

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
ENGENHARIA DA CONFIABILIDADE APLICADA À MANUTENÇÃO

EDSON AGUIAR DA SILVA

**APLICAÇÃO DA CONFIABILIDADE UTILIZANDO DMAIC
SEIS SIGMA EM MOTORES ELÉTRICOS DE LOCOMOTIVA**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

CURITIBA

2012

EDSON AGUIAR DA SILVA

APLICAÇÃO DA CONFIABILIDADE UTILIZANDO DMAIC SEIS SIGMA EM MOTORES ELÉTRICOS DE LOCOMOTIVA

Monografia de conclusão do Curso de Especialização em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção, do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Engenharia da Confiabilidade Aplicada à Manutenção.

Orientador: Prof. Dr. Eng. Emerson Rigoni

CURITIBA
2012

EDSON AGUIAR DA SILVA

APLICAÇÃO DA CONFIABILIDADE UTILIZANDO DMAIC SEIS SIGMA EM MOTORES ELÉTRICOS DE LOCOMOTIVA

Esta monografia foi julgada e aprovada para a obtenção do grau de **Especialista** no **Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Confiabilidade Aplicada na Manutenção** da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Curitiba, 29 de Março de 2012.

Prof. Dr. Eng. Emerson Rigoni
(Orientador - UTFPR)

Prof. M.Sc. Carlos Henrique Mariano
(Membro da Banca - UTFPR)

Prof. M.Sc. Marcelo Rodrigues
(Membro da Banca - UTFPR)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, o Grande Arquiteto do Universo, e todos que contribuíram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

Agradeço a meu orientador Professor Emerson Rigoni Dr. Eng. que com muita paciência, atenção, disponibilizou um tempo para me ajudar a melhorar meu projeto.

Agradeço a minha companheira Josiane e meu filho Eduardo, que me motivaram nesta jornada.

À empresa ALL, na figura do meu gerente industrial, Giuliano Fucci Cordeiro pela abertura da empresa para a realização deste estudo.

Agradeço a Prof.^aDra. Faimara do Rocio Strauhs da UTFPR.

RESUMO

Silva, Edson Aguiar da. **Estudo da Confiabilidade utilizando DMAIC seis sigma em motores elétricos de locomotiva**. 2012. 88 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade aplicada à manutenção) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR-PR, Curitiba, 2012.

Este trabalho analisa um dos principais componentes das locomotivas, os motores de tração que deve apresentar alta confiabilidade a fim de proporcionar um transporte eficaz e eficiente. No decorrer dos três últimos anos, porém este componente vem apresentando uma alta taxa de falha em garantia, isto é, um número grande de motores de tração falha antes de completar seis meses de aplicação na locomotiva. Este tempo mínimo de seis meses é o exigido pela superintendência da área, quando o motor é reparado na oficina. Baseado em um levantamento quantitativo, no qual serão retiradas amostras do banco de dados da rastreabilidade interna do *Back Shop* (área responsável pelo processo), com amostra direta e levantamentos qualitativos, se verificará os tipos de falhas mais frequentes nos motores de tração durante o período de seis meses em operação.

Palavras-chave: Motor de tração. DMAIC seis sigma. Locomotivas Diesel-electric.

ABSTRACT

Silva, Edson Aguiar da. **Study of Reliability of traction motors of diesel-electric locomotives using DMAIC six sigma**. 2012. 88 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade aplicada à manutenção) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR-PR, Curitiba, 2012.

The focus of this research is to analyse one of the most important locomotive component, the traction motors. These motors must have high reliability to provide efficient rail transportation. Although in the last three years these components have been presenting high warranty failures. In other words, the number of assembled motors that fails in a period less than six months are high. The warrant period is determined from the main heads in our mechanics superintendance. Supported by a quantitative data, obtained from the Back Shop's reliability control spreadsheet and also with practical experiencing and a qualitative study, the main causes of traction motors failures inner six months period were identified.

Keywords: Traction motors. DMAIC six sigma. Diesel-electric.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALL	America Latina Logística
BS	Back Shop
DMAIC	Definir, Medir, Analisar, Melhorar, Controlar
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
RCM	Reability Centered Maintenance
RFFSA	Rede Ferroviária Federal
SAP	Systems Applications and Products
SIPOC	Suppliers, Inputs, Process, Outputs, Customers
TPM	Manutenção Produtiva Total
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMARIO

1INTRODUÇÃO	8
1.1 TEMA	8
1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	9
1.3 PROBLEMAS E PREMISSAS	10
1.4 OBJETIVOS	10
1.4.1 Objetivo Geral	11
1.4.2 Objetivos Específicos	11
1.5 JUSTIFICATIVA	11
1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	12
1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO	13
2DEFINE	15
2.1 QUADRO ATUAL DA CONFIABILIDADE NO MOTOR DE TRAÇÃO	17
2.2 DADOS DO MOTOR DE TRAÇÃO	19
2.3 ESCOPO DO PROJETO	22
2.4 ORGANIZACIONAL DO PROJETO	24
2.5 RESUMO DO DEFINE	25
2.6 PROBLEMAS IDENTIFICADOS	25
3MENSURE	27
3.1 DESMONTAGEM	28
3.2 LAVAGEM DAS PEÇAS	28
3.3 QUALIFICAÇÃO DE PEÇAS DOS MOTORES	29
3.4 REPARAÇÃO DOS ESTADORES DE MOTOR DE TRAÇÃO	29
3.5 MONTAGEM DOS MOTORES	30
3.6 MONTAGEM DAS ARMADURAS	30
3.7 ALINHAMENTO DAS ESCOVAS	31
3.8 APLICAÇÃO DO PINHÃO	31
4CALCULO DA META GERAL	32
4.1 METAS ESPECÍFICAS	34
4.2 GANHO FINANCEIRO ESTIMADO	36
4.3 RESUMO DOS DADOS MENSURADOS	39
5ANALISE	41
5.1 PROCESSO DE MOTOR DE TRAÇÃO NO BACK SHOP	41
5.2 MODOS DE FALHAS	42
5.3 ESTRATIFICAÇÃO DAS FALHAS POR MODO DE FALHA	44
6IMPROVAVEL	47
6.1 SOLUÇÕES PARA O RAMO MÃO DE OBRA	47
6.2 SOLUÇÃO PARA O RAMO MATÉRIA PRIMA	49
6.3 SOLUÇÃO PARA O RAMO MEDIÇÃO	52
6.4 SOLUÇÃO PARA O RAMO OPERAÇÃO	53

6.5 RESULTADOS ALCANÇADOS	56
6.6 RESUMO IMPROVÁVEL	58
7CONTROLE	59
7.1 RESULTADOS ESPERADOS APÓS O PROJETO	60
7.2 PLANO DE AÇÃO	65
7.3 O QUE FAZER PARA MANTER OS RESULTADOS?	70
7.4 AUDITORIAS PERIÓDICAS DO PROCESSO	70
7.5 TESTES DE MEDIÇÕES NOS COMPONENTES RECUPERADOS	70
7.6 CRONOGRAMA DE TREINAMENTOS E PROCEDIMENTOS.....	71
7.7 CRONOGRAMA DE CALIBRAÇÃO DAS FERRAMENTAS	72
7.8 PARTICIPAÇÃO NA CONTRATAÇÃO DE NOVOS COLABORADORES	73
8CONSIDERAÇÕES FINAIS	74
REFERÊNCIAS	75
ANEXOS	76

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Ciclo DMAIC de melhoria Seis Sigma	13
Figura 2 - Retorno de garantia em 2011	18
Figura 3 - Curva de análise de falhas ou curva da banheira	21
Figura 4 - Curva de análise de falhas dos motores num período de sete meses.....	22
Figura 5 - Diagrama SIPOC: Processo Back Shop	23
Figura 6 - Probabilidade de sucesso atual do motor de tração com peças novas e usadas	26
Figura 7 - Fluxograma de Processo simplificado Back Shop	27
Figura 8 - Calculo da meta em retorno em garantia de 2011	33
Figura 9 - Mapa do processo do motor de tração.....	42
Figura 10 - Distribuição da ocorrência dos modos de falhas.....	45
Figura 11 - Distribuição das ocorrências dos modos mais críticos.....	46
Figura 12 - Diagrama de Ishikawa do motor de tração.....	47
Figura 13 - Divulgação dos Resultados do PRV	48
Figura 14 - Acompanhamento técnico em todos os setores mais crítico	52
Figura 15 - Fluxo de informações antes (esquerda) e depois da mudança (direita).....	54
Figura 16 - Probabilidade de sucesso esperado com as mudanças propostas	59
Figura 17 - Confiabilidade x Tempo antes do projeto.....	60
Figura 18 - Confiabilidade x Tempo após o projeto.....	61
Figura 19 - Probabilidade de falha x tempo antes da implantação do projeto.....	61
Figura 20 - Probabilidade de falha x tempo após a implantação do projeto.....	62
Figura 21 - Taxa de falha x tempo antes do projeto	62
Figura 22 - Taxa de falha x tempo após o projeto	63
Figura 23 - Probabilidade de Weibul antes do projeto.....	63
Figura 24 - Probabilidade de Weibul após o projeto.....	64
Figura 25 - Estudo de viabilidade para a compra de peças novas.....	64

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será contemplado o tema desenvolvido neste projeto, bem como suas delimitações, seus problemas, suas premissas e seus objetivos, utilizando a implantação da Confiabilidade com a ferramenta DMAIC seis sigma para tomada de decisão.

1.1 TEMA

Segundo Tadeu (2009) nos últimos anos, tem-se discutido amplamente a gerência de manutenção preditiva, o autor define que a manutenção preditiva tem sido reconhecida como uma técnica eficaz de gerenciamento de manutenção. Nas três últimas décadas outras metodologias têm surgido como ferramentas de gerência de manutenção, tais como a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), DMAIC seis sigma ou *Reliability Centered Maintenance* (RCM). “Tais metodologias buscam avaliar o tipo de intervenção, corretiva ou preventiva, mais adequada para cada modo de falha” (KARDEC, 2010, p.19). Atualmente, a empresa America Latina Logística (ALL) utiliza a manutenção corretiva na maioria das tarefas de manutenção.

Borba (2009) relata que nos últimos anos as ferrovias vêm enfrentando novos desafios em função do perfil, da operação, do tipo de carga e do trem. Como já relatado anteriormente, a empresa vem executando manutenção corretiva para todo tipo de equipamento de manutenção, e com este estudo de campo pretende-se mudar algumas culturas da empresa, visando à obtenção da manutenção preventiva para maior qualidade nos equipamentos. Em uma mesma ferrovia, o transporte ferroviário apresenta diferentes classes de serviço, serviços de linha, serviços de pátio, serviços de manobra. Para obter o máximo de desempenho e de eficiência energética, Borba (2009) aconselha, seria utilizar a locomotiva adequada para cada ferrovia e para cada classe de serviço. Entretanto, isso demandaria a fabricação de locomotivas sob medida, o que produz um aumento dos custos, uma vez que os fabricantes mundiais de locomotivas as fabricam em série.

Como solução no Brasil, Borba (2009) relata que via de regra, as locomotivas de menor potência, não turbinadas, normalmente de maior idade, são utilizadas em serviços de pátio e de manobras, enquanto que as locomotivas de maior potência e mais modernas são utilizadas em serviços de linha. Para aumento da eficiência energética, são adotados trens longos acionados por tração múltipla ou por tração distribuída, fazendo uso de dispositivos eletrônicos modernos que visam melhor utilizar a potência produzida pelo motor diesel ou a reduzir a resistência ao movimento do trem (BORBA, 2009).

Por isso, Borba (2009) também recomenda o uso de locomotivas específicas para manobras que custam menos, consomem pouco combustíveis e requerem uma manutenção bem simples e menos dispendiosa, se adaptam mais facilmente às curvas dos pátios, e são projetadas para operar em baixas velocidades, ou seja:

- Evitar, sempre que possível, o uso de locomotivas de grande potência em serviços de manobras, visto que tais locomotivas, principalmente aquelas com motor diesel superalimentado, são bastante eficientes do ponto de vista energético somente quando operam em plena capacidade;
- Utilizar locomotivas de manobras de baixa relação potência/peso, principalmente aquelas com dois motores diesel, locomotivas estas que, além de consumir pouco combustível, também requerem uma manutenção bastante simples e econômica, (BORBA, 2009, p.4).

Baseando-se no relato do autor pretende-se aplicar a confiabilidade seis sigma para implantar também a manutenção preventiva e estudar a locomotiva mais adequada para o tipo de manobra estipulada e os principais tipos de manutenção preventiva de cada motor da frota da América Latina Logística (ALL).

1.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

Desde a privatização da Rede Ferroviária Federal (RFFSA) em 1997, que as ferrovias brasileiras estão se esforçando para reduzir os custos e melhorar o aproveitamento da via permanente, Borba (2009, p.19) relata que o aumento da demanda de tração tornou necessário colocar em funcionamento as locomotivas refugadas, denominadas de frota morta, que as operadoras receberam juntamente com as ferrovias. A principal característica desta modalidade de tração é recuperar e

restaurar as locomotivas em todos os sentidos, inclusive o motor diesel, basicamente com peças qualificadas (recuperadas) na própria oficina da empresa.

O estudo de redução de falhas nos motores de tração é de grande importância para a empresa, pois são motores de alto custo e indispensáveis nas linhas da ferrovia. O retorno de garantia aumenta significativamente a cada mês, pois a cada reparação na oficina se reutiliza o máximo de peças usadas e reparadas.

Este estudo será baseado nas falhas freqüentes no período de zero a seis meses estipulado pelo gerente da empresa, que pretende explicar sobre o conhecimento necessário para seleção e implementação de um programa de gerência de manutenção abrangente e efetivo em termos de custos e reparos de motores de locomotivas C 30-7 GE, que se encontra nos modelos D31C30 GM, instalados ou em reparação na célula motor de tração. O processo envolvido será a reparação do motor de tração: desmontagem, lavagem, reparo e montagem na empresa America Latina Logística (ALL), situada na região do Cajuru, Curitiba,PR.

1.3 PROBLEMAS E PREMISAS

Os motores de tração devem apresentar alta confiabilidade a fim de proporcionar um transporte eficaz e eficiente. Este componente vem apresentando uma alta taxa de falha em garantia, isto é, um número grande de motores de tração falha antes de completar seis meses de aplicação na locomotiva, este tempo mínimo é o exigido pela superintendência da área.

Nos três últimos anos, o aumento de falhas prematuras de motores de tração aumentou significativamente, pois o histórico de falhas demonstrou que, a maioria das partes do motor de tração apresentou um aumento nos modos de falhas recentes (Figura 2), por má qualificação ou montagem na oficina ocasionando modos de falhas errados na planilha eletrônica de rastreabilidade, formando assim um histórico de falhas não confiável e ultrapassando a meta de 2,25% motores/mês, contabilizando um total de 18 motores/mês de retorno em garantia. Com este estudo, então, pretende-se propor ações capazes de reduzir significativamente e minimizar estas falhas durante cada mês.

1.4 OBJETIVOS

Reduzir 17% das falhas dos motores de tração D-31 C-30 GM em garantia, de um total de 18 motores mês para 15 motores.

1.4.1 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo de análise de falhas seguindo a metodologia DMAIC, para apoiar a tomada de decisão referente à melhor estratégia de gestão da manutenção dos motores de tração de locomotivas diesel-elétricas, modelo C-30 7.

1.4.2 Objetivos Específicos

Baseado no método DMAIC pretende-se

- D - *Define* (Definir): Definir o escopo do projeto, através de ferramentas da qualidade como SIPOC dentre outros para a melhoria do processo.
- M - *Measure* (Medir): Determinar a localização do problema, por meio do diagrama de pareto e estratificar quais os modos de falhas de maior criticidade do problema.
- A - *Analyze* (Analisar): Determinar as causas de cada problema utilizando um *brainstorming* com base no FMEA e prioriza-las como foco principal.
- I - *Improve* (Melhorar): Avaliar cada caso e implementar soluções através do diagrama de causa e efeito e matriz de priorização para cada problema prioritário.
- C - *Control* (Controlar): Garantir que o alcance da meta seja atingido e mantido a longo prazo através da correta execução de procedimentos.

1.5 JUSTIFICATIVA

Com uma análise quantitativa das falhas prematuras nos motores no período estipulado pela gerência do *Back Shop* (BS), e implantação do DMAIC, pretende-se reduzir os efeitos de indisponibilidade de locomotiva na oficina, ou seja, reduzir o prazo de locomotivas paradas na oficina necessitando de peças, que em alguns meses vêm se apresentando cada vez mais evidentes por constantes paradas no trecho com relato de motores de tração avariado. Estas ocorrências vêm acontecendo com muita frequência na companhia.

A reconstrução de uma locomotiva já sucateada pelos países de primeiro mundo oferece a empresa uma possibilidade de aproveitamento da capacidade de tração de uma locomotiva até então inutilizada, com redução dos custos de investimentos em relação ao de uma locomotiva nova, sendo eficiente com peças usadas e reparadas na ALL.

Todos esses problemas têm altos custos para a empresa, principalmente com a indisponibilidade de máquinas causadas pelas paradas imprevistas. O conhecimento técnico e empírico adquirido ao longo do tempo e a constatação dos problemas com as falhas crônicas levantadas nos históricos de falhas que a empresa vem se deparando dia-a-dia na rastreabilidade interna, foi o que motivou a realização de um estudo para mitigar as falhas dentre este período estipulado pela gerência da empresa.

1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Está é uma pesquisa exploratória descritiva de campo que tem como objetivo estudar e analisar as principais falhas de motores de tração, e reduzir as falhas utilizando o método qualitativo e quantitativo, através de dados eletrônicos internos.

A metodologia utilizada tem o diagrama abaixo como base e foi retirada da Cristina Werkema (2010), onde a autora expõe de forma bem clara as etapas com uma metodologia usada para implantação do DMAIC, seis sigma (Figura 1).

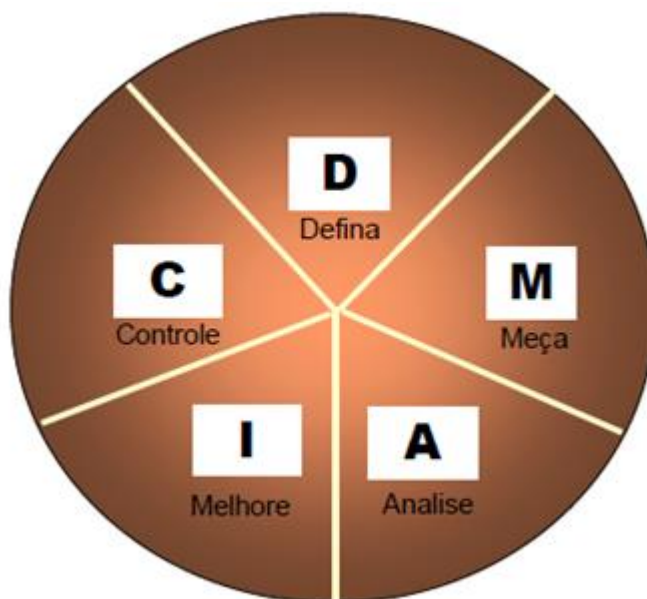


Figura 1 - Ciclo DMAIC de melhoria Seis Sigma
Fonte: Adaptada de Pande et al, (2004, p.40).

1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO

Para a elaboração deste trabalho será necessário aprofundar os conhecimentos em estudo dos seguintes assuntos:

- Motor elétrico de tração de corrente contínua;
- Máquinas elétricas;
- Manuais de montagem e reparação de motores de tração GM;

Os materiais utilizados para este estudo são manuais internos, livros específicos de engenharia de manutenção, engenharia de confiabilidade, teses e dissertações sobre o assunto, artigos e demais documentos pertinentes ao assunto, tomando como base principal Kosow (2005), Cavazoni (2008) e Cristina (2010) dentre outros.

1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

A seguir é apresentada uma breve explicação sobre como está estruturado este trabalho.

O capítulo 1 apresentará a descrição textual do sistema, definição do contexto operacional, caracterização das fronteiras e interfaces entre os subsistemas, diagrama funcional do sistema e diagrama lógico funcional do sistema.

O capítulo 2 apresentará a função define do sistema DMAIC, falhas associadas a cada função, modos como as falhas se originam, efeitos provocados pelas falhas e severidade de cada efeito.

O capítulo 3 apresentará a seleção de medir as funções significantes, se utiliza um processo estruturado para analisar cada função identificada na etapa anterior e determinar se uma falha tem efeito significativo.

O capítulo 4 pretende identificar o calculo da meta e as atividades aplicáveis à manutenção preventiva se é aplicável, a manutenção preventiva não é aplicável, ou outra ação alternativa é sugerida.

O capítulo 5 apresentará a análise das atividades.

O capítulo 6 pretende-se melhorar e obter os resultados do processo, os impactos operacionais, ambientais e físicos.

O capítulo 7 a definição da periodicidade e solução das atividades com confiabilidade, manutenibilidade, produtividade e otimização para minimizar as metas de redução estipulado pela gerência.

E o capítulo 8 apresentará o controle total da situação.

2 DEFINE

Um dos objetivos do *Back Shop* é fornecer peças com o máximo de confiabilidade para assegurar que não haja problemas de funcionamento ou paradas na operação das locomotivas. Um dos indicadores que medem a confiabilidade é o retorno de peças em garantia. Esse indicador mede o número de peças de cada tipo que voltam para a oficina e precisam ser reparadas ou substituídas nos seis meses seguintes a sua aplicação na locomotiva. Esse período de tempo foi fixado pela superintendência da mecânica e é calculado da seguinte forma:

$$\text{Retrabalho} = \frac{\text{Número de retornos do mês}}{\text{Consumo dos últimos 6 meses}} \times 100\%$$

Esse indicador vale 10 pontos, de um total de 100, na pontuação da meta da gerência de Materiais. Este índice tem se mostrado bastante problemático, pois influencia diretamente em outros indicadores como disponibilidade de locomotivas, locomotiva aguardando peças, dias entre falhas, além de impactar outras áreas da mecânica.

