de Pareto, o histograma, gráfico de controle, diagrama de dispersão, o fluxograma e o 5W2H, que serão abordados a seguir:

2.2.1 Gráfico de Pareto

Segundo Montgomery (2016), o Gráfico de Pareto representa uma distribuição de frequência de dados atribuídos, organizados por categoria. Em virtude de suas características, torna-se possível também a fácil identificação dos principais problemas e o estabelecimento de metas mais facilmente alcançáveis. Um exemplo de representação desta ferramenta é apresentado conforme elucida o gráfico 1.

Gráfico 1. Gráfico de Pareto.



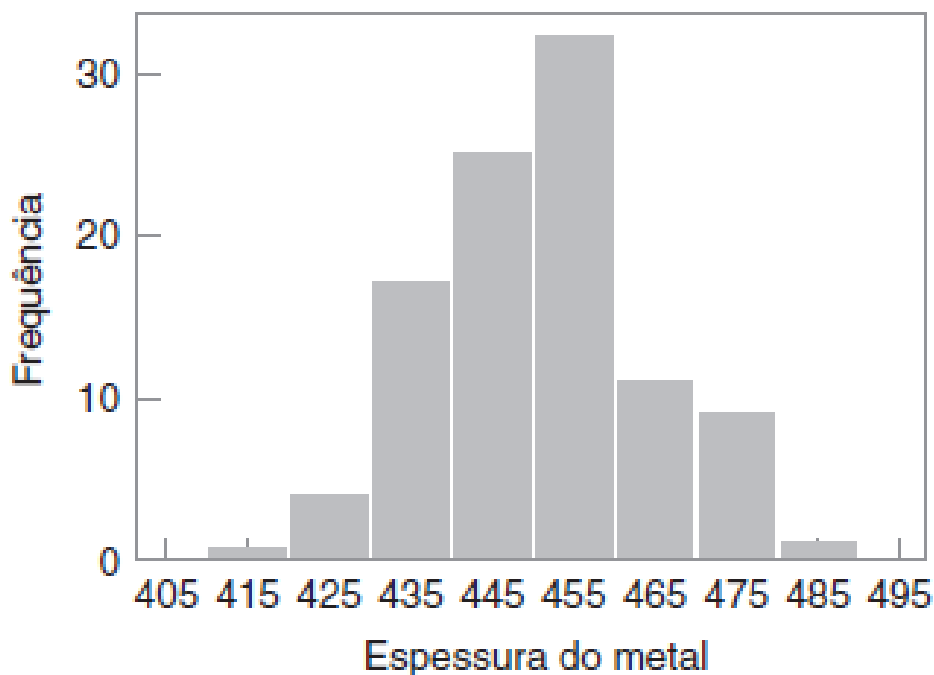
Fonte: Montgomery (2016).

2.2.2 Histograma

É uma ferramenta estatística que possibilita a visibilidade das informações de forma distribuída em grupos de dados além de visualizar os maiores valores na parte central do gráfico e o restante dos dados de forma distribuída a partir do centro dando uma noção da dispersão desses dados. Conforme Werkema (2012), a comparação de histogramas com os limites de especificação nos permite avaliar se o processo está entrando no valor nominal e se é necessário adotar alguma medida para reduzir a variabilidade do processo.

Para Montgomery (2016), o histograma é um resumo dos dados mais compacto do que um ramo-e-folhas. Para a construção deve-se dividir a amplitude dos dados em intervalos, normalmente chamados de intervalos de classe, células ou caixas, o gráfico 2 mostra um exemplo de histograma.

Gráfico 2. Histograma.

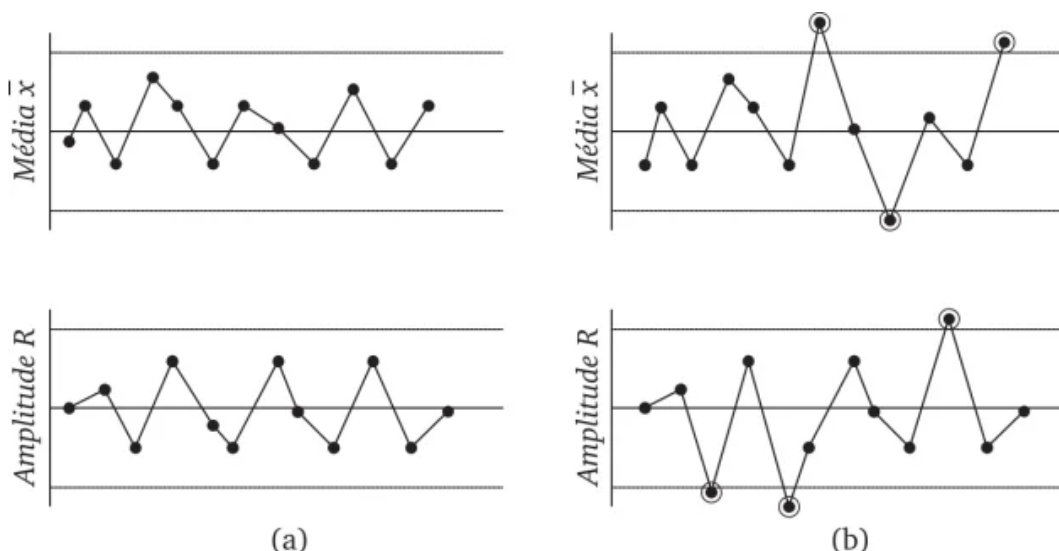


Fonte: Montgomery (2016).

2.2.3 Gráfico de controle

É uma ferramenta que disponibiliza os dados em análise de maneira que permite as informações serem visualizadas de forma sequencial, delimitando o máximo e o mínimo que o dado deve atingir permitindo um controle mais efetivo. Segundo Ribeiro (2016), “o objetivo do uso de gráficos de controle é garantir que o processo opere na sua melhor condição”. Além disso, os comparativos entre as médias de amostra para amostra e das suas respectivas amplitudes indicam como o processo está variando, o gráfico 3 mostra um exemplo de gráfico de controle.

Gráfico 3. Gráfico de controle



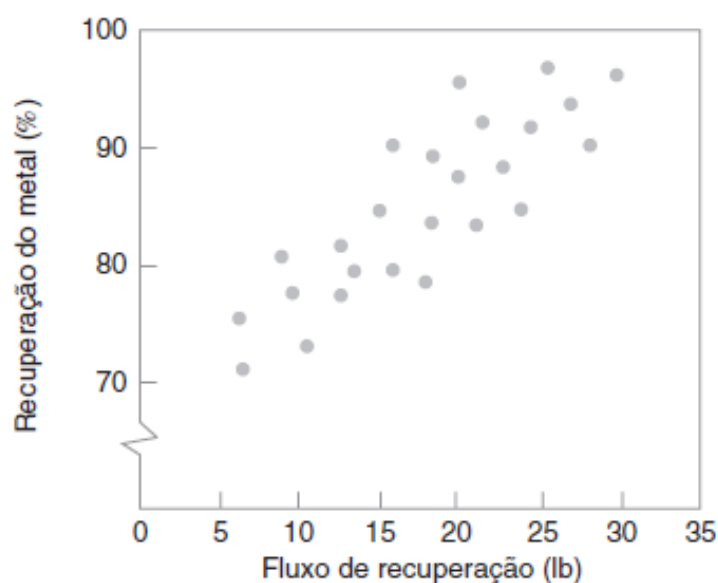
Fonte: Ribeiro (2016).

