UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

RHAMILLYE BARTELS VAN DE POL

APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA REDUÇÃO DA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES FERROVIÁRIOS

JUIZ DE FORA
2011

RHAMILLYE BARTELS VAN DE POL

APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA REDUÇÃO DA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES FERROVIÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Diogo Antônio Rodrigues

Co-Orientador: D. Sc., Roberta Resende Zagha

JUIZ DE FORA

2011

Van de Pol, Rhamillye Bartels.

Aplicação do método DMAIC para redução da ocorrência de acidentes ferroviários/ Rhamillye Bartels Van de Pol. – 2011.
50 f..

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.

1. DMAIC. 2. Acidente Ferroviário. I. Título.

CDU

RHAMILLYE BARTELS VAN DE POL

APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC PARA REDUÇÃO DA OCORRÊNCIA DE ACIDENTES FERROVIÁRIOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 09 de junho de 2011.

BANCA EXAMINADORA

_____

Diogo Antônio Rodrigues (Orientador)

Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

D. Sc., Roberta Resende Zagha (Co-Orientador)

Universidade Federal de Juiz de Fora

_____

D. Sc., Marcos Martins Borges

Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Pedro e Vânia, pelo amor incondicional e por tornarem possível esta conquista.

Ao meu namorado Rafael pela compreensão e incentivo nos momentos difíceis.

Aos professores Diogo Rodrigues e Roberta Zagha, pela atenção e orientação durante a realização deste trabalho.

À Mais Consultoria pela oportunidade de desenvolvimento pessoal e profissional.

Aos amigos da MRS Logística S.A. pelas contribuições e apoio oferecidos.

Finalmente, agradeço a Deus por permitir que todas essas pessoas e oportunidades estivessem presentes em meu caminho.

RESUMO

O presente trabalho tem o objetivo de realizar um diagnóstico e estudo da ocorrência de acidentes ferroviários relacionados a MRS Logística S.A., por meio da aplicação das etapas *Define* (definir), *Measure* (medir) e *Analyze* (analisar) do método DMAIC, pretendendo, dessa forma, conhecer e compreender mais profundamente esse problema. O tema a ser abordado foi escolhido levando-se em consideração o fato de a segurança em suas operações ser uma grande preocupação da empresa em estudo. Sendo assim, a ocorrência de acidentes ferroviários se mostra como um problema para a empresa, demandando a aplicação de um método de resolução de problemas estruturado, para estudo dos principais fatores que influenciam tal fato. Primeiramente, foi realizado um levantamento das publicações existentes referentes ao método DMAIC, assunto a ser abordado. Em seguida, realizou-se o estudo na MRS Logística S.A., iniciando pela coleta dos dados necessários e, posteriormente, partindo para a sua análise por meio da aplicação do método.

Palavras-chave: DMAIC, acidente ferroviário.

ABSTRACT

The present essay aims to make a diagnosis and study of the occurrence of train accidents related to MRS Logística S.A., through the application of steps *Define*, *Measure* and *Analyze* to the DMAIC method, intending thereby way, to know and understand more deeply this problem. The theme was chosen to be approached taking into consideration the fact that security in their operations is a major concern of the company under study. Thus, the incidence of rail accidents is shown as a problem for the company, demanding the application of a method of structured problem solving, to study the main factors influencing this fact. Firstly, was made a survey of existing publications relating to the DMAIC method, topic to be addressed. Then the study was performed in MRS Logística S.A., starting with the collection of necessary data and then leaving for its analysis by applying the method.

Keywords: DMAIC, rail accidents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção 14
Figura 2 – Distribuição normal com média deslocada de 1,5σ do alvo 16
Figura 3 – Método DMAIC 18
Figura 4 – Ciclo PDCA 28
Figura 5 – Correspondência entre o DMAIC e o PDCA 29
Figura 6 – Malha ferroviária da MRS Logística S.A. 31
Figura 7 – Gráfico de controle para a quantidade de acidentes 32
Figura 8 – Modelo de estratificação inicial 33
Figura 9 – Diagrama de Pareto para áreas responsáveis 34
Figura 10 – Comparação entre quantidade de acidentes e meta por área 34
Figura 11 – Carta de controle para a quantidade de acidentes da Diretoria de Operação 35
Figura 12 – Modelo de estratificação (Diretoria de Operação) 35
Figura 13 – Organograma (Diretoria de Operação) 36
Figura 14 – Diagrama de Pareto para gerência 36
Figura 15 – Teste Qui-quadrado para independência (Tempo de empresa) 37
Figura 16 – Diagrama de Pareto para tempo de empresa 38
Figura 17 – Estratificação por tempo de empresa (por equipe) 38
Figura 18 – Teste Qui-quadrado para independência (Dia da semana) 39
Figura 19 – Diagrama de Pareto para Causa 40
Figura 20 – Estratificação por causa (por equipe) 40
Figura 21 – Carta de controle para a quantidade de acidentes da Diretoria de Manutenção 41
Figura 22 – Modelo de estratificação (Diretoria de Manutenção) 41
Figura 23 – Organograma (Diretoria de Manutenção) 41
Figura 24 – Diagrama de Pareto para gerência geral 42
Figura 25 – Diagrama de Pareto para gerência 43
Figura 26 – Diagrama de Pareto para causa imediata 43
Figura 27 – Estratificação por causa imediata (por equipe) 44

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Defeitos por milhão de oportunidades 17
Quadro 2 – Passos da etapa Define 19
Quadro 3 – Estrutura de um Project Charter 20
Quadro 4 – Passos da etapa Measure 21
Quadro 5 – Passos da etapa Analyze 23
Quadro 6 – Passos da etapa Improve 25
Quadro 7 – Passos da etapa Control 27

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

DMAIC – *Define, Measure, Analyze, Improve e Control*

VOC – *Voice of the Customers*

CTQs – *Critical to Quality*

SIPOC – S*uppliers*, I*nputs*, P*rocess*, O*utputs* e *Customers*

MSE – Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção

5W1H – *Who, What, Where, When, Why* e *How*

FMEA – Análise de Efeitos e Modos de Falhas

FTA – Análise da Árvore de Falhas

EVOP – Operação Evolutiva

5W2H – *Who, What, Where, When, Why, How* e *How much*

PDPC – Diagrama do Processo Decisório

POP – Procedimentos Operacionais Padrão

OJT – *On the Job Training*

OCAP – Out of Control Action Plan

PDCA – *Plan, Do, Check* e *Act*

RFFSA – Rede Ferroviário Federal Sociedade Anônima

TAC – *Train Accident Control*

UAMG – Gerência Geral Regional de Trens, Pátios e Terminais de Minas Gerais

UARJ – Gerência Geral Regional de Trens, Pátios e Terminais do Rio de Janeiro

UASP – Gerência Geral Regional de Trens, Pátios e Terminais de São Paulo

GOT CL – Gerência de Operação de Trens de Conselheiro Lafaiete

GOT JF – Gerência de Operação de Trens de Juiz de Fora

GOPT MG – Gerência de Operação de Pátios e Terminais de Minas Gerais

GOT RJ – Gerência de Operação de Trens do Rio de Janeiro

GOPT RJ – Gerência de Operação de Pátios e Terminais do Rio de Janeiro

GOT SP – Gerência de Operação de Trens de São Paulo

GOPT VP – Gerência de Operação de Pátios e Terminais do Vale do Paraíba

GOPT BS – Gerência de Operação de Pátios e Terminais da Baixada Santista

H_0 – Hipótese nula

H_1 – Hipótese alternativa

VP MG – Gerência de Manutenção de Via de Minas Gerais;

VP RJ – Gerência de Manutenção de Via do Rio de Janeiro;

VP FA – Gerência de Manutenção de Via de São Paulo;

EE MG – Gerência de Manutenção de Eletroeletrônica de Minas Gerais;

EE RJ – Gerência de Manutenção de Eletroeletrônica do Rio de Janeiro;

EE SP – Gerência de Manutenção de Eletroeletrônica de São Paulo;

GET – Gerência de Equipamento e Trilhos.

AMV – Aparelho de mudança de via

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 12

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 12
1.2 JUSTIFICATIVA 13
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 13
1.4 FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES 13
1.5 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 13
1.6 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 14
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO 14

2. SEIS SIGMA 16

2.1 SEIS SIGMA 16
2.2 DMAIC 17
2.2.1 Etapa D: *Define* (Definir) 18
2.2.2 Etapa M: *Measure* (Medir) 21
2.2.3 Etapa A: *Analyze* (Analisar) 23
2.2.4 Etapa I: *Improve* (Melhorar) 24
2.2.5 Etapa C: *Control* (Controlar) 26
2.3 COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DMAIC E O CICLO PDCA 28

3. ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO . 30

3.1 DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO DE PESQUISA 30
3.2 DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE ANÁLISE 30
3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC 31
3.3.1 Etapa D: *Define* (Definir) 31
3.3.2 Etapa M: *Measure* (Medir) 33
3.3.3 Etapa A: *Analyze* (Analisar) 35

4. RESULTADOS 45

5. CONCLUSÕES 47

REFERÊNCIAS **48**

ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE **50**

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As rápidas mudanças às quais o mundo está submetido podem trazer ameaças à sobrevivência das empresas (CAMPOS, 2004). Segundo o autor, para sobreviver, uma organização deve ser competitiva, ou seja, apresentar uma produtividade maior que a de seus concorrentes. Yamane e Souza (2007) ressaltam que estas devem buscar a eficiência e a eficácia, a fim de se tornarem competitivas. Campos (2004) explica a produtividade como a razão entre o que a empresa produz e o que ela consome, ou seja, o quociente entre o seu faturamento e os seus custos, o que considera fatores internos da organização, como consumo de materiais e energia, mas principalmente coloca o cliente como fator determinante para a produtividade. Dessa forma, o aumento da produtividade provém da melhoria da qualidade, entendida por Montgomery (2004, p.4) como "[...] redução da variabilidade nos processos e produtos". Para Campos (2004) qualidade é o atendimento às necessidades do cliente com perfeição (projeto perfeito), de forma confiável (sem defeitos), acessível (baixo custo), segura (segurança do cliente) e no tempo certo (entrega no prazo, no local e na quantidade corretos). A ABNT (2005, p.8) define qualidade como "grau no qual um conjunto de características inerentes satisfaz a requisitos", sendo requisito uma "necessidade ou expectativa que é expressa, geralmente, de forma implícita ou obrigatória".