Atualmente o retrabalho é calculado para 34 componentes fornecidos pelo BS de Curitiba, divididos em duas categorias de componentes: elétricos e mecânicos. Cada um dos componentes define o que se chama de célula, uma estrutura de trabalho de recuperação do componente, com pessoal e espaço definidos. Estes componentes são chamados de componentes rastreados e estão mostrados no Quadro 1:

COMPONENTES MECÂNICOS				COMPONENTES ELÉTRICOS			
CLASSE A	META(%)	CLASSE B	META (%)	CLASSE A	META (%)	CLASSE B	META (%)
CMV	0,92	CABEÇOTE	0,87	BATERIA	1,77	MOTOR DE PARTIDA	3,44
COMPRESSOR	1,88	GOVERNADOR	4,48	GERADOR AUXILIAR	2,65	MOTOR DO FREIO DINÂMICO	0,79
CONJUNTO DE FORÇA	0,82	SOPRADOR	0,42	GERADOR PRINCIPAL	1,86	MOTOR DO VENTILADOR RADIADOR	1,2
MOTOR DIESEL	1,03	VÁLVULA P2A	2,03	MOTOR DE TRACÇÃO	2,25	MOTOR DO FILTRO DE INÉRCIA	1,67
RADIADOR	0,46	BOMBA DE ÁGUA	0,72	RESISTÊNCIA DE GRADE	0,07	VR10	2,79
RODEIRO	0,79	BOMBA DE ÓLEO	0,78			CONTADORES DE POTÊNCIA	0,42
TURBO	2,71	BOMBA DE COMBUSTÍVEL	1,17			QUADRO DE TEMPERATURA	2,97
VÁLVULA 26C	2,26	RESFRIADOR DE ÓLEO	1,3			CONTATOR DE REVERSÃO	0,44
		ENGATE	0,16			VR13	2,65
		DUAL PIPE	0			MOTOR DA BOMBA DE COMBUSTÍVEL	1,9
		TELA DE DESCARGA	0				

Quadro 1: Componentes rastreados Back Shop
Fonte: Arquivos Back Shop – Planilha Rastreabilidade

Com base no (Quadro 1) é possível obter os índices críticos usando a metodologia GUT dos subsistemas da locomotiva C-30 (Quadro 2). Essa metodologia nos prioriza das seguintes situações com relação ao motor de tração:

- (Gravidade) Componente extremamente grave.
- (Urgência) Precisa de ação imediata.
- (Tendência) Irá piorar rapidamente.

MATRIZ DE PRIORIZAÇÃO				
SUBSISTEMA	GRAVIDADE (G)	URGÊNCIA (U)	TENDÊNCIA (T)	RESULTADO
MOTOR DE TRACÇÃO	5	5	4	100
FREIOS	5	4	4	80
GERADOR PRINCIPAL	5	5	3	75
QUADRO DE CONTROLE DE TEMPERATURA	5	3	4	60

RODEIRO	4	5	3	60
RADIADOR	5	5	2	50
BOMBA COMBUSTÍVEL	4	4	3	48
GERADOR AUXILIAR	3	4	3	36
TURBO	4	4	3	48
COMPRESSOR	3	4	3	36
REGRID	3	4	3	36
GOVERNADOR	4	4	2	32
VR10	3	2	5	30
VR13	3	2	5	30
MOTOR DA BOMBA DE COMBUSTÍVEL	3	3	3	27
ENGATE	4	3	2	24
MOTOR DE PARTIDA	4	3	2	24
MOTOR DO VENTILADOR DO RADIADOR	3	4	2	24
BOMBA DE ÁGUA	3	3	2	18
MOTOR DO VENTILADOR DO FILTRO DE INÉRCIA	2	3	3	18
MOTOR DO VENTILADOR DO FREIO DINÂMICO	2	2	4	16
SOPRADOR	4	2	2	16
RESFRIADOR	2	3	2	12
BATERIA	2	3	2	12
CONTACTOR	2	2	3	12
TELA DE DESCARGA	3	2	2	12
DUAL PIPE	2	2	2	8
BOMBA DE ÓLEO	2	1	3	6

Quadro 2 - Matriz de priorização dos subsistemas da locomotiva C-30
Fonte: Arquivos Back Shop – Planilha Rastreabilidade

2.1 QUADRO ATUAL DA CONFIABILIDADE NO MOTOR DE TRAÇÃO

Observando os registros atuais (jan/2011) dos retornos em garantia do *Back Shop*, pode-se perceber que as metas não foram atingidas e que ocorreram muitas variações nas falhas dos motores de tração, com uma tendência de crescimento no mês de abril de 2011.

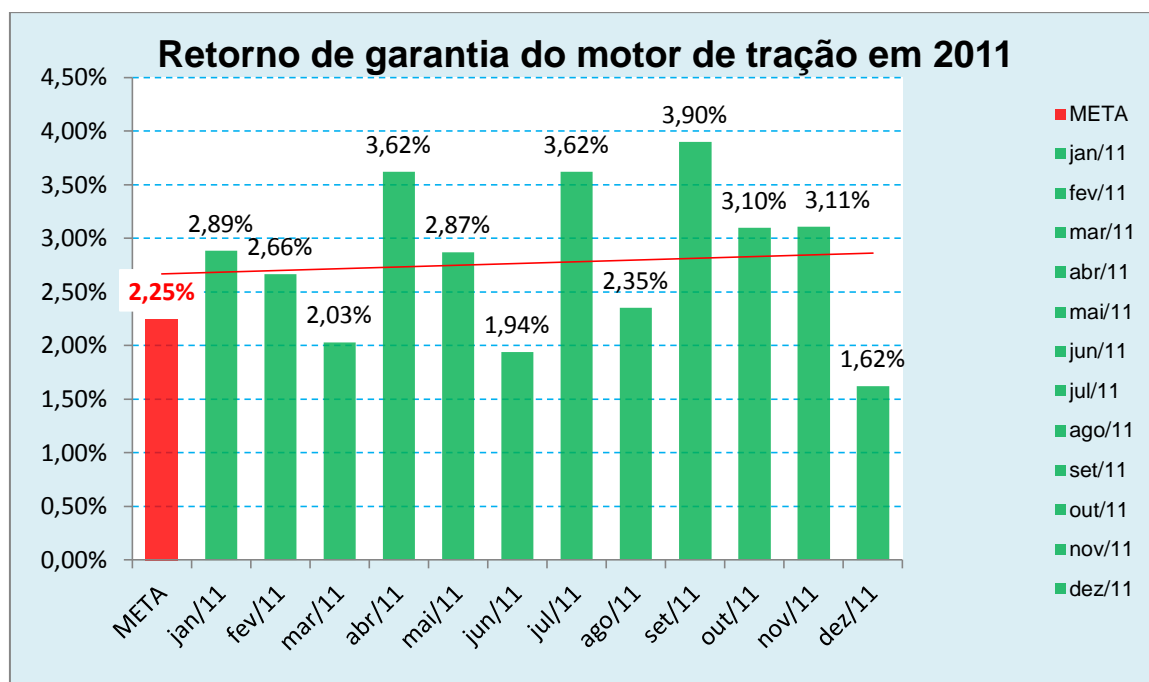


Figura 2 - Retorno de garantia em 2011

Fonte: Autor

Junto com as variações, nota-se uma tendência de alta nas falhas nos meses de abril, julho e setembro. Essa alta, além de não aceitável para um setor de manutenção, deve ser contida com urgência para que a quantidade de falhas e os índices não disparem como ocorreu nestes meses de 2011, como pode ser visto na (Figura 2).

Depois de cada pico de falhas, nota-se uma queda brusca em dezembro. Essa queda pode ter duas justificativas: a tomada de medidas emergenciais para conter a escalada das falhas e o acúmulo de peças nos postos, que acabam por ser enviados de uma só vez, dificultando o trabalho do BS. As medidas emergenciais reduziram momentaneamente a quantidade de retrabalhos, porém não foram permanentes por várias razões que serão mostradas nas etapas seguintes. De imediato, a existência dessas medidas mostra uma oportunidade interessante de usar o método DMAIC, nas condições necessárias para que seja eficiente a partir de sua aplicação.

Já o acúmulo de peças nos postos se deve aos problemas de logística e de rotina de envio de peças, que será tratado juntamente com a área de logística do BS.

Outro objeto a ser tratado é a abordagem dada à manutenção dentro da empresa como um todo. O que ocorre hoje é mobilizar mão de obra e planejamento para resolver o problema mais crítico em cada momento. Em outras palavras, são feitas muitas manutenções corretivas, que resolvem o problema, mas não atacam a causa, ao invés de preventivas, que são programadas e, por isso, permitem uma linearidade em todos os setores envolvidos com a manutenção. Há também a manutenção preditiva, que visa prever quando o problema ocorrerá por meio do monitoramento dos componentes durante o funcionamento.

Infelizmente, esse tratamento dado à manutenção persiste ao longo do tempo, pois os defeitos e o aumento da necessidade por tração exigem a produção praticamente emergencial de vários itens, pois os prazos de atendimento são sempre priorizados em detrimento da manutenção planejada. Um plano de ação focado na diminuição dos retornos de motor de tração em garantia impactará positivamente o comportamento do retorno em geral, além de colaborar com a formação de uma cultura de manutenções preventivas. Dessa forma, a médio e longo prazo a quantidade de manutenções diminuirá e as manutenções serão feitas com uma rotina definida, apenas com urgências eventuais.

2.2 DADOS DO MOTOR DE TRAÇÃO

O quadro a seguir representa dados do motor de tração, que serão considerados nas análises de viabilidade e melhoria feitas posteriormente sendo estipulados de acordo manual (IM 3904) os tempo de vida de um motor novo e recuperado. Os dados cobrem o período de janeiro de 2011 a agosto de 2012.

CONJUNTO COMPLETO DO MOTOR		
	NOVO	RECUPERADO
PREÇO (R\$)	61.400 mil	12.190 mil
VIDA ÚTIL	4 anos	2 anos

CONSUMO MENSAL MÉDIO (NOVOS E RECUPERADOS)	30 por mês
META DE RETRABALHO	2.25%
ÍNDICE DE RETRABALHO ATUAL	2.50%

Quadro 3 - Informações do motor de tração
Fonte: Autor

Observa-se o preço entre um equipamento novo e usado e o índice de retrabalho na empresa sendo comparado e tendo como base atual a meta de 2.25% e que atualmente está em 2.50% sendo desfavorável para a empresa.

PRINCIPAIS COMPONENTES				
	NOVO		RECUPERADO	
	PREÇO (R\$)	VIDA ÚTIL (ANOS)	PREÇO (R\$)	VIDA ÚTIL ESPERADA (ANOS)
ESTATOR	25000	4	2400	2
PORTA-ESCOVA	380	4	150	2
ESCOVA	20		10	
ROLAMENTO	600	4	300	2
COMUTADOR	7300	4	3000	2
ARMADURA	23800	4	2000	2
CAMPO	1900	4	170	2
INTERPOLO	1400	4	160	2

Quadro 4 - Informações dos subcomponentes
Fonte: Autor

De início, deve-se chamar a atenção para a idade dos motores em uso. A maior parte destes já superou em muitos anos a sua vida útil, o que gera um problema. Peças com idade avançada exigem especial atenção, pois, a taxa de falha aumenta exponencialmente com a idade, indicando, segundo a curva de

análise de falhas ou curva da banheira, que não é economicamente viável recuperá-las, o que torna necessário traçar um plano de aquisição de peças novas.

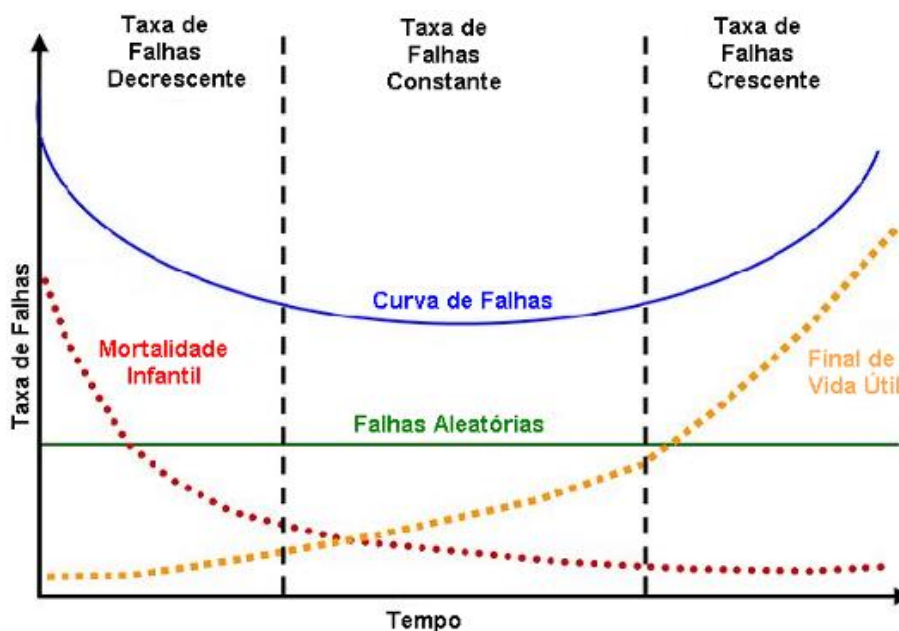


Figura 3 - Curva de análise de falhas ou curva da banheira

Fonte: Autor

Analisando os fatores relacionados às falhas, conclui-se que as falhas têm causas pulverizadas. Seguindo a metodologia Seis Sigmas (WERKEMA, 2010, p.22), serão atacadas as causas responsáveis pelas três falhas mais comuns.

Com a melhoria nas causas de falha dos componentes se consiga atacar no processo do BS e o desempenho desses componentes seja acompanhado e controlado.

O processo de funcionamento do BS, apesar de já estruturado, ainda tem falhas e vícios que inserem erros no processo de reparação dos componentes causando a indesejável instabilidade no número de retornos como visto na (Figura 4).

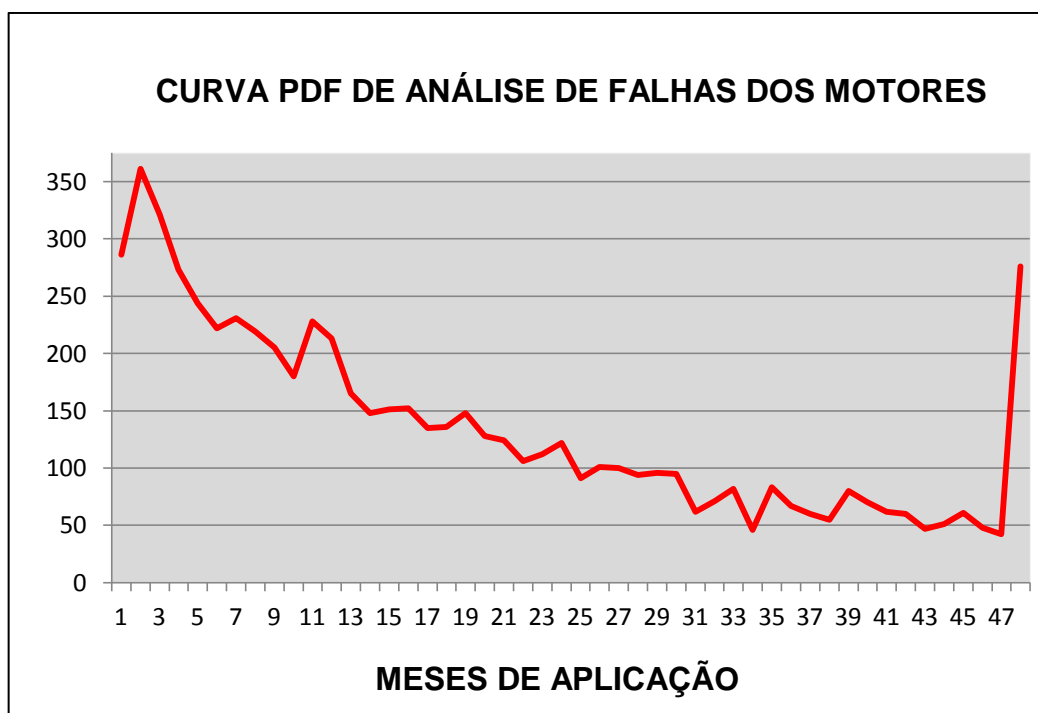


Figura 4 - Curva de análise de falhas dos motores num período de sete meses

Fonte: Autor

No gráfico acima se tem em primeiro momento uma taxa de falha alta no volume de aproximadamente 80 falhas prematuras de motores, durante o período de um a três meses em aplicação. Os motores apresentam estas falhas por, consequências de que os colaboradores não seguem corretamente os procedimentos adequados a cada etapa do processo.

No período de seis a sete meses que deveria se estabelecer constante a vida do motor se observa no gráfico que também ocorre muitas falhas, que são consequência da não inspeção corretamente nos postos de manutenção e falta de preventiva.

2.3 ESCOPO DO PROJETO

Para ilustrar o foco das ações deste trabalho foi feito o diagrama SIPOC (*Suppliers* (-fornecedor-), *Inputs* (-entrada-), *Process* (-processo-), *Outputs* (-saída-), *Customers* (-cliente), que mostra todos os setores envolvido com o motor de tração.

Qualquer mudança para reduzir o retorno em garantia deve ser feita nos componentes deste gráfico.

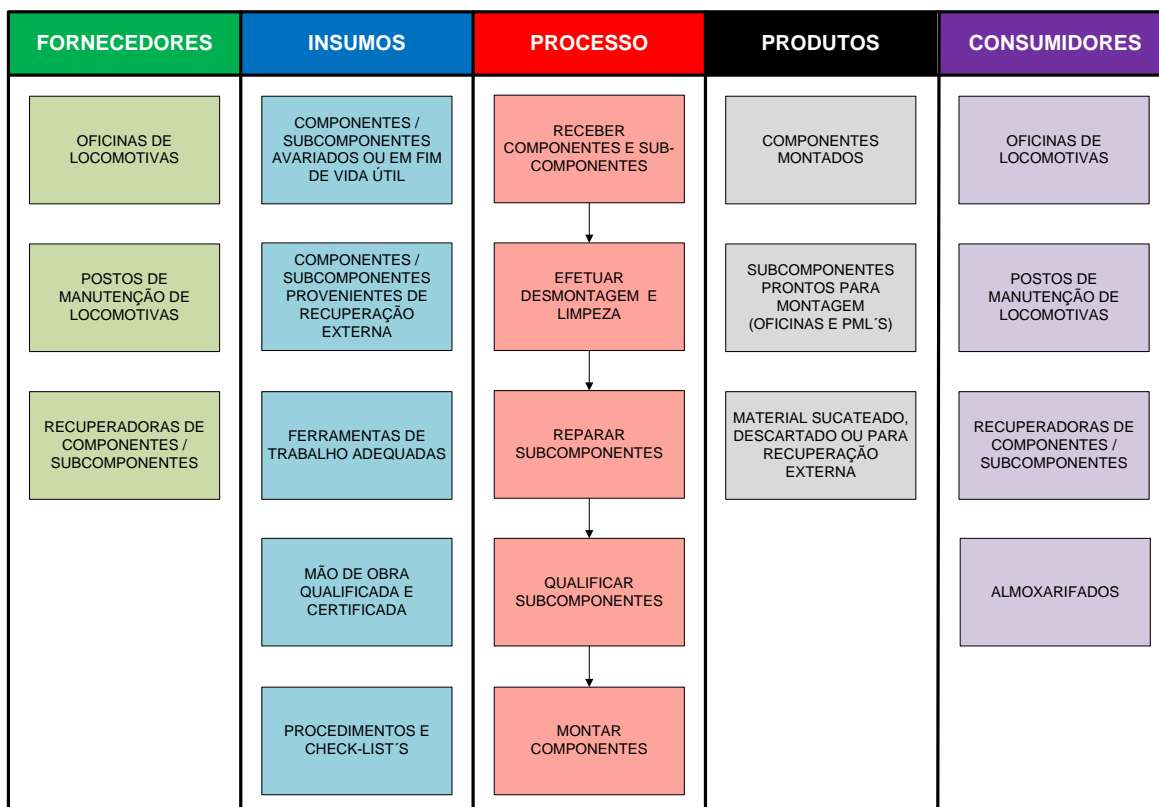


Figura 5 - Diagrama SIPOC: Processo Back Shop

Fonte: Greison Dias (2011).

Com base nos índices de falhas de componentes percebe-se que estas vêm se mantendo constante nos dois anos anteriores e com ritmo crescente no ano de 2012. Esse é um resultado inaceitável tendo em vista os esforços empregados pelo BS na melhoria da qualidade. Reduzindo-se o retorno de motores de tração, diminuem-se os gastos com manutenção corretiva e aumenta-se a disponibilidade de locomotivas significando mais carga transportada em um mesmo período de tempo. Assim, deseja-se reduzir as falhas prematuras dos motores em garantia, devido ao desenvolvimento no processo de desmontagem, qualificação e montagem dos motores que hoje é de 18 motores/mês que retornam no período de seis meses.

2.4 ORGANIZACIONAL DO PROJETO

A implantação da ferramenta DMAIC, Seis Sigma será a ferramenta usada neste estudo de caso para representar um estudo de campo em motores de tração D-31 C-30, entre a equipe responsável pela condução do estudo do projeto de redução dos retornos em garantia e os gestores e tem os seguintes objetivos:

- Apresentar de forma clara o que se espera da equipe;
- Manter a equipe alinhada aos objetivos prioritários da empresa;
- Formalizar a transição do projeto das mãos dos gestores para a equipe;
- Manter a equipe dentro do escopo definido para o projeto.

Descrição do problema
Os índices de falhas dos motores de tração têm variado nos dois anos anteriores e apontam para um crescimento no ano de 2012. Essa tendência precisa ser contida ao risco de causar impactos extremamente negativos na operação das locomotivas. Aumentando a confiabilidade, reduz-se o retorno de componentes, diminuem-se os gastos com manutenções corretivas e aumenta-se a disponibilidade de locomotivas significando mais carga transportada num mesmo período de tempo.
Definição da meta
Deseja-se reduzir as falhas dos motores de tração GM em período de garantia, devidas às falhas de material, em 17% até 31/08/2012. Isso equivale a estender a garantia do componente de seis meses para um ano.
Equipe de trabalho
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Greison Dias (Analista – Analista da elétrica) ➤ Giuliano Fucci Cordeiro (Gerente de Materiais - Tutor/Champion) ➤ Everaldo José (Coordenador do Back Shop) ➤ Anderson Nahorny (Analista - Técnico do Motor de Tração) ➤ Edson Aguiar da Silva (Analista de processo – Motor de Tração)

2.5 RESUMO DO DEFINE

Os índices de retorno em garantia do motor de tração apresentaram grandes variações no período avaliado e, atualmente, mostram uma tendência de crescimento, apesar dos esforços empreendidos na confecção de procedimentos de tarefas, treinamentos e melhoria visando qualidade, o que nos leva a concluir que as causas reais das falhas não estão sendo tratadas e existem ações que se fazem necessárias para a melhoria dos resultados.