2.2.4 Diagrama de dispersão

Segundo Ribeiro (2016) o diagrama de dispersão é um gráfico utilizado para a visualização do tipo de relacionamento existente entre duas variáveis. De maneira geral, os gráficos de dispersão são comumente utilizados para relacionar a causa e o efeito de uma amostra, ainda segundo Montgomery (2016) a forma de um diagrama de dispersão em geral indica que tipo de relação pode existir entre duas variáveis.

Em suma, o diagrama de dispersão é uma ferramenta que modela todas as informações do processo tornando possível que seja identificado todas as variáveis que causam o problema em estudo. O gráfico 4 apresenta um exemplo de diagrama de dispersão.

Gráfico 4. Diagrama de dispersão



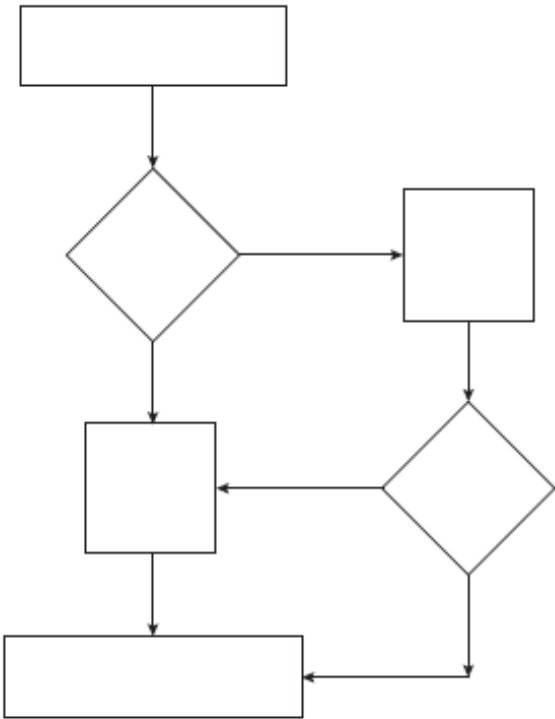
Fonte: Montgomery (2016).

2.2.5 Fluxograma

É uma ferramenta que possibilita a análise de todo o processo passo a passo e define seus respectivos responsáveis, além disso através do fluxograma pode ser avaliado também o melhor caminho a ser seguido e a identificação de possíveis falhas dentro de um processo. Para trabalhos de análise administrativa o fluxograma é a melhor ferramenta pois representa o fluxo ou a sequência normal de qualquer processo, produto ou documento (LOBO, 2010).

Ainda conforme Lobo (2010), o fluxograma permite verificar como funcionam realmente todos os componentes de um sistema, permite o entendimento mais simples e objetivo, facilidade de localização das deficiências devido a fácil visualização dos passos do processo, aplicação a qualquer sistema e principalmente o rápido entendimento de qualquer modificação no sistema, a figura 2 exemplifica de maneira gráfica a simplicidade e objetividade de um fluxograma.

Figura 2. Fluxograma



Fonte: Pacheco (2019).

2.2.6 5W2H

A ferramenta 5W2H tem como objetivo conforme Werkema (2012) definir para a estratégia de ação elaborada os seguintes itens: o que será feito (*What*), quando será feito (*When*), quem fará (*Who*), onde será feito (*Where*), porque será feito (*Why*), como será feito (*How*) e quanto custará o que será feito (*How much*), conforme mostra figura 3.

Figura 3. 5W2H

Medida WHAT	Responsável WHO	Prazo WHEN	Local WHERE	Razão WHY	Procedimento HOW	Custo HOW MUCH
1. Elaborar a história a ser relatada.	Ana e Lilian	07/10/11	Respectivas residências	Para evitar futuras contradições	Conversa telefônica	Custo da ligação telefônica
2. Relatar a história.	Ana	09/10/11	Gerência comercial			
3.						

Fonte: Werkema (2012).

2.3 Gestão de ativos

A gestão de ativos é fundamental dentro de uma organização que visa a produtividade e qualidade em suas entregas, dentro da indústria é imprescindível que os ativos que suportam a produção estejam catalogados e tenham acompanhamento e inspeções rotineiras que garantam o seu correto funcionamento. Segundo a norma ISO 55001 (2018) um sistema de gestão de ativos é projetado principalmente para apoiar a entrega de um plano

estratégico organizacional visando atender as expectativas das partes envolvidas em todo o processo produtivo.

Ainda conforme a norma ISO 55001 (2018), o estabelecimento de um plano estratégico organizacional é o ponto de partida para o desenvolvimento da política, estratégia, objetivos e planos de gestão de ativos, que, por sua vez direcionam a um combo de atividades que serão executadas durante o ciclo de vida e aplicados a todos os ativos da organização, a figura 4 exemplifica graficamente a gestão de ativos.

Figura 4. Relação entre os principais termos na gestão de ativos



Fonte: ISO 55001 (2018).

2.4 Gestão da manutenção

Devido ao aumento constante da complexidade dos equipamentos industriais, tornou-se cada vez mais necessário que as organizações tivessem estruturas tanto de departamentos focados na gestão desses equipamentos quanto no controle e acompanhamento da performance dos ativos, conforme Gregorio, Santos e Prata (2018) o desenvolvimento de novas técnicas de trabalho e novos instrumentos e mecanismos de gestão tem sido preocupação frequente nas indústrias.

- Tornar os processos mais organizados e planejados no que se refere a manutenção tem sido base constante de reflexões quanto a definição de quando executar, quem irá executar e como será feito as manutenções nos equipamentos, para isso é importante o entendimento quanto a alguns conceitos importantes em relação a manutenção, são eles:
- Falha: Conforme NBR 5462 (1994) falha é um evento que faz com que o equipamento não tenha a capacidade de desempenhar as funções preestabelecidas;
- Defeito: De acordo com a NBR 5462 (1994) defeito representa uma irregularidade de uma característica de um equipamento em relação aos seus requisitos de funcionamento;
- Manutenção: A manutenção conforme Gregório, Santos e Prata (2018) pode ser

definida como um conjunto de ações técnicas e administrativas com o objetivo de manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.

3. METODOLOGIA DE PESQUISA

O presente trabalho foi realizado utilizando uma pesquisa específica em relação a um processo de manutenção de ativos em uma empresa de mineração e de maneira exploratória os dados foram levantados e analisados. Conforme Matias (2016), a pesquisa exploratória visa proporcionar maior familiaridade com o problema com o intuito de torná-lo explícito.

A abordagem utilizada no trabalho foi qualitativa para melhor identificar e analisar os dados observados no período de janeiro de 2019 a dezembro de 2019 para o projeto. Além disso, outro importante método também aplicado a esse projeto foi o fenomenológico, pois, conforme Matias (2016), esse modelo se preocupa com uma descrição direta da experiência tal como ela é.