De acordo com Carvalho e Rotondaro (2005), a competitividade das organizações e os níveis de defeitos por elas praticados estão relacionados. Sendo assim, o modelo Seis Sigma, ao reduzir de forma drástica as taxas de defeitos, contribui para esse ganho de competitividade. Aguiar (2006) afirma que a implementação do programa proporciona uma mudança na cultura da empresa, visto que o seu posicionamento em relação aos problemas existentes, bem como a forma de identificação e tratamento dos mesmos é modificado. Ainda segundo o autor, uma das metodologias de solução de problemas utilizadas no Seis Sigma é o DMAIC, composto por cinco etapas, a saber: *Define* (definir), *Measure* (medir), *Analyze* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar).

O número de acidentes ferroviários tem se mostrado um problema para a MRS Logística S.A., sendo necessária a realização de um estudo para entendimento desta ocorrência, por meio da aplicação de um método de solução de problemas estruturado.

Entende-se por acidente ferroviário, segundo BRASIL (2006), "[...] a ocorrência que, com a participação direta de veículo ferroviário, provocar danos a este, a pessoas, a outros

veículos, a instalações, a obras-de-arte, à via permanente, ao meio ambiente e, desde que ocorra paralisação do tráfego, a animais.”

1.2 JUSTIFICATIVA

O tema abordado neste trabalho, a utilização do método DMAIC para análise e solução de problemas, foi escolhido levando-se em consideração o fato de a segurança em suas operações ser uma grande preocupação da MRS Logística S.A.. Sendo assim, a ocorrência de acidentes ferroviários se mostra como um problema para a empresa, demandando a aplicação de um método de resolução de problemas estruturado, para estudo dos principais fatores que influenciam tal fato.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O estudo será realizado em uma concessionária de transporte ferroviário, a MRS Logística S.A., localizada na cidade de Juiz de Fora, Minas Gerais. Serão analisados os acidentes ferroviários ocorridos no trecho sob concessão da referida empresa, que engloba os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.

1.4 FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES

Durante a realização deste trabalho, considera-se a seguinte hipótese:

- A aplicação do método DMAIC permitirá a priorização e análise dos problemas relacionados à ocorrência de acidentes ferroviários, para assim, alcançar possíveis soluções.

1.5 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo aplicar as etapas *Define* (definir), *Measure* (medir) e *Analyze* (analisar) do método DMAIC no diagnóstico e análise da ocorrência de acidentes ferroviários relacionados a MRS Logística S.A. a fim de reduzir a sua ocorrência. Em consequência dessa aplicação, pretende-se conhecer e entender mais profundamente esse problema.

1.6 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

Para a definição da metodologia de pesquisa tomou-se como base a classificação de Miguel (2010), exposta na Figura 1.

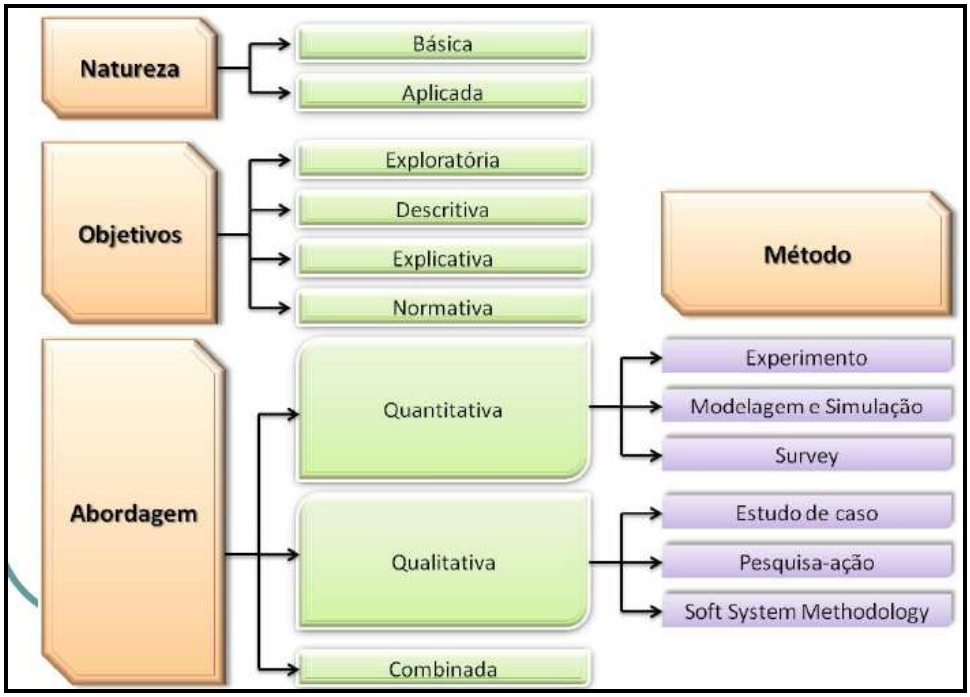

Figura 1 – Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção
Fonte: Miguel, 2010 (Adaptado)

O presente trabalho, do ponto de vista de sua natureza, é classificado como uma pesquisa aplicada, já que objetiva a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos na solução de um problema específico. Quanto aos objetivos, pode ser considerado explicativo, por ter em vista a identificação dos fatores que contribuem para ocorrência de um determinado problema. Sua forma de abordagem é qualitativa, seguindo a metodologia de um estudo de caso.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho está estruturado em cinco capítulos. No capítulo I, são expostos a justificativa do estudo, o escopo do trabalho, hipóteses formuladas, os objetivos e a metodologia utilizada.

O capítulo II traz uma revisão bibliográfica a respeito do programa Seis Sigma e do método DMAIC.

No capítulo III, é apresentado um Estudo de Caso sobre a aplicação das etapas *Define*, *Measure* e *Analyze* do DMAIC para estudo da ocorrência de acidentes ferroviários.

Já o capítulo IV, demonstra os resultados obtidos com a aplicação do método.

Finalmente, no capítulo V, são apresentadas as conclusões a respeito dos objetivos do trabalho.

2. SEIS SIGMA

Este tópico tem como objetivo apresentar os temas que orientaram o desenvolvimento deste trabalho. Inicialmente, foi feita uma breve introdução sobre Seis Sigma para, finalmente, discorrer sobre o método DMAIC.

2.1 SEIS SIGMA

O Seis Sigma é uma estratégia gerencial que faz uso de ferramentas estatísticas, buscando aprimorar os produtos e processos de uma organização e aumentar a satisfação de seus clientes para, dessa forma, alcançar o aumento de lucratividade e a redução da variabilidade dos processos críticos da empresa (CARVALHO; ROTONDARO, 2005; WERKEMA, 2004). Pande, Neuman e Cavanagh (2000) o definem como um programa detalhado e flexível, que tem como objetivo compreender as necessidades dos clientes, a fim de conquistar, manter e maximizar o sucesso empresarial.

Segundo Rotondaro et al. (2008, p.18), "o termo *sigma* mede a capacidade do processo em trabalhar livre de falhas". Sendo assim, a meta do Seis Sigma é chegar numa taxa de 3,4 falhas por milhão de oportunidades, próximo do zero defeito. De acordo com Montgomery (2004), o conceito seis sigma está relacionado à redução da variabilidade do processo, de forma que os limites de especificação se localizem a seis desvios padrão da média, obtendo aproximadamente dois defeitos para cada bilhão de oportunidades; porém explica que a taxa anteriormente citada foi obtida a partir da suposição de que o processo, ao alcançar o nível seis-sigma de qualidade, teria sua média deslocada em até 1,5 desvio (figura 3). O quadro 1 expõe o número de defeitos por milhão de oportunidades considerando a média centrada e deslocada.

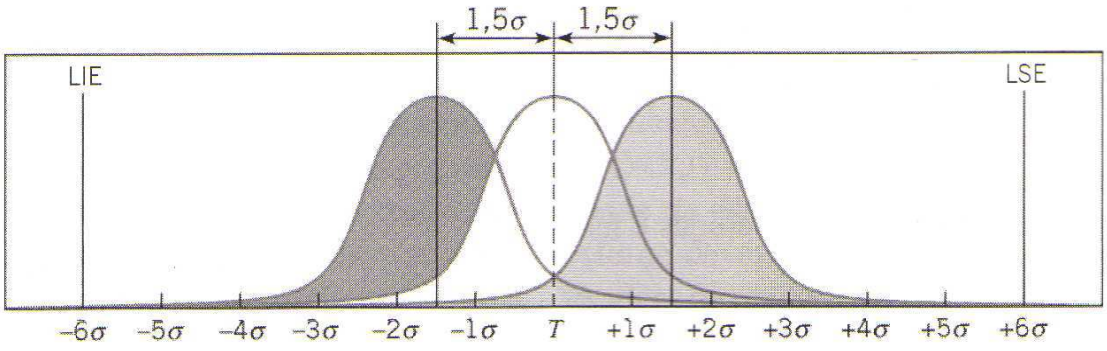

Figura 2 – Distribuição normal com média deslocada de 1,5σ do alvo
Fonte: Montgomery, 2004

	Defeitos por milhão de oportunidades	
Nível de Qualidade	Normal com média centrada	Normal com média deslocada por 1,5σ
1 sigma	317300	697700
2 sigma	45500	608700
3 sigma	2700	66810
4 sigma	63	6210
5 sigma	0,57	233
6 sigma	0,002	3,4

Quadro 1 – Defeitos por milhão de oportunidades
Fonte: Montgomery, 2004 (Adaptado)

O conceito Seis Sigma surgiu na Motorola, no ano de 1987, com a finalidade de aumentar a competitividade da empresa frente aos seus concorrentes estrangeiros, que conseguiam colocar no mercado produtos de qualidade superior a um menor custo. Com a divulgação dos resultados alcançados por esta e outras empresas, como a General Eletric (GE), o programa começou a ser difundido e implementado por grandes organizações (AGUIAR, 2006; WERKEMA, 2004).

Werkema (2004) enfatiza que a eficácia do programa é decorrente dos seguintes elementos: mensuração dos benefícios pelo aumento da lucratividade; utilização de método estruturado para alcance de metas (DMAIC); e comprometimento da alta administração. Segundo Carvalho e Rotondaro (2005, p.126), a utilização intensiva de ferramentas estatísticas não é suficiente para explicar o seu sucesso, podendo-se acrescentar a "[...] harmoniosa integração do gerenciamento por processo e por diretrizes [...]", concentrando nos clientes, processos críticos e resultados da empresa, o seu foco.

Pande, Neuman e Cavanagh (2000) citam alguns benefícios decorrentes da implementação do Seis Sigma: redução de custos, melhoria da produtividade, crescimento do *market-share*, retenção de clientes, redução do tempo de ciclo, diminuição do número de defeitos, mudança de cultura e desenvolvimento do produto ou serviço.