2.6 PROBLEMAS IDENTIFICADOS

- Componentes antigos e mal qualificados pelos colaboradores.
- Qualidade do material ruim.
- Organização do fluxo do sistema e sub sistema.
- Falta de Mão de obra.
- Falta de ferramentas adequadas.

Analisando detalhadamente o que acontece, tem-se uma probabilidade gerada através do SOFTWARE DA RELIASOFT WEIBULL++7. O gráfico foi gerado a partir de amostras de sucesso e falha (representadas pelos círculos azuis). O gráfico mostra a probabilidade (eixo y) de um motor de tração operar sem falhar por um determinado espaço de tempo (eixo x). O período desejado é de 48 meses (quatro anos), sendo misturados conjuntos novos e peças usadas nos sub componentes em motores de tração o que não é aconselhável para a confiabilidade dos motores.

PROBABILIDADE DE SUCESSO ATUAL DO MOTOR DE TRAÇÃO

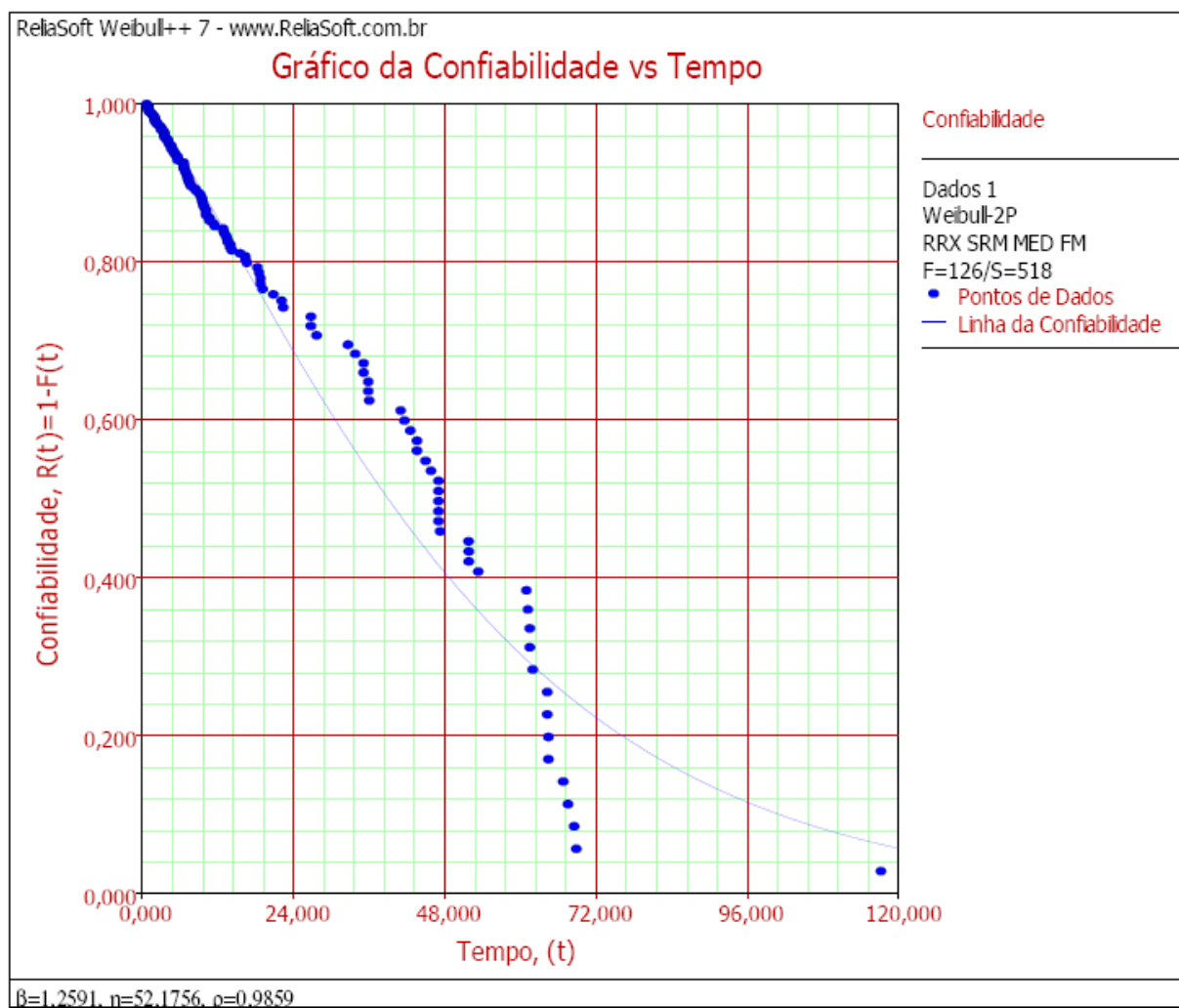


Figura 6 - Probabilidade de sucesso atual do motor de tração com peças novas e usadas

Fonte: Autor

3 MENSURE

Os componentes que chegam ao *Back Shop* possuem um fluxograma padrão a ser seguido, com pequenas variações que se fazem necessárias em determinadas peças. Conforme foi visto no diagrama SIPOC na Figura 5, um processo ideal de funcionamento do BS obedeceria ao seguinte fluxo:

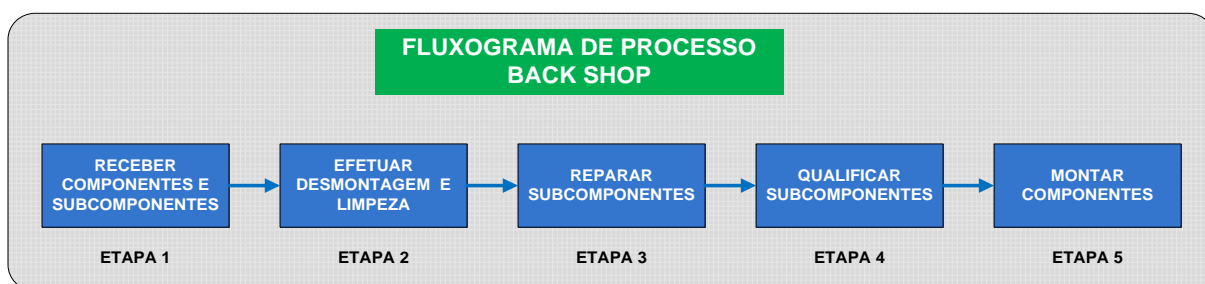


Figura 7 - Fluxograma de Processo simplificado Back Shop

Fonte: Autor

Para uma análise precisa de cada uma das etapas, podemos descrevê-las da seguinte forma:

- Receber os componentes: Ao chegar, deve ser armazenados e registrados na planilha de chegada;
- Desmontagem e limpeza: Os componentes devem ser desmontados e organizados na desmontagem e após a limpeza.
- Reparar os sub componentes: Reparar os componentes seguindo os procedimentos.
- Qualificar os sub componentes: Separar e reciclar os componentes bons para aplicação.
- Montagem dos componentes: Executar a correta montagem de acordo os procedimentos.

A idéia de melhoria é que as causas das falhas dos componentes sejam atacadas no processo do próprio BS e o desempenho desses componentes seja acompanhado e controlado.

O processo de funcionamento do BS, apesar de já estruturado, ainda tem falhas e vícios que inserem erros no processo de reparação dos componentes causando a indesejável estabilidade no número de retornos.

Analisando detalhadamente o que acontece em cada etapa e os problemas que elas podem inserir no processo, tem-se:

3.1 DESMONTAGEM

Os índices de retorno em garantia dos motores apresentaram grandes variações no período avaliado e, atualmente, mostram uma tendência de crescimento, apesar dos esforços empreendidos de melhoria visando qualidade. O que nos leva a concluir que as causas reais das falhas não estão sendo tratadas e existem ações que se fazem necessárias para a melhoria dos resultados.

O recebimento e lavagem das peças são feitos de forma inadequada, pois os motores chegam dos postos e são descarregados diretamente na célula do motor de tração e as peças já se misturam ali mesmo na desmontagem antes de informações necessárias de identificação do número do estator e armadura. Assim as anotações iniciais já se perdem de imediato dificultando ao técnico da célula para identificar a avaria inicial do motor, mesmo assim o técnico tem como função apresentar as primeiras anotações de avaria no relato da etiqueta, mesmo não sendo totalmente confiáveis como relatado anteriormente.

3.2 LAVAGEM DAS PEÇAS

Os maiores problemas encontrados nos motores com relação à armadura estão relacionados à lavagem de peças. Pois é o setor que mais se troca os colaboradores, devido ser ao serviço ser muito sujo e pouco valorizado na empresa, assim, a troca dessas pessoas no setor implica diretamente na qualidade da lavagem de armadura e estatores. Também se identificou que cada colaborador neste setor tinha um método de lavagem, ou seja, não seguia o procedimento correto de lavagem assim afeta diretamente a qualidade da lavagem das peças.

Quando as peças saíam da estufa sua isolação era acima de 5 MΩ o estipulado pela confiabilidade, mais ao esfriar abaixava a isolação devido a má lavagem das peças e devido ao giro grande de motores que eram liberados ainda quentes sem a leitura final de isolação, o que acabava retornando para o BS como “massa” (termo de identificação usado na isolação).

3.3 QUALIFICAÇÃO DE PEÇAS DOS MOTORES

As células de qualificação de componentes do motor de tração são recentes no contexto do BS e tem conquistado melhoras significativas na confiabilidade dos materiais. A qualificação das peças tem recebido procedimentos novos e algumas ferramentas essenciais para seu funcionamento, como novos paquímetros, micrômetros etc.

Entretanto, ainda há falta de colaboradores e de treinamento para os mesmos, além de equipamentos ainda descalibrados. Essa etapa não introduz defeitos nas peças qualificadas, mas seu funcionamento ainda é deficiente, causa inúmeros erros de falha de material que poderiam ser evitados, gerando falhas no funcionamento da locomotiva e onerando as metas de confiabilidade.

3.4 REPARAÇÃO DOS ESTADORES DE MOTOR DE TRAÇÃO

A reparação dos motores de tração exige cuidado e atenção dos colaboradores responsáveis. Esta é a etapa responsável pela maior parte das falhas dos motores já montados no BS, pois o rodízio de pessoas é intenso e a possibilidade de não conformidade aumenta cada vez mais com pessoas inexperientes no setor.

Com pessoas inexperientes e rodízio intenso os procedimentos de reparação dos motores se tornam um grande problema para serem executados, pois o giro de estatores de modelo D-31 C30 é intenso assim as não conformidades vão surgindo nas partes críticas dos motores reparados. Inclusive na solda dos barramentos dos motores e terminais de ligação que exige uma experiência maior de cada colaborador a executar o reparo. Conforme estudo, cerca de 70% das falhas está na reparação do estator e lavagem, pois é nesta etapa do processo que a maioria dos problemas surge.

3.5 MONTAGEM DOS MOTORES

Após a reparação dos estatores e armaduras já qualificadas de acordo padrões do back shop, o próximo passo é a montagem de motores. Na montagem exigem-se maior experiência e conhecimento da parte dos colaboradores, para que o processo ocorra normalmente sem que haja qualquer avaria na montagem do motor ou peça errada, até a aplicação do pinhão.

A maior preocupação é o excesso de confiança por parte dos colaboradores deste setor, pois como foi dito, a maioria dos colaboradores já tem um certo conhecimento de peças e equipamentos que exijam maior confiabilidade no setor. Mas o problema deste excesso de confiança é que faz com que alguns montadores não cumpram o procedimento adequado e o check listen com o preenchimento da ficha do motor e respectivas assinaturas para cada função desempenhada.

A preocupação por parte da confiabilidade está neste preenchimento de check listen, pois as informações que irão nestas fichas, serão as informações que alimentarão a planilha eletrônica da rastreabilidade.

3.6 MONTAGEM DAS ARMADURAS

Como já foi relatado a principal preocupação nesta parte do processo, é por ele ser realizado por pessoas que já o conhecem, através do ensinamento de pessoas antigas, e isto dificulta o acordo e aprendizado de preenchimento de check

listen novos atualizados pelos técnicos do setor. O grande fator que os leva a não fazer de acordo com o manual e chek listen é a cultura antiga e o 'achismo' individual, 'sempre foi feito assim e não vai mudar'.

3.7 ALINHAMENTO DAS ESCOVAS

Outro fator que faz ocasionar a falha constante do motor é o acentamento e alinhamento das escovas do motor. O principal sintoma de problema dos motores DC está relacionado às escovas, pois a posição e alinhamento do ponto neutro do motor se dá já no início da operação, ou seja, faiscamento na região das escovas são sintomas de problemas ocasionados na região de comutação.

Ao acompanhar o processo de regulagem por parte dos colaboradores da montagem, se identificou que eles não davam importância para o processo de alinhamento com o calibre de ajuste de distância das escovas em relação ao coletor. Isto fez com que muitos motores, fossem aplicados com as escovas mal acentadas e desreguladas, assim as consequências de erros nos postos de manutenção de troca de escovas não era irrelevante, e por fim ocasionava falhas prematuras nos motores recém-reparados pela oficina.

3.8 APLICAÇÃO DO PINHÃO

Esta etapa de aplicação de pinhão é considerada a mais crítica de todo o processo de montagem do motor, pois se acontecer qualquer erro no processo de aplicação o motor é retornado em garantia.

Na oficina, como relatado anteriormente, a maioria dos colaboradores no setor de montagem do motor, são pessoas com certa experiência. Mas na aplicação do pinhão ao eixo do motor de tração além da experiência é necessária a aplicação totalmente correta da norma e cumprir o procedimento a risca, pois qualquer deslize de não cumprir o procedimento o motor retornará com certeza para a oficina em garantia no período de seis meses.

4 CALCULO DA META GERAL

Cristina relata (2010) que na definição de uma meta, há três itens considerados: um objetivo, um valor e um prazo. O objetivo deve conter um indicador do processo que se deseja aperfeiçoar, juntamente com a forma que se deseja alterar o indicador (aumentar, diminuir, expandir, zerar etc.). O valor deve considerar o comportamento do indicador por um determinado período de tempo e o patamar atual do indicador. Por fim, o prazo deve ser compatível com a complexidade do problema e com a necessidade da solução.

No caso do motor de tração GM, o indicador usado será o retorno em garantia, já escolhido anteriormente. O valor será baseado nos últimos seis meses do período analisado, por refletirem mais fielmente a realidade atual do que todo o período. Pela metodologia DMAIC Seis Sigma, o valor da meta geralmente é calculado a partir da diferença entre a **média** atual do indicador e o melhor valor obtido pelo indicador. Neste caso usamos a **mediana**, por refletir melhor a realidade atual do indicador, pois estaria muito refletindo o descontrole do processo. Há vários meios de se identificar dados para se calcular e obter resultados satisfatórios na implantação desta ferramenta, assim neste estudo de caso, se optou pelo tempo médio entre falhas (MTBF) analisando a (Figura 8) por refletir melhor a realidade atual do indicador e descontrole do processo.

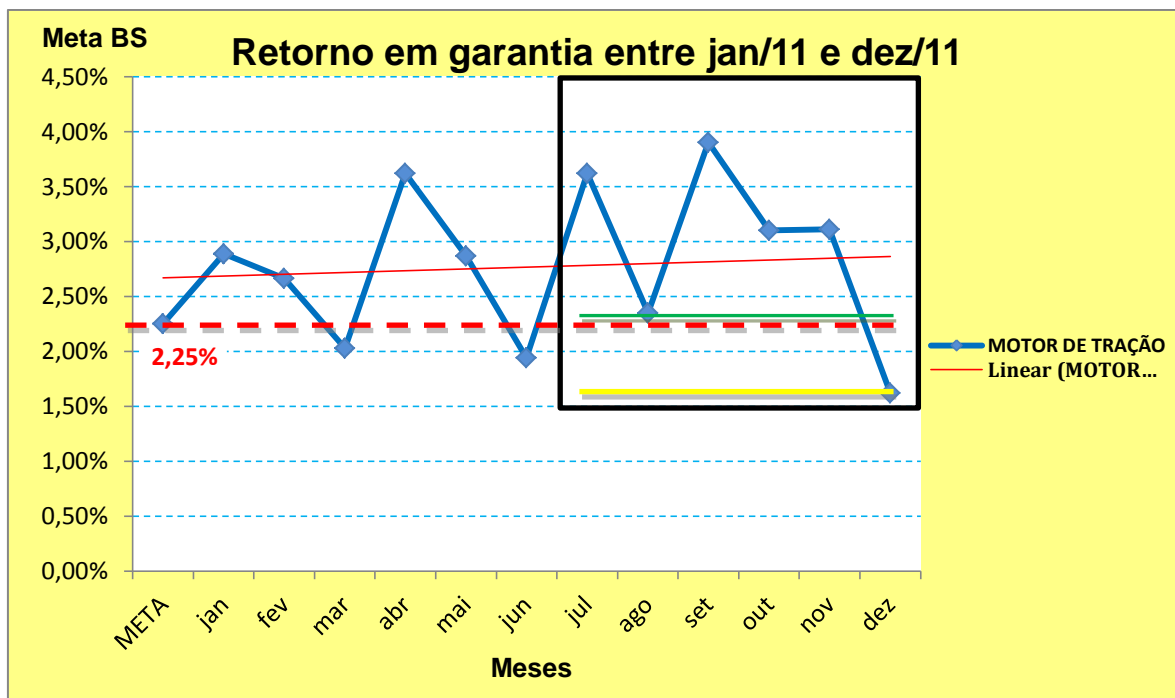


Figura 8 - Cálculo da meta em retorno em garantia de 2011

Fonte: Autor

No gráfico, as linhas horizontais representam mediana do período de sete meses escolhido como atual (linha verde cheia) cujo valor é 2,30%, menor valor já assumido pelo indicador, 1,60% (linha amarela cheia), e a meta a ser atingida (linha vermelha pontilhada). Com esses valores, chega-se ao valor da meta:

1) Valor da lacuna (diferença entre a mediana do estado atual e o menor valor já observado do indicador)

$$2,25 - 1,60 = 0,65\%$$

2) Redução desejada (metade do valor da lacuna)

$$0,65 / 2 = 0,325\%$$

3) Valor da meta (mediana do estado atual menos a redução desejada)

$$2,25 - 0,325 = 1,925\%$$

Portanto, o valor de retornos em garantia de motores de tração GM deve ser reduzido de 2,25% para 1,925% se forem executadas todas as ações propostas por este estudo, o que representa uma redução de 17%.

O último requisito da meta, o prazo, deve ser definido levando em conta a complexidade do problema, o tempo para que os resultados possam ser medidos e a necessidade da solução. O motor de tração se mostrou um componente bastante complexo, dada à variação dos retornos em garantia (Quadro 2), além de ser um item de crítico.

Portanto, a meta deste trabalho pode ser sintetizada da seguinte forma:

Reduzir os retornos em garantia de motores de tração GM em 17%, de 2,25% para 1.925% no prazo de 1 ano.

O cálculo do MTBF não estava como deveria ser a meta, neste pequeno período de implantação já se atingiu a meta de redução de 17%, e ao dar continuidade no projeto à expectativa de redução seria maior que o esperado.

4.1 METAS ESPECÍFICAS

Como o retorno em garantia é calculado com base nos últimos seis meses, é plausível começar a analisar os resultados das ações propostas por esse trabalho a partir do sexto mês de sua aplicação. Portanto o prazo mínimo seria de seis meses. Para melhor análise estatística, arbitrou-se um período de um ano para observação dos resultados.

Portanto, a meta deste trabalho pode ser sintetizada da seguinte forma: é necessário definir qual o percentual de queda a ser atingido em cada um desses sub componentes. Para isso, faremos uma análise dos números envolvidos nas falhas de cada um deles.

FALHAS POR COMPONENTES		
COMPONENTE	QUANTIDADE	PARTICIPAÇÃO
PINHÃO SOLTO	75	48,08%
PORTA-ESCOVA	4	2,56%
ESCOVA	2	1,28%
ROLAMENTO	8	5,13%
COMUTADOR	1	0,64%
ARMADURA EM MASSA	51	32,69%
CAMPO	8	5,13%
INTERPOLO	6	3,85%
ESTATOR	1	0,64%
TOTAL	156	100,00%

Quadro 5 - Falhas no período de 01/01/2011 a 30/06/2011
Fonte: Autor

A partir do total de falhas, calculou-se a redução esperada: 17% de 156 falhas, aproximadamente 27 falhas. Para definição das reduções específicas, isolou-se os dados das falhas de pinhão solto e armadura em massa, chegando à seguinte proporção:

FALHAS POR COMPONENTES CRÍTICOS		
COMPONENTE	QUANTIDADE	PROPORÇÃO
PINHÃO SOLTO	75	59,52%
ARMADURA EM MASSA	51	40,48%
TOTAL	126	100,00%

Quadro 6 - Falhas a serem atacadas
Fonte: Autor

A partir do número total de falhas dos pinhões soltos e armadura em massa (126 falhas), pode-se calcular a redução percentual desejada para que a meta geral seja atingida, a partir do número de falhas que se deseja diminuir (27 falhas):

$$27 / 126 \times 100 = 22\%$$

Distribuindo a redução esperada proporcionalmente entre pinhão solto e armadura em massa, calcula-se o número absoluto de falhas que deverá ser eliminada em cada sub componente:

$$\begin{array}{rcl}
 \mathbf{3} & & \\
 \text{Redução} & & \\
 \text{esperada} & \times & \text{Porcentagem de falhas com pinhão solto} \\
 (27 \text{ falhas}) & & (59,52 \%) \\
 & & = \\
 & & \text{Redução} \\
 & & \text{Necessária (16 falhas)}
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 \mathbf{3} & & \\
 \text{Redução} & & \\
 \text{esperada} & \times & \text{Porcentagem de falhas com armadura} \\
 (27 \text{ falhas}) & & \text{em massa} \\
 & & (40,48 \%) \\
 & & = \\
 & & \text{Redução} \\
 & & \text{Necessária (11 falhas)}
 \end{array}$$

Concluindo, as metas específicas podem ser sintetizadas da seguinte forma:

Reduzir as falhas de pinhão solto e armadura em massa em 22%, no prazo de 1 ano.

4.2 GANHO FINANCEIRO ESTIMADO

Para calcular um ganho financeiro com a redução dos retornos em garantia dos motores de tração, se consiga que a meta de redução para as falhas de motores de tração e para as falhas de operação.