Através dessas abordagens supracitadas, foram analisados os dados históricos em relação ao processo em que o presente trabalho foi desenvolvido. Com esses dados analisados, através da aplicação das ferramentas da qualidade, foi possível em conjunto com a equipe de trabalho da empresa, desenvolver um plano de ação para atingimento dos objetivos propostos e tendo como direcionador para todo o projeto o ciclo PDCA.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Contextualização da empresa

A companhia Vale do Rio doce é uma empresa de mineração e logística que conta atualmente com cerca de 100 mil empregados diretos e indiretos em suas operações ao redor do mundo, no Brasil a empresa atua em dois grandes centros ou corredores de exploração e transporte de minério, que são, o corredor sudeste entre Minas Gerais e Espírito Santo e o corredor norte entre o Pará e o Maranhão.

O presente trabalho foi desenvolvido no corredor norte da companhia, onde atualmente a frota logística é composta por 299 locomotivas e os ativos ou componentes que compõem cada locomotiva está atualmente estimada em pouco mais de 1000 componentes. Para que seja necessário manter todas essas locomotivas em operação, são necessárias a realização de manutenções periódicas e acompanhamento constante dos indicadores de confiabilidade e foi nesse contexto que este trabalho foi desenvolvido.

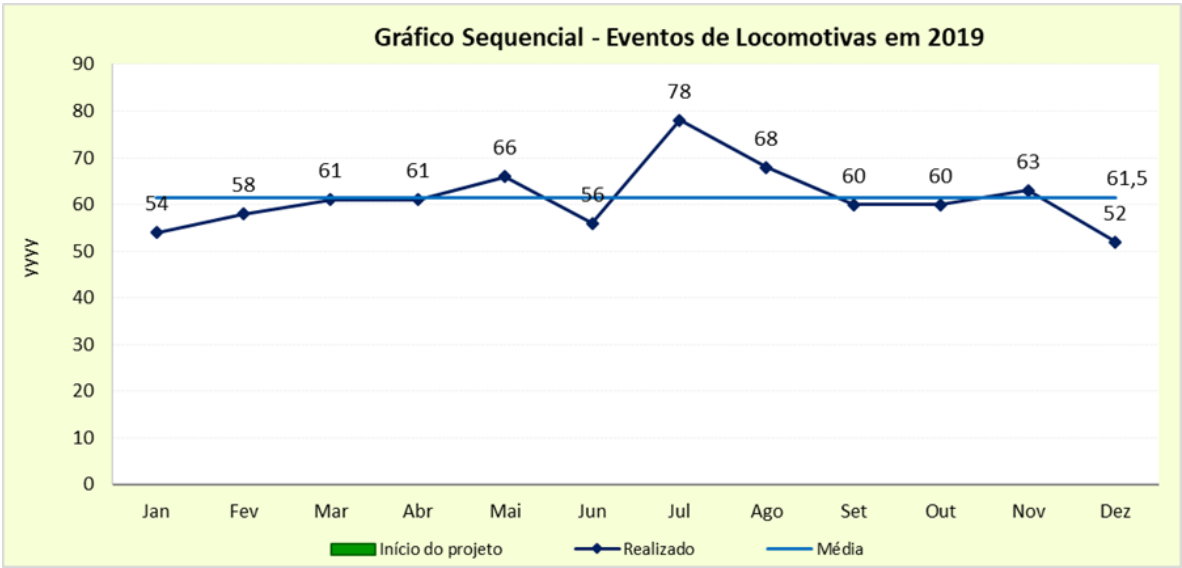
4.2 Identificação do problema

Para identificar o problema foi necessário coletar no sistema informatizado a quantidade de falhas ocorridas no ano de 2019 em todas as locomotivas, que estiveram em operação no sistema norte, ou seja, as falhas são todas as ocorrências registradas que acarretaram perda de produtividade para a ferrovia e que necessitaram de reparos/correção do problema.

Diante do grande número de falhas em diferentes componentes de uma locomotiva

no decorrer do ano de 2019, todos esses dados foram analisados utilizando as ferramentas estatísticas e conforme o gráfico 5, foi possível observar o total de falhas que ocorreriam mensalmente na frota de locomotivas do sistema norte.

Gráfico 5. Total de eventos (falhas) nas locomotivas em 2019.



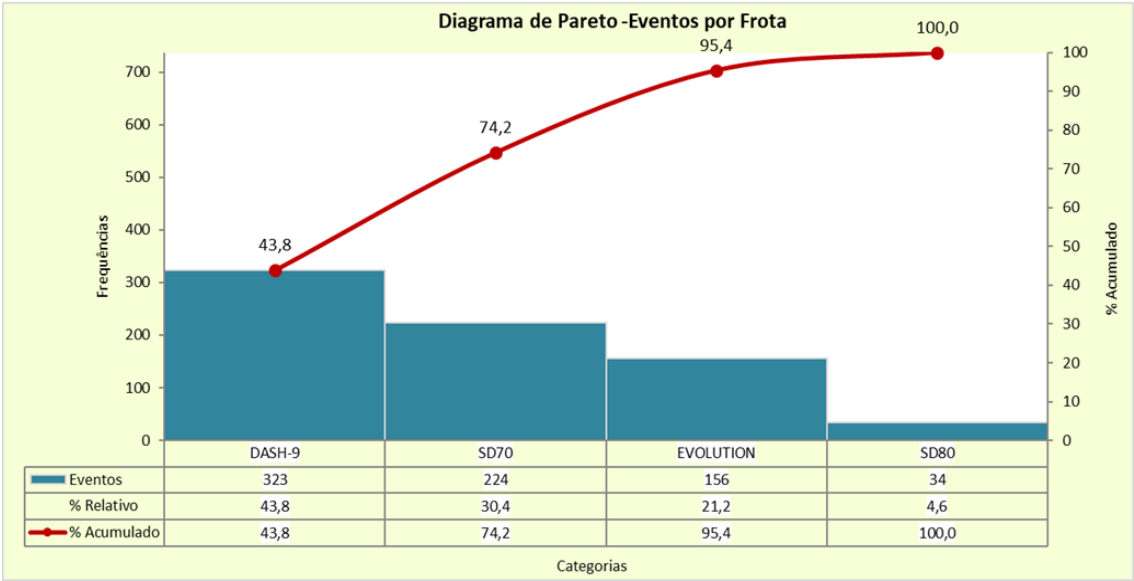
Fonte: Autores (2021).

Para que os dados fossem melhor analisados, foi necessário agrupar as falhas por frota, ou seja, no corredor norte existem quatro tipos de frotas de locomotivas, que são elas:

- Dash 9 ou C44: Fabricante Wabtec;
- EVOLUTION: Fabricante Wabtec;
- SD70: Fabricante Progress Rail;
- SD80: Fabricante Progress Rail.

Com isso, foi dada sequência a análise dos dados para definição do foco de atuação do presente trabalho e, utilizando-se o diagrama de Pareto, foi identificado no total de locomotivas quais frotas apresentavam o maior número de falhas, conforme elucida o gráfico 6.