2.2 DMAIC

Com uma metodologia disciplinada, o Seis Sigma utiliza ferramentas estatísticas clássicas, organizadas em um método de solução de problemas, o DMAIC, para "[...] **definir** os problemas e situações a melhorar [...]" (D: *define*), "[...] **medir** para obter a informação e

os dados [...]" (M: *measure*), "[...] **analisar** a informação coletada [...]" (A: *analyze*), "[...] incorporar e empreender melhorias nos processos [...]" (I: *improve*) e "[...] **controlar** os processos ou produtos existentes [...]" (C: *control*) (ROTONDARO et al., 2008, p.18). Campos (2004, p 238) ressalta a diferença entre ferramenta e método, definindo este como uma "[...] sequência lógica para se atingir a meta desejada" e a ferramenta como o "[...] recurso a ser utilizado no método". Acrescenta não serem as ferramentas o que solucionam os problemas, mas sim o método, sendo necessário, portanto, ter domínio sobre o mesmo. Aguiar (2006) afirma que empregando ferramentas de forma isolada, dificilmente se resolverá um problema, portanto, o seu uso deve estar associado a uma metodologia de solução de problemas.

De acordo com Werkema (2004), o DMAIC é composto por cinco etapas: *Define* (definir), *Measure* (medir), *Analyse* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar), como mostrado na figura 4:

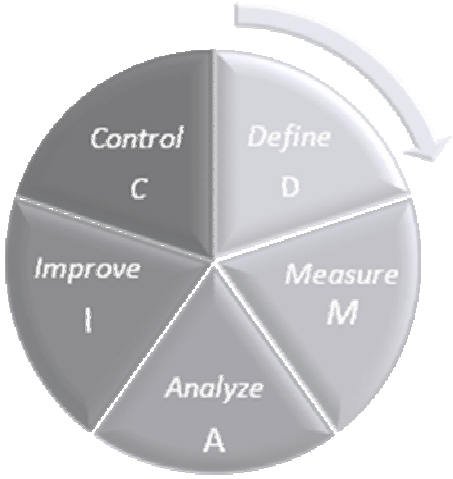

Figura 3 – Método DMAIC
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

2.2.1 Etapa D: *Define* (Definir)

A primeira etapa do DMAIC (D: *define)* consiste na definição do problema, devendo esta ser a mais específica possível (BRUSSEE, 2004). Werkema (2004) indica que, para isso, os seguintes pontos devem ser determinados: problema a ser abordado pelo projeto; meta a ser atingida; clientes envolvidos com o problema; processo relacionado ao problema; e impacto econômico do projeto. As atividades para cumprimento dessa fase, bem como as ferramentas a serem utilizadas em cada uma, são mostradas abaixo no quadro 2.

Etapa D: *Define*	
Atividades	**Ferramentas**
Descrever o problema do projeto e definir a meta	- Project Charter
Avaliar: histórico do problema, retorno econômico, impacto sobre clientes e estratégias da empresa	- Project Charter - Métricas Seis Sigma - Gráfico Sequencial - Carta de Controle - Análise de Séries Temporais - Análise Econômica
Definir os participantes da equipe e suas responsabilidades, as possíveis restrições e suposições e o cronograma preliminar	- Project Charter
Identificar as necessidades dos principais clientes do projeto	- Voz do Cliente (VOC)
Definir o principal processo envolvido no projeto	- SIPOC

Quadro 2 – Passos da etapa Define
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

Werkema (2004, p.75) afirma que a utilização do *Project Charter* se faz útil para que os passos iniciais do trabalho sejam devidamente registrados, auxiliando nas três primeiras atividades dessa etapa, como mostrado anteriormente no quadro 2. Essa ferramenta "[...] representa uma espécie de contrato firmado entre a equipe responsável pela condução do projeto e os gestores da empresa [...]" e, segundo Rotondaro et al. (2008), é fundamental para que todos da equipe conheçam as restrições relacionadas ao projeto, além de ser essencial para o bom gerenciamento do mesmo. No quadro 3 é mostrado um exemplo de estrutura de um *Project Charter*.

Project Charter
1. Descrição do problema:
Neste tópico deve ser identificado o problema, os indicadores utilizados para medi-lo (valor atual x valor desejado), onde e quando o problema é observado e os impactos de sua solução.
2. Definição da meta:
Especificação da meta a ser alcançada, que é constituída por um objetivo gerencial, um valor e um prazo.
3. Avaliação do histórico do problema:

Apresentação de fatos e dados históricos relacionados ao problema, incluindo a avaliação do retorno econômico do projeto e de seu impacto sobre os clientes e a estratégia da empresa. A fim de auxiliar a realização dessa atividade as seguintes ferramentas podem ser utilizadas: - Métricas do Seis Sigma; - Gráfico Sequencial; - Carta de Controle; - Análise de Séries Temporais.
4. Restrições e suposições:
Registro de restrições à realização do projeto e de suposições quanto a necessidades para a sua execução.
5. Equipe de trabalho:
Identificação dos membros da equipe.
6. Responsabilidades dos membros e logística da equipe:
Definição das responsabilidades de cada membro da equipe e cronograma das reuniões.
7. Cronograma preliminar:
Elaboração do cronograma do projeto, constando das datas de finalização de cada etapa do método DMAIC.

Quadro 3 – Estrutura de um Project Charter
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

A Voz do Cliente (*Voice of the Customers* - VOC) é o conjunto de dados que representa os requisitos do cliente, ou seja, suas necessidades e expectativas quanto ao projeto, bem como suas percepções em relação aos produtos da empresa. Essas informações são fundamentais, uma vez que são traduzidas nas Características Críticas para a Qualidade (*Critical to Quality*: CTQs), as quais devem estar em concordância com o problema do projeto (WERKEMA, 2004). Rotondaro et al. (2008) destaca algumas formas de obtenção da Voz da Cliente: entrevistas, grupos focais, pesquisa de mercado e simulação.

Conforme afirmado por Werkema (2004), para a identificação do principal processo envolvido no projeto, deve-se utilizar o diagrama SIPOC, sigla derivada dos elementos básicos que compõem o processo: *suppliers* (fornecedores), *inputs* (insumos), *process* (processo), *outputs* (produtos) e *customers* (consumidores). O uso da ferramenta tem a finalidade de facilitar a visualização do escopo do trabalho.

Além das ferramentas citadas anteriormente, o emprego do Mapa de Raciocínio é iniciado na presente etapa, estendendo-se por toda a aplicação do modelo e sendo atualizado à medida que as atividades são concluídas (WERKEMA, 2004). Aguiar (2006) explica que tal

ferramenta tem como finalidade planejar as ações realizadas durante o trabalho, além de servir como histórico das atividades executadas.

2.2.2 Etapa M: *Measure* (Medir)

Nessa etapa (M: *measure*) é determinado o foco do problema, o que deve ser feito por meio do levantamento das seguintes questões: resultados a serem medidos para a obtenção de dados úteis à determinação do foco do problema; e focos prioritários do problema. O quadro 4 traz as principais atividades dessa etapa e sugestões de ferramentas a serem aplicadas (WERKEMA, 2004).

Etapa M: *Measure*	
Atividades	**Ferramentas**
Definir entre as alternativas de coletar novos dados ou usar dados já existentes na empresa	- Avaliação de Sistema de Medição/Inspeção (MSE)
Identificar a forma de estratificação para o problema	- Estratificação
Planejar a coleta de dados	- Plano para Coleta de Dados - Folha de Verificação - Amostragem
Preparar e testar os Sistemas de Medição/Inspeção	- Avaliação de Sistema de Medição/Inspeção (MSE)
Coletar dados	- Plano para Coleta de Dados - Folha de Verificação - Amostragem
Analisar o impacto das várias partes do problema e identificar os problemas prioritários	- Estratificação - Diagrama de Pareto
Estudar as variações dos problemas prioritários identificados	- Gráfico Sequencial - Carta de Controle - Análise de Séries Temporais - Histograma - *Boxplot* - Índice de Capacidade - Métricas do Seis Sigma - Análise Multivariada
Estabelecer a meta de cada problema prioritário	-

Quadro 4 – Passos da etapa Measure
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

A primeira atividade da etapa *Measure* é a decisão entre utilizar os dados fornecidos pela empresa ou realizar uma nova coleta de dados, uma vez que os dados existentes podem não ser confiáveis. Como auxílio a essa tomada de decisão, deve ser utilizada uma técnica para Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE) (WERKEMA, 2004), que permite

avaliar o quão confiáveis são os dados a serem utilizados na obtenção de conhecimento do problema em questão (AGUIAR, 2006).

Posteriormente, segundo Aguiar (2006), o problema deve ser observado e dividido sob vários ângulos, ou seja, deve ser estratificado. A estratificação do problema pode ser realizada sob diversos fatores como tempo, local, tipo e sintoma, sendo esta atividade de fundamental importância, dado que quanto mais estratificado estiver o problema, maior a facilidade em solucioná-lo (ANDRADE, 2003).

O próximo passo consiste na utilização do Plano para Coleta de Dados – ferramenta que representa o 5W1H (*who*, *what*, *where*, *when*, *why* e *how*) deste processo – para o planejamento da coleta de dados. Na elaboração desse plano, as Folhas de Verificação devem ser construídas, a fim de facilitar a coleta e o registro de dados e, para que haja eficácia em sua coleta, a estratégia de amostragem definida (WERKEMA, 2004).

O autor afirma que, anteriormente à coleta de dados, os sistemas de medição e inspeção devem ser preparados e testados, utilizando as ferramentas para Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE). Com a realização da coleta de dados, de acordo com Aguiar (2006), o problema deve ser desdobrado em problemas específicos mais simples, ou seja, devem ser definidos os focos do problema de forma a diminuir a complexidade de sua resolução, para que, em seguida, seja feita a priorização destes em relação ao seu tratamento, utilizando para isso o Diagrama de Pareto.

Segundo Werkema (2004), identificados os problemas prioritários, suas variações devem ser estudadas, de forma a detalhar as informações obtidas e conseguir uma "[...] avaliação mais clara do desempenho inicial do resultado que se deseja melhorar [...]". Para condução do estudo, dependendo da natureza do projeto, podem ser utilizadas as seguintes ferramentas: Gráfico Sequencial, Carta de Controle, Análise de Séries Temporais, Histograma, *Boxplot*, Índice de Capacidade, Métricas do Seis Sigma e Análise Multivariada.

Por fim, a partir da meta estabelecida para o problema inicial, são desdobradas metas específicas para os focos definidos. Essas metas específicas podem ou não ser delegáveis, sendo delegáveis no caso de o tratamento não pertencer à área a qual o projeto está atrelado, devendo, portanto, ser tomada como meta inicial de um novo projeto, atribuído a área responsável (AGUIAR, 2006; WERKEMA, 2004).

