Redução da Taxa de Falhas no Sistema de Transporte e Abastecimento de Areia do PIAL por Meio da Metodologia Seis Sigma

Autor: Robert Rodrigues

Resumo

Este artigo apresenta os resultados de um projeto Seis Sigma Yellow Belt aplicado ao sistema de transporte, armazenamento e abastecimento de areia do PIAL, na Estrada de Ferro Carajás. O objetivo foi reduzir a taxa média de falhas de 1,01 para 0,25, por meio da identificação e mitigação de causas raízes, padronização de processos e implantação de ações corretivas. A abordagem metodológica seguiu o ciclo PDCA, com foco em análise de dados históricos, estratificação de falhas, priorização de causas e execução de plano de ação. Os resultados demonstraram uma redução de 93,63% na taxa de falhas e economia de R$ 29.300,00 em ordens emergenciais, validada pela gestão econômica.

Palavras-chave: Seis Sigma, PDCA, confiabilidade, manutenção ferroviária, PIAL, falhas operacionais.

Abstract

This paper presents the results of a Six Sigma Yellow Belt project applied to the sand transportation and supply system at PIAL, part of the Carajás Railway. The goal was to reduce the average failure rate from 1.01 to 0.25 through root cause analysis, process standardization, and corrective actions. The methodology followed the PDCA cycle, focusing on historical data analysis, failure stratification, cause prioritization, and action plan execution. Results showed a 93.63% reduction in failure rate and savings of BRL 29,300 in emergency orders, validated by the financial management team.

Sumário

1. Introdução
2. Metodologia
3. Desenvolvimento e Resultados
   3.1 Identificação do Problema
   3.2 Análise do Fenômeno
   3.3 Análise do Processo
   3.4 Plano de Ação
   3.5 Execução e Verificação
4. Conclusões
5. Referências

---

1. Introdução

O sistema de abastecimento de areia do PIAL é essencial para garantir a segurança operacional das locomotivas da Estrada de Ferro Carajás. A alta taxa de falhas observada

impactava diretamente a disponibilidade do sistema e a eficiência logística. Este projeto teve como objetivo aplicar a metodologia Seis Sigma para reduzir significativamente essas falhas, promovendo maior confiabilidade e padronização dos processos.

A figura 01 indica onde no circuito da ferrovia o problema está inserido.

---

2. Metodologia

Foi adotado o ciclo PDCA com suporte da metodologia Seis Sigma Yellow Belt. As etapas incluíram:

- Coleta e validação de dados históricos via Power BI e SAP
- Estratificação por tipo de falha e ativo
- Análise de causa e efeito (FTA, Pareto, Boxplot)

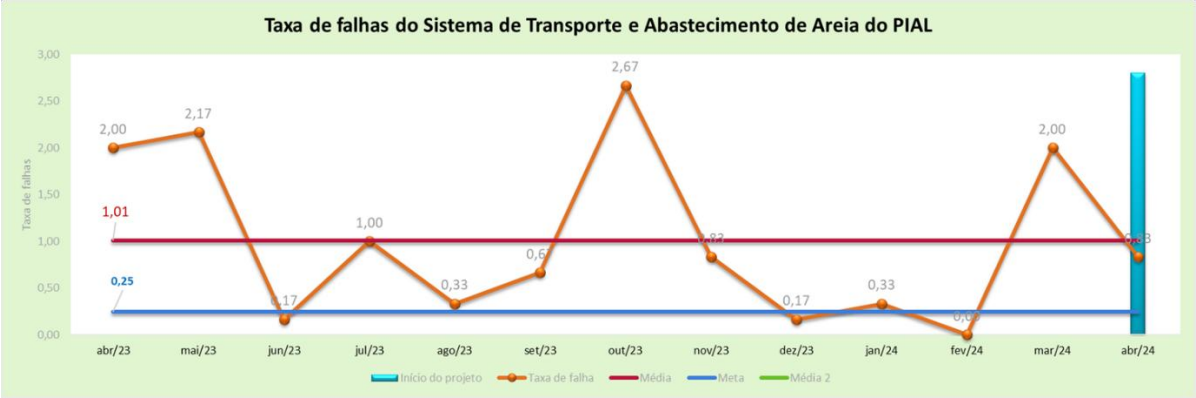
- Priorização de causas com critérios técnicos
- Planejamento e execução de ações corretivas (5W2H)