Gráfico 6. Eventos (falhas) ocorridas por frota em 2019

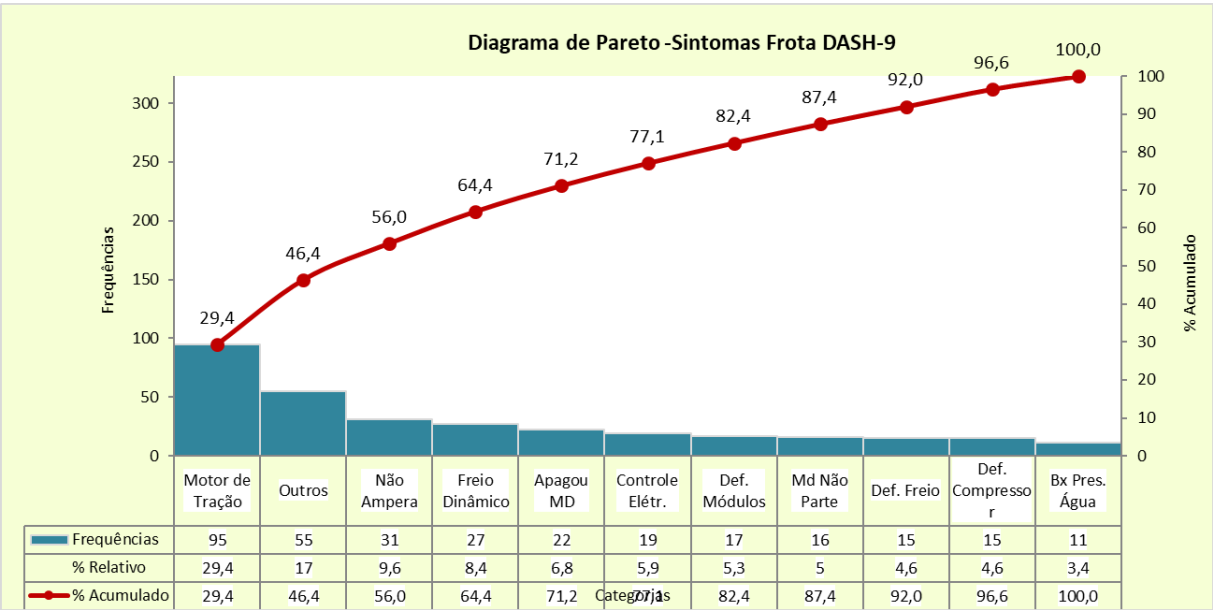


Fonte: Autores (2021).

A partir do diagrama de Pareto supracitado, foi identificado que as frotas Dash-9 e SD70 tinham maior representatividade e, portanto, foram definidos como foco de atuação do trabalho. Porém, devido ao alto número de falhas dentro de ambas as frotas, foi necessário realizar uma estratificação dos dados visando maior objetividade e atuação na causa raiz do problema em ambas as frotas.

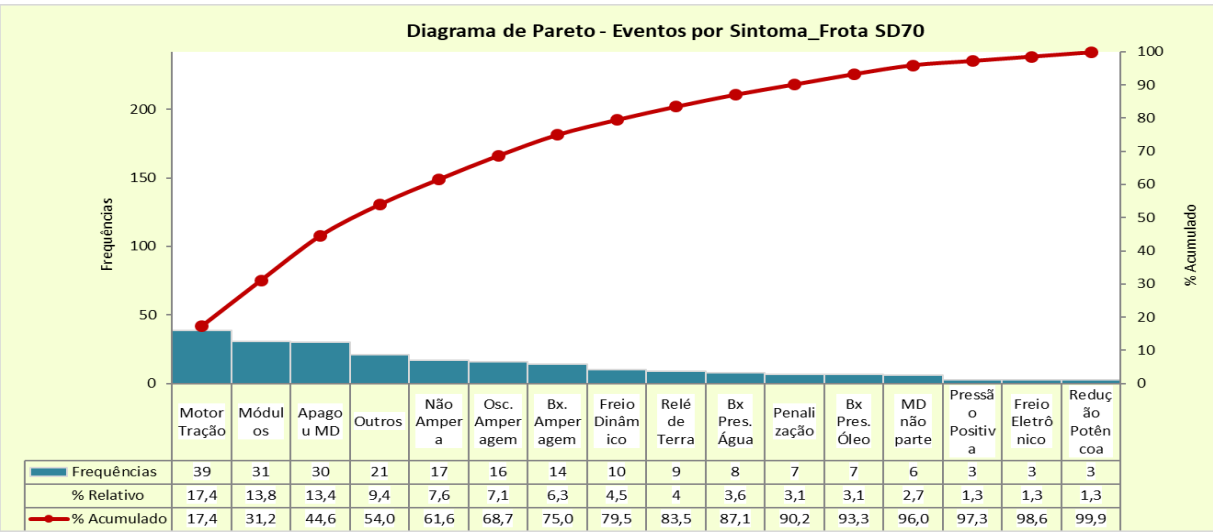
Para estratificar os dados em ambas as frotas, foi utilizado o diagrama de Pareto conforme ilustram os gráficos 7 e 8, do qual foi possível observar que o sistema motor de tração ocupa a primeira posição nas frotas Dash-9 e SD70, sendo esses os focos específicos em cada frota definidos para atuação no presente trabalho.

Gráfico 7. Estratificação das falhas ocorridas na frota Dash-9



Fonte: Autores (2021).

Gráfico 8. Estratificação das falhas ocorridas na frota SD70

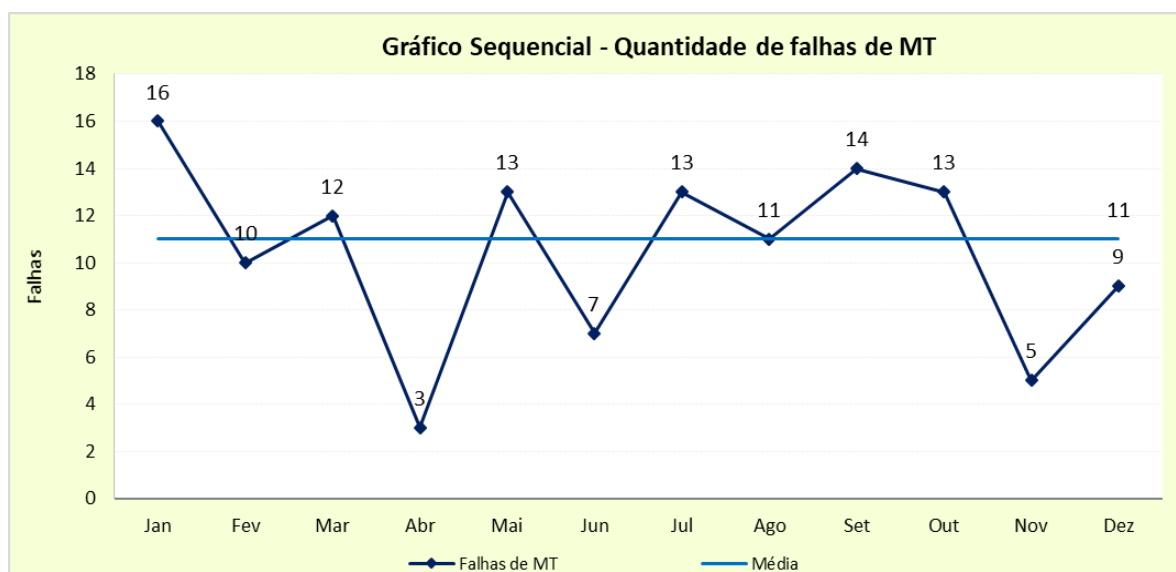


Fonte: Autores (2021).