Pode-se assumir que uma queda nas falhas em garantia impactará positivamente na vida útil, pois os componentes funcionarão corretamente por mais tempo. Com as mudanças que serão propostas por este estudo, pretende-se a reduzir nas falhas da ordem de 17%, próxima da meta de retornos em garantia, além de um aumento da vida útil, da mesma ordem.

Analisando os dados de falhas de locomotivas obtidos via SAP em um período de seis meses (janeiro a junho de 2011), são relatadas 218 falhas com diagnóstico relacionado aos motores de tração em toda frota de locomotivas GE C-30.

Através das quebras dos motores de tração que ocorre no trecho, gerando notas M2 (nota relatada pelo maquinista de anomalia no trecho). Uma parte menor das falhas gera notas M3, que são notas de manutenção em postos ou oficinas. As notas M3 são geradas a partir de falhas não resolvidas no trecho ou falhas detectadas durante a manutenção, preventivas ou não. Com relação aos motores da métrica e larga dependendo da relação de dentes do pinhão e engrenagem do rodeiro se ocorre à maioria das falhas (quadro 5 e 6).

Falhas			
Nota	Larga	Métrica	Total (Notas)
M2	112	37	149
M3	64	5	69
Total (Bitola)	176	42	218

Quadro 7 - Quantidade de falhas e tempo por falha
Fonte: SAP e Planejamento e Controle de Manutenção (2012)

Tempo de máquina parada (Horas)						
Bitola	Trecho (M2)			Manutenção (M3)		
	M2	Mês	Por Falha	M3	Mês	Por Falha
Larga	152:43:56	25:27:19	0:52:04	4722	787	73,78
Métrica	74:13:54	12:22:19	1:46:03	144	24	28,80
Total	226:57:50	37:49:38	1:31:24	4866	811	70,52

Quadro 8 – Tempo de máquina parada (Horas)
Fonte: SAP e Planejamento e Controle de Manutenção (2012)

A partir de um levantamento feito junto à área de controladoria, chegou-se aos seguintes custos associados às falhas em locomotivas:

Custos Operacionais das Falhas (por hora)			
Locomotiva parada para manutenção	Mão de Obra (atendimento no trecho)	Trem parado no trecho (bitola métrica)	Trem parado no trecho (bitola larga)
R\$ 900,00	R\$ 43,49	R\$ 115.000,00	R\$ 470.000,00

Quadro 9 - Custos das falhas
Fonte: Controladoria e CCO (2012)

Os custos com mão de obra de obra na manutenção de locomotivas em postos ou oficinas estão incluídos no custo de locomotiva parada para manutenção.

Já os custos para atendimento de locomotivas paradas no trecho contemplam o tempo de ida e volta até o local da ocorrência, estimado em aproximadamente duas horas, além do tempo médio por falha no trecho, que é o tempo que uma equipe de quatro colaboradores leva para dar solução ao problema. O tempo médio da falha no trecho é ponderado entre bitola métrica e larga, seguindo a proporção de ocorrências (75% das falhas ocorrem na bitola larga e 25% na métrica).

Para o cálculo do valor de cada falha, foram multiplicados os valores horários de locomotivas paradas pelos tempos médios de duração das falhas e utilizadas médias mensais de falhas, além da proporção entre as falhas nas duas bitolas, já mostrada acima.

O quadro 11 mostra o cálculo dos custos associados somente à mecânica, a partir das notas de manutenção em oficinas ou postos (M3), considerando também o custo da mão de obra dos postos de atendimento a falhas de locomotivas no trecho de socorro (S.O.S), sabendo que o valor estipulado para gastos de manutenção dos motores é aproximadamente **R\$ 950.000,00**

Locomotiva parada para manutenção (R\$ 900)	X	Tempo médio de manutenção por falha(70,52 horas)	+	Custo de mão de obra de S.O.S (R\$ 43,49)	=	R\$ 7% do total para gastos com manutenção
---	---	--	---	---	---	---

Quadro 10 - Custos associados à mecânica

Já a segunda tabela apresenta uma estimativa do impacto financeira das falhas de motor de tração sobre a produção da companhia como um todo.

Trem parado no trecho (bitola métrica) (R\$115.000,00)	X	Tempo médio por falha (bitola métrica) (1:46:03)	X	Proporção de falhas na bitola métrica (0,25)	=	R\$38% do total para gastos com manutenção
+						
Trem parado no trecho (bitola larga) (R\$470.000,00)	X	Tempo médio por falha (bitola larga) (0:52:04)	X	Proporção de falhas na bitola métrica (0,75)		

Quadro 11 - Custos operacionais de trem parado

Somando os dois resultados acima, chegamos ao custo de uma falha de motor de tração para a companhia:

R\$ 45% do valor total para gastos com manutenção

No estado atual quadro 10, os retornos em garantia de motores de tração apresentaram uma média próxima a 15 retornos mensais no período compreendido entre janeiro de 2011 até dezembro 2011. Reduzindo as falhas em garantia aproximadamente em 17% à 25%, o que representa três falhas mensais (36 anuais), o ganho financeiro anual é de:

A redução de três falhas por mês significaria:

R\$ 45% x 3 = R\$ 135% mês para a companhia

Este é o ganho apenas com a redução dos retornos em garantia, que se refletirá também no retorno de motores de tração de forma geral, aumentando a vida útil do componente.

4.3 RESUMO DOS DADOS MENSURADOS

O processo do BS tem várias etapas que podem estar inserindo defeitos nos componentes ou sendo ineficientes de outras formas. As falhas foram estratificadas por seus modos de falhas e aquelas com maior ocorrência serão tratadas e estimou-se um ganho de confiabilidade e custo com a melhora.

A partir da estratificação das falhas dos motores de tração, usando os modos de falha padrão, pode-se concluir que os componentes com maior taxa de falhas e também maiores giros, de falha de pinhão solto e armadura em massa, devem receber atenção especial no tratamento de suas falhas.

A partir da descrição de todas as etapas do processo do motor de tração, conclui-se que as etapas a serem desenvolvidas são, prioritariamente, a reparação de componentes, lavagem e a montagem, principalmente na aplicação do pinhão, que hoje enfrenta diversos problemas.

5 ANALISE

Depois de apresentados os dados e as estatísticas sobre o motor de tração, inicia-se uma análise destas informações para que sejam identificadas as causas e encontradas soluções que maximizem os resultados.

A meta, calculada com base na metodologia de estudo Seis Sigmas, define um valor próximo a 17% de redução para que os motores de tração passem a ser menos críticos na manutenção de locomotivas, valor que pode ser atingido com mudanças na manutenção e também orientando postos, oficinas e responsáveis pela tração sobre os problemas que podem ser inseridos nos motores durante a operação.

5.1 PROCESSO DE MOTOR DE TRAÇÃO NO BACK SHOP

O processo do motor de tração, assim como outros componentes, é composto de diversas etapas que, basicamente, englobam a desmontagem, qualificação e montagem do motor. Os detalhes podem ser vistos no fluxograma a seguir.

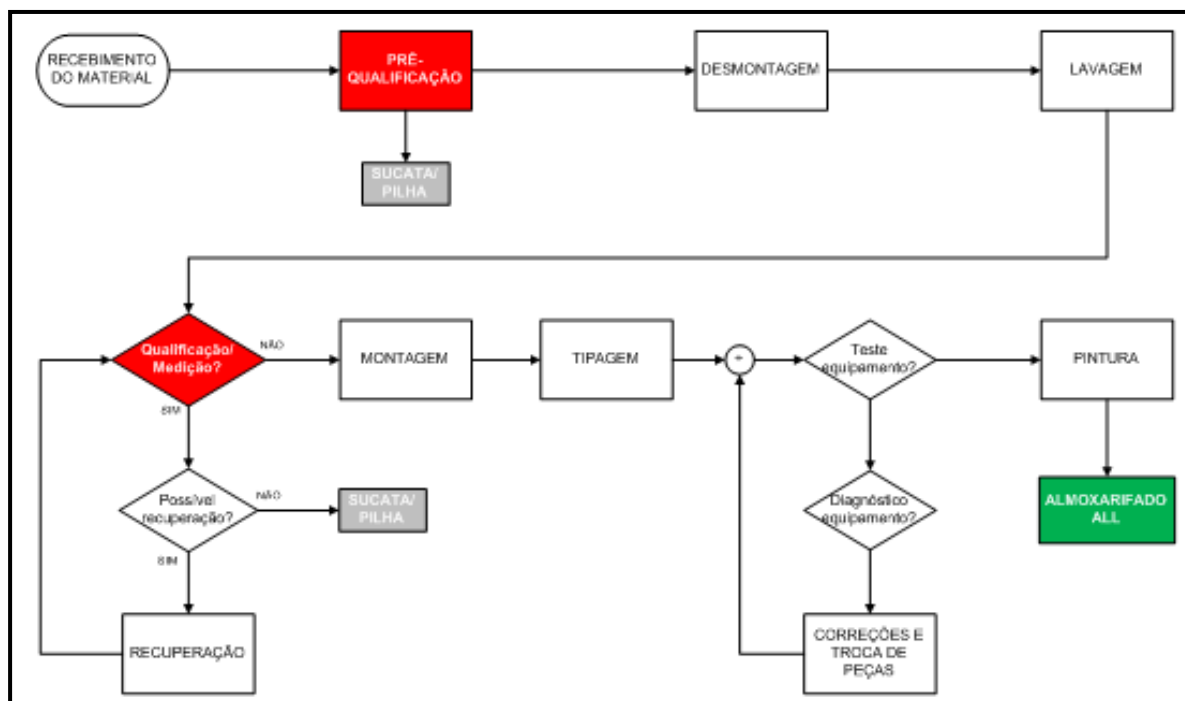


Figura 9 - Mapa do processo do motor de tração

Fonte: Mural da célula do motor de tração (2012)

Pelo fluxograma, vemos que o processo do motor de tração dentro do Back Shop é uma linha contínua, pois prioriza a produção de componentes, muitas vezes em detrimento da qualidade.

As figuras pintadas de vermelho representam etapas de qualificação, que foram adicionadas ao processo dos itens mais críticos como projeto piloto a partir de 2010. As etapas de qualificação são de extrema importância para garantir a confiabilidade da montagem e operação dos motores de tração. Entretanto, assim como as outras etapas, sofre com a falta de mão de obra qualificada e com a falta de parâmetros (procedimentos, medidas, calibres, escopos de recuperações) para a realização.

5.2 MODOS DE FALHAS

Para resolver e eliminar os defeitos ocorridos nos componentes fornecidos pelo BS, primeiramente é necessário entender as falhas. Para isso, foram definidos os modos de falha, que são formas que os defeitos e/ou mau funcionamento de um

componente se manifestam, para que, assim o tratamento das falhas possa ser feito a partir de dados padronizados, facilitando a confecção de uma análise precisa do que ocorreu com o componente, sendo realizada esta análise pelo técnico do BS em conjunto com o grupo de análise de falha.

Os modos de falhas conhecidos são listados na planilha de rastreabilidade, que contém as informações das etiquetas, fichas de recebimentos e análises de falha dos materiais que chegam ao BS. Essa planilha fornece os dados mais confiáveis, pois os dados que estão disponíveis para a consulta na planilha contém falhas, pois nem todos os componentes chegam com informações, alguns não podem ser confiáveis, como resultado muitos componentes constantes na planilha não têm o modo de falha preenchido.

Para os motores de tração tratados pelo BS, que englobam dois fabricantes de locomotivas (GE e GM), existem 22 modos de falha listados, que são mostrados no quadro abaixo.

MOTOR DE TRACÇÃO	SIGLA
ACIDENTE	AC
ARMADURA EM CURTO	ACC
ARMADURA EM MASSA	AM
BAIXA ISOLAÇÃO	BI
BRAÇO QUEBRADO	BQ
CABO ROMPIDO	CR
CAMPO ABERTO	CA
INTERPOLO ABERTO	IA
CAMPO EM MASSA	CM
FALTA DE LUBRIFICAÇÃO NO PINHÃO	FLP
IMPREGNADO POR ÓLEO	IO
LÂMINA ALTA	LA
OUTROS	OU
PINHÃO GASTO	PG
PINHÃO QUEBRADO	PQ
PINHÃO SOLTO	OS
ROÇAMENTO PORTA ESCOVA - COLETOR	RPE
ROLAMENTO AVARIADO	RA
SUPERAQUECIMENTO	AS
TRINCA NA CARÇAÇA	TC
SULCO NO COLETOR	SC
DEFEITO NÃO IDENTIFICADO	DNI

Quadro 12 - Modos de falha padrão do motor de tração
Fonte: Planilha da rastreabilidade - Back Shop (2012)

No início da elaboração deste estudo, existiam modos de falha genéricos, que permitiam muitas interpretações, e modos de falhas que não eram identificados como relatado nas etiquetas vinda de PMLs como (Falha Inexistente e Outros). Estes modos de falha foram substituídos por modos de falhas mais específicos. Alguns modo de falhas foram eliminado das análises deste trabalho por não agregar nenhuma informação válida, sendo apenas contado como estatística a ser melhorada.

5.3 ESTRATIFICAÇÃO DAS FALHAS POR MODO DE FALHA

Com os modos de falhas apresentados e descritos, vamos tratar as falhas a partir deles para uma abordagem mais precisa do problema. Conhecendo os componentes, determinam-se os responsáveis pela maioria das falhas e a partir disso serão tomadas ações corretivas.

Inicialmente apresentamos a distribuição das falhas distribuídas por modos de falha, para mostrar quais são os defeitos. Mais a frente, as falhas serão divididas por componente.

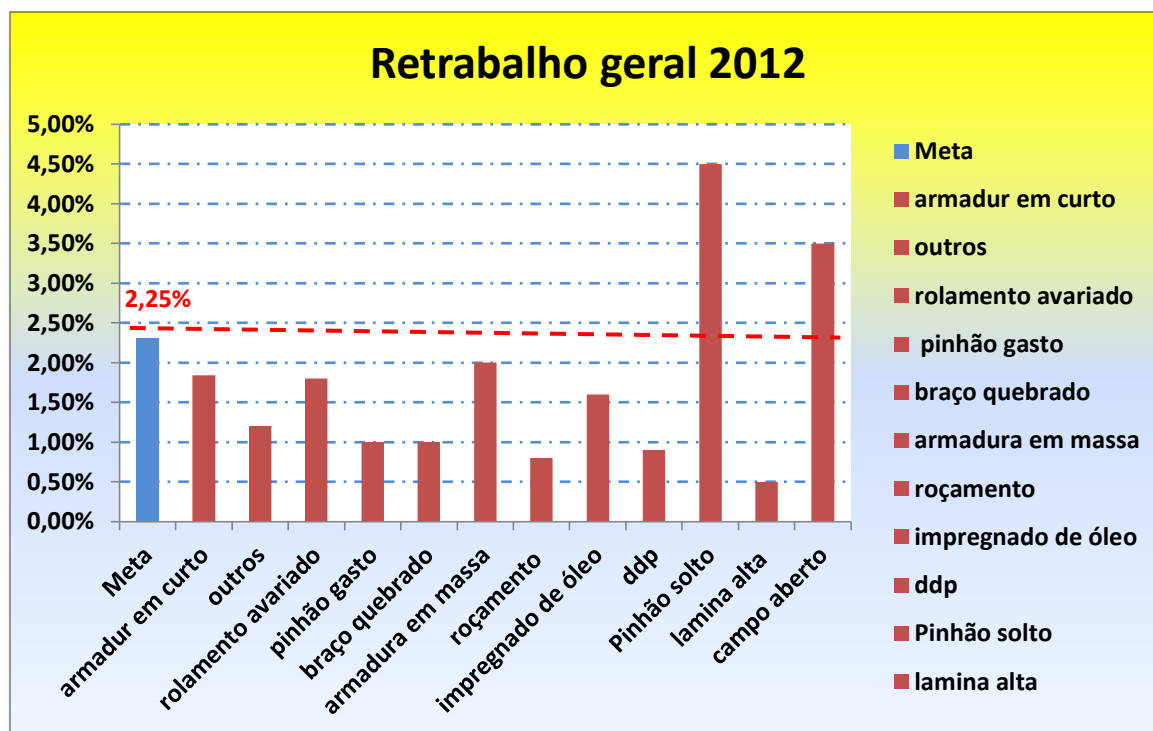


Figura 10 - Distribuição da ocorrência dos modos de falhas

Fonte: Planilha de rastreabilidade – Back Shop (2012)

Essas falhas comprometem severamente o motor e podem danificar também outras partes, pois um pinhão solto pode alterar a engrenagem do rodeiro, eixo do rodeiro e afetar também partes do mancal, dentre outras. Já o campo aberto ocorre devido ao excesso de carga por consequência de picos de tensão e altas correntes, ou fragilidade na solda por excesso de vibração no trecho. Já a armadura em massa também compromete total o funcionamento do motor, pois o excesso de sujeira, umidade está sempre sujeito ao motor que fica exposto a tudo na posição de fixação que fica na locomotiva.

Agrupando as falhas por componente, chegou-se a conclusão de que os componentes mais críticos são pinhão solto, campo aberto e armadura em massa reunindo mais de 80% de todas as falhas relacionadas acima.

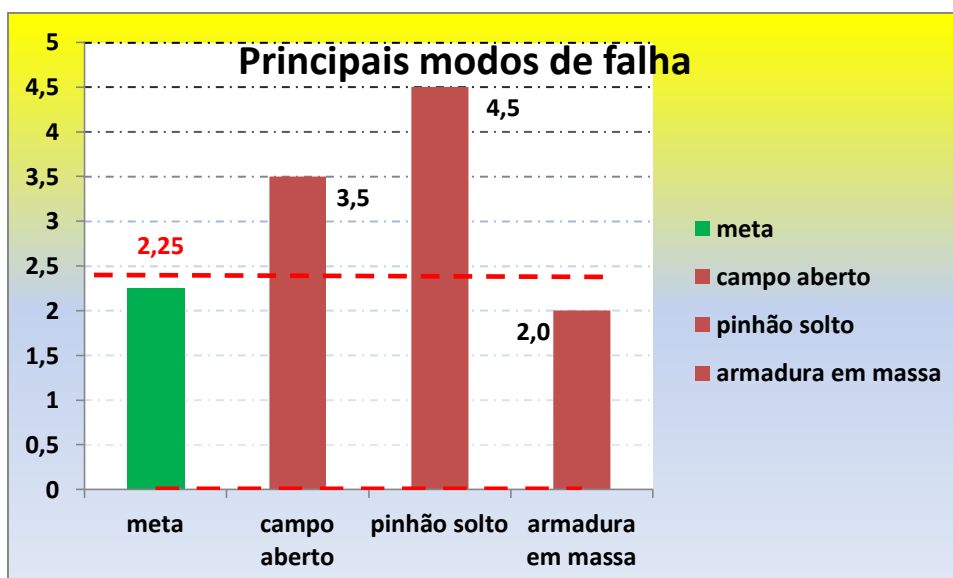


Figura 11 - Distribuição das ocorrências dos modos mais críticos

Fonte: Planilha de rastreabilidade – Back Shop (2011)

Esses sub componentes trabalham expostos a condições extremas (altas temperaturas, pressão elevada, grandes esforços elétricos e mecânicos), o que, juntamente com a idade avançada das peças, contribui para a ocorrência de falhas. Seguindo a metodologia DMAIC seis sigma, escolhidas para o estudo do projeto serão tratadas as falhas envolvendo pinhão solto, campo aberto e armadura em massa.

6 IMPROVAVEL

A partir das causas potenciais dos modos de falhas responsáveis por 80% das ocorrências, podemos fazer um levantamento das causas-raiz dos modos de falha que se deseja tratar. As causas foram agrupadas em categorias no diagrama de Ishikawa (Figura 12).

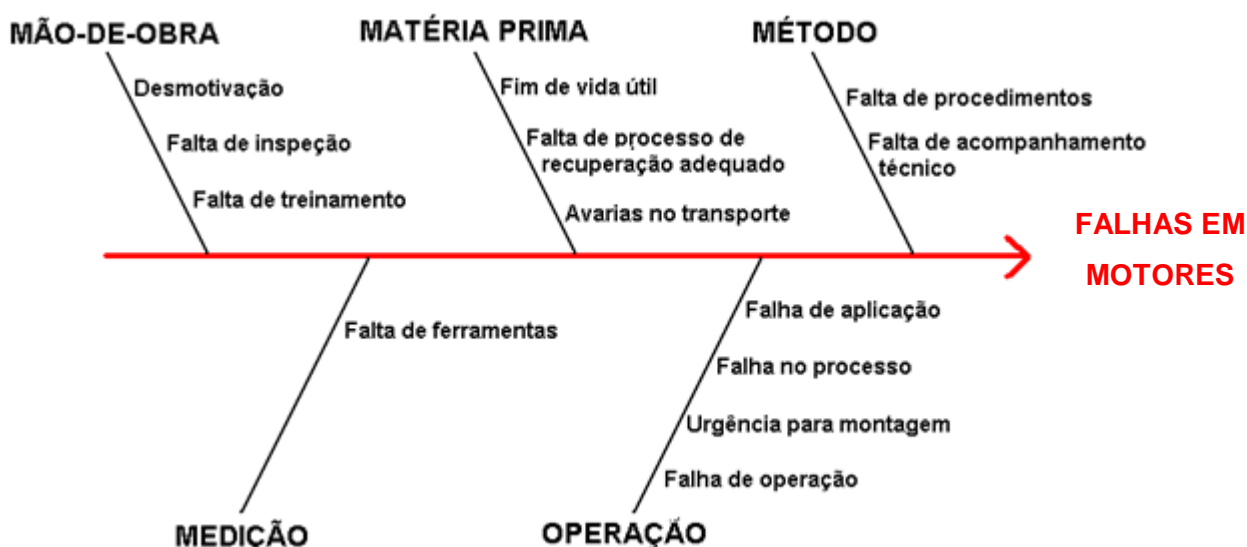


Figura 12 - Diagrama de Ishikawa do motor de tração

Fonte: Autor

6.1 SOLUÇÕES PARA O RAMO MÃO DE OBRA

Em toda a ALL, não somente na oficina, existe um grande giro no quadro de funcionários da empresa. Esse fato é comumente associado à remuneração, entretanto há fatores como condições de trabalho, possibilidade de promoção, reconhecimento por parte do superior, possibilidades de capacitação também influenciam os colaboradores a continuar ou não na empresa.