---

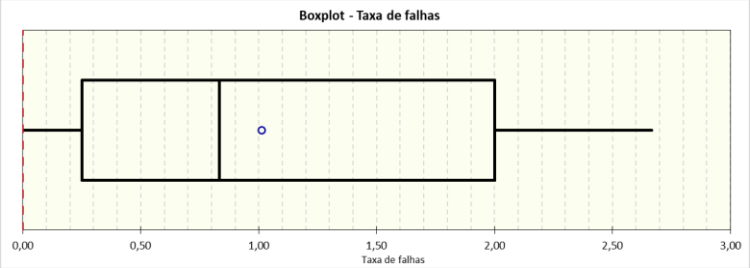
3. Desenvolvimento e Resultados

3.1 Identificação do Problema

A taxa média de falhas era de 1,01 (abril/23 a abril/24). A meta estabelecida foi 0,25 até novembro/24. O indicador utilizado foi o número de falhas por linha de ativos. O sistema envolvia 13 silos, 24 vasos de abastecimento, 3 vasos de transporte, 25 válvulas de desvio e 6 linhas de abastecimento.

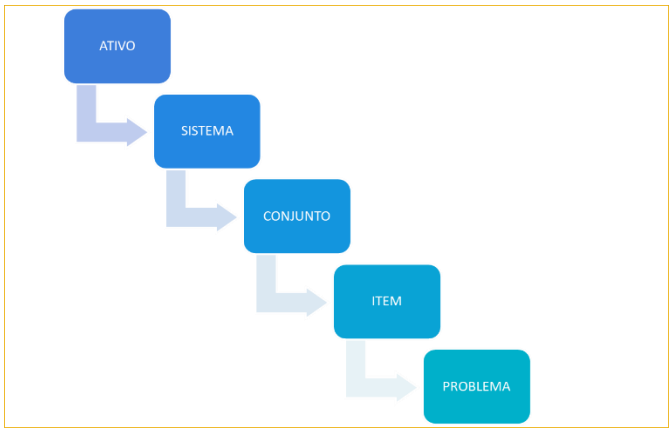


Variável	Número de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Amplitude
Taxa de falha	13	1,01	0,89	0,00	0,25	0,83	2,00	2,67	2,67