O motor de tração é um dos componentes mais importantes da locomotiva e uma falha nesse sistema pode ocasionar perda de produção para a ferrovia. Portanto além da complexidade e importância, o número de falhas anteriormente evidenciadas foi determi-

nante para a definição desse componente como foco do trabalho. Realizando a partir disso o agrupamento das falhas somente pelo componente motor de tração, o gráfico 9 elucida o comportamento do indicador no ano de 2019, podendo ser observado que as falhas tiveram grande variação com uma média mensal de 11 falhas/mês.

Gráfico 9. Falhas em motores de tração das frota Dash-9 e SD70 em 2019

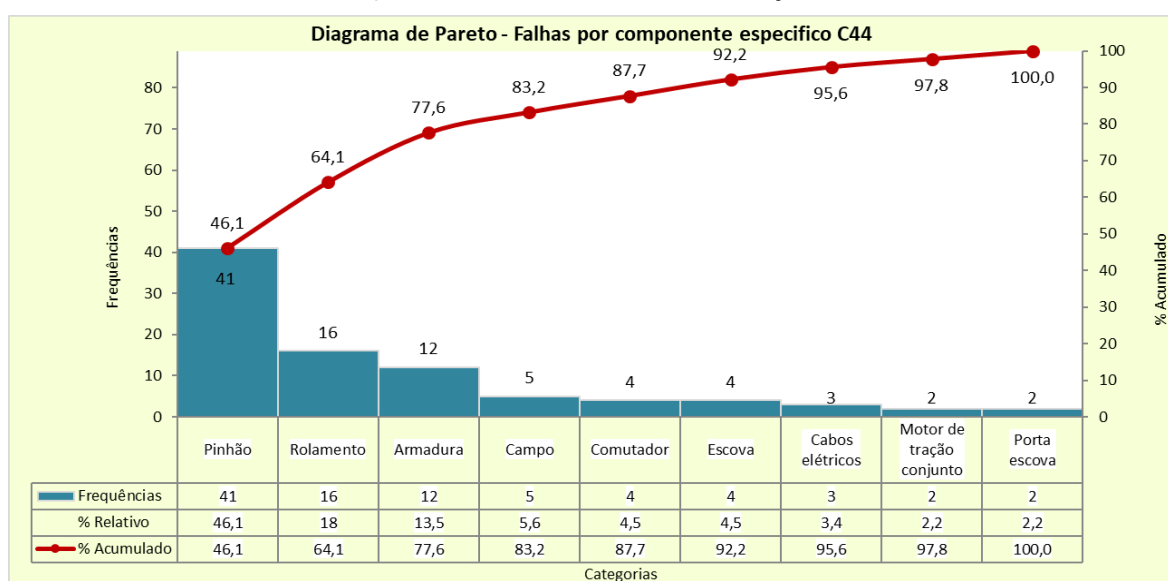


Fonte: Autores (2021).

4.2.1 Estratificando o problema na frota Dash-9 (C44)

A partir da definição dos focos de atuação no trabalho e seguindo com a estratificação somente na frota Dash-9, foi utilizado o gráfico de Pareto para identificação de quais os maiores problemas que estavam ocorrendo nos motores de tração que causavam as falhas, conforme gráfico 10.

Gráfico 10. Principais falhas nos motores de tração da frota Dash-9.



Fonte: Autores (2021).

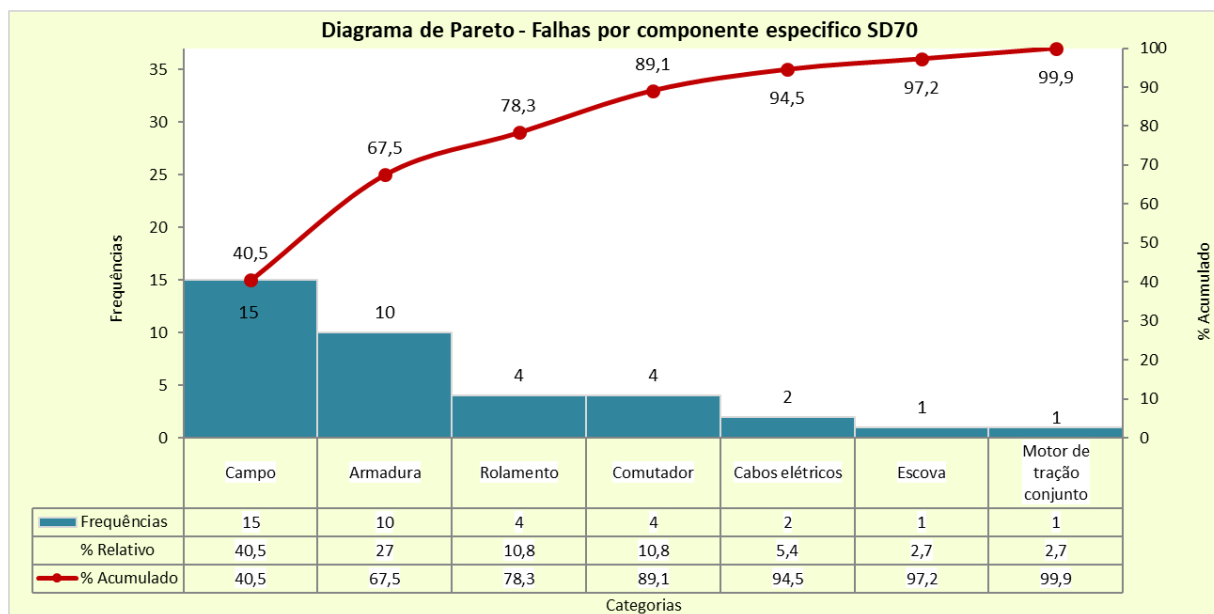
Com o gráfico supracitado, os itens pinhão, rolamento e armadura foram definidos

como foco de atuação na frota Dash-9.

4.2.2 Estratificando o problema na frota SD70

Da mesma forma como feito no item 4.2.1, foi utilizada a ferramenta gráfico de Pareto para estratificar no modo de falhas de motor de tração, elucidando quais as causas mais recorrentes, visando dessa forma ser mais preciso na atuação em relação a frota SD70. O gráfico 11 mostra quais as maiores causas de falhas.

Gráfico 11. Principais falhas nos motores de tração da frota SD70.



Fonte: Autores (2021).

Com isso, foi definido como foco de atuação do trabalho na frota de locomotivas SD70 o campo e a armadura que conforme gráfico de Pareto acima representam as maiores quantidades de falhas.

4.2.3 Análise das causas mais recorrentes

Utilizando como base o gráfico 9 anteriormente citado, foi possível observar que a média de falhas em motores de tração no decorrer do ano de 2019 foi de 11 falhas/mês. Utilizando a estatística descritiva no quadro 1, pode-se observar que os dados tiveram uma amplitude de 13 falhas entre o menor e o maior resultado, que foram de 3 e 16 falhas/mês respectivamente. Outro importante fato sobre o histórico foi que o desvio padrão apresentado estava em 3,87, indicando bastante variação mensalmente.

Quadro 1. Descritivo das falhas de motor de tração.