2.2.3 Etapa A: *Analyze* (Analisar)

Esta etapa (A: *analyze*) é direcionada ao entendimento da ocorrência do problema prioritário, ou seja, à descoberta de suas causas fundamentais e sua quantificação (WERKEMA, 2004). A análise dos dados coletados anteriormente deve ser realizada, por meio da utilização de ferramentas da qualidade e estatísticas, de modo a verificar a coerência entre os dados e os problemas definidos e identificar a causa raiz (BRUSSEE, 2004; CARVALHO; ROTONDARO, 2005). O quadro 5 descreve as atividades a serem realizadas.

Etapa A: *Analyze*	
Atividades	**Ferramentas**
Analisar o processo gerador do problema prioritário	- Fluxograma - Mapa de Processo - Mapa de Produto - Análise do Tempo de Ciclo - FMEA - FTA
Analisar dados do problema prioritário e de seu processo gerador	- Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE) - Histograma - *Boxplot* - Estratificação - Diagrama de Dispersão - Cartas Multi-Vari
Identificar e organizar as causas potenciais do problema prioritário	- *Brainstorming* - Diagrama de Causa e Efeito - Diagrama de Afinidades - Diagrama de Relações
Priorizar as causas potenciais do problema prioritário	- Diagrama de Matriz - Matriz de Priorização
Quantificar a importância das causas potenciais prioritárias (determinar as causas fundamentais)	- Avaliação de Sistemas de Medição/Integração (MSE) - Carta de Controle - Diagrama de Dispersão - Análise de Regressão - Testes de Hipótese - Análise de Variância - Planejamento de Experimentos - Análise de Tempos de Falha - Testes de Vida Acelerados

Quadro 5 – Passos da etapa Analyze
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

A etapa se inicia, de acordo com Werkema (2004), com a observação do processo ao qual o problema prioritário está relacionado, de modo que se possa entender melhor o fluxo e identificar oportunidades de melhoria. Nessa análise podem ser utilizadas as seguintes

ferramentas: Fluxograma, Mapa de Processo, Mapa de Produto, Análise do Tempo de Ciclo, FMEA (Análise de Efeitos e Modos de Falhas) e FTA (Análise da Árvore de Falhas)

A seguir, são analisados os "[...] dados do problema prioritário e de seu processo gerador [...]", visando identificar os fatores que produzem variações nos resultados relacionados ao problema e como se dá a manifestação dessas variações. Para tal, as seguintes ferramentas podem ser úteis: Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção, Histograma, *Boxplot*, Estratificação, Diagrama de Dispersão e Cartas Multi-Vari (WERKEMA, 2004, p.102).

Aguiar (2006) afirma que, realizadas essas atividades, parte-se para a identificação das prováveis causas do problema. Segundo Werkema (2004), essas podem ser levantadas por meio da realização de um *Brainstorming* e, a fim de permitir melhores visualização e entendimento, organizadas em um Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Afinidades ou Diagrama de Relações.

O Diagrama de Matriz ou a Matriz de Priorização são utilizados na execução da atividade seguinte, para que as causas potenciais identificadas sejam priorizadas e, posteriormente, realizada a coleta de dados para a verificação das causas que contribuem significativamente para o problema (WERKEMA, 2004). Para Aguiar (2006, p.73), "[...] o tratamento de um número menor de causas é mais simples e pode levar ao alcance de todas as metas específicas".

Por fim, a relação entre as causas e as características de interesse no problema é mensurada, de forma a priorizar as causas com maior grau de influência sobre a ocorrência do problema (AGUIAR, 2006). As seguintes ferramentas podem ser utilizadas: Avaliação de Sistemas de Medição/Integração, Carta de Controle, Diagrama de Dispersão, Análise de Regressão, Testes de Hipótese, Análise de Variância, Planejamento de Experimentos, Análise de Tempos de Falha e Testes de Vida Acelerados (WERKEMA, 2004).

2.2.4 Etapa I: *Improve* (Melhorar)

A etapa (I: *improve*) se dedica, conforme Brussee (2004), à implementação das prováveis soluções identificadas, verificando os resultados obtidos. Esta é uma fase crítica, visto que as melhorias são incorporadas ao processo, havendo a interação entre a equipe e as pessoas responsáveis pelas atividades (CARVALHO; ROTONDARO, 2005). No quadro 6 estão relacionadas as atividades que compõem esta fase.

Etapa I: *Improve*	
Atividades	**Ferramentas**
Gerar ideias de soluções potenciais para a eliminação das causas fundamentais do problema prioritário	- *Brainstorming* - Diagrama de Causa e Efeito - Diagrama de Afinidades - Diagrama de Relações
Priorizar as soluções potenciais	- Diagrama de Matriz - Matriz de Priorização
Avaliar e minimizar os riscos das soluções prioritárias	- FMEA - *Stakeholder Analysis*
Testar em pequena escala as soluções selecionadas (teste piloto)	- Testes na Operação - Testes de Mercado - Simulação
Identificar e implementar melhorias ou ajustes para as soluções selecionadas, caso necessário	- Operação Evolutiva (EVOP) - Testes de Hipóteses
Elaborar e executar um plano para a implementação das soluções em larga escala	- 5W2H - Diagrama de Árvore - Diagrama de Gantt - PERT/CPM - Diagrama do Processo Decisório (PDPC)

Quadro 6 – Passos da etapa Improve
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

Segundo Werkema (2004, p.108), a atividade inicial da etapa *Improve* consiste na realização de um *brainstorming* para a proposição de ideias de soluções potenciais a fim de eliminar as causas fundamentais do problema prioritário determinadas na etapa anterior. As ideias listadas devem ser "refinadas e combinadas para darem origem às soluções potenciais para o alcance da meta prioritária", utilizando ferramentas como Diagrama de Causa e Efeito, Diagrama de Afinidades e Diagrama de Relações.

Em seguida, de acordo com Aguiar (2006), devem-se priorizar as medidas propostas para as metas específicas, de forma que a meta inicial possa ser alcançada com parte das ações, dado que uma medida definida pode estar relacionada a mais de uma meta específica. Rotondaro et al. (2008) complementa que nesta fase, pretende-se confirmar quais são as poucas entradas do processo que impactam em sua saída, ou seja, quais são as poucas entradas vitais. Werkema (2004) indica a utilização do Diagrama de Matriz ou Matriz de Priorização para a realização desta atividade.

Priorizadas as soluções, faz-se necessária, de acordo com Werkema (2004), uma análise dos riscos associados a essas soluções, buscando minimizá-los. Duas ferramentas podem ser úteis para essa avaliação: FMEA e *Stakeholder Analysis* (Análise do Grupo de

Interesse). Esta última tem o objetivo de relacionar os *stakeholders* e o nível de comprometimento atual e desejável de cada um.

A atividade seguinte é referente ao teste (em pequena escala) das soluções selecionadas, realizando Testes na Operação, ou dependendo das características do projeto, Testes de Mercado e Simulação (WERKEMA, 2004). Aguiar (2006) afirma que, esses testes devem ser realizados, pois medidas definidas para uma meta específica podem atrapalhar ou impedir o alcance de outras. Com os resultados obtidos no teste, o EVOP (Operação Evolutiva) e Testes de Hipóteses podem ser úteis para a identificação e implementação de possíveis ajustes ou melhorias nas soluções selecionadas (WERKEMA, 2004).

Finalmente, deve ser elaborado e executado um plano para execução das soluções em larga escala, a partir das seguintes ferramentas: Diagrama de Gantt, Diagrama de Árvore, 5W2H, PERT/CPM e o Diagrama do Processo Decisório (PDPC). Vale ressaltar que, antes da elaboração desse plano, faz-se necessário avaliar se o alcance da meta é possível a partir das soluções selecionadas. Caso não seja, a etapa *Measure* deverá ser novamente realizada (WERKEMA, 2004).

2.2.5 Etapa C: *Control* (Controlar)

A última etapa do método DMAIC (C: *control*), de acordo com Tonini, Laurindo e Spínola (2005), consiste na documentação e no monitoramento do desempenho do novo processo, após a implementação das melhorias propostas. As atividades que devem ser realizadas na etapa *Control* são apresentadas no quadro 7.

Etapa C: *Control*	
Atividades	**Ferramentas**
Avaliar o alcance da meta em larga escala	- Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE) - Diagrama de Pareto - Carta de Controle - Histograma - Índices de Capacidade - Métricas do Seis Sigma
Padronizar as alterações realizadas no processo em consequência das soluções adotadas	- Procedimentos Operacionais Padrão (POP) - *Poka-Yoke*
Transmitir os novos padrões a todos os envolvidos	- Manuais de Treinamento - Reuniões - Palestras - OJT (*On the Job Training*)

Definir e implementar um plano para monitoramento de performance do processo e do alcance da meta	- Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE) - Plano para Coleta de Dados - Folha de Verificação - Amostragem - Carta de Controle - Histograma - Índices de Capacidade - Métricas do Seis Sigma - Auditoria do Uso dos Padrões
Definir e implementar um plano para tomada de ações corretivas caso surjam problemas no processo	- Relatório de Anomalias - OCAP (*Out of Control Action Plan*)
Sumarizar o que foi aprendido e fazer recomendações para trabalhos futuros	-

Quadro 7 – Passos da etapa Control
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

Para Werkema (2004), o início da etapa se dá pela avaliação dos resultados obtidos com a implementação das soluções, por meio da comparação com os resultados apresentados anteriormente e certificando-se do alcance da meta em larga escala. Caso a avaliação não seja satisfatória, deve-se retornar à etapa *Measure*. As seguintes ferramentas poderão ser utilizadas: Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção, Diagrama de Pareto, Carta de Controle, Histograma, Índices de Capacidade e Métricas do Seis Sigma.

Werkema (2004) propõe, como atividade seguinte, a padronização das modificações implementadas ao processo. Para isso, necessitam-se estabelecer novos Procedimentos Operacionais Padrão (POP) ou revisar os já existentes, incluindo neles "[...] mecanismos que garantam a realização de atividades 'à prova de erro' [...]" (Poka-Yoke). Esses novos procedimentos devem ser divulgados aos envolvidos no processo, por meio de manuais de treinamento, reuniões, palestras e treinamentos no trabalho (OJT).