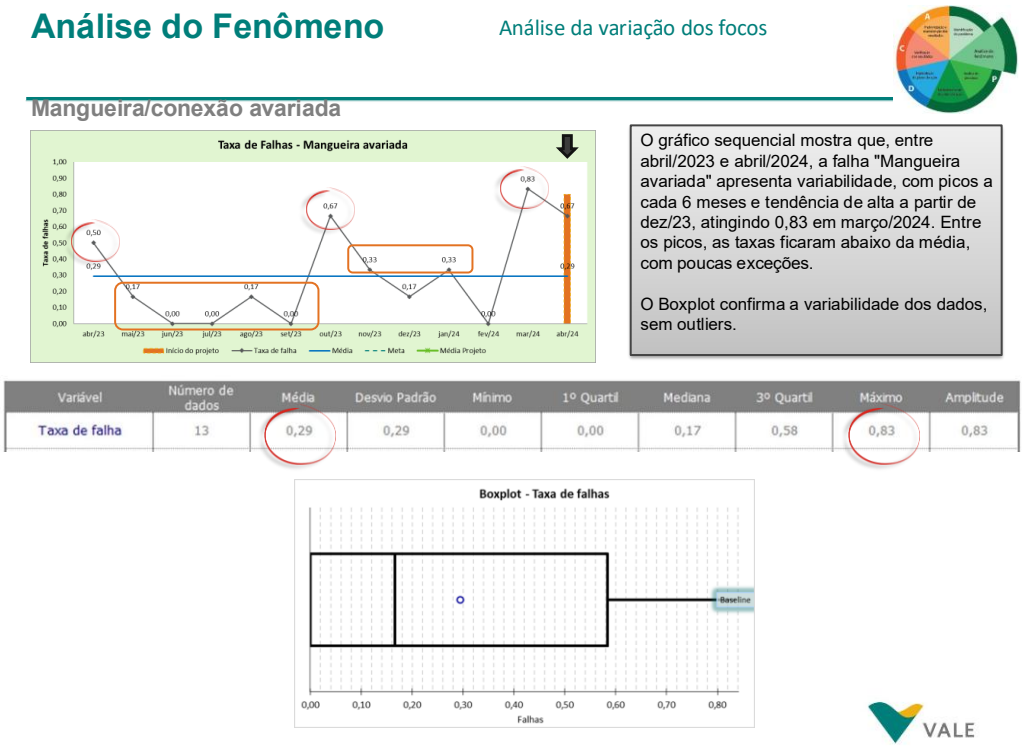
3.2 Análise do Fenômeno

As estratificações foram realizadas de acordo com este fluxograma, priorizando as classificações por ativo, sistema, conjunto, item e problema.



As falhas foram estratificadas em quatro focos principais. Cada foco foi analisado com gráficos sequenciais e boxplots, revelando variabilidade e picos recorrentes. Metas específicas foram definidas para cada foco, com base no primeiro quartil e histórico de falhas.

- **Foco 1**: Mangueira avariada



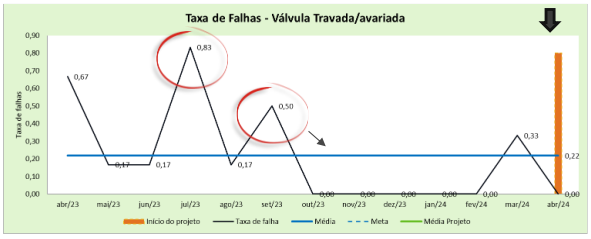
Variável	Número de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Amplitude
Taxa de falha	13	0,29	0,29	0,00	0,00	0,17	0,58	0,83	0,83

- **Foco 2**: Válvula travada

Análise do Fenômeno

Análise da variação dos focos

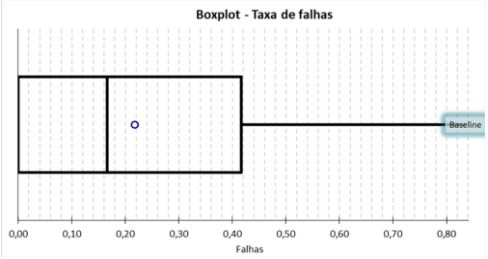
Válvula travada/avariada



No período de abril/2023 a abril/2024, a falha "Válvula travada/avariada" apresentou variabilidade, com pico de 0,83 em julho/2023 e tendência de queda a partir de setembro/2023.

O Boxplot indica ausência de outliers, com variação entre 0 e 0,42.

Variável	Número de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Amplitude
Taxa de falha	13	0,22	0,28	0,00	0,00	0,17	0,42	0,83	0,83

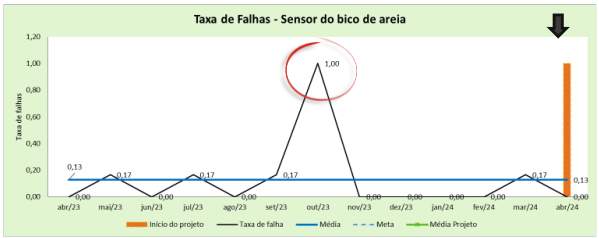


- **Foco 3**: Sensor do bico de areia avariado

Análise do Fenômeno

Análise da variação dos focos

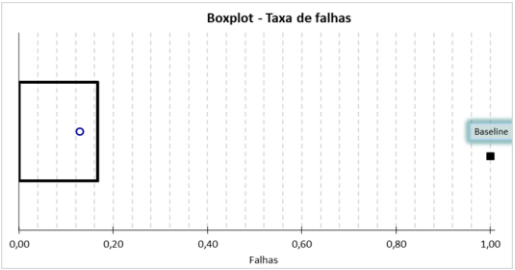
Falha do Sensor do bico de areia



O modo de falha "Sensor do bico de areia avariado" apresentou pequena variabilidade, com pico de 1,00 em outubro/2023. O gráfico não indica tendências.