O que se sugere neste tópico é que os princípios e valores da empresa sejam cumpridos: colaboradores reconhecidos, treinados e conhecedores de seu

trabalho desempenham as suas funções de forma muito mais eficiente do que sem essas condições. Seria muito interessante mostrar os resultados da empresa para os colaboradores, ressaltando porque o trabalho deles é importante para o alcance desses resultados.

Um dos grandes atrativos da ALL, o Programa de Remuneração Variável – (PRV), não é visto como incentivo pelos colaboradores, segundo pesquisas recentes da área de gente. Um grande passo para uma maior motivação seria divulgar mais o PRV, indicando nos painéis se conseguir as premiações. Já existem trabalhos neste sentido, porém precisam ser expandidos para todos os níveis.



Figura 13 - Divulgação dos Resultados do PRV

Fonte: Autor

- Falta de inspeção:

Muitas peças não são verificadas, medidas ou testadas por inúmeras razões, desde a pressa para a montagem até a ausência de medidas e de conferência das etapas do processo relacionadas à qualidade.

Como solução, foi proposto o controle do processo por auditorias, que devem ser feitas, por escrito, pelos técnicos da confiabilidade. Além de relatar a inconformidade encontrada, o técnico deve orientar o colaborador auditado, que deve assinar o relato da auditoria, para confirmar que está ciente da orientação. Essas auditorias visam garantir a manutenção do padrão e cumprimento do procedimento de cada etapa.

Para incentivar a realização de auditorias pelo técnico de confiabilidade da célula do motor de tração, foi orientado a comunicar por e-mail, as falhas encontradas que estavam fora de sua alçada e o controle da planilha de rastreabilidade para direcionar os modos de falhas que não são compatíveis com relatos de etiquetas erradas dos PMLs e também os relatórios de auditorias que são contabilizados e apresentados no final de cada mês, sendo assim, o técnico do motor de tração ter uma bonificação a cada mês.

- Falta de treinamento:

Somada à desmotivação, a falta de preparo dos colaboradores para a execução das tarefas diárias contribuiu de forma significativa para a ocorrência de erros no processo do BS.

Para que os colaboradores sejam treinados regularmente, foram reunidos os especialistas do BS e definido um cronograma de realização de treinamentos, para que todos os colaboradores fossem periodicamente treinados. Nos treinamentos serão usadas as auditorias realizadas no período entre os treinamentos, para que os problemas observados sejam tratados e todos os colaboradores envolvidos sejam orientados.

Além das auditorias do técnico, houve um grande avanço na comunicação com o Grupo de Análise de Falhas (GAF), que disponibilizou seus especialistas para realizarem auditorias e treinamentos no BS. Esse auxílio funcionará como uma ajuda externa ao cumprimento dos procedimentos e manutenção da qualidade.

6.2 SOLUÇÃO PARA O RAMO MATÉRIA PRIMA

- Fim de vida útil:

Durante a existência da antiga Rede Ferroviária Federal foram negociadas diversas locomotivas com muitos anos de uso, para viabilizar a compra de um maior número de locomotivas. Com a privatização, locomotivas “mais novas”, com cerca de 25 anos de uso, foram compradas. Como consequência deste fato, os

componentes usados na montagem das locomotivas também são muito antigos, o que traz muitos problemas na operação. Como agravante deste quadro, também faltam fornecedores nacionais de componentes ferroviários, o que torna difícil a aquisição de alguns insumos, sendo necessário recorrer às importações que, além de terem um alto custo, têm um prazo de entrega muito extenso.

Para solucionar este problema, se fez necessário um plano de compras de peças novas. Este plano foi idealizado e implementado no ano de 2011 pelas áreas de planejamento e suprimentos. Assim, foram comprados alguns dos itens mais críticos e de maior giro para todos os componentes da locomotiva.

Para 2012, foi feito um estudo de viabilidade para avaliar a compra de peças novas também para o motor de tração. Foram levantados quantos estatores e armaduras novas deveriam ser compradas e quanto se deveria aumentar o custo médio do motor para que contemplasse a recuperação dos estatores e armaduras antigas. Para solucionar este problema, foram testadas várias técnicas comerciais para recuperação de peças, porém nenhuma delas apresentou resultados satisfatórios.

- Falta de processo de recuperação adequado:

Como dito anteriormente, muito dos componentes do motor de tração já apresentam muitos anos de uso. Porém, alguns destes componentes ainda podem ser recuperados seguindo as recomendações do fabricante dos equipamentos.

Os processos de recuperação se aplicam principalmente aos estatores, que têm um alto índice de retorno de garantia com campo aberto e também foi retomado e verificado o processo de aplicação de pinhão que compromete a condenação do motor, já nas lavagens de armaduras não está acontecendo o giro constante de pessoas e sim seguindo o procedimento adequado de lavagem.

Com a compra de peças novas, podem ser eliminadas as peças mais antigas, que apresentem sinais de desgaste aparentes ou medidas fora das especificações, além das peças que se avariam normalmente.

- Avarias no transporte:

O transporte é uma das partes mais longas do processo do motor de tração, pois o trânsito de motores entre o BS, e recuperadores é extremamente complicado dependendo da localização. Já no transporte interno da ALL, os responsáveis foram comunicados e treinados de acordo com o método mais correto de se carregar as peças e a correta colocação nos caminhões sem batidas ou choques mecânicos, fechando assim um contrato de que qualquer avaria nas peças elétricas ou mecânicas, os responsáveis teriam que acarretar com todos os danos nas peças e componentes produzidos pelo BS.

- Falta de acompanhamento técnico

Apesar da falta de mão de obra nas células, foi determinado que o técnico de confiabilidade passasse a maior parte do tempo na célula. Com o técnico acompanhando o trabalho, ele se torna muito mais eficaz em orientar os demais colaboradores sobre a melhor maneira de executar o trabalho, dando explicações da forma mais simples possível de forma a convencer os colaboradores a fazer o certo da primeira vez, além de criar uma veia técnica nos colaboradores, contribuindo nos treinamentos e na capacitação dos colaboradores atuais e futuros.

Além do acompanhamento técnico, com a desobrigação do técnico de realizar outras tarefas não associadas á confiabilidade, se observou melhora na quantidade e qualidade das auditorias e na proposição de soluções dos problemas encontrados, pois o técnico de confiabilidade passou a executar sua função original, sem outras distorções de função.



Figura 14 - Acompanhamento técnico em todos os setores mais crítico

Fonte: Autor

Como no motor de tração, foi proposto mais um técnico específico para a reparação de estatores, armaduras e lavagem de peças. Na qualificação, desmontagem acrescentou-se um técnico dedicado, para acompanhar mais etapas do processo e evitar um número maior de erros que possam causar falhas. E na montagem dos motores com peças cada vez mais qualificadas outro técnico responsável pelo processo de montagem e aplicação de pinhão, que também acompanha de perto todo o processo para evitar qualquer não conformidade do processo, já que na montagem as pessoas sempre houve o chamado 'achismo individual' em determinadas tarefas até o próprio preenchimento do checklist. Desta forma é possível aumentar o número de auditorias e fazer análises de um número maior de componentes que chegam ao BS.

Por último, é de extrema importância que sejam ministrados treinamentos específicos para os técnicos e analistas da confiabilidade, para que estes estejam sempre atualizados e se conversem sobre os problemas que enfrentam e a forma com que solucionam estes problemas.

6.3 SOLUÇÃO PARA O RAMO MEDIÇÃO

- Falta de ferramentas:

A falta ou descalibração das ferramentas é um problema recorrente do BS. Para solucionar este entrave à qualidade, não há novidade: é necessário comprar novas ferramentas, treinar os colaboradores sobre o uso e cuidados com as mesmas.

Também é necessário manter o atual cronograma de calibração das ferramentas, evitando que deixem de ser calibradas nas datas especificadas. O cumprimento deste cronograma auxilia, inclusive, no rastreamento e levantamento de necessidades de ferramentas, pois é necessário verificar o estado das ferramentas para que seja feita a calibração.

No caso do motor de tração GM, as principais ferramentas são torquímetros, parafusadeiras pneumáticas, megons, hipot e aquecedores indutivos. Recentemente, detectou-se que um dos aquecedores indutivos estava descalibrado, chegando a temperaturas muito superiores àquelas indicadas pelo fabricante para a montagem. A correção deste erro de processo diminuiu o número de conjuntos de peças que apresentavam falhas nos testes feitos durante a montagem. A correção desta variável do processo também melhorou a confiabilidade das peças cada vez mais sendo recuperadas, que não vinham dando bons resultados.

6.4 SOLUÇÃO PARA O RAMO OPERAÇÃO

- Falhas de processo:

O fluxo das informações a respeito dos componentes possuía algumas inconsistências: inicialmente, as fichas de recebimento eram passadas diretamente aos técnicos da confiabilidade, o que ocasionava perda ou atrasos no registro das informações nas planilhas de rastreabilidade e no *Systems Applications and Products* (SAP).

Com isso, o processo foi modificado: as informações de recebimento passaram a ser entregues primeiramente à pessoa responsável pelo registro das

informações, que deveria registrar o recebimento do material para, em seguida, repassar as fichas de recebimentos para os técnicos. Dessa forma, nenhuma informação seria perdida e as análises poderiam ser cobradas de forma mais efetiva, pois passou a haver controle sobre todos os materiais.

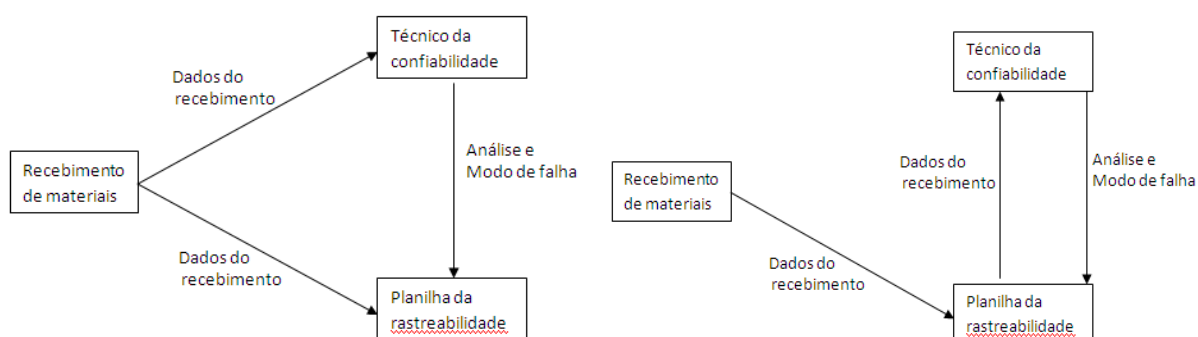


Figura 15 - Fluxo de informações antes (esquerda) e depois da mudança (direita)

Fonte: Autor

Como o número de componentes que chegam ao BS é muito grande podem ocorrer erros no registro dos mesmos, por esse motivo a realização de auditorias do registro dos componentes na rastreabilidade foi iniciada no mês de novembro de 2011. Por meio destas auditorias, foram descobertas diversas falhas que existiam há muito tempo no processo de registro das informações dos componentes.

▪ Urgência para montagem:

A grande demanda por componentes, vinda da cobrança pela liberação de locomotivas para formação de trens dificulta qualquer planejamento que se possa fazer a respeito do fornecimento de peças e componentes.

Para resolver este problema, muito comum na ferrovia, é necessário reestruturar o planejamento e controle da produção do BS, para que os contratos de produção estejam alinhados com as necessidades dos postos (atendidos regularmente pelas Cestas Básicas) e para que os insumos necessários estejam disponíveis para a montagem.

Também é necessário formar estoques pulmão e de emergência, que devem ser armazenados em local protegido, para evitar a falta de componentes a todo custo.

Quanto à mão de obra, há situações onde faltam peças em alguma célula e os colaboradores ficam ociosos. Nesses casos, poderia haver uma realocação desta mão de obra ociosa, mas para isso toda a mão de obra precisaria ser treinada para executar o trabalho em todas as células ou então em grupos de células, para não sobrecarregar os colaboradores com informações.

▪ Falha de operação:

Para que as locomotivas funcionem corretamente, a superintendência da Elétrica deve providenciar informações e treinamentos regulares para manter os maquinistas atualizados quanto aos procedimentos corretos a serem adotados durante a condução.

Os procedimentos e falhas comuns devem ser levantados a partir do acompanhamento das viagens dos trens, análises dos dados coletados pelo computador de bordo da locomotiva (CBL), que devem ser comparados aos relatos dos maquinistas.

De início, devem-se orientar os maquinistas e auxiliares a evitar comportamentos que são conhecidos por danificar as locomotivas:

- Desligar locomotivas em trechos de descida;
- Ligar ou desligar locomotivas sem esperar o tempo de estabilização (10 minutos);
- Tentar religar motor repetidas vezes após desligamento pelo governador;
- Resfriar Motor Diesel com água à temperatura ambiente quando houver sinais de superaquecimento.
- Excesso de carga e tracionamento excessivo em trechos de aclive ou declive dependendo da situação, o ponto certo da locomotiva para evitar picos de tensão e correntes excessivas direcionadas aos motores.




Se esses comportamentos fossem reduzidos, ao menos parcialmente, haveria reflexos imediatos na redução das falhas dos motores, falhas de pinhão solto, quebra de componentes, entre outros. Neste caso, é necessária uma colaboração entre tração e mecânica, visando o melhor modelo de condução.

6.5 RESULTADOS ALCANÇADOS

Apesar de nem todas as soluções terem sido implantadas até o fim deste estudo, alguns resultados significativos foram alcançados. Os resultados foram calculados comparando-se dois períodos:

- Antes da aplicação do projeto: 1 de Janeiro de 2011 até 31 de julho de 2011;
- Depois da aplicação do projeto: 1 de janeiro de 2012 até 30 de julho de 2012;

Os períodos foram escolhidos por englobarem, principalmente, épocas de safra e entre safra. Nestes períodos também ocorreram mudanças de diretrizes de manutenção da companhia e de lideranças no BS. O quadro 13 mostra a variação dos números do BS.

	Retorno em garantia	Retornos totais	Consumo
Antes do projeto (jan -jul/11)	99	522	1989
Depois do projeto (jan/12 - jul/12)	 74	 526	 1878
Resultado	-25,25%	0,77%	-5,58%

Quadro 13 - Retorno de motores de tração para o Back Shop
Fonte: Rastreabilidade (2012)

Como se pode notar, apesar do número total de retornos ter se mantido constante, houve uma sensível diminuição nos retornos em garantia, que já atinge cerca de um terço da meta (17%) com apenas sete meses de implantação do estudo. O consumo também já apresenta pequena redução, resultado da menor necessidade de motores, dado a redução dos retornos precoces.

Estratificando o número de retornos totais, já se nota um aumento no tempo de vida dos motores de tração, pois houve uma redução nos motores que voltam

com menos de 6 meses (em garantia) e um aumento no número de motores com tempo de aplicação entre 6 meses e 1 ano e também entre 1 e 2 anos.

	0 - 6 meses	6 - 12 meses	12 -24 meses	24 - 36 meses	36 - 48 meses	mais de 48 meses
Antes do projeto (jan -jul/11)	99	41	99	89	95	99
	18,97%	7,85%	18,97%	17,05%	18,20%	18,97%
Depois do projeto (jun/12 - jul/12)	74	75	120	85	80	93
	14,07%	14,26%	22,81%	16,16%	15,21%	17,68%
Resultado	-4,90%	6,40%	3,85%	-0,89%	-2,99%	-1,28%

Quadro 14 - Retornos por tempo de vida
Fonte: Rastreabilidade (2012)

Outro índice que já reflete os resultados do projeto são as falhas em operação causadas pelo pinhão solto. Essas falhas foram divididas por bitola e por nota gerada (M2 ou M3) e já mostram uma redução bastante significativa, de 39% em relação ao período anterior ao projeto.

PERÍODO	ANTES DO PROJETO (jan - jul/11)			DEPOIS DO PROJETO (jan/12 - jul/12)		
		Qtd	Participação (%)		Qtd	Participação (%)
BITOLA	L	203	84,23%	L	110	74,83%
	M	38	15,77%	M	37	25,17%
	Total	241	100,00%	Total	147	100,00%
NOTA	M2	155	64,32%	M2	89	60,54%
	M3	86	35,68%	M3	58	39,46%
	Total	241	100,00%	Total	147	100,00%
TOTAL DE FALHAS		241		TOTAL DE FALHAS		147
REDUÇÃO DE 39%						

Quadro 15 - Falhas nas locomotivas - Causa motor de tração
Fonte: Rastreabilidade (2012)

6.6 RESUMO IMPROVÁVEL

Com o objetivo de eliminar as deficiências encontradas ao longo de todo o processo do motor de tração, foram implementadas algumas ações, detalhadas durante o estudo. Essas ações foram tomadas para tentar solucionar os problemas e dificuldades alcançados no diagrama de Ishikawa (Figura 12), como sendo as maiores dificuldades que o processo de produção enfrentava. Muitas das dificuldades levantadas naquele Ishikawa para o motor de tração também ocorrem nos demais componentes montados no BS. Resumidamente, o quadro 13 mostra o plano de ação para solucionar os problemas levantados, contendo as soluções propostas e a sua efetividade até o momento.

Obteve-se um ganho substancial em termos de número de componentes retornando em garantia. Esse resultado, medido em um curto prazo, mostra que o projeto foi efetivo e a meta estipulada, de 17% de redução até o fim de 2012, pois já mostrou resultados. O importante é não deixar a rotina cair, sempre ter em vista que qualquer processo pode ser melhorado e buscar os bons resultados. Os grandes instrumentos para o aumento da confiabilidade do motor de tração, e de qualquer outro componente, são em ordem de importância:

- Pessoal qualificado e bem instruído;
- Correta execução dos procedimentos;
- Fluxo correto dos sub componentes;
- Alinhamento de metas e informações entre campo e manutenção.

Administrando corretamente esses quatro campos, o desempenho do motor de tração tende sempre a melhorar. Os próximos passos tratam de como garantir os bons resultados antes de realizar qualquer mudança no processo do motor. O próximo capítulo mostra quais medidas devem ser tomadas para a manutenção dos bons resultados alcançados e para o alcance de novos patamares de qualidade.

7 CONTROLE

Depois de mostradas as falhas e suas causas foram novamente traçado a curva de confiabilidade de probabilidade de sucesso esperado com as mudanças proposta. Esta curva nos mostra o quanto o motor de tração evoluiu, sendo montado com conjuntos novos num período de 48 meses o que equivale a quatro anos de sua vida estabelecida pelos manuais.

PROBABILIDADE DE SUCESSO ESPERADO COM AS MUDANÇAS PROPOSTAS

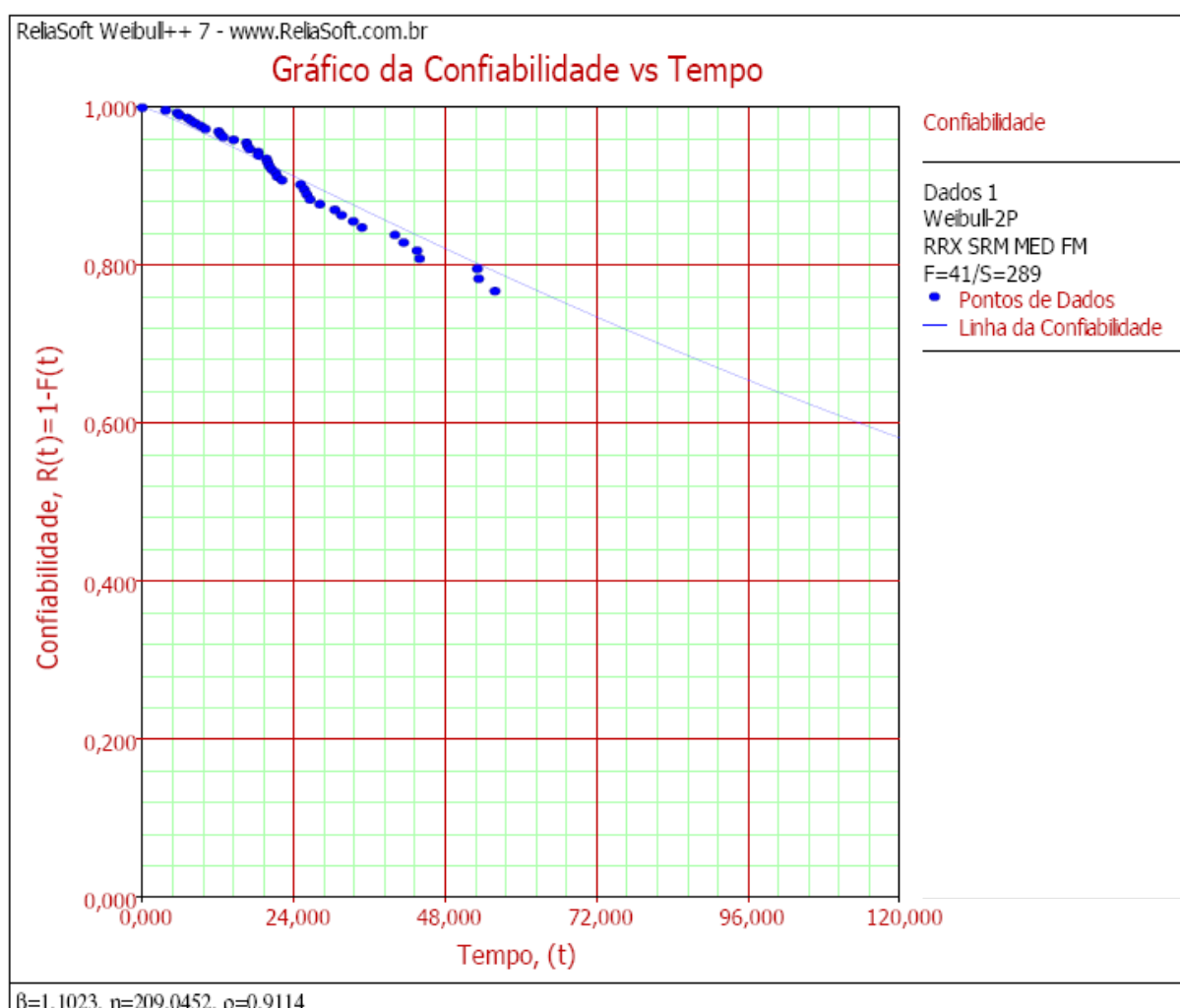


Figura 16 - Probabilidade de sucesso esperado com as mudanças propostas

Fonte: Autor

7.1 RESULTADOS ESPERADOS APÓS O PROJETO

- A confiabilidade (probabilidade do motor à quatro anos) passará de 41% para 86%;
- A vida média terá um ganho estimado de 33%, passando de 2,25 para 2,99 anos;
- Com a produção atual, em 40 meses toda a frota de C-30 estará equipada com motores de tração usando componentes com as recuperações novas ou componentes semi novos;
- As falhas causadas pelos motores de tração diminuirão 43% (de uma média de 18 para 15/mês).