Rotondaro et al. (2008) afirma que o processo aprimorado deve ser mantido com um desempenho adequado e que possa ser previsto. Werkema (2004) indica que, a fim de impedir que o problema volte a ocorrer, um plano, para monitorar o desempenho do processo e do alcance da meta, seja definido e implementado. Com o propósito de garantir a manutenção dos resultados obtidos, faz-se necessário o uso de ferramentas como: Avaliação de Sistemas de Medição/Inspeção (MSE), Plano para Coleta de Dados, Folha de Verificação, Amostragem, Carta de Controle, Histograma, Índices de Capacidade, Métricas do Seis Sigma e Auditoria do Uso dos Padrões. Além disso, um plano para a tomada de ações corretivas, e que contemple o uso de Relatórios de Anomalias e do OCAP, deve ser estabelecido

(WERKEMA, 2004). A agilidade na detecção de mudanças no comportamento do processo é importante para que ações corretivas apropriadas sejam tomadas e o processo seja "[...] corrigido a tempo de evitar surpresas" (ROTONDARO et al., 2008, p. 295).

Por fim, Werkema (2004) afirma que todas as atividades realizadas durante o projeto devem ser recapituladas, de forma a avaliar o modo como foi conduzido. Além disso, as questões não abordadas no trabalho podem ser recomendadas para projetos futuros.

2.3 COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DMAIC E O CICLO PDCA

O Ciclo PDCA é um método empregado pelas empresas para gerenciar seus processos internos, a fim de que as metas estabelecidas possam ser atingidas, podendo ser utilizado para o controle ou melhoria da qualidade ou dos processos, ou seja, na manutenção de um resultado alcançado ou para alcançar resultados melhores (MARIANI; PIZZINATTO; FARAH, 2005). De acordo com Campos (2004), este é formado por quatro fases básicas *Plan* (planejar), *Do* (executar), *Check* (verificar) e *Act* (atuar corretivamente), como mostrado na figura 5.

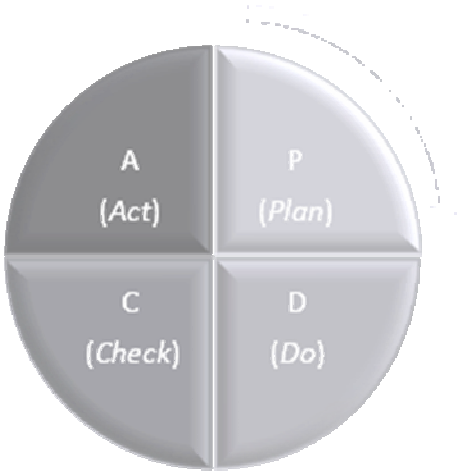

Figura 4 – Ciclo PDCA
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

Aguiar (2006) explica que o DMAIC foi desenvolvido como uma evolução do ciclo PDCA, sendo, de acordo com Werkema (2004), dada grande ênfase ao planejamento antes da execução de qualquer ação. Na figura 6 é mostrada a correspondência entre os dois métodos:

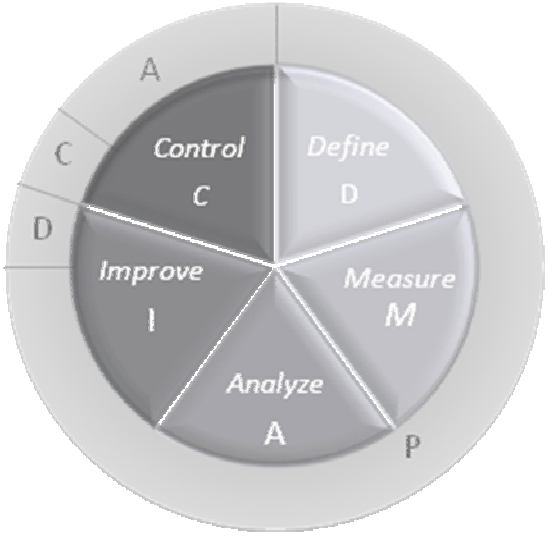

Figura 5 – Correspondência entre o DMAIC e o PDCA
Fonte: Werkema, 2004 (Adaptado)

3. ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO

3.1 DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO DE PESQUISA

Neste item é apresentado o protocolo de pesquisa, objetivando descrever o procedimento adotado para a condução desta pesquisa.

O trabalho teve início a partir da definição do tema, que se deu com base na relevância do mesmo para a empresa em estudo. Em seguida, foi realizada uma revisão bibliográfica, com o levantamento das publicações existentes relacionados ao assunto abordado, o método DMAIC.

Concluído o levantamento, realizou-se a coleta de dados na empresa, utilizando o sistema de informação disponível para a sua obtenção. Além disso, foram necessárias entrevistas com alguns colaboradores da empresa a fim de entender os fatores envolvidos e obter informações adicionais.

Finalmente, os dados coletados foram tratados, por meio da aplicação do método, visando à obtenção de conclusões a respeito do problema em estudo.

3.2 DESCRIÇÃO DA UNIDADE DE ANÁLISE

O estudo de caso foi realizado na MRS Logística S.A., concessionária de transporte ferroviário que iniciou suas atividades em 1996, quando da privatização da Rede Ferroviária Federal S.A. (RFFSA). A empresa opera a Malha Sudeste da RFFSA (1643 km de malha), conectando os estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo (figura 6), além de possuir acesso direto aos portos de Itaguaí (RJ), Rio de Janeiro, Guaíba (RJ) e Santos (SP). O foco de atuação da MRS está no transporte de cargas gerais, como minérios, produtos siderúrgicos acabados, cimento, bauxita, produtos agrícolas, coque verde e contêineres.

Figura 6 – Malha ferroviária da MRS Logística S.A.
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

3.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO DMAIC

Em decorrência dos pontos teóricos expostos anteriormente, é apresentado neste item um estudo de caso sobre a aplicação das etapas *Define*, *Measure* e *Analyze* do DMAIC na MRS Logística S.A..

3.3.1 Etapa D: *Define* (Definir)

Para realização da primeira etapa do DMAIC (*Define*), deve-se definir a meta e o escopo do projeto, para isso, torna-se útil o emprego da ferramenta *Project Charter*, a fim de facilitar o registro dos passos iniciais.

– Descrição do problema:

Na MRS Logística S.A., a ocorrência de acidentes ferroviários é apontada pela companhia como um grande problema enfrentado, sendo uma importante componente estratégica nas ações da gestão atual. Isso pelo fato de estes poderem provocar consequências graves tanto à sociedade quanto à empresa, uma vez que podem gerar interdições das linhas, prejudicando a circulação de trens e veículos, além de danos aos ativos da empresa, à carga transportada e à segurança dos colaboradores e da população.

Em 2010, ocorreram 334 acidentes ferroviários, contra uma meta de 416. Esta quantidade, apesar de ter ficado dentro da meta estabelecida pela empresa, ainda é considerada alta, dadas as perdas econômicas resultantes de tais ocorrências, da ordem de 4,8 milhões de reais.

– Definição da meta:

Em seguida a descrição do problema, pode-se definir a meta a ser atingida com a aplicação do método: Reduzir em 10% a ocorrência de acidentes ferroviários, até 31/12/2011.

– Avaliação do histórico do problema:

De acordo com Rotondaro et al. (2008), entende-se por um processo estatisticamente estável, aquele em que não existem causas especiais agindo; para isso, nas cartas de controle, os pontos devem estar distribuídos de forma aleatória em torno da linha média, inexistindo padrões como tendências, ciclos, estratificações ou misturas e pontos fora dos limites de controle.

Pela carta de controle abaixo (figura 7) é possível verificar a variação da ocorrência de acidentes ao longo do ano de 2010, que apresentou uma média de 27,83 acidentes por mês. Ainda pela análise do gráfico, nota-se que não há pontos fora dos limites de controle, além de os mesmos estarem dentro do limite de especificação (a meta definida pela empresa foi de 34,67 acidentes por mês). Entretanto, a partir do mês de agosto, pode-se perceber uma tendência de aumento do número de ocorrências, tendo atingido o nível mais alto em dezembro, com 34 acidentes.

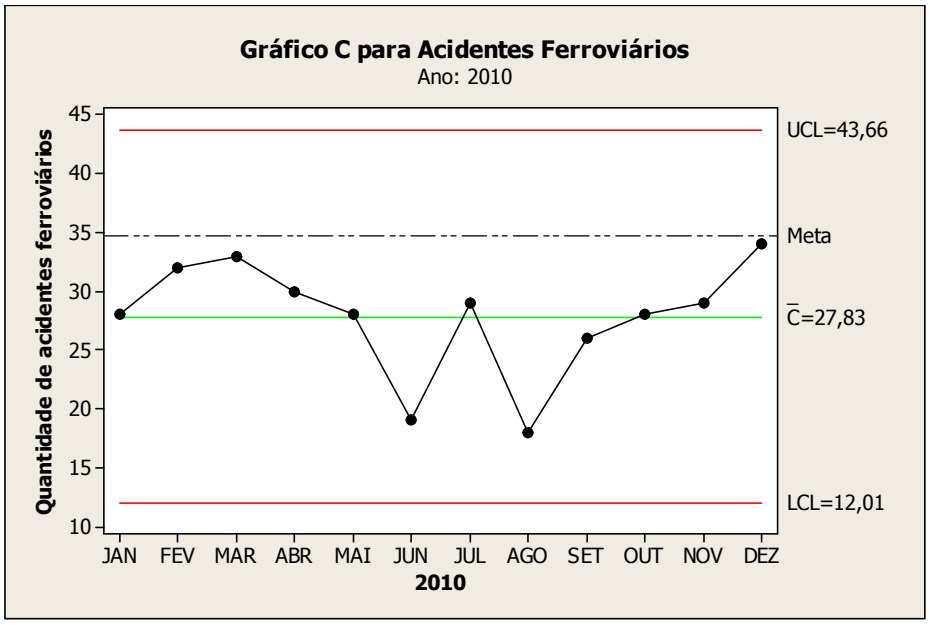

Figura 7 – Carta de controle para a quantidade de acidentes
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

3.3.2 Etapa M: *Measure* (Medir)

O primeiro passo para realização da etapa *Measure* consiste na observação da confiabilidade dos dados coletados, a fim de que os mesmos permitam a priorização do problema. No caso em estudo, os dados são confiáveis, pois foram obtidos por meio do sistema Controle de Acidentes de Trens (TAC - *Train Accident Control*), utilizado pela empresa para registro das ocorrências. Além disso, esses dados são divulgados oficialmente para a companhia, influenciando na definição de metas e alcance de resultados.

A fim de permitir a focalização do problema, inicialmente, os dados foram estratificados por área responsável, conforme modelo da figura 8.