O Box-plot revela presença de Outlier e variação de dados entre 0,00 e 0,17.

Variável	Número de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Amplitude
Taxa de falha	13	0,13	0,27	0,00	0,00	0,00	0,17	1,00	1,00

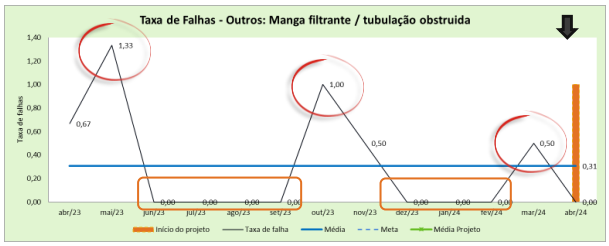


- **Foco 4**: Outros (coifa, manga filtrante, tubulação obstruída)

Análise do Fenômeno

Análise da variação dos focos

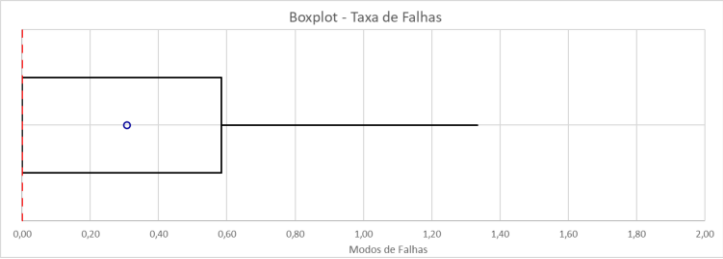
Outros: Manga filtrante / tubulação obstruída



O gráfico sequencial mostra que a falha "Manga filtrante/tubulação obstruída" apresentou variabilidade, com picos recorrentes a cada seis meses e taxa zero de falha nos intervalos entre eles.

O boxplot indica uma variação concentrada de 0,00 a 0,58, sem a presença de outliers.

Variável	Número de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Amplitude
Taxa de falhas	13	0,31	0,46	0,00	0,00	0,00	0,58	1,33	1,33



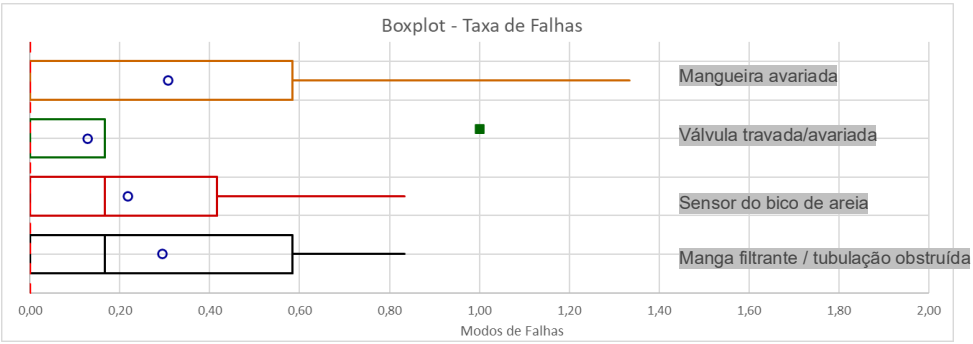
VALE

Na comparação dos focos mostra que a falha "Manga filtrante/tubulação obstruída" apresentou variabilidade, com picos recorrentes a cada seis meses e taxa zero de falha nos intervalos entre eles.