Com os resultados proposto na confiabilidade temos a probabilidade de falha de um motor operar durante 1000 horas em $R(T)$, $Q(T)$ e $H(T)$.

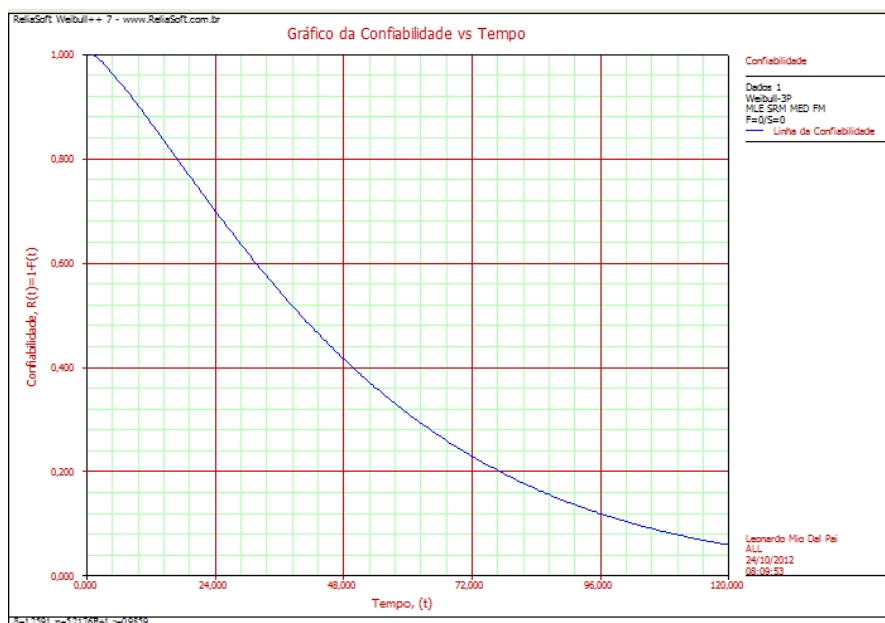


Figura 17 - Confiabilidade x Tempo antes do projeto

Fonte: Autor

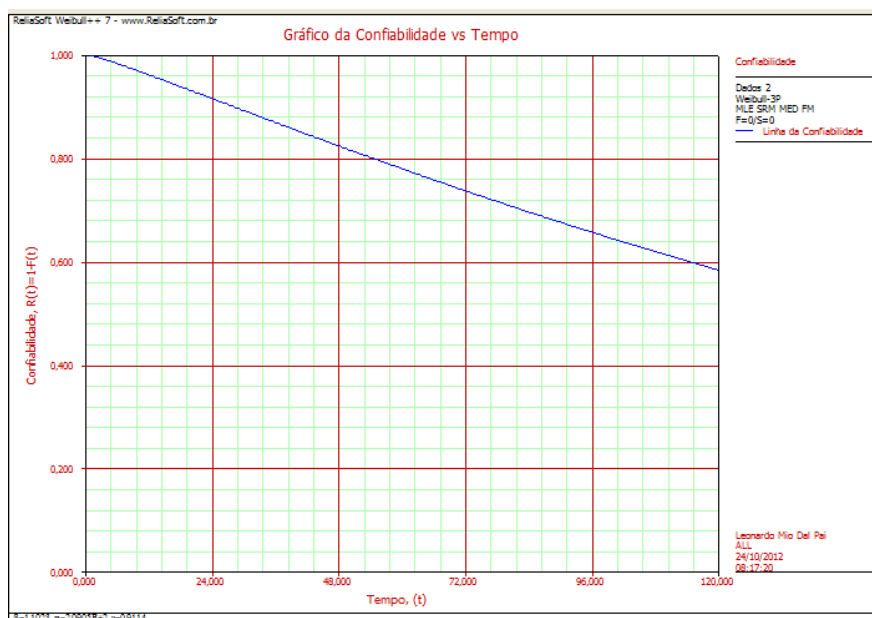


Figura 18 - Confiabilidade x Tempo após o projeto

Fonte: Autor

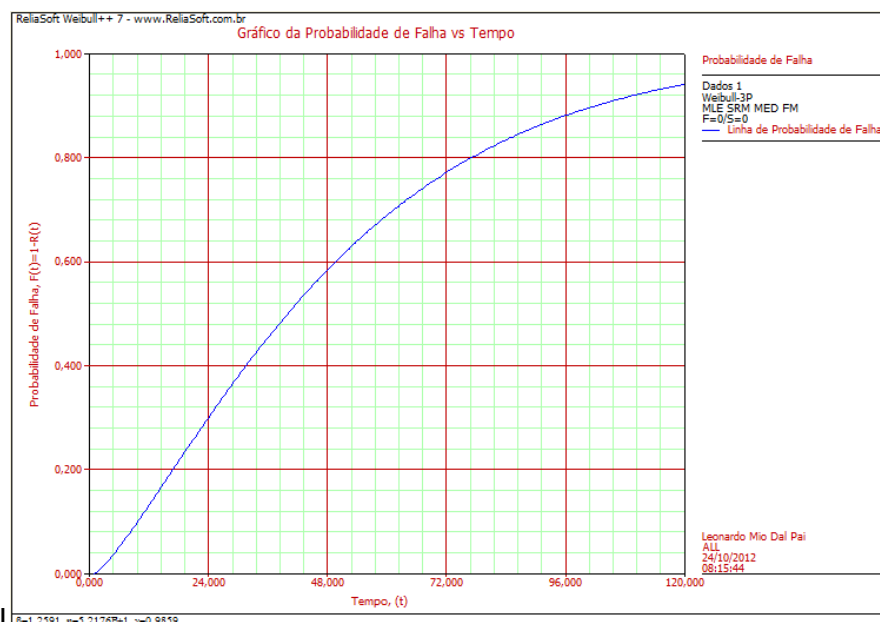


Figura 19 - Probabilidade de falha x tempo antes da implantação do projeto

Fonte: Autor

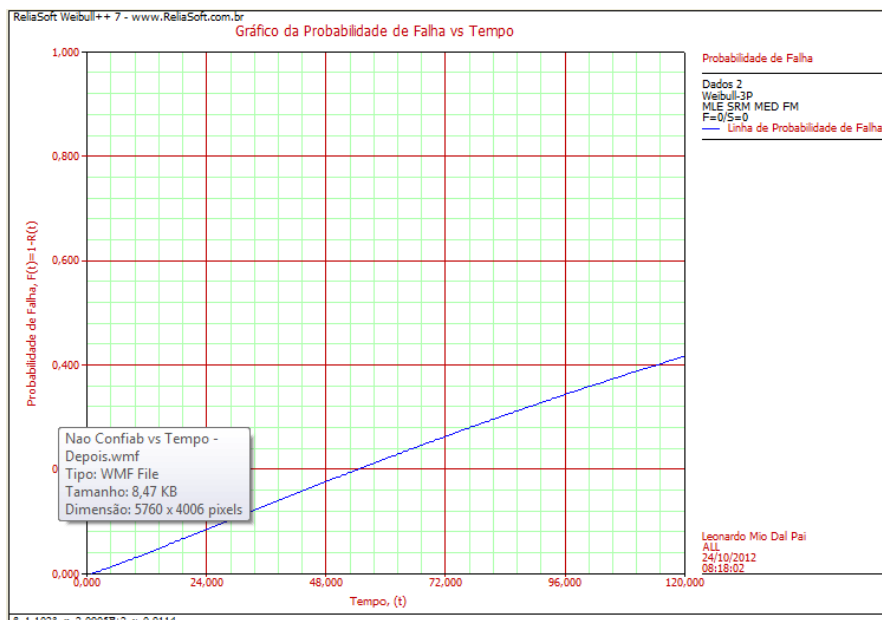


Figura 20 - Probabilidade de falha x tempo após a implantação do projeto

Fonte: Autor

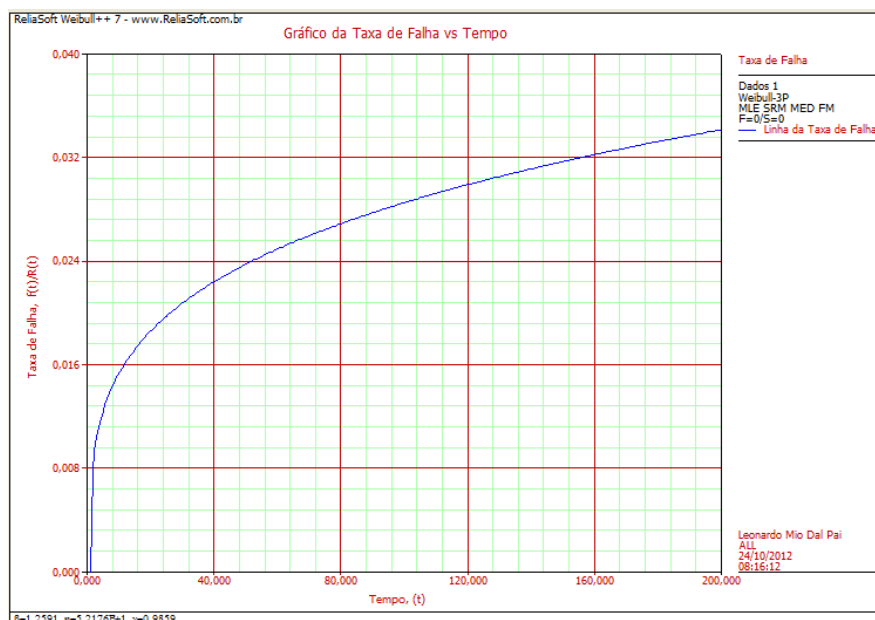


Figura 21 - Taxa de falha x tempo antes do projeto

Fonte: Autor

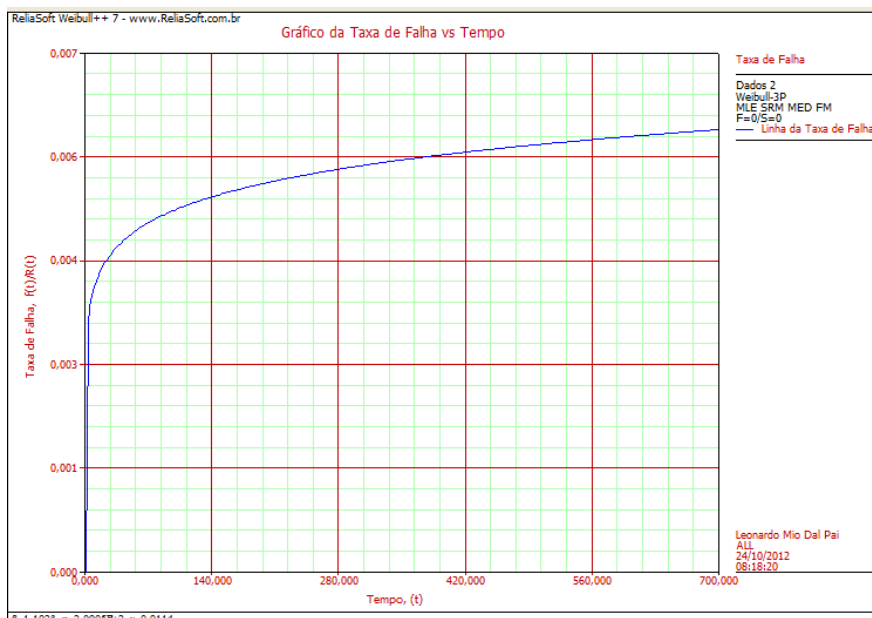


Figura 22 - Taxa de falha x tempo após o projeto

Fonte: Autor

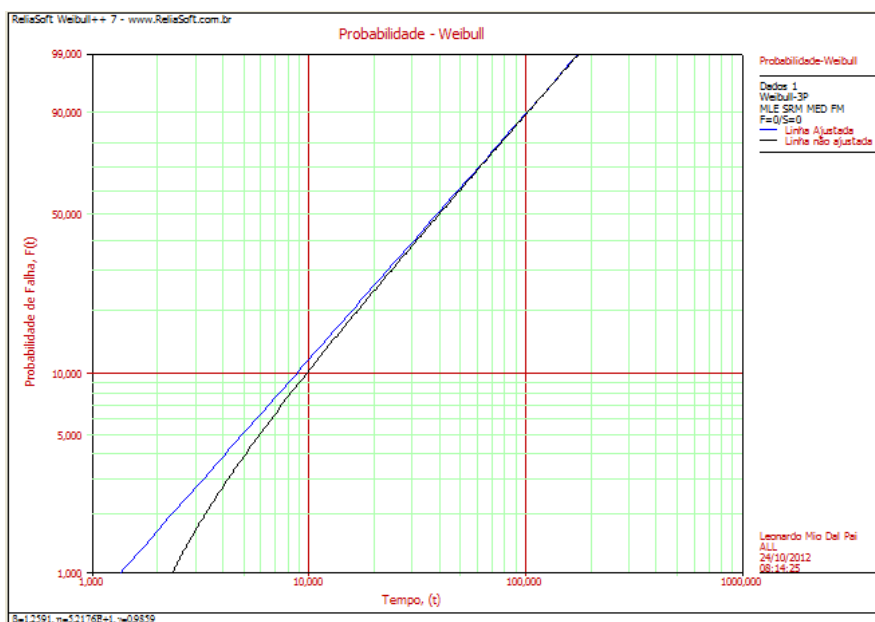


Figura 23 - Probabilidade de Weibul antes do projeto

Fonte: Autor

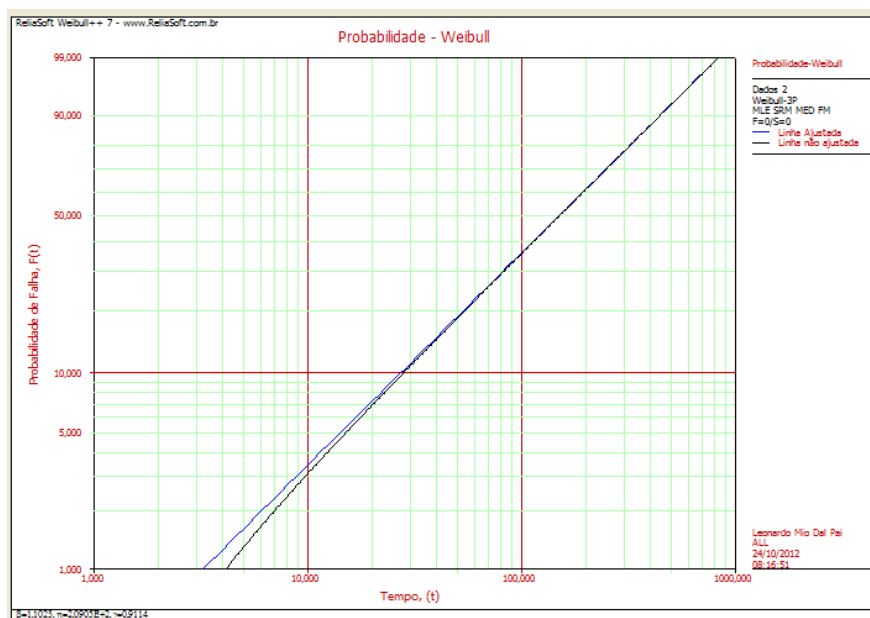


Figura 24 - Probabilidade de Weibull após o projeto

Fonte: Autor

Algumas causas encontrada nos sub componentes, pela existência de pinhão solto, campo aberto e armadura em massa. A (Figura 18) mostra a ocorrência e a distribuição percentual das causas raiz com relação a peças.

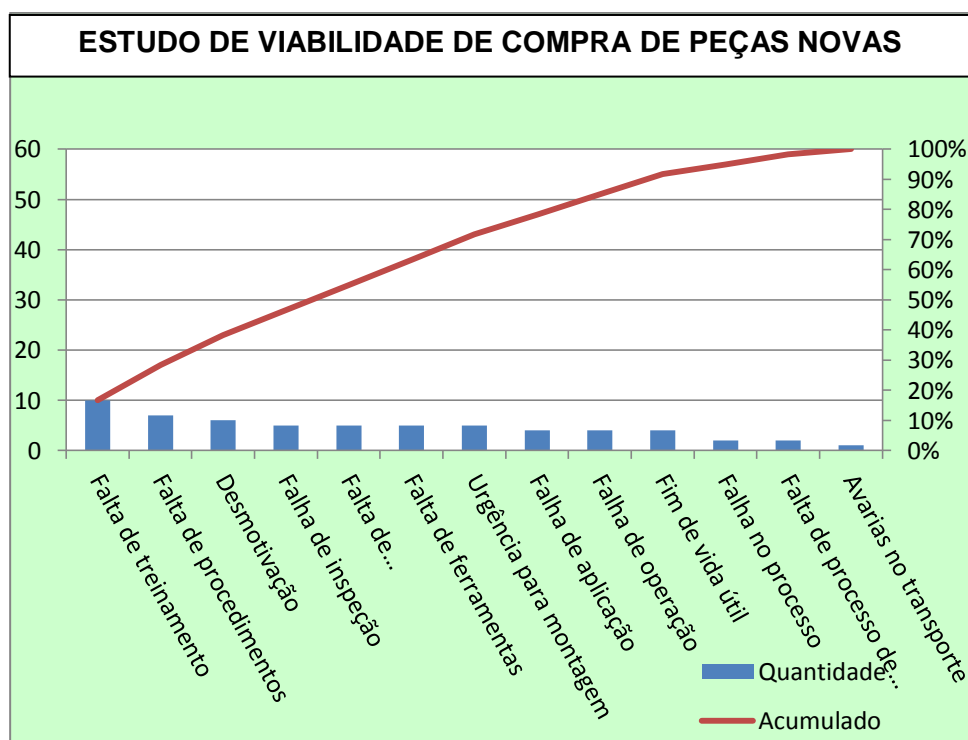


Figura 25 - Estudo de viabilidade para a compra de peças novas

Fonte: Autor

As estatísticas de sucesso em relação aos sub componentes, também nos mostra o quanto as falhas foram reduzidas após a implantação do projeto em todos os sub componentes.

	CAMPO ABERTO	PINHÃO SOLTO	ARMADURA EM MASSA	INTERPOLO ABERTO	ROLAMENTO	ROÇAMENTO PORTA ESCOVA	OUTROS	BAIXA ISOLAÇÃO	BRAÇO QUEBRADO
Atual	0,38	0,25	0,01	0,91	0,95	0,97	0,44	0,64	0,75
Recuperação	0,84	0,78	0,85	0,96	0,98	0,98	0,93	0,70	0,8
Novo	0,91	0,95	-	0,99	0,99	0,99	0,97	0,70	0,8
Participação nas falhas	20%	36%	11%	1%	7%	4%	12%	5%	4%

Quadro 16 – Probabilidade de sucesso por sub componente

Fonte: Autor

7.2 PLANO DE AÇÃO

Apesar de ter traçado um plano de ação, devido a vários fatores alguns problemas identificados como causa raiz não foi executado conforme o quadro 13.