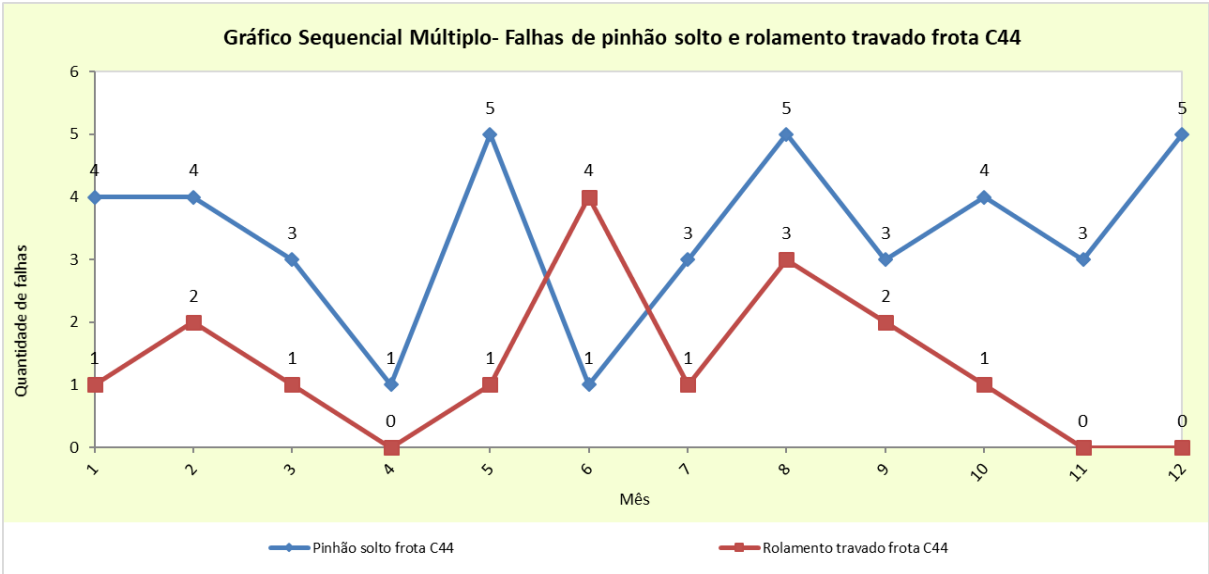
Variável	Número de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Amplitude
Falhas de MT	12	10,50	3,87	3,00	7,50	11,50	13,00	16,00	13,00

Fonte: Autores (2021).

A partir das observações supracitadas, foram analisados os comportamentos de cada modo de falha em cada frota, ou seja, a partir das principais causas, foi analisado o comportamento desses modos de falha no decorrer do ano de 2019, utilizando um gráfico sequen-

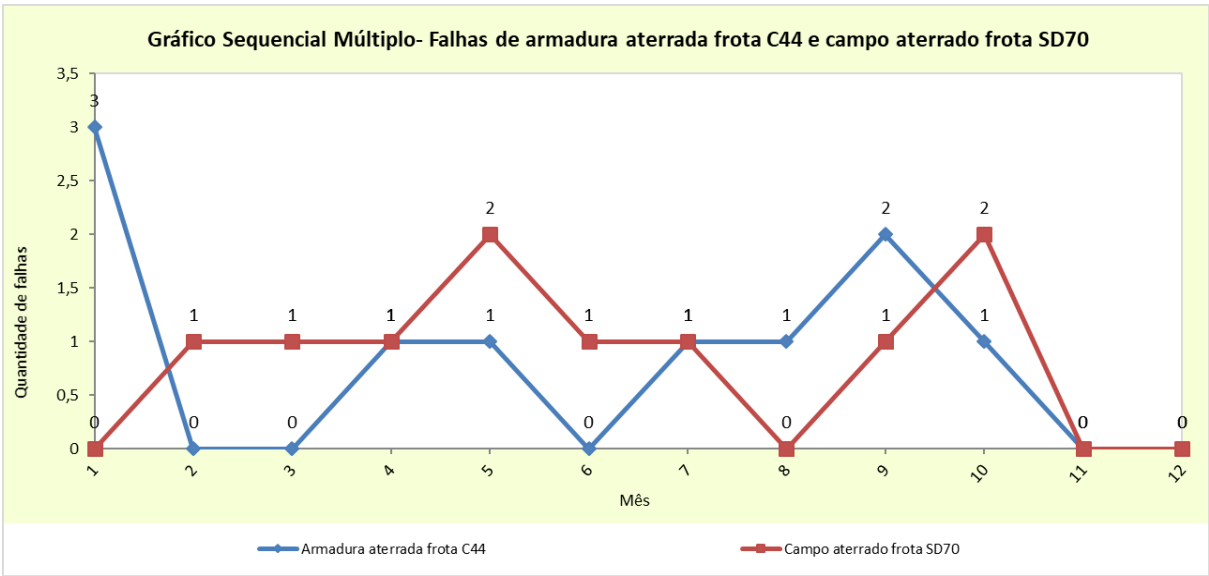
cial conforme mostram os gráficos 12, 13 e 14.

Gráfico 12. Falhas de pinhão e rolamento da frota Dash-9 (C44).



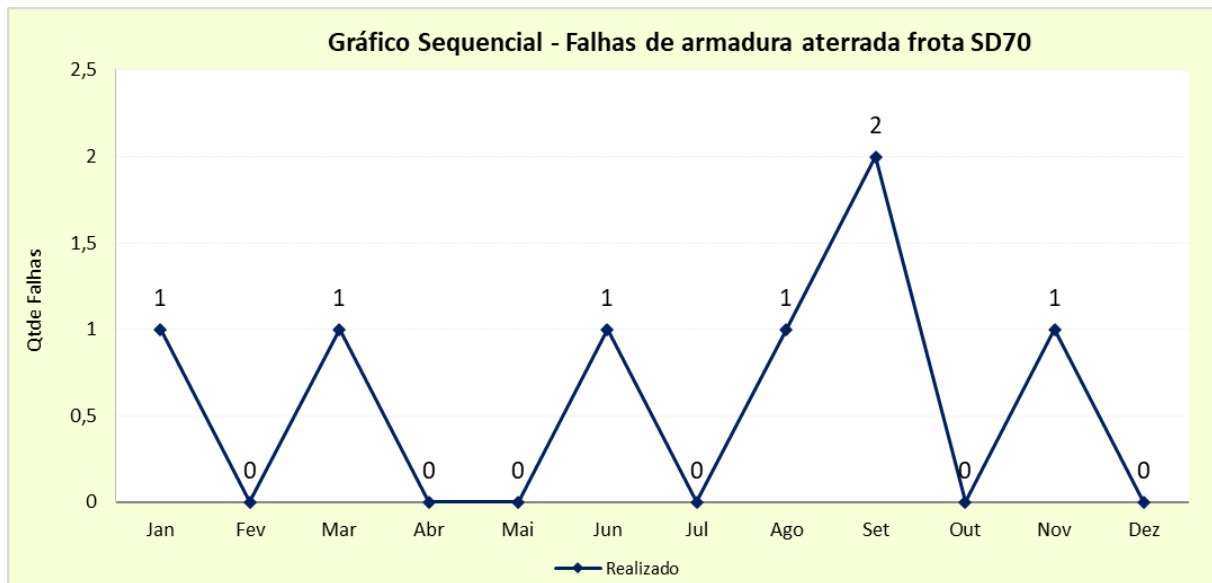
Fonte: Autores (2021).