Análise do Fenômeno

Análise da variação dos focos

Comparação dos focos



Análise descritiva

Variável	Número de dados	Média	Desvio Padrão	Mínimo	1º Quartil	Mediana	3º Quartil	Máximo	Amplitude
Mangueira avariada	13	0,29	0,29	0,00	0,00	0,17	0,58	0,83	0,83
Válvula travada/avariada	13	0,22	0,28	0,00	0,00	0,17	0,42	0,83	0,83
Sensor do bico avariado	13	0,13	0,27	0,00	0,00	0,00	0,17	1,00	1,00
Manga filtrante/ tubul obstr	13	0,31	0,46	0,00	0,00	0,00	0,58	1,33	1,33

VALE

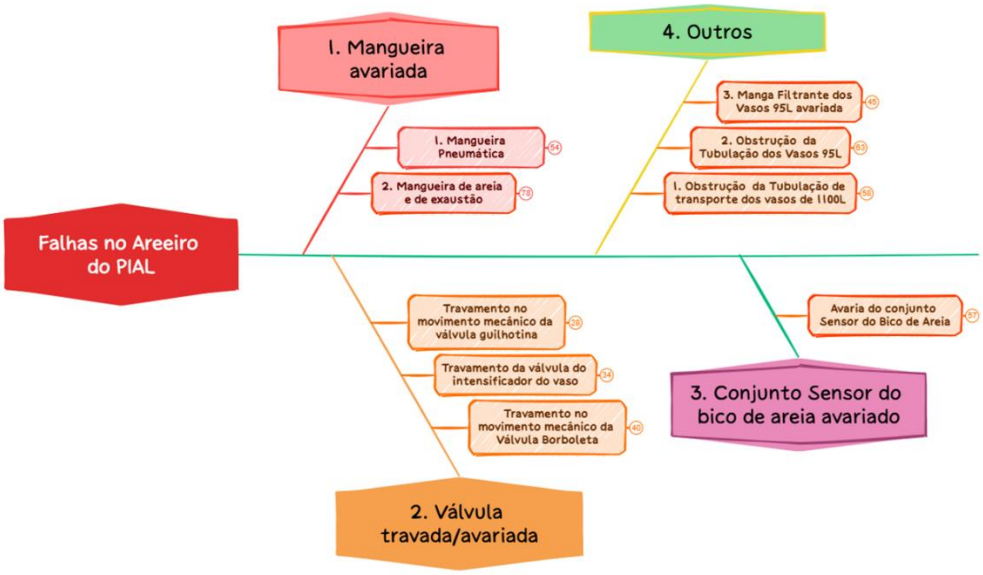
O boxplot indica uma variação concentrada de 0,00 a 0,58, sem a presença de outliers.

3.3 Análise do Processo

Foram identificadas 36 causas potenciais, das quais 22 foram comprovadas. As principais causas incluíam:

- Ausência de parâmetros operacionais
- Falhas de projeto (conectores, lógica de controle)
- Falta de tarefas de manutenção específicas
- Bypass indevido de sensores
- Degradação de componentes

Para levantamento das causas foi aplicada a metodologia FTA com a utilização de sistema de mapa mental.