Causa	Solução	Como	Quem	Quando	Status
Desmotivação	Cumprir os valores da companhia	Palestras, usando exemplos, divulgação de promoções	Gerência	Sempre	Em andamento
	Mostrar a importância do trabalho dos	Reuniões de 5 minutos, reuniões periódicas	Líder de célula	Sempre	Em andamento

	colaboradores				
	Mostrar o PRV como incentivador para os colaboradores	Divulgação, reformulação da divulgação	Analista de Gente	Sempre	Concluído
Falta de treinamentos	Treinamentos básicos (Informática, Metrologia, Ferramentas)	Ministrar os cursos, formar turmas de colaboradores	Analista da confiabilidade	Ago/12	Não iniciado
	Cronograma de treinamentos técnicos e profissionais	Elaborar cronograma de acordo com as necessidades dos colaboradores, definir conteúdo	Analista da confiabilidade	Jul/12	Em andamento
	Visitas técnicas e palestras com fornecedores	Fazer contato com fornecedores, negociar treinamentos, viabilizar transporte	Analista da confiabilidade	Jul/12	Em andamento
Fim de vida útil	Planejamento para compra de peças novas	Levantamento de necessidades, definição de itens mais críticos	Suprimentos	Abr/12	Em andamento
	Sucateamento de peças com idade superior ao determinado pelo fabricante	Definição de parâmetros, corte das peças para evitar reuso	Técnico da confiabilidade	Sempre	Concluído
	Envio de componentes aos postos a base de troca	Informe aos postos, almoxarifado e transporte	Gerências executivas, MRO, Suprimentos	Ago/12	Não iniciado
Falta de processo de recuperação adequado	Estudos de material nos componentes existentes	Análises de composição, resistência mecânica	Gerência	Julh/12	Em andamento
	Elaboração de escopos dos serviços de recuperação mais críticos, ainda	Definição dos componentes mais críticos, levantamento de informações	Analista da confiabilidade	Dez/11	Concluído

	sem escopo				
	Desenvolvimento de novos fornecedores e métodos de recuperação de peças	Aproximação de fornecedores e estudo de novos processos	Analista da confiabilidade	Sempre	Em andamento
	Aumentar o número de testes nos materiais a serem reaproveitados	Definição dos testes (destrutivos ou não) e resultados esperados	Analista da confiabilidade	Ago/12	Não iniciado
Avarias no transporte	Treinar todos os motoristas em como distribuir melhor a carga no transporte	Palestras	Confiabilidade junto com logística	Ago/12	Não iniciado
	Procedimentos, treinamentos e auditorias no manuseio das peças durante o transporte	Levantamento das falhas, elaboração de procedimento	Analista da confiabilidade	Ago/12	Não iniciado
Falta de procedimentos	Cronograma de criação de procedimentos	Definir quais procedimentos são críticos e devem ser priorizados	Analista da confiabilidade	Nov/11	Concluído
	Treinamentos teóricos e práticos periódicos	Elaborar, promover e atualizar treinamentos	Técnico da confiabilidade	Ago/12	Não iniciado
	Atualização dos manuais técnicos junto aos fabricantes das locomotivas e componentes	Contato com fabricantes, fornecedores e recuperadores	Analista da confiabilidade	Sempre	Em andamento

Falha no processo	Melhorar fluxo de informação do recebimento de informação para a planilha de rastreabilidade	Criar fichas para passagem de informações, conferência dos dados	Analista da confiabilidade	Nov/11	Concluído
	Auditar preenchimento correto da planilha de rastreabilidade	Conferir periodicamente planilha da rastreabilidade	Técnico da confiabilidade	Sempre	Em andamento
Falta de acompanhamento técnico	Manter o técnico de confiabilidade dedicado à célula	Delegar função não relacionadas à confiabilidade ao líder de célula	Coordenação	Fev/12	Concluído
	Escolher um técnico para as células de qualificação e desmontagem	Escolher um colaborador, disponibilizar acesso às informações	Analista da confiabilidade	Set/12	Não iniciado
	Treinamento específico para atualização de técnicos e analistas da confiabilidade	Treinamentos voltados à análise de falhas e confiabilidade	Gerência	Set/12	Não iniciado
	Análises das falhas de uma parcela maior dos motores que chegam ao Back Shop	Maior integração e uso das informações do GAF	Analista da confiabilidade	Mar/12	Em andamento
	Auditorias	Aumentar o número de auditorias do processo	Técnico da confiabilidade	Abr/12	Em andamento
Falta de ferramentas	Tornar treinamentos de metrologia e elétrica periódicos e obrigatórios para colaboradores novos	Planejar horários e foco do treinamento	Coordenação	Ago/12	Não iniciado

	Compra de novas ferramentas	Criação de SAPs e levantamento de ferramentas faltantes	Analista da confiabilidade	Fev/12	Concluído
	Cumprir o plano atual de calibração das ferramentas	Auditar condições e datas das revisões das ferramentas em uso	Técnico da confiabilidade	Sempre	Em andamento
Falha de aplicação	Analisar bemestor e armaduraantes e após montagem	Técnicos e operadores	Instruído por Analista Confiabilidade	Abr/12	Não iniciado
	Visitas aos postos para acompanhamento da manutenção e treinamentos	Contato com postos, GAF e viabilização de visitas	Coordenação	Abr/12	Não iniciado
	Em motores da C30	Criar SAP, corrigir processo	Coordenação	Out/11	Concluído
Urgência na montagem	Reestruturação do planejamento de produção do Back shop	Reestruturar contrato e fornecimento de insumos	Analista da Produção	Dez/12	Em andamento
	Construção de um estoque pulmão, evitando urgências	Planejar compra de insumos e produção de componetes	Coordenação	Ago/12	Não iniciado
	Completar quadro de colaboradores das células	Contratar colaboradores novos	Analista de gente	Abr/12	Em andamento
	Realocação de mão-de-obra ociosa;	Treinar colaboradores dispostos a trabalhar no motor de tração	Técnico da confiabilidade	Sempre	Não iniciado
Falha na condução	Acompanhamento de viagens de trens	Disponibilizar pessoal técnico para viagens em trechos críticos	Gerência	Abr/12	Não iniciado
	Treinamento para evitar comportamentos nocivos à	Atuar junto ao campo para evitar comportamentos nocivos ao material	Engenharia	Sempre	Em andamento

	locomotiva				
--	------------	--	--	--	--

Quadro 17 – Plano de ação das causas raízes

Fonte: Autor

7.3 O QUE FAZER PARA MANTER OS RESULTADOS?

Depois de mostradas as falhas e suas causas raízes, são propostas algumas ações que devem ser tomadas para uma melhoria contínua, sem perder os avanços já conquistados.

7.4 AUDITORIAS PERIÓDICAS DO PROCESSO

Um dos melhores meios de se avaliar a qualidade de um processo é por meio da realização de auditorias de todas as suas etapas e colaboradores. Esta ferramenta é tão importante, que será executada por várias áreas diferentes.

Trabalhando desta forma, várias pessoas de visões distintas poderão dizer quais são os pontos a se desenvolver e sugerir melhoras ou mudanças em qualquer ponto da passagem do motor de tração pelo Back Shop. As auditorias também podem detectar inconformidades vindas de recuperações, transportes ou causas externas.

Um segmento que também deverá ser auditado será a parte de estoques e ordens de serviço, para evitar que entrem e saiam peças e componentes sem registro de movimentação. Esse trabalho já é feito pelo controle de qualidade e também será estendido para os líderes de célula e supervisores.

As auditorias serão registradas e aquelas apontadas como as mais importantes serão tratadas pelos técnicos e pelo Grupo de Análise de Falhas (GAF).

7.5 TESTES DE MEDIÇÕES NOS COMPONENTES RECUPERADOS

O motor de tração tem um elevado grau de dependência de recuperações externas, como já dito. Com o aumento da demanda, novos fornecedores estão em desenvolvimento e os atuais estão modificando seus processos visando aumentar as entregas de material recuperado.

Apesar da elevada participação deste tipo de material na matriz de insumos do Back Shop, ainda não há testes nem parâmetros específicos para a maioria dos materiais recuperados. Há necessidade de alinhar com a engenharia e os especialistas da área o correto processo de avaliação das recuperações, assim como a disponibilização de uma verba para a realização de testes, que, apesar de ter um custo elevado, dão uma idéia precisa do comportamento desses materiais antes de entrar em operação. Este tipo de investimento, com embasamento técnico, será de grande utilidade na definição dos escopos de recuperação corretos, além de fornecerem uma estimativa da vida útil destes materiais elétricos.

7.6 CRONOGRAMA DE TREINAMENTOS E PROCEDIMENTOS

Para se tratar a maior das maiores deficiências da mão de obra do Back Shop, um ponto a se desenvolver e manter, é um cronograma de treinamentos. Alguns desses treinamentos devem se tornar obrigatórios no ato de admissão de qualquer colaborador do Back Shop, por exemplo:

- Teoria e ferramental de metrologia;
- Elétrica básica;
- Operação de ponte rolante;
- Procedimentos da célula onde o colaborador irá trabalhar;

Além dos treinamentos de admissão, deve-se fixar uma grade de treinamentos periódicos de reciclagem nos procedimentos rotineiros de todas as células. Nestes treinamentos, devem ser incluídas situações encontradas no dia a dia dos colaboradores em que foram necessárias mudanças ou quando tenham sido encontradas anomalias.

A partir dos treinamentos e do diálogo com os colaboradores sobre as situações cotidianas, contidos nos treinamentos, devem ser feitas revisões e criação de procedimentos, de forma a abranger os pontos de desenvolvimento ou que gerem dúvidas na execução do serviço.

7.7 CRONOGRAMA DE CALIBRAÇÃO DAS FERRAMENTAS

Como mostrado no quadro 18, às ferramentas utilizadas em todas as etapas do processo do motor de tração precisam ser calibradas regularmente para remover os erros introduzidos no processo.

A partir dessa necessidade, criou-se uma tabela com as datas para a calibração das ferramentas. Isso evita que se trabalhe com as ferramentas descalibradas e também dá à célula um maior controle da acessibilidade às suas ferramentas, sabendo quando estarão indisponíveis.

Descrição da ferramenta	Última Revisão	Série	Periodicidade	Próxima Revisão
Micrômetro externo 0-4"	09/06/2010	M 00-72	Semestral	09/12/2010
Micrômetro externo 1"	09/06/2010	M 00-71	Semestral	09/12/2010
Micrômetro externo 4-8"	09/06/2010	M 00-118	Semestral	09/12/2010
Micrômetro	09/06/2010	M 00-100	Semestral	09/12/2010
Multímetro	09/06/2010	M 00-30	Semestral	09/12/2010
Micrometro interno 0-300mm	09/06/2010	M 00-41	Semestral	09/12/2010
Paquímetro pequeno: 150mm	09/06/2010	P 00-26	Semestral	09/12/2010
Relógio comparador	03/06/2010	R 00-9	Semestral	03/12/2010
Relógio comparador em polegada c/ kit	09/06/2010	R 00-61	Semestral	09/12/2010

Torquímetro 35-165Lbf /40-360Nm	06/07/2010	00-110	Semestral	06/01/2011
Torquímetro de estalo 35-220lbf.ft	10/06/2010	00-27	Semestral	10/12/2010

Quadro 18 - Tabela de calibração das ferramentas
Fonte: Greison Dias(2011)

7.8 PARTICIPAÇÃO NA CONTRATAÇÃO DE NOVOS COLABORADORES

Durante a confecção deste estudo oito colaboradores foram contratados para as células envolvidas com o motor de tração. Destes, três deixaram a empresa depois de uma semana e outros três se demitiram nos meses seguintes. Além desses, outros deixaram a célula onde trabalhavam e houve duas demissões. Esses dados mostram como é difícil encontrar e manter colaboradores comprometidos com o trabalho do BS.

Por este motivo, é interessante que um representante da célula ou da confiabilidade esteja presente durante o processo de seleção de pessoal para o BS, para que ajudem a selecionar pessoas com conhecimentos em manutenção elétrica ou mecânica e que demonstrem comprometimento com seu trabalho, para evitar retrabalho nos treinamentos, certificações e contratações, tão difíceis de serem disponibilizados no BS.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo buscou entender o que é e como é tratado o motor de tração D-31 C30 GM dentro da estrutura do Back Shop. Neste contexto, foram apresentadas as principais falhas e propostas como soluções no (quadro 13) direcionadas a cada causa raiz dentre as principais falhas.

Com apenas uma parcela das ações implantadas, obtiveram-se resultados bastante significativos: 17% de redução dos retornos em garantia e 39% de redução nas falhas em trens associadas ao motor de tração. Financeiramente, estes resultados representam uma economia enorme para a empresa que, em poucos meses paga todos os investimentos necessários para a implantação das ações restantes.

Para se atingir os objetivos proposto deste estudo foram necessários a colaboração de todos os envolvidos no estudo, principalmente os colaboradores de chão de fábrica que com muita paciência e dedicação de todos, executaram os procedimentos novos designados.

A dificuldade maior neste estudo também ficou correlacionado com as reuniões, diariamente. Além da não disponibilidade de horário ficou difícil conseguir que todos os envolvidos participassem.

Mesmo nos momentos que não tínhamos tempo o suficiente para dar continuidade no projeto, me deslocava a cada integrante da equipe com apenas uma prancheta contendo rascunhos para algumas afirmações sobre o assunto do projeto.

Apesar de todos os esforços para que se avançasse o projeto, fica como mérito de todo este estudo de análise de campo. E com grande renovação no processo do motor de tração, sendo suficiente apenas para a resolução dos problemas atuais na época do estudo, e servindo de base para a resolução de outros problemas que venham a surgir. A principal mensagem é que a execução correta dos procedimentos e acompanhamento constante do processo são atitudes que devem ser incorporadas à rotina de todos os colaboradores envolvidos no

processo do BS, para que estes nunca se contentem com os resultados alcançados e sempre busquem melhoras nas tarefas executadas.

Apesar do eterno conflito entre qualidade e produção, geralmente vencido pela produção, já se observa um aumento da vida útil dos motores de tração, como foi mostrado. Este resultado é reflexo das ações já tomadas e do trabalho dos técnicos da confiabilidade também que passaram pelas células do motor de tração no período em que este estudo foi escrito. Comparando-se aos outros componentes rastreados, houve muita melhoria no processo, mas ainda há muito a ser melhorado.

A metodologia DMAIC Seis Sigma foi de extrema importância para mostrar o caminho mais apropriado a ser seguido e também como deveria ser dado cada passo na busca das soluções para os pontos levantados como passíveis de melhora.

Tenho plena certeza de que como ações futuras os colaboradores estejam bem qualificados, instruídos em cada execução do processo para cumprir o fluxo correto, com procedimentos adequados e que as informações necessárias de retorno dos motores cheguem aos postos de manutenção para maior controle do processo no BS.

Tomando como referencia os resultados e ações nos motores de tração, tenho como próximo passo fazer um estudo do governador, que também é um equipamento mecânico de alta importância para a locomotiva, pois é ele que controla a temperatura, pressão, vazão de óleo da locomotiva e atualmente não se mantém a confiabilidade desejada pelo BS e á possibilidade também de um estudo futuro sobre geradores.

REFERÊNCIAS

A.CAVAZZONI, Fernando. **Motor elétrico de tração de corrente contínua**. Minas Gerais: Contagem, 2008.

ALL - América Latina Logística. **Manuais técnicos de locomotivas**. Curitiba, 2010.

DIAS, Greison. **Aumento da confiabilidade na montagem do compressor de ar por meio da qualificação dos seus subcomponentes**, 2010, (Pós-graduação em Engenharia Ferroviária) Centro de Pesquisas Ferroviárias e Universidade Positivo, Curitiba, 2010.

H.P.S.LIRA, Luiz. **Aumento da confiabilidade dos conjuntos de força GE**, 2011, (Pós-graduação em Engenharia Ferroviária) Centro de Pesquisas Ferroviárias. e Universidade Positivo, Curitiba, 2011.

I.L.Kosow; C.E.Stemmer; A.Martignoni, **Manual de tecnologia eletromecânica:Máquinas elétricas e transformadores**. Porto Alegre: Globo, 1980.

KINGSLEY, Charles; A.E.Fitzgerald; STEPHEN.Umans **Máquinas elétricas: com indução a eletrônica de potência**. São Paulo: Bookman companhia, 2006.

L.BORBA, José. **Sistema de tração e locomotivas:Universidade Corporativa ALL, CEPEFER** (Centro de Estudo e Pesquisas Ferroviárias). Curitiba-PR, 2008.

SIQUEIRA, Iony P. **Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

WERKEMA, Cristina. **Criando a cultura seis sigma**. Belo Horizonte: Werkema, 2010.

TADEU, Marcio. Itajubá – MG- **Notas de aula** (Professor da Escola Federal de Itajubá).

VELANDIA.R, Liliana. **Um Modelo de Referência para Melhoria de Processos Industriais Usando Conceitos Seis Sigma**. Florianópolis, UFSC, Curso de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, 2006.

ANEXOS

ANEXO.1: CRONOGRAMA DE IMPLANTAÇÃO DO PROJETO

Atividades	dez/11	jan/12	fev/12	mar/12	abr/12	mai/12	jun/12	jul/12	ago/12
Elaboração do projeto DEFINE									
Entrega do projeto DEFINE									
Pesquisa bibliográfica MEASURE									
Coleta de Dados MEASURE									
Apresentação e discussão dos dados ANALISE									
Conclusão IMPROVE									
Entrega do TCC CONTROL									
Defesa da banca									

Fonte: Autor

ANEXO 2: CUSTOS DE TREM PARADO (R\$)

Corredor	Ano	Mês	Dia	Hora	Particip.
LARGA	2.026.510.851,00	168.875.904,25	11.258.394,00	469.099,75	58,60%
CENTRAL	807.500.992,00	67.291.749,33	4.486.117,00	186.921,54	23,35%
RIO GRANDE	218.036.780,00	18.169.731,67	1.211.315,00	50.471,46	6,31%
MÉTRICA NORTE	194.146.508,00	16.178.875,67	1.078.592,00	44.941,33	5,61%
TRONCO SUL	171.928.517,00	14.327.376,42	955.158,00	39.798,25	4,97%
OUTROS	39.998.849,00	3.333.237,42	222.216,00	9.259,00	1,16%
Total	3.458.122.497,00	288.176.874,75	19.211.792,00	800.491,33	100,00%

Fonte: Controladoria (2012)

ANEXO.3: FMEA MOTOR DE TRAÇÃO

Function	Failure	Effect	Si		O i	Di	RPNi	Recommended Action
1.8.9 - Motor de Tração GM D-31 C-30								
1.8.9.1 - Conjunto Completo								
Tracionar locomotiva	Queimado/carbonizado	Perda total função para C30 não MP.	8	Impregnação de óleo. Flash-over. Sobretensão ou sobrecorrente.	7	8	448	Inspeccionar completamente o interior do MT através das 3 tampas de inspeção a cada 45 dias na Oficina e PML.
		Perda parcial da função para C30MP. Perda de dinâmico. Redução de potência.	8	Impregnação de óleo. Flash-over. Sobretensão ou sobrecorrente.	7	7	392	Inspeccionar completamente o interior do MT através das 3 tampas de inspeção a cada 45 dias na Oficina e PML.
		Perda total da função para C30MP com mais de 2 MT's isolados.	8	Impregnação de óleo. Flash-over. Sobretensão ou sobrecorrente.	7	8	448	Inspeccionar completamente o interior do MT através das 3 tampas de inspeção a cada 45 dias na Oficina e PML.
	Travado/Emperrado/ Engripado	Oscilação de potência ou amperagem. Perda total da função. Atuação do sistema de patinação de roda.	8	Pinhão quebrado.	6	9	432	Completar nível de graxa e inspeção da caixa de graxa a cada 45 dias na Oficina e PML.
							BACKSHOP: Substituir a caixa de graxa a cada 24 meses.	
				Rolamento danificado.	5	9	360	BACKSHOP: Substituição completa do rolamento a cada recuperação total do motor de tração.
	Trincado/Partido/ Quebrado	Perda parcial da função. Excesso de vibração.	5	Folga/Falta do amortecedor do MT	6	10	300	Inspeção visual do amortecedor do MT, Conjunto de molas e chapa de desgaste do pedestal a cada 45 dias na Oficina e PML.
1.8.9.2 – Escova								
Criar conexão elétrica entre armadura e campo	Trincado/Partido/ Quebrado	Aumento de temperatura e faiscamento. Perda da função.	7	Lamela alta ou desbalanceamento da armadura.	5	10	350	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias no PML e Oficina.
								Substituir todas as escovas a cada 12 meses.
	Lamela alta	Aumento do faiscamento no comutador. Possível danos no comutador ou coletor. Perda de função.	7	Fadiga de material. Falha de material. Manutenção postergada.	4	10	280	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias.
								Inspeccionar visualmente quanto à quebra de escovas a cada 45 dias.
								Substituir todas as escovas a cada 12 meses.
Desgaste Excessivo	Sobrecarga.	6	Falta de escovas (quebradas). Defeito na armadura, bobina.	4	6	144	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias.	
							Substituir todas as escovas a cada 12 meses.	
Solto/Frouxo	Desgaste no alojamento da porta escova.	7	Fadiga de material. Falha de material. Manutenção postergada. Falha de manutenção.	5	10	350	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias.	
							Substituir todas as escovas a cada 12 meses.	

	Não Presente	Perda da função. Aumento de temperatura, desarmando disjuntores.	8	Falha de manutenção. Vandalismo.	3	2	48	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias.	
								Substituir todas as escovas a cada 12 meses.	
	Espelhamento	Alta rotação. Quebra de escovas. Diminuição da comutação. Desgastes excessivos aos materiais associados.	7	Excentricidade da armadura ou coletor	6	8	336	Inspeccionar através do relógio comparador o coletor e armadura quanto à excentricidade a cada 12 meses.	
								Substituir todas as escovas a cada 12 meses.	
								Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias.	
	Vitrificado	Endurecimento da escova. Sobrecarga.	6	Contaminação por óleo.	6	4	144	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à contaminação de óleo a cada 45 dias.	
								Substituir todas as escovas a cada 12 meses.	
1.8.9.3 - Porta Escova									
Alojar a Escova e Transmitir energia.	Trincado/Partido/Quebrado	Perda da função. Fiscamento do coletor	8	Falha do pressionador (mola).	5	3	120	Inspeccionar visualmente a escova e porta escova quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias na Oficina e PML.	
		Escova com mau contato com o comutador. Fiscamento do coletor.	7	Falha do pressionador (mola).	6	2	84	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias na Oficina e PML.	
	Desgaste Excessivo	Perda da pressão da mola. Fiscamento. Perda da função	8	Mola quebrada ou trincada.	6	7	336	REPARAÇÃO: Inspeccionar através de um dinamômetro a pressão da mola a cada 12 meses no Back Shop. INSPEÇÃO: Inspeccionar visualmente a pressão da mola a cada 45 dias no PML e Oficina.	
	Aterrado	Circuito de terra atuando. Perda da função.	8	Contaminação por óleo. Umidade excessiva. Fuga de corrente pelo isolador.	8	2	128	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à contaminação de óleo e umidade excessiva a cada 45 dias na Oficina e PML.	
	Solto / Frouxo / Desregulado	Vibração excessiva. Aumento de fiscamento. Danificar armadura. Aumento de aquecimento. Quebra de escova.	7	Falha de fixação dos terminais, cabos, porta escova, carcaça. Falha de manutenção. Manutenção postergada	7	7	343	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias na Oficina e PML.	
	Não Presente	Perda da função. Aumento de temperatura, desarmando disjuntores.	8	Falha de manutenção. Vandalismo.	3	2	48	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias na Oficina e PML.	
1.8.9.4 – Armadura									
Transformar energia elétrica em energia mecânica	Trincado/Partido/Quebrado	Escova com mau contato com o comutador. Fiscamento do coletor.	7	Falha do pressionador (mola).	6	9	378	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias.	
	Queimado/carbonizado	Perda da função.	8	Falta de refrigeração.	1	1	8	Inspeccionar visualmente o sistema de refrigeração (soprador) a cada 45 dias.	