Figura 8 – Modelo de estratificação inicial
Fonte: Autor, 2011

Verifica-se no Diagrama de Pareto (figura 9) que as áreas responsáveis pelo maior número de acidentes ferroviários são a Diretoria de Recursos Humanos (34,1%) e a Diretoria Comercial (23,7%). Contudo, pela análise da figura 10, ambas as áreas encontram-se dentro da meta estabelecida pela empresa para o ano de 2010, estando respectivamente 11,6% e 34,2% abaixo do valor máximo definido. Revela ainda que as Diretorias de Manutenção e Operação, apesar de não representarem a maior quantidade, são os dois grupos que não atingiram a meta do último ano, tendo superado a mesma em 20,8% e 29,4% respectivamente.

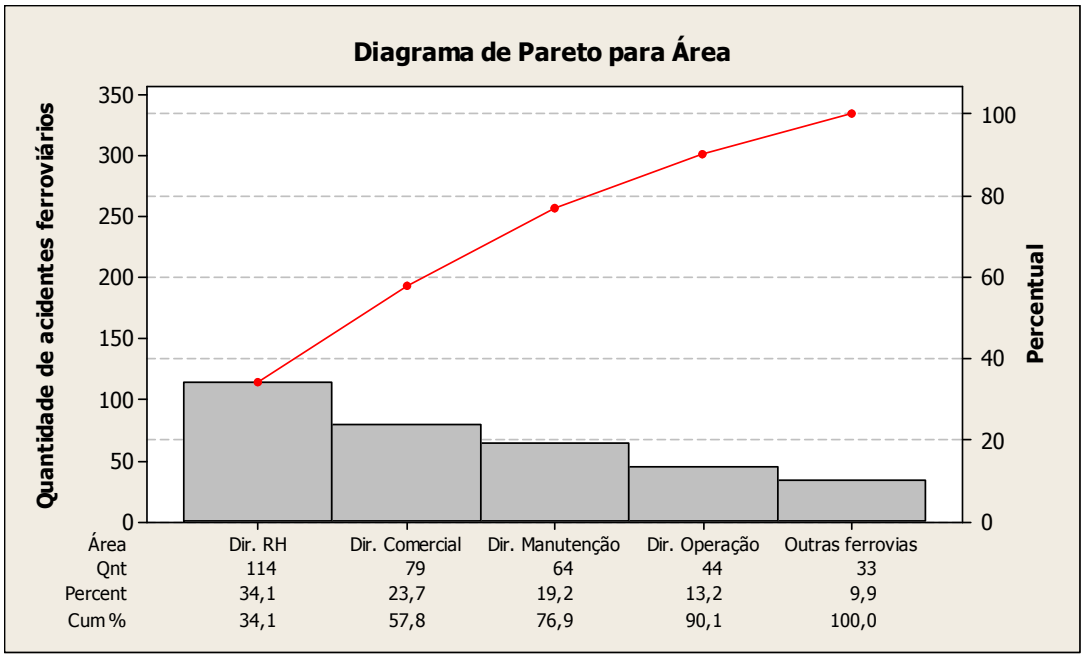

Figura 9 – Diagrama de Pareto para áreas responsáveis
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

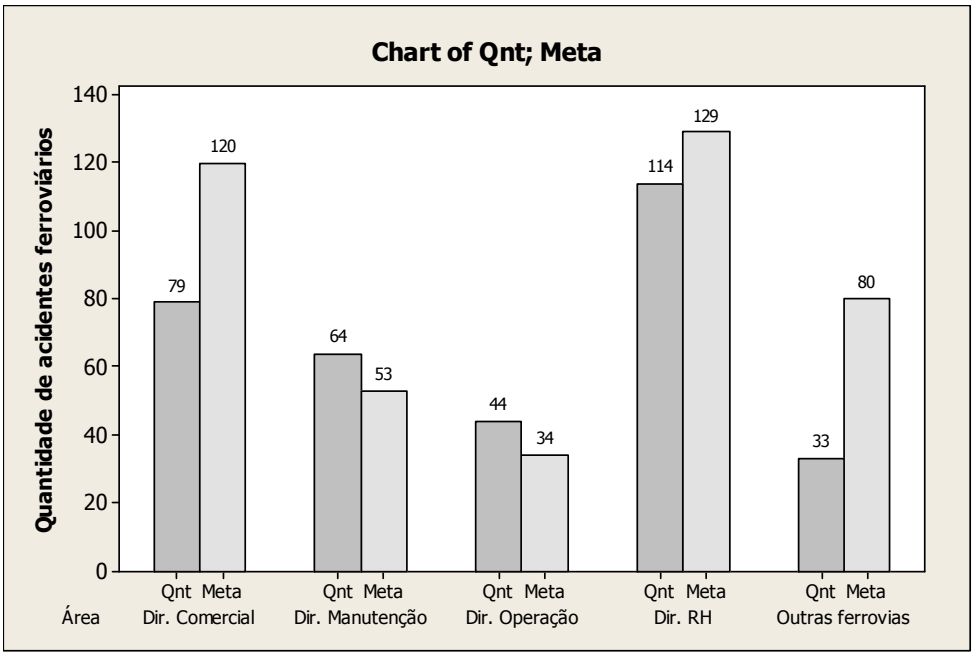

Figura 10 – Comparação entre quantidade de acidentes e meta por área
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

Dessa forma, a meta inicial – Reduzir em 10% a ocorrência de acidentes ferroviários, até 31/12/2011 – foi desdobrada nas seguintes metas específicas:

- Meta A: Reduzir em 35% a ocorrência de acidentes ferroviários da Diretoria de Operação, até 31/12/2011;
- Meta B: Reduzir em 30% a ocorrência de acidentes ferroviários da Diretoria de Manutenção, até 31/12/2011.

3.3.3 Etapa A: *Analyze* (Analisar)

Definidas as metas específicas, na etapa *Analyze* foram determinadas as causas fundamentais do problema prioritário relacionado a estas.

– Meta A:

É possível observar pela carta de controle da figura 11 que a Diretoria de Operação apresentou, em média, 3,67 acidentes por mês em 2010. Verifica-se também que, apesar de todos os pontos estarem dentro dos limites de controle, apenas em 33,3% dos meses os resultados atenderam aos limites de especificação (meta definida pela empresa). Além disso, ocorre uma grande dispersão dos dados, apresentando um mês com registro de 7 acidentes e meses com 1 ocorrência.

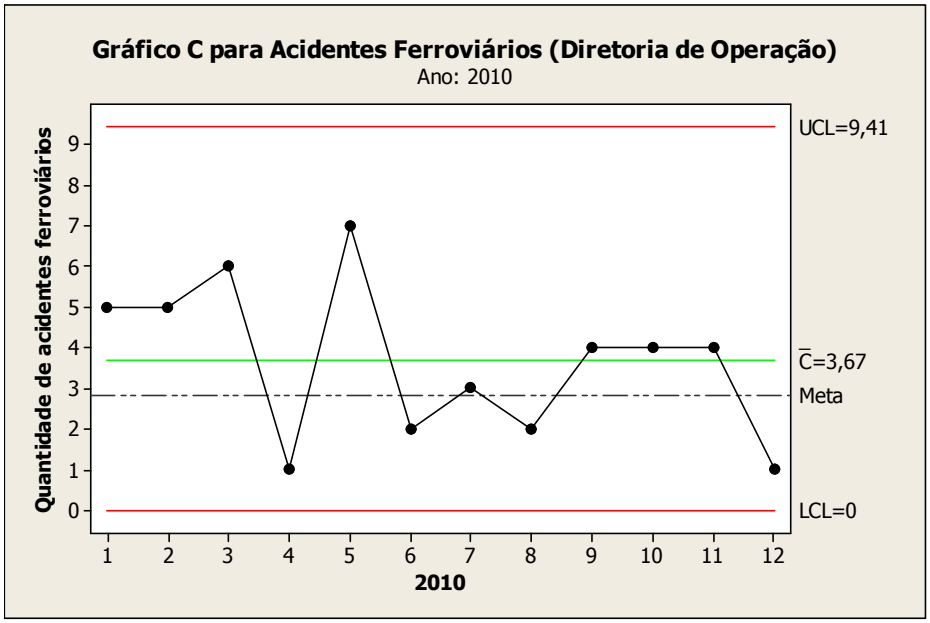

Figura 11 – Carta de controle para a quantidade de acidentes da Diretoria de Operação
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

A estratificação proposta segue o modelo apresentado a seguir (figura 12):

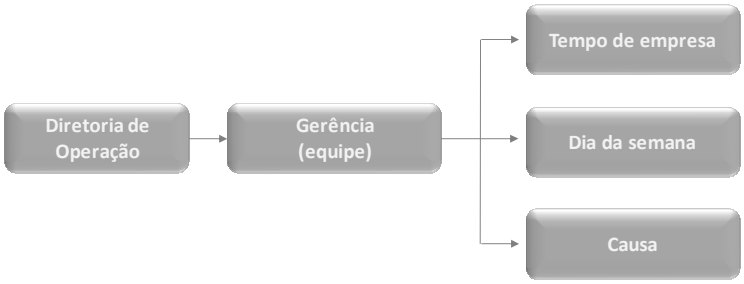

Figura 12 – Modelo de estratificação (Diretoria de Operação)
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

Figura 13 – Organograma (Diretoria de Operação)
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

As equipes se organizam de acordo com a figura 13, sendo identificadas pelos nomes que seguem:

- GOT CL: Gerência de Operação de Trens de Conselheiro Lafaiete;
- GOT JF: Gerência de Operação de Trens de Juiz de Fora;
- GOPT MG: Gerência de Operação de Pátios e Terminais de Minas Gerais;
- GOT RJ: Gerência de Operação de Trens do Rio de Janeiro;
- GOPT RJ: Gerência de Operação de Pátios e Terminais do Rio de Janeiro;
- GOT SP: Gerência de Operação de Trens de São Paulo;
- GOPT VP: Gerência de Operação de Pátios e Terminais do Vale do Paraíba;
- GOPT BS: Gerência de Operação de Pátios e Terminais da Baixada Santista.

Estratificando-se os dados por gerência (equipe), como mostrado na figura 14, percebe-se que as principais equipes responsáveis por acidentes são: GOT SP (29,5%), GOPT RJ (15,9%), GOPT VP (15,9%) e GOT CL (15,9%). Sendo assim, a essas quatro gerências estão atribuídos 77,3% dos acidentes da Diretoria de Operação.