Gráfico 13. Falhas de armadura frota Dash-9 e campo da frota SD70.



Fonte: Autores (2021).

Gráfico 14. Falhas de armadura frota SD70.



Fonte: Autores (2021).

Após realizar toda a análise mensalmente de cada causa priorizada, foi possível ter uma precisão maior em relação ao comportamento histórico, sendo factível a partir disso, uma definição mais clara da meta a ser estabelecida para o trabalho.

4.2.4 Definição da meta

Com base em todos os dados analisados e o comportamento de cada modo de falha, utilizando o método das lacunas, foi estabelecido que a meta para o trabalho seria reduzir o número de falhas das atuais 11 falhas/mês para 7 falhas/mês até dia 31/12/2020, o que representa uma redução de 36,3% em relação ao valor histórico e capturando 50% da lacuna conforme quadro 2.

Quadro 2. Método da lacuna para definição da meta do trabalho.

Método das lacunas	
Média	10,5
Melhor resultado	3
Lacuna	7,5
Captura	50%
Ganho	3,75
Meta:	7

Fonte: Autor (2021).

4.3 Definição do plano de ação para atingimento da meta

Para o atingimento da meta, foi realizado uma análise de todo o processo de manutenção de motores de tração, e através de reuniões com a equipe foi levantando todas as possíveis causas dos problemas mais recorrentes em ambas as frotas. Conforme citado no item 4.2 deste trabalho, todas as possíveis causas foram analisadas e incluídos em

uma tabela para priorização, nessa mesma tabela foram inseridos alguns critérios para que dentre todas as causas levantadas, as mais relevantes fossem priorizadas, sendo estas destacadas em verde no quadro 3.

Importante salientar que a matriz de priorização possui um peso para cada critério, sendo que o número dado para cada possível causa deve ser multiplicado pelo peso de cada critério, obtendo assim um valor total, logo, as causas que obtiveram as maiores notas foram priorizadas.

Quadro 3. Possíveis causas levantadas e priorizadas.

Pinhão Frota C44	Rolamento frota C44	Armadura Frota C44	Campo frota SD70	Armadura frota SD70	Causas Levantadas	Critérios de Priorização					
						Total					Total
						Potencializa impacto na malha	Possui autonomia para resolver	Possui agilidade na solução	Tendência	Frequência de Eventos	
Peso do Critério						10	8	7	6	6	
		X			Excesso de tensão durante os testes de isolamento do sistema	2	1	5	1	1	75
		X			Modelo de operação (Trem Misto)	5	3	1	5	5	141
		X			Fim de vida útil do isolante da bobina	3	2	2	1	2	78
		X			Falha nos testes elétricos durante qualificação (Analisador)	5	5	1	5	5	157
		X			Motores operando acima de 04 anos	5	3	1	4	4	129
		X			Falha no processo de impregnação	5	3	1	3	4	123
		X			Fim de vida útil dos cabos de MT	3	4	4	2	2	114
		X			Fim de vida util das abraçadeiras/mangote de fixação dos cabos de MT	2	4	4	2	2	104
		X			Falha de fabricação das escovas	2	2	1	2	2	67
		X			Falha manutenção ao realizar troca de escovas	2	2	1	1	2	61
		X			Fim de vida útil do conjunto porta escovas	2	2	1	1	1	55
		X			Falha na montagem ou manutenção do conjunto de porta escova	2	2	1	1	1	55
	X				Quantidade de lubrificante no rolamento de MT deficiente	3	2	2	1	1	72
	X				Lubrificante do rolamento errado	4	1	1	1	1	67
	X				Falha no procedimento de lubrificação do rolamento	4	4	5	1	1	119
	X				Uso de rolamento de MT fora da especificação	5	3	3	1	1	107
	X				Falha na operação do aquecedor indutivo	2	2	1	1	1	55

	X			Falha de procedimento do operador ao aquecer o rolamento	3	2	1	1	1	65
	X			Falha na qualificação das tampas recuperadas pelo fornecedor	4	4	5	2	2	131
	X			Fim de vida útil das tampas de MT	3	2	1	1	1	65
	X			Medição incorreta do dimensional	4	4	5	1	1	119
	X			Fim de vida útil do rolamento do MT	5	2	3	1	1	99
X				Falha operacional	3	2	1	1	1	65
X				Configuração do Trem (Trem Misto)	3	2	2	1	1	72
X				Falha na operação do aquecedor indutivo	2	2	1	1	1	55
X				Falha de procedimento do operador ao aquecer o Pinhão	2	3	3	1	1	77
X				Falta de cumprimento das especificações/ instruções do manual do fabricante	2	4	4	2	1	98
X				Eixo fora das especificações de aplicação	2	3	1	2	1	69
X				Falta de aplicação de produto Anti-fricção - (PST - Solution)	3	4	5	1	1	109
X				Sujeira na superfície de contato	2	5	5	1	1	107
X				Falha de material do pinhão	3	2	2	2	3	90
X				Falha de Projeto (Pinhão AH30)	2	2	1	2	3	73
			X	Fim de vida útil da armadura	3	4	3	2	1	101
			X	Falta de controle do tempo de operação da armadura	3	4	3	1	2	101
			X	Falha no processo de impregnação	3	2	2	3	3	96
			X	Armaduras operando a mais de 4 anos	4	3	2	1	1	90
			X	Falha nos testes elétricos durante qualificação (Analisador)	5	5	1	5	5	157
			X	Modelo de operação (Trem Misto)	3	3	1	1	1	73
			X	Fim de vida útil do isolante da bobina	3	1	2	1	1	64
			X	Motores operando acima de 04 anos	3	2	2	3	2	90
			X	Falha no processo de impregnação	3	2	1	4	3	95
			X	Fim de vida útil dos cabos de MT	3	4	2	2	2	100
			X	Fim de vida útil das abraçadeiras/ mangote de fixação dos cabos de MT	3	3	3	2	2	99

Fonte: Autores (2021).

A partir das causas que foram priorizadas conforme tabela acima, iniciou-se uma análise de comprovação dessas possíveis causas dos problemas, isso foi feito através de pesquisas de campo e discussões técnicas com as equipes de manutenção dos motores de tração, ao final das discussões e análises técnicas foram definidas dez causas como fundamentais para as ocorrências de falhas nas frotas Dash-09 e SD70 de motores de tração conforme mostra quadro 4.

Quadro 4. Causas fundamentais das falhas em motores de tração.

Pinhão Frota C44	Rolamento frota C44	Armadura Frota C44	Campo frota SD70	Armadura frota SD70	Causas a Serem Tratadas
X					Falta de cumprimento das especificações/ instruções do manual do fabricante
X					Falta de aplicação de produto Anti-fricção - (PST - Solution)
X					Sujeira na superfície de contato
X					Falha de material do pinhão
	X				Uso de rolamento de MT fora da especificação
	X				Falha na qualificação das tampas recuperadas pelo fornecedor
	X				Medição incorreta do dimensional
		X			Falha nos testes elétricos
			X		Falta de controle do tempo de operação da armadura
				X	Falha nos testes elétricos

Fonte: Autores (2021).