	Travado/Emperrado/ Engripado	Perda da função.	8	Falha de Rolamento.	5	9	360	Inspeccionar visualmente quanto a vazamentos de graxa de rolamento para o interior do motor de tração do lado do comutador a cada 45 dias no PML e Oficina.
								BACKSHOP: Substituição completa do rolamento a cada recuperação total do motor de tração.
	Curto-Circuito	Perda parcial da função. Fisicamento podendo levar ao surgimento de flash-over e atuação do sistema de relé terra.	8	Espiras em curto-circuito. Escova e comutador desgastados. Excesso de impregnação de pó de escova entre lâminas.	5	8	320	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias no PML e Oficina.
								BACKSHOP: Recuperação parcial da armadura a cada 24 meses.
	Aberto	Perda total da função. Atuação do sistema de patinação de rodas.	8	Falha de conexões entre bobinas de inter-polo. Falha de ligação aberta em porta escova. Terminais quebrados.	6	9	432	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à fixação, tamanho mínimo a cada 45 dias.
	Aterrado	Circuito de terra atuando. Perda total da função.	8	Contaminação por óleo. Falha no circuito de transição. Espiras em curto-circuito.	6	8	384	Inspeccionar completamente o interior do MT através das 3 tampas de inspeção a cada 45 dias na Oficina e PML.
								Inspeccionar com o megômetro o nível de isolamento a cada 45 dias no PML e Oficina.
				Umidade excessiva.	4	5	160	Inspeccionar com o megômetro o nível de isolamento a cada 45 dias no PML e Oficina.
	Contaminado	Falha de comutação. Baixa isolamento.	5	Contaminação por óleo	8	3	120	Inspeccionar visualmente a escova, porta escova e coletor quanto à contaminação de óleo e umidade excessiva a cada 45 dias.
								Inspeccionar com o megômetro o nível de isolamento a cada 45 dias no PML e Oficina.
	Desbalanceamento	Esforço excessivo no rolamento	5	Falha de manutenção. Falha de montagem.	3	9	135	BACKSHOP: Recuperar com o balanceador dinâmico a cada revisão geral do motor de tração.
	Lamela alta	Aumento do fisicamento no comutador. Possíveis danos no comutador ou coletor. Perda de função.	7	Fadiga de material. Falha de material. Manutenção postergada. Operação em sobrecarga.	6	8	336	Inspeccionar visualmente quanto à quebra de escovas a cada 45 dias.
								BACKSHOP: Usinar a armadura e verificar a excentricidade a cada recuperação parcial ou total do motor de tração.
1.8.9.5 – Campo								
	Induzir corrente elétrica na armadura	Sobrecarga com superaquecimento e possibilidade de fundir os barramentos internos. Perda total da função.	8	Manutenção postergada. Erro de inspeção. Falha de material. Falha de fixação das sapatas polares.	5	10	400	Inspeccionar o interior do MT através das 3 tampas de inspeção quanto à impregnação de sujeira, trincas na isolamento, sinais de aquecimento a cada 45 dias na Oficina e PML.
								BACKSHOP: Revisar as bobinas de campo na recuperação parcial ou total a cada 24 meses.

	Curto-Circuito	Sobrecarga com superaquecimento e possibilidade de fundir os barramentos internos. Perda total da função.	8	Fadiga de material. Falha de material. Manutenção postergada. Falha no sistema de assopramento.	6	10	480	Inspeccionar o interior do MT através das 3 tampas de inspeção quanto à impregnação de sujeira, trincas na isolação, sinais de aquecimento a cada 45 dias na Oficina e PML. BACKSHOP: Revisar as bobinas de campo na recuperação parcial ou total a cada 24 meses.
	Mau Contato	Sobrecarga com superaquecimento e possibilidade de fundir os barramentos internos. Perda total da função.	8	Manutenção postergada. Erro de inspeção. Falha de material. Falha de manutenção. Falha de montagem.	4	10	320	Inspeccionar visualmente os terminais e cabos de ligação de entrada do campo a cada 45 dias na Oficina e PML. BACKSHOP: Revisar barramentos de ligação interna do campo na recuperação parcial ou total a cada 24 meses.
	Aberto	Sobrecarga com superaquecimento e possibilidade de fundir os barramentos internos. Perda total da função.	8	Falha de fixação. Manutenção postergada. Falha de material. Falha de montagem.	5	10	400	Inspeccionar visualmente os terminais e cabos de ligação de entrada do campo a cada 45 dias na Oficina e PML. BACKSHOP: Revisar barramentos de ligação interna do campo na recuperação parcial ou total a cada 24 meses.
	Aterrado	Fuga de corrente para carcaça. Atuação do sistema de relé terra.	8	Falha de isolação por trincas no verniz. Sobrecarga. Presença de corpo estranho.	7	10	560	Inspeccionar o interior do MT através das 3 tampas de inspeção quanto à impregnação de sujeira, trincas na isolação, sinais de aquecimento a cada 45 dias na Oficina e PML. Inspeccionar visualmente os terminais e cabos de ligação de entrada do campo a cada 45 dias na Oficina e PML. Inspeccionar com o megômetro o nível de isolação a cada 45 dias no PML e Oficina.
1.8.9.6 - Campo de Comutação (Interpolo)								
Supressão de Faiscamento	Trincado/Partido/Quebrado	Sobrecarga com superaquecimento e possibilidade de fundir os barramentos internos. Perda total da função.	8	Manutenção postergada. Erro de inspeção. Falha de material. Falha de fixação das bobinas de interpolo.	5	10	400	Inspeccionar o interior do MT através das 3 tampas de inspeção quanto à impregnação de sujeira, trincas na isolação, sinais de aquecimento a cada 45 dias na Oficina e PML. BACKSHOP: Revisar as bobinas da armadura na recuperação parcial ou total a cada 24 meses.
	Curto-Circuito	Sobrecarga com superaquecimento e possibilidade de fundir os barramentos internos. Perda total da função.	8	Fadiga de material. Falha de material. Manutenção postergada. Falha no sistema de assopramento.	6	10	480	Inspeccionar o interior do MT através das 3 tampas de inspeção quanto à impregnação de sujeira, trincas na isolação, sinais de aquecimento a cada 45 dias na Oficina e PML. BACKSHOP: Revisar as bobinas da armadura na recuperação parcial ou total a cada 24 meses.
	Mau Contato	Sobrecarga com superaquecimento e possibilidade	8	Manutenção postergada. Erro de inspeção. Falha de material. Falha de	4	10	320	Inspeccionar visualmente os terminais e cabos de ligação de entrada da armadura a cada 45 dias na Oficina e PML.

		de fundir os barramentos internos. Perda total da função.		manutenção. Falha de montagem.				BACKSHOP: Revisar barramentos de ligação interna da armadura na recuperação parcial ou total a cada 24 meses.
Aberto		Sobrecarga com superaquecimento e possibilidade de fundir os barramentos internos. Perda total da função.	8	Falha de fixação. Manutenção postergada. Falha de material. Falha de montagem.	5	10	400	Inspeccionar visualmente os terminais e cabos de ligação de entrada da armadura a cada 45 dias na Oficina e PML. BACKSHOP: Revisar barramentos de ligação interna da armadura na recuperação parcial ou total a cada 24 meses.
Aterrado		Fuga de corrente para carcaça. Atuação do sistema de relé terra.	8	Falha de isolamento por trincas no verniz. Sobrecarga. Presença de corpo estranho.	7	10	560	Inspeccionar o interior do MT através das 3 tampas de inspeção quanto à impregnação de sujeira, trincas na isolamento, sinais de aquecimento a cada 45 dias na Oficina e PML. Inspeccionar visualmente os terminais e cabos de ligação de entrada da armadura a cada 45 dias na Oficina e PML. Inspeccionar com o megômetro o nível de isolamento a cada 45 dias no PML e Oficina.
1.8.9.7 - Canopla Isoladora								
Isolar	Queimado/carbonizado	Atuação do sistema de relé terra. Perda total da função.	8	Mau contato no terminal do cabo do motor de tração. Baixa qualidade de material.	6	7	336	Limpar a canopla a cada 45 dias na Oficina e PML. Inspeccionar a canopla quanto à sinais de superaquecimento a cada abastecimento. Substituir todas as canoplas de todos os motores de tração a cada 24 meses na Oficina. BACKSHOP MATERIAIS: Realizar teste de rigidez dielétrica por amostragem a cada lote entregue pelo fornecedor.
	Rasgado	Atuação do sistema de relé terra. Perda total da função.	8	Falha de manutenção. Falha de material. Manutenção postergada. Baixa qualidade de material.	5	5	200	Limpar a canopla a cada 45 dias na Oficina e PML. Inspeccionar a canopla quanto à sinais de superaquecimento a cada abastecimento. Substituir todas as canoplas de todos os motores de tração a cada 24 meses na Oficina. BACKSHOP MATERIAIS: Realizar teste de rigidez dielétrica por amostragem a cada lote entregue pelo fornecedor.
	Ressecado	Possível atuação do relé terra. Perda parcial da função.	7	Falha de manutenção. Falha de material. Manutenção postergada. Baixa qualidade de material.	5	6	210	Limpar a canopla a cada 45 dias na Oficina e PML. Inspeccionar a canopla quanto a sinais de ressecamento a cada abastecimento.

								Substituir todas as canoplas de todos os motores de tração a cada 24 meses na Oficina.
								BACKSHOP MATERIAIS: Realizar teste de rigidez dielétrica por amostragem a cada lote entregue pelo fornecedor.
	Sujo/Sujeira/Sujidade	Atuação do sistema de relé terra. Perda total da função.	8	Impregnação de óleo, graxa e impurezas.	8	5	320	Limpar a canopla a cada 45 dias na Oficina e PML.
								Inspeccionar a canopla quanto à posição e impregnação de óleo a cada abastecimento.
								Substituir todas as canoplas de todos os motores de tração a cada 24 meses na Oficina.
	Fora de Posição	Atuação do sistema de relé terra. Perda total da função.	8	Falha de manutenção. Manutenção postergada.	6	7	336	Limpar a canopla a cada 45 dias na Oficina e PML.
								Inspeccionar a canopla quanto à posição a cada abastecimento.
								Substituir todas as canoplas de todos os motores de tração a cada 24 meses na Oficina.
								BACKSHOP MATERIAIS: Realizar teste de rigidez dielétrica por amostragem a cada lote entregue pelo fornecedor.
	Não presente	Atuação do sistema de relé terra. Perda total da função.	8	Falha de manutenção.	5	4	160	Inspeccionar visualmente quanto à presença a cada abastecimento.
1.8.9.8 – Pinhão								
Engrenamento do eixo do motor à coroa	Trincado/Partido /Quebrado	Oscilação de potência ou amperagem. Perda total da função. Atuação do sistema de patinação de roda.	8	Dente do pinhão quebrado por falta de graxa (lubrificação).	6	10	480	Completar nível de graxa e inspeção da caixa de graxa a cada 45 dias na Oficina e PML.
	Solto/Frouxo	Oscilação de potência ou amperagem. Perda total da função. Atuação do sistema de patinação de roda.	8	Falha de processo de montagem. Falha de material.	6	10	480	BACKSHOP: Auditar processo de montagem do pinhão do motor de tração quando ocorrer 3 falhas associadas ao pinhão (Larga ou Métrica) durante o período de 90 dias.
								BACKSHOP: Reciclar todos os colaboradores na montagem do pinhão do motor de tração quando ocorrer 5 falhas associadas ao pinhão (Larga ou Métrica) durante o período de 90 dias.
Desgaste Excessivo		Aumento de danos aos componentes associados.	7	Falha de lubrificação. Caixa de graxa com vazamentos.	7	7	343	Completar nível de graxa e inspeção da caixa de graxa a cada 45 dias na Oficina e PML.
								Inspeccionar a caixa de graxa quanto a vazamentos, fixação e tampa a cada abastecimento.
								Inspeccionar foldas do pinhão com gabarito durante troca de rodeiros ou substituição do motor de tração no PML e Oficina.
1.8.9.9 – Rolamento								

Limitar a perda de Energia em Consequência do Atrito	Trincado/Partido/Quebrado	Item inoperante. Ruído e/ou aquecimento excessivo antes da quebra.	8	Lubrificação interna do rolamento inadequada. Manutenção postergada. Fim de vida útil.	4	6	192	A cada intervenção do motor de tração por qualquer motivo, analisar o período de utilização do rolamento, não ultrapassando 48 meses de uso.
				Rolamento de baixa qualidade (aquisição).	2	3	48	BACKSHOP: Auditar o processo de compra junto ao suprimento quanto à qualidade do material fornecido junto aos fornecedores homologados quando ocorrer 5 falhas associadas ao rolamento (Larga ou Métrica) durante o período de 90 dias.
				Erro de instalação ou montagem.	6	3	144	BACKSHOP: Reciclar todos os colaboradores na montagem do pinhão do motor de tração quando ocorrer 5 falhas associadas ao rolamento (Larga ou Métrica) durante o período de 90 dias.
	Travado/Emperrado/Engripado	Item inoperante. Ruído e/ou aquecimento excessivo antes do travamento. Quebra/rompimento do eixo do motor de tração.	8	Rolamento de baixa qualidade (aquisição).	4	6	192	BACKSHOP: Auditar o processo de compra junto ao suprimento quanto à qualidade do material fornecido junto aos fornecedores homologados quando ocorrer 5 falhas associadas ao rolamento (Larga ou Métrica) durante o período de 90 dias.
				Erro de instalação ou montagem.	6	10	480	BACKSHOP: Auditar processo de montagem do pinhão do motor de tração quando ocorrer 3 falhas associadas ao rolamento (Larga ou Métrica) durante o período de 90 dias.
				Rolamento danificado.	5	9	360	BACKSHOP: Substituição completa do rolamento a cada recuperação total do motor de tração.
	Degradado	Aumento de vibração e ruído.	7	Lubrificação interna do rolamento inadequada. Manutenção postergada. Fim de vida útil.	5	10	350	A cada intervenção do motor de tração por qualquer motivo, analisar o período de utilização do rolamento, não ultrapassando 48 meses de uso.
1.8.9.10 – Tampa								
Tampar e Vedar contra impurezas	Trincado/Partido/Quebrado	Dificuldade de manutenção. Aumento de impurezas (óleo, graxa e sílica)	5	Falha de fixação. Parafusos travados. Manutenção postergada.	4	5	100	Inspeccionar visualmente quanto à presença, fixação, empenamento, posição dos feltros e limpeza interna e externa na Oficina e PML a cada 45 dias.
								Inspeccionar visualmente quanto à presença, fixação, limpeza externa e empenamento a cada abastecimento.

	Travado/Emperrado/ Engripado	Dificuldade de manutenção. Aumento de impurezas (óleo, graxa e sílica)	4	Falha de fixação. Parafusos travados. Manutenção postergada.	4	5	80	Inspeccionar visualmente quanto à presença, fixação, empenamento, posição dos feltros e limpeza interna e externa na Oficina e PML a cada 45 dias. Inspeccionar visualmente quanto à presença, fixação, limpeza externa e empenamento a cada abastecimento.
	Solto/Frouxo	Possível impregnação de impurezas (óleo, graxa e sílica). Perda de pressurização do sistema de refrigeração (soprador), levando à superaquecimento do motor de tração.	7	Falha de manutenção. Falha de fixação.	7	5	245	Inspeccionar visualmente quanto à presença, fixação, empenamento, posição dos feltros e limpeza interna e externa na Oficina e PML a cada 45 dias. Inspeccionar visualmente quanto à presença, fixação, limpeza externa e empenamento a cada abastecimento.
	Não Presente	Impregnação de impurezas (óleo, graxa e sílica). Perda de pressurização do sistema de refrigeração (soprador), levando ao superaquecimento do motor de tração.	7	Falha de manutenção. Falha de fixação.	6	5	210	Inspeccionar visualmente quanto à presença, fixação, empenamento, posição dos feltros e limpeza interna e externa na Oficina e PML a cada 45 dias. Inspeccionar visualmente quanto à presença, fixação, limpeza externa e empenamento a cada abastecimento.
1.8.9.11 – Abraçadeira								
Sustentar os cabos dos MT's	Trincado/Partido	Aumento de tensões nos cabos e terminais. Possível ruptura dos cabos. Possível atuação do sistema de Relé Terra.	6	Falha de fixação. Falha de material.	7	8	336	Inspeccionar visualmente quanto à quantidade de abraçadeiras suficientes, fixação, presença de isoladores (borracha), chapa superior e inferior e posição de fixação correta em relação aos cabos do GP até o MT a cada 45 dias na Oficina e PML. Inspeccionar visualmente quanto à quantidade suficiente de abraçadeiras, fixação, presença de isoladores (borracha), chapa superior e inferior e posição de fixação correta em relação aos cabos do GP até o MT a cada abastecimento.
	Quebrado	Aumento de tensões nos cabos e terminais. Possível ruptura dos cabos. Possível atuação do sistema de Relé Terra.	8	Manutenção postergada. Falha de fixação. Falha de material. Vandalismo.	6	7	336	Inspeccionar visualmente quanto à fixação, presença de isoladores (borracha), chapa superior e inferior e posição de fixação correta em relação aos cabos do GP até o MT a cada 45 dias na Oficina e PML. Inspeccionar visualmente quanto à quantidade suficiente de abraçadeiras, fixação, presença de isoladores (borracha), chapa superior e inferior e posição de fixação correta em relação aos cabos do GP até o MT a cada abastecimento.

	Solto/Frouxo	Aumento de tensões nos cabos e terminais. Possível ruptura dos cabos. Possível atuação do sistema de Relé Terra.	5	Falha de fixação. Falha de material. Manutenção postergada.	7	6	210	<p>Inspecionar visualmente quanto à fixação, presença de isoladores (borracha), chapa superior e inferior e posição de fixação correta em relação aos cabos do GP até o MT a cada 45 dias na Oficina e PML.</p> <p>Inspecionar visualmente quanto à quantidade suficiente de abraçadeiras, fixação, presença de isoladores (borracha), chapa superior e inferior e posição de fixação correta em relação aos cabos do GP até o MT a cada abastecimento.</p>
	Oxidado	Sem efeito observado.	4	Manutenção postergada.	5	6	120	<p>Inspecionar visualmente quanto à fixação, presença de isoladores (borracha), chapa superior e inferior e posição de fixação correta em relação aos cabos do GP até o MT a cada 45 dias na Oficina e PML.</p> <p>Inspecionar visualmente quanto à quantidade suficiente de abraçadeiras, fixação, presença de isoladores (borracha), chapa superior e inferior e posição de fixação correta em relação aos cabos do GP até o MT a cada abastecimento.</p>
	Não presente	Aumento de tensões nos cabos e terminais. Ruptura dos cabos. Atuação do sistema de Relé Terra.	8	Falha de manutenção.	5	8	320	<p>Inspecionar visualmente quanto à fixação, presença de isoladores (borracha), chapa superior e inferior e posição de fixação correta em relação aos cabos do GP até o MT a cada 45 dias na Oficina e PML.</p> <p>Inspecionar visualmente quanto à quantidade suficiente de abraçadeiras, fixação, presença de isoladores (borracha), chapa superior e inferior e posição de fixação correta em relação aos cabos do GP até o MT a cada abastecimento.</p>
1.8.9.12 – Terminal								
Conectar	Solto/Frouxo	Aumento de temperatura nos terminais. Perda parcial da função.	7	Falha de fixação. Fadiga de material. Falha de material. Falha de manutenção.	6	8	336	<p>Inspecionar visualmente os terminais quanto à fixação a cada 90 dias na Oficina e PML.</p> <p>Reapertar os parafusos de conexão a cada 90 dias no PML e Oficina.</p>
	Oxidado	Aumento de temperatura nos terminais. Perda parcial da função.	4	Falha de material. Manutenção postergada. Impregnação de impurezas por agentes químicos.	5	5	100	<p>Inspecionar visualmente os terminais quanto à oxidação a cada 90 dias na Oficina e PML.</p> <p>Reapertar os parafusos de conexão a cada 90 dias no PML e Oficina.</p>
	Mau prensado	Aumento de temperatura nos terminais. Perda parcial da função.	6	Falha de fixação. Fadiga de material. Falha de material. Falha de manutenção.	7	3	126	<p>Inspecionar visualmente os terminais quanto à execução a cada 90 dias na Oficina e PML.</p> <p>Reapertar os parafusos de conexão a cada 90 dias no PML e Oficina.</p>

	Rompido	Perda total da função. Superaquecimento.	8	Falha de fixação. Falha de manutenção.	7	7	392	Inspeccionar visualmente os terminais quanto à fixação a cada 90 dias na Oficina e PML. Reapertar os parafusos de conexão a cada 90 dias no PML e Oficina.
1.8.9.13 – Cabo								
Conduzir energia elétrica.	Solto/Frouxo	Possível atrito com a carcaça e conseqüente fuga de corrente para massa.	7	Fadiga de material. Falha de material. Falha de manutenção.	4	5	140	Inspeccionar visualmente o cabo quanto à fixação e integridade a cada 45 dias no PML e Oficina. Inspeccionar visualmente o cabo quanto à fixação e integridade a cada abastecimento.
	Fora de Posição	Desgaste excessivo dos materiais associados. Possível atrito com a carcaça e conseqüente fuga de corrente para massa.	7	Fadiga de material. Falha de material. Falha de manutenção.	5	8	280	Inspeccionar visualmente o cabo quanto à instalação, fixação e integridade a cada 45 dias no PML e Oficina. Inspeccionar visualmente o cabo quanto à fixação e integridade a cada abastecimento.
	Aterrado	Perda total da função.	8	Fadiga de material. Falha de material. Manutenção postergada. Falha de manutenção. Isolação Danificada	5	10	400	Inspeccionar visualmente o cabo quanto à instalação, fixação e integridade a cada 45 dias no PML e Oficina. Inspeccionar visualmente o cabo quanto à fixação e integridade a cada abastecimento.
	Curto-Circuito	Aumento de corrente e temperatura. Danifica isolamento.	8	Baixo isolamento. Contaminação por agentes químicos. Fadiga de material. Falha de material. Manutenção postergada. Falha de manutenção.	4	10	320	Inspeccionar visualmente o quanto à fixação, posicionamento das abraçadeiras, e condições da isolamento a cada 90 dias. Inspeccionar visualmente o cabo quanto à fixação e integridade a cada abastecimento.
	Aquecido	Aumento de corrente e temperatura. Danifica isolamento.	2	Fadiga de material. Falha de material. Operação em sobrecarga.	6	5	60	Inspeccionar visualmente o cabo quanto a sinais de aquecimento, rompimento de isolamento, oxidação, ferrugem e integridade a cada 45 dias no PML e Oficina. Inspeccionar visualmente o cabo quanto à fixação e integridade a cada abastecimento.
	1.8.9.14 - Parafuso Porca							
Fixar	Cisalhado	Vibração excessiva ou presença de ruídos estranhos.	6	Efeito cortante devido à instalação inadequada.	3	3	54	Observar presença de cisalhamento e substituir.
	Solto/Frouxo	Vibração excessiva ou presença de ruídos estranhos.	6	Aperto inadequado.	3	2	36	Observar fixações soltas/frouxas e apertar.
	Não Presente	Vibração excessiva ou presença de ruídos estranhos.	6	Aperto inadequado.	2	2	24	Observar a ausência do item (falta/não presente) e repor.
	Trincado/Partido/Quebrado	Vibração excessiva ou presença de ruídos estranhos.	6	Esforço excessivo.	3	5	90	Observar presença de trincas/lascas/friscos e substituir.

	Espanado	Nenhum efeito observado.	2	Instalação/monta gem inadequada.	1	9	18	Observar a presença de roscas espanadas e substituir.
--	----------	--------------------------	---	----------------------------------	---	---	----	---

ANEXO. 4: DETALHES TÉCNICO DA LOCOMOTIVA C 30-7A