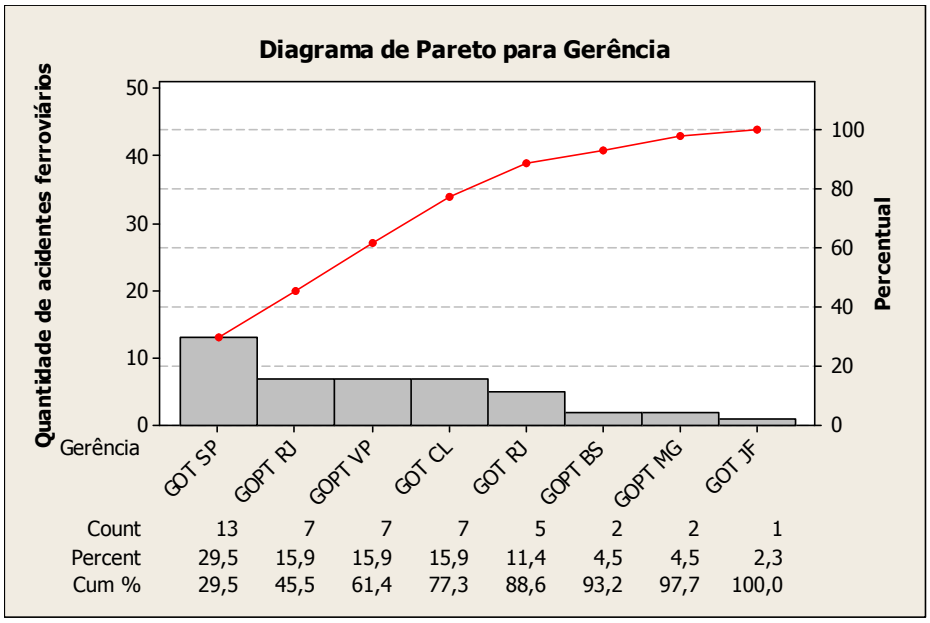

Figura 14 – Diagrama de Pareto para gerência
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

Anteriormente à realização da estratificação por tempo de empresa dos colaboradores envolvidos em acidentes pertencentes às equipes GOT SP, GOPT RJ, GOPT VP e GOT CL, realizou-se um teste de hipóteses a fim de verificar se o número de acidentes varia conforme tal característica. As hipóteses testadas foram as seguintes:

- Hipótese nula ($H_{0)}$: o número de acidentes não é modificado pelo tempo de empresa do colaborador;
- Hipótese alternativa (H_1): o número de acidentes é alterado conforme o tempo de empresa do colaborador.

Vale ressaltar que não há colaboradores nestas equipes com tempo de empresa entre 15 e 20 anos. Além disso, há um acidente ao qual não foi atribuído colaborador responsável, tendo este sido desconsiderado na realização do teste.

O resultado do teste de hipóteses é apresentado na figura 15, sendo possível observar que o valor de p (*p-value*) é menor que o nível de significância de 5%. Logo, conclui-se que as características são dependentes, ou seja, o número de acidentes é alterado conforme o tempo de empresa do colaborador.

Chi-Square Test: até 1 ano; 1 a 5 anos; 5 a 10 anos; 10 a 15 anos; 20 a 25 anos

Expected counts are printed below observed counts
Chi-Square contributions are printed below expected counts

	até 1 ano	1 a 5 anos	5 a 10 anos	10 a 15 anos	20 a 25 anos	acima de 25 anos	Total
1	3	18	4	0	4	4	33
	9,01	9,31	4,79	2,90	3,08	3,89	
	4,012	8,103	0,131	2,905	0,272	0,003	
2	298	293	156	97	99	126	1069
	291,99	301,69	155,21	94,10	99,92	126,11	
	0,124	0,250	0,004	0,090	0,008	0,000	
Total	301	311	160	97	103	130	1102

Chi-Sq = 15,901;
DF = 5;
P-Value = 0,007
4 cells with expected counts less than 5.

Figura 15 – Teste Qui-quadrado para independência (Tempo de empresa)
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

Conforme podemos observar na figura 16, os colaboradores com tempo de empresa entre 1 e 5 anos são responsáveis por 52,9% dos acidentes das equipes anteriormente citadas. Ao se estratificar cada equipe segundo o mesmo ponto de vista (figura 17), percebe-se que

este padrão é mantido, sendo estes responsáveis por 30,8% das ocorrências da GOT SP, 71,4 % da GOPT RJ, 71,4% da GOPT VP e 57,1% da GOT CL.

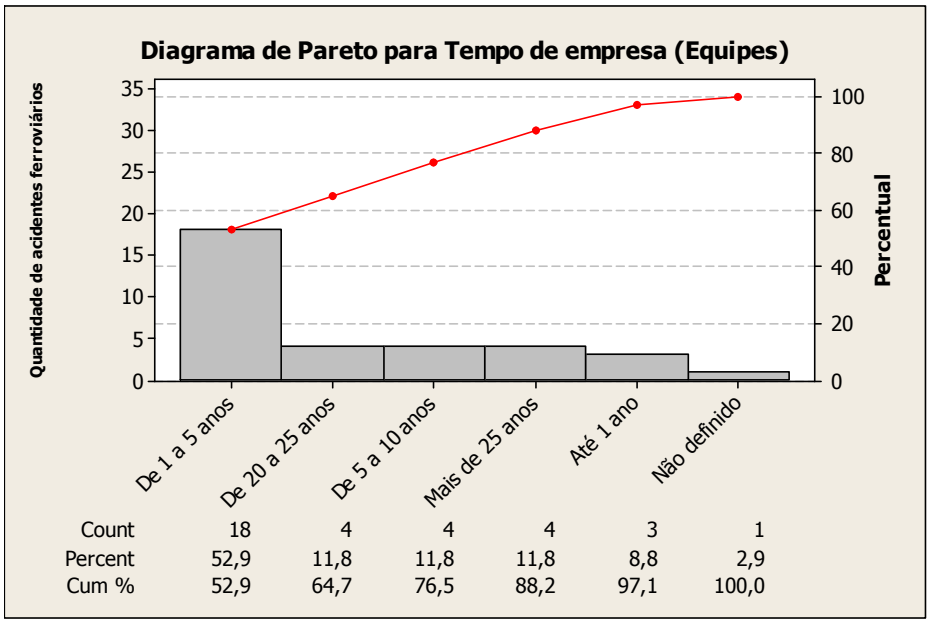

Figura 16 – Diagrama de Pareto para tempo de empresa
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

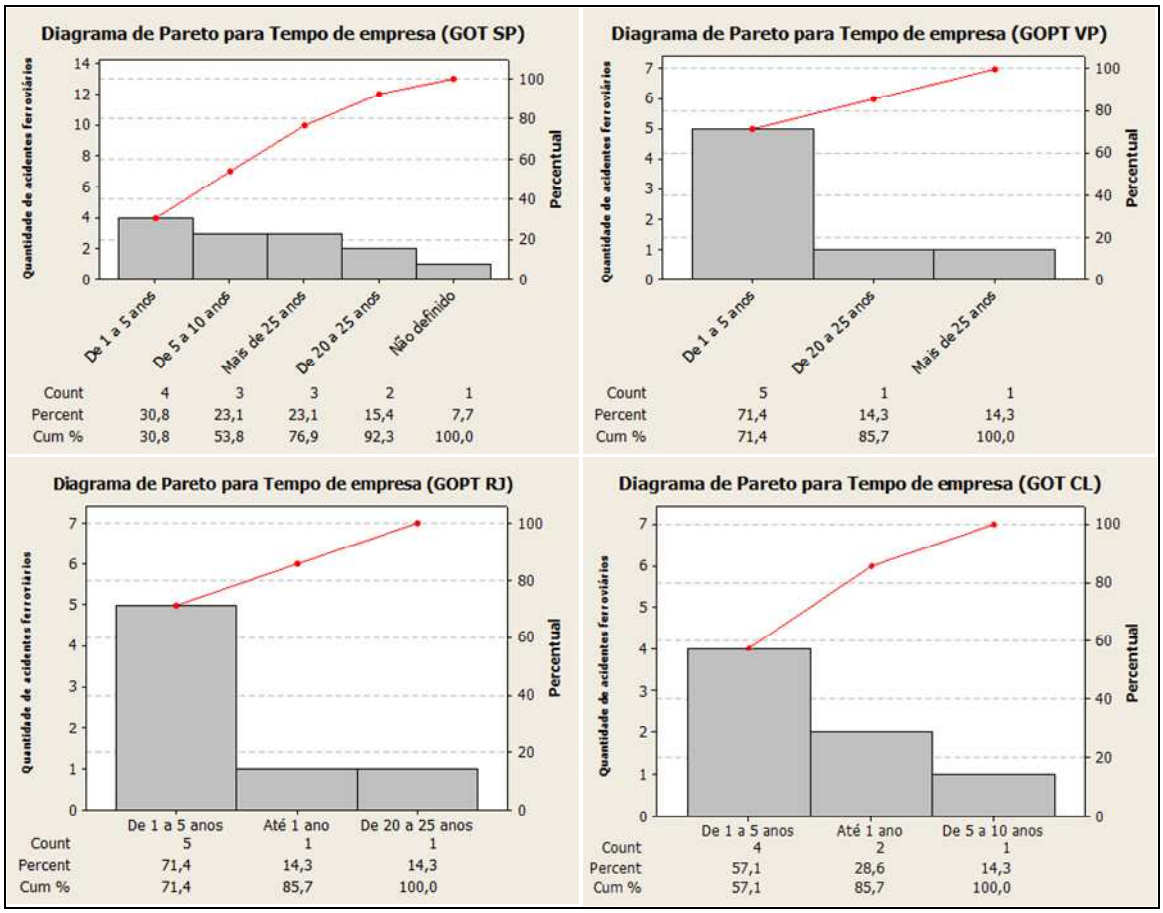

Figura 17 – Estratificação por tempo de empresa (por equipe)
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

Para verificar se a quantidade de acidentes ferroviários muda de acordo com os dias da semana também foi realizado um teste de hipóteses:

– Hipótese nula (H_0): o número de acidentes não é alterado pelo dia da semana;
– Hipótese alternativa (H_1): o número de acidentes é modificado conforme o dia da semana.

Considerou-se a ocorrência de 34 acidentes relacionados às equipes GOT SP, GOPT RJ, GOPT VP e GOT CL, logo a freqüência esperada por dia da semana seria de aproximadamente 5 acidentes.

No resultado apresentado na figura abaixo (figura 18), verifica-se que o valor de p (0,991) é maior que o nível de significância de 5%, não devendo H_0 ser rejeitado. Dessa forma, é possível concluir que as características são independentes, ou seja, o número de acidentes não é alterado pelo dia da semana.

Chi-Square Test: Segunda; Terça; Quarta; Quinta; Sexta; Sábado; Domingo

Expected counts are printed below observed counts
Chi-Square contributions are printed below expected counts

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta	Sábado	Domingo	Total
1	4	4	4	4	7	6	5	34
	4,43	4,43	4,43	4,43	5,91	5,42	4,93	
	0,043	0,043	0,043	0,043	0,200	0,062	0,001	
2	5	5	5	5	5	5	5	35
	4,57	4,57	4,57	4,57	6 ,09	5,58	5,07	
	0,041	0,041	0,041	0,041	0,194	0,060	0,001	
Total	9	9	9	9	12	11	10	69

Chi-Sq = 0,854;
DF = 6;
P-Value = 0,991
9 cells with expected counts less than 5.