Com as causas a serem tratadas definidas, foi elaborado o plano de ação para atingimento da meta estabelecida. No plano de ação foi utilizado a ferramenta 5W2H e com base nas dez causas a serem tratadas foi elaborado o plano de ação contemplando um total de 29 ações.

4.4 Execução das ações e resultados

Todas as ações foram executadas por todos os envolvidos no trabalho conforme ferramenta 5W2H e definido que o período de avaliação dos resultados seriam os últimos três meses do ano de 2020. Logo, foi possível observar que o indicador de acompanhamento das falhas relacionadas a motor de tração havia melhorado conforme quadro 5.

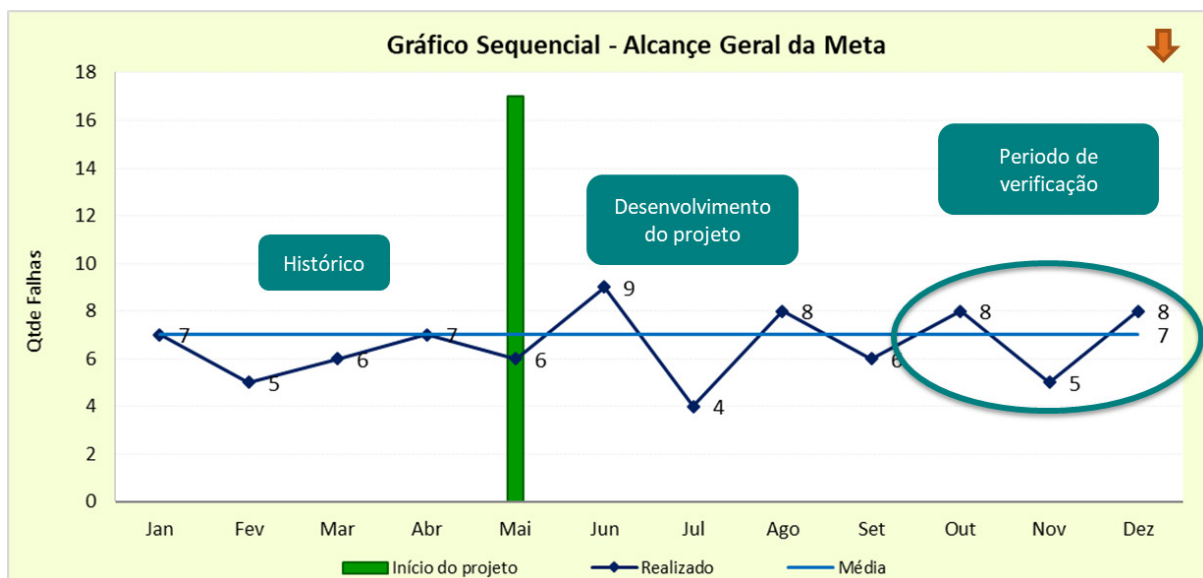
Quadro 5. Acompanhamento do indicador durante o projeto.

Mês:	Realizado	Meta	Início do projeto
jan/20	7	7	
fev/20	5	7	
mar/20	6	7	
abr/20	7	7	
mai/20	6	7	17
jun/20	9	7	
jul/20	4	7	
ago/20	8	7	
set/20	6	7	
out/20	8	7	
nov/20	5	7	
dez/20	8	7	

Fonte: Autores (2021).

No período definido para verificação dos resultados apesar de nos meses de outubro e dezembro o número de falhas foram 8 falhas/mês, foi observado que o indicador havia melhorado e se mantido dentro da meta estabelecida de 7 falhas/mês na média conforme gráfico 15.

Gráfico 15. Alcance geral da meta



Fonte: Autores (2021).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho apresentou-se uma abordagem prática da metodologia PDCA voltada a uma área de manutenção de ativos de locomotivas aliada as ferramentas da qualidade, sendo possível observar que as metas propostas foram atingidas e principalmente mantidos na rotina de acompanhamento da área de manutenção de componentes de locomotivas.

Outro importante fator a ser considerado é que o objetivo de utilização da metodologia PDCA aliada as ferramentas da qualidade, podem ser aplicadas de maneira efetiva em um processo de manutenção de ativos, sendo possível obter resultados significativos, tanto na esfera da qualidade do processo quanto nos resultados financeiros devido a redução das falhas.

Por tudo isso é possível afirmar que a metodologia PDCA pode ser adotada em qualquer processo, seja processo de manutenção, como também de produção de diferentes produtos em diferentes cenários, além disso, é importante acrescentar que a metodologia PDCA aliada as principais ferramentas da qualidade, torna-se muito mais efetiva além de resultados significativos.

Referências

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. 1994. Disponível em: <<https://idoc.pub/documents/nbr-5462>>. Acessado em: 03 de junho de 2025.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ISO 55001**: Gestão de ativos. 2018. Disponível em: <<http://abcbre.org.br/>>. Acessado em: 03 de junho de 2025.
- COSTA, E. A. D. **Gestão Estratégica**. São Paulo: Editora Saraiva, 2007.
- FOGLIATO, F. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2009.
- GREGÓRIO, G. F. P.; SANTOS, D. F.; PRATA, A. B. **Engenharia de manutenção**. Porto Alegre: Grupo A, 2018.
- GREGÓRIO, G. F. P.; SILVEIRA, A. M. D. **Manutenção industrial**. Porto Alegre: Grupo A, 2018.
- JR., A. P.; SAMPAIO, C. A. C.; FERNANDES, V. **Gestão Empresarial e Sustentabilidade**. Barueri: Editora Manole, 2016.
- LOBO, R. N. **Gestão da Qualidade**. São Paulo: Editora Saraiva, 2010.
- LIMEIRA, E. T. N. P.; LOBO, R. N.; MARQUES, R. N. **Controle da Qualidade** - Princípios, Inspeção e Ferramentas de Apoio na Produção de Vestuário. São Paulo: Editora Saraiva, 2015.
- MATIAS, P. **Manual de Metodologia da Pesquisa Científica**. São Paulo: Grupo GEN, 2016.
- MONTGOMERY, C. D. **Introdução ao Controle Estatístico da Qualidade**, 7ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016.
- PERLINGEIRO, C. A. G. **Engenharia de Processos**. São Paulo: Editora Blucher, 2005.
- PACHECO, P. E. **Gestão da Qualidade: Teoria e Prática**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2019.
- RIBEIRO, C. L. C. **Gestão da Qualidade: Conceitos e Técnicas**, 3ª edição. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2016.
- SOUSA, A. F. D.; NETO, A. de. B.; LUPORINI, C. E. de. M. **Manual de gestão empresarial: teoria e prática**. Barueri: Editora Manole, 2021.
- VOITTO. **Ciclo PDCA**: como funciona cada etapa. 2017. Disponível em: <<https://www.voitto.com.br/>>

blog/artigo/o-que-e-o-ciclo-pdca>. Acesso em: 03 de junho de 2025.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e Deming e Suas Ferramentas Analíticas**. São Paulo: Grupo GEN, 2012.

ZANINI, M. T. **Gestão integrada de ativos intangíveis**, 1ª edição. São Paulo: Editora Saraiva, 2017.