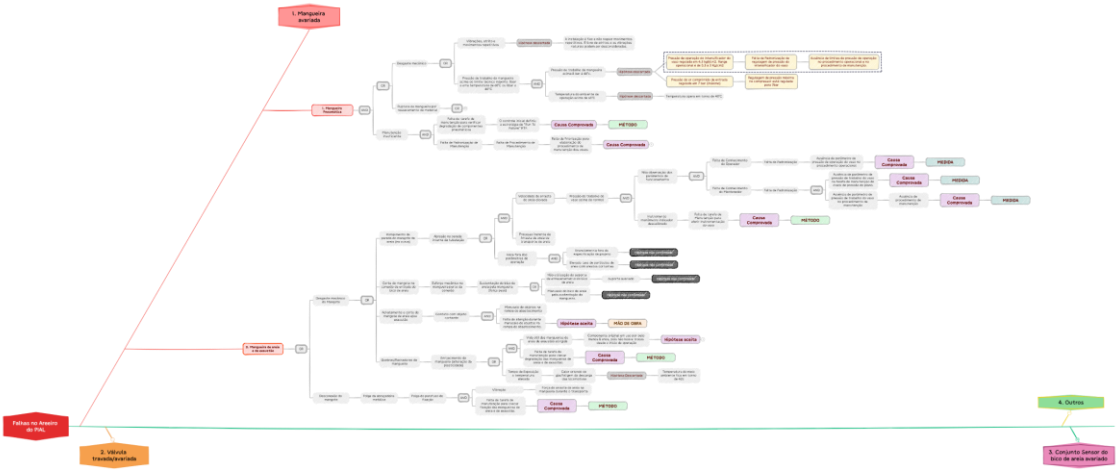


FTA do foco 01 - Mangueira avariada

Análise do Processo

Levantamento das Causas

Foco 01 - Mangueira avariada

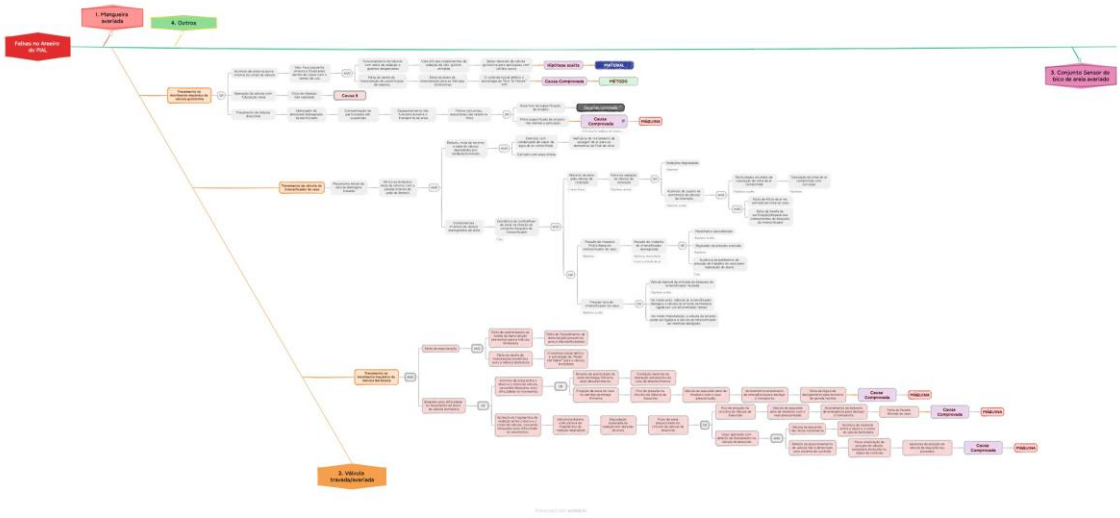


FTA do Foco 02 - Válvula travada/avariada

Análise do Processo

Levantamento das Causas

Foco 02 - Válvula travada/avariada

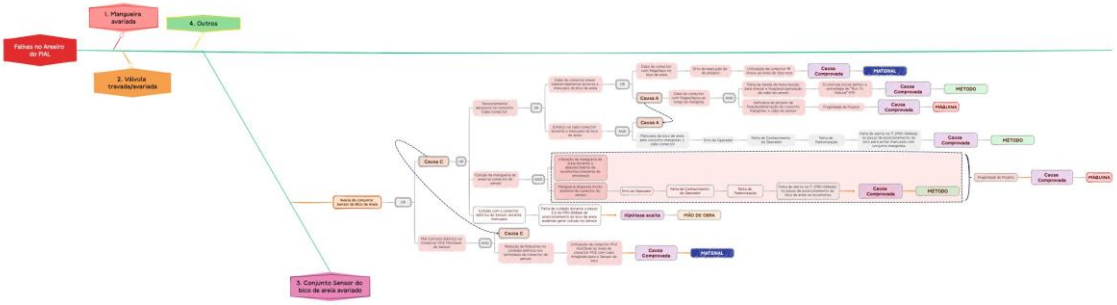


FTA do Foco 03 - Sensor do bico de areia

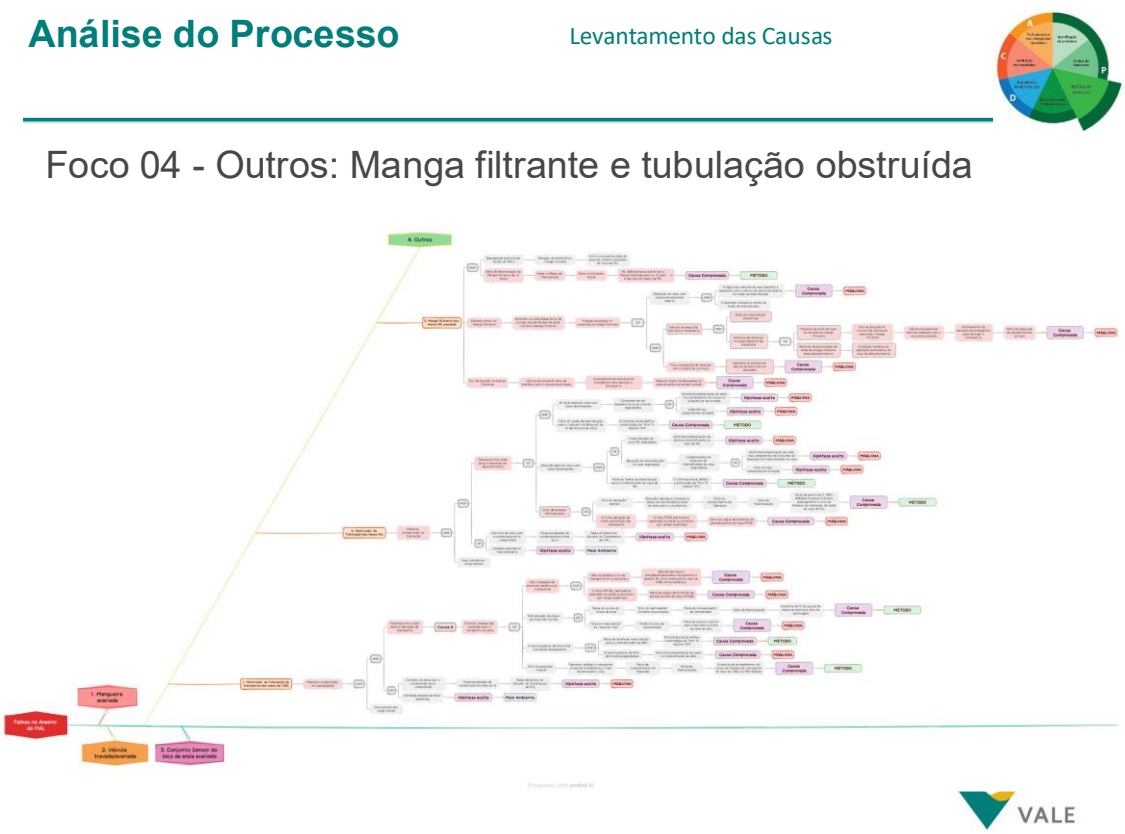
Análise do Processo

Levantamento das Causas

Foco 03 - Sensor do bico de areia



FTA do Foco 04 - Outros: Manga filtrante e tubulação obstruída



3.4 Plano de Ação

Foram planejadas 29 ações, com 20 priorizadas. Destaques:

- Substituição de mangueiras e conectores
- Revisão de planos de manutenção no SAP

Implantação do Plano de Ação

4. Revisar plano de manutenção dos vasos de transporte de areia

Realizada ação de **revisão do plano de manutenção** preventiva incluindo a verificação dos itens **causadores das falhas que mais impactaram em 2023**.

ANTES: Consulta de abertura de YCM's em 2022 e 2023

DEPOIS: Consulta de abertura de YCM's em 2024 e 2025

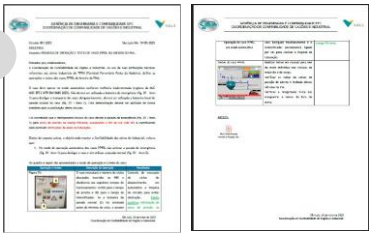
- Implementação de nova lógica de controle

Implantação do Plano de Ação

2. Implementar nova lógica de controle de abastecimento

Circular de Confiabilidade publicada

1



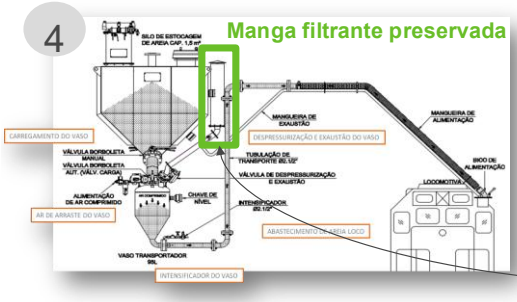
Descrição da nova lógica de controle

2

Operação e testes	Descrição da Operação	Resultados
Figura 01: Operação do vaso PP95L em modo automático	O vaso executará o número de ciclos desejados inseridos na IHM e obedecerá aos seguintes tempos de funcionamento: 1m30s para o tempo de arraste e 30s para o tempo do intensificador. Se a botoeira de parada normal (2) for acionada antes do término do ciclo, o arraste será desligado imediatamente e o intensificador permanecerá ligado por 30s para realizar a limpeza da tubulação.	Controle de execução de ciclos de abastecimento em automático e limpeza do circuito para evitar obstrução. Efeito positivo: eliminação de picos de pressão na manga filtrante.
Testes do vaso PP95L	Realizar testes em manual pela IHM de modo individual nas válvulas de exaustão e de carga. Verificar os status do sensor de posição de aberto e fechado destas válvulas na IHM. Verificar a integridade física das mangueiras e sensor do bico de areia.	

4

Manga filtrante preservada



3

Efeito positivo: eliminação de picos de pressão no circuito da manga filtrante.

- Treinamento das equipes de operação e manutenção

Implantação do Plano de Ação

7. Treinar equipe na operação do vaso de 95L, utilizando a nova lógica de controle
8. Treinar equipe da industrial no procedimento de manutenção dos vasos

1. Treinamento TWI do vaso de 95L com o time de operação.

2. Treinamento do time de execução no procedimento de manutenção dos vasos.

VALE

- Kaizen na proteção do sensor do bico de areia

Implantação do Plano de Ação

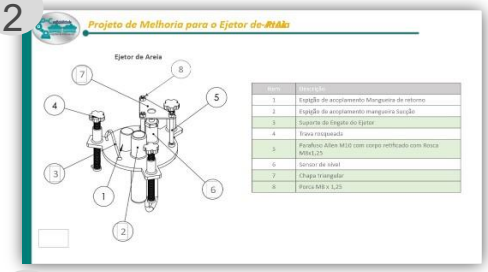
1. Realizar kaizen para proteção do cabo / conector do sensor do bico de areia.

Projeto 3D

1

Projeto Detalhado

2



Proteção cabo

Proteção Sensor

3

Implementado

4

Nos testes realizados, verificou-se que as forças externas que impactavam o cabo e o conector do sensor não foram eliminadas. Entretanto, **com a melhoria da proteção, toda a força passou a ser absorvida, garantindo a integridade dos componentes do conjunto cabo do sensor.**

3.5 Execução e Verificação

A aderência ao plano foi de 87,5%. A taxa de falhas caiu para 0,11 no período de verificação (out-dez/24), superando a meta. No período total (out/24 a mai/25), a média caiu para 0,08, com redução do desvio padrão de 0,89 para 0,09.

Ganhos obtidos:

- Redução de 93,63% na taxa de falhas
- Redução de 99,95% no tempo de parada
- Aumento do MTBF de 107,69h para 1420,29h (+732%)
- Economia de R$ 29.300,00 validada pela gestão econômica

---

4. Conclusões

O projeto demonstrou que a aplicação estruturada do Seis Sigma e PDCA é eficaz na melhoria da confiabilidade de sistemas ferroviários. A replicação das soluções para outros ativos similares está em andamento, com potencial de ampliação dos ganhos. A padronização dos procedimentos e o monitoramento contínuo dos indicadores garantem a sustentabilidade dos resultados.

---

5. Referências

- ABNT NBR 15954
- AAR-M-916-51
- Relatórios Power BI da Confiabilidade de Vagões e Industrial
- Procedimentos PRO-024666 e PRO-046861
- Cartilha Seis Sigma Vale
- Dados operacionais do SAP
- FMDS – Confiabilidade EFC