Figura 18 – Teste Qui-quadrado para independência (Dia da semana)
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

Considerando os acidentes ferroviários das quatro equipes selecionadas, é possível notar, no Diagrama de Pareto da figura 19, que a principal causa imediata está relacionada à transposição de chave contra, representando 38,2% do total. As causas “inobservância de obstáculos na via” e “ultrapassagem do limite de manobra” são também expressivas, contribuindo com 11,8% e 8,8%, respectivamente.

Analisando a figura 20, percebe-se que “transposição de chave contra” é responsável por 46,2% dos acidentes da equipe GOT SP, 42,9% da GOT CL e 42,9% GOPT RJ, sendo que para esta última, outros 42,9% são devido a “ultrapassagem do limite de manobra”.

Entretanto, para a equipe GOPT VP, as causas “inobservância de obstáculos na via” (28,6%) e “veículo fora de marco” (28,6%) são as mais representativas.

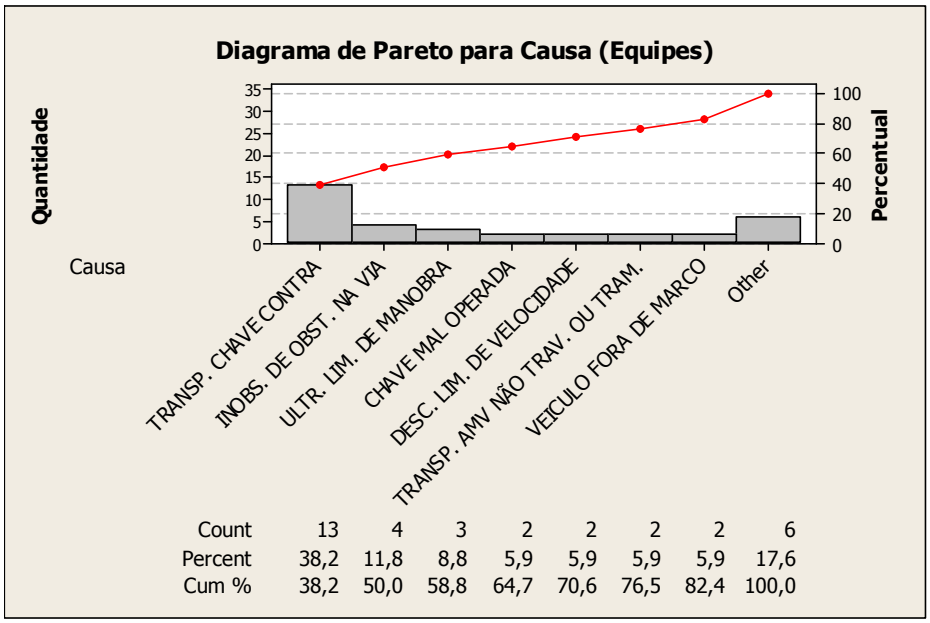

Figura 19 – Diagrama de Pareto para Causa
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

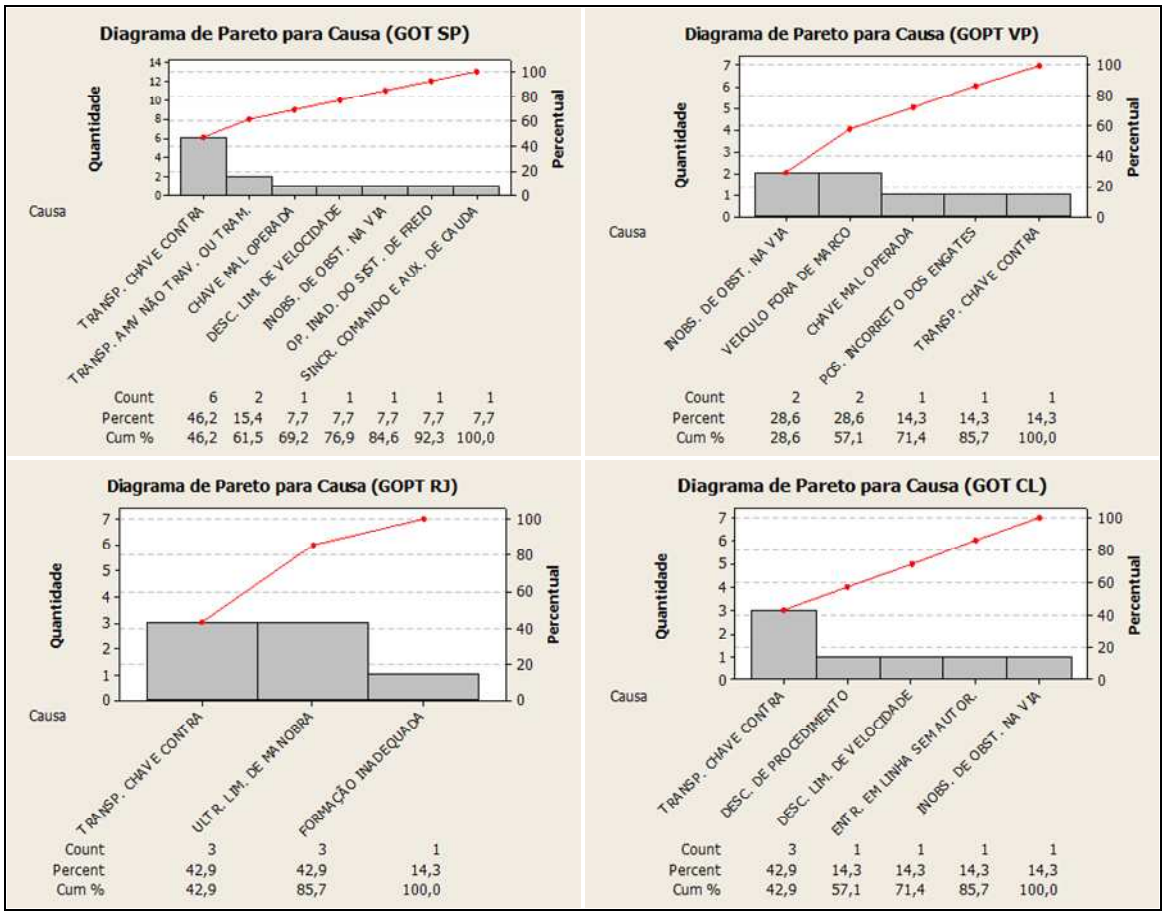

Figura 20 – Estratificação por causa (por equipe)
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

– Meta B

Analisando a figura 21, verifica-se que a média de acidentes da Diretoria de Manutenção foi de 5,33 em 2010, apresentando uma menor dispersão dos dados, quando comparada à Diretoria de Operação (valor máximo de 7 acidentes e mínimo de 3). É possível notar que todos os valores localizam-se entre os limites de controle, porém em apenas 16,7% dos meses, os pontos estiveram abaixo da meta estipulada pela empresa.

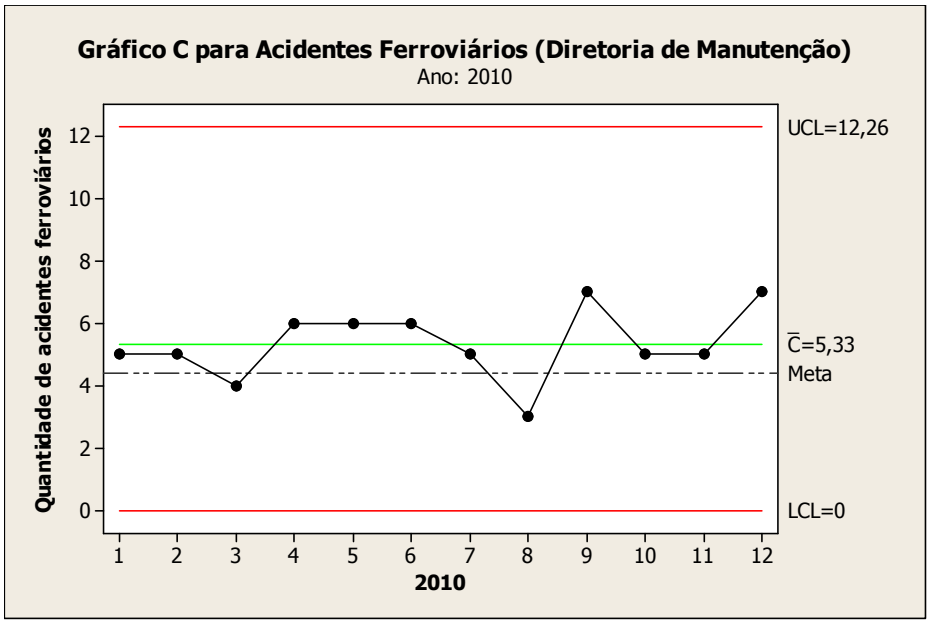

Figura 21 – Carta de controle para a quantidade de acidentes da Diretoria de Manutenção
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

A estratificação proposta segue o modelo apresentado a seguir (figura 22):

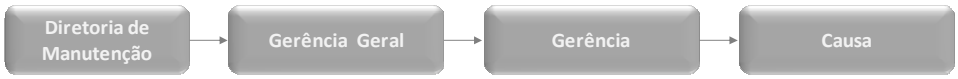

Figura 22 – Modelo de estratificação (Diretoria de Manutenção)
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

Figura 23 – Organograma (Diretoria de Manutenção)
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

As equipes se organizam de acordo com a figura 23, sendo identificadas pelos nomes que seguem:

– VP MG: Gerência de Manutenção de Via de Minas Gerais;

– VP RJ: Gerência de Manutenção de Via do Rio de Janeiro;
– VP FA: Gerência de Manutenção de Via de São Paulo;
– EE MG: Gerência de Manutenção de Eletroeletrônica de Minas Gerais;
– EE RJ: Gerência de Manutenção de Eletroeletrônica do Rio de Janeiro;
– EE SP: Gerência de Manutenção de Eletroeletrônica de São Paulo;
– GET: Gerência de Equipamento e Trilhos.

Ao realizar a estratificação dos dados por gerência geral (figura 24) é observado que 35 acidentes foram atribuídos a Malha, o que representa 54,7% da Diretoria de Manutenção. Pela análise da figura 25, constata-se que 88,6% dos eventos são de responsabilidade de três equipes: VP MG (42,9%), VP RJ (22,9%) e VP SP (22,9%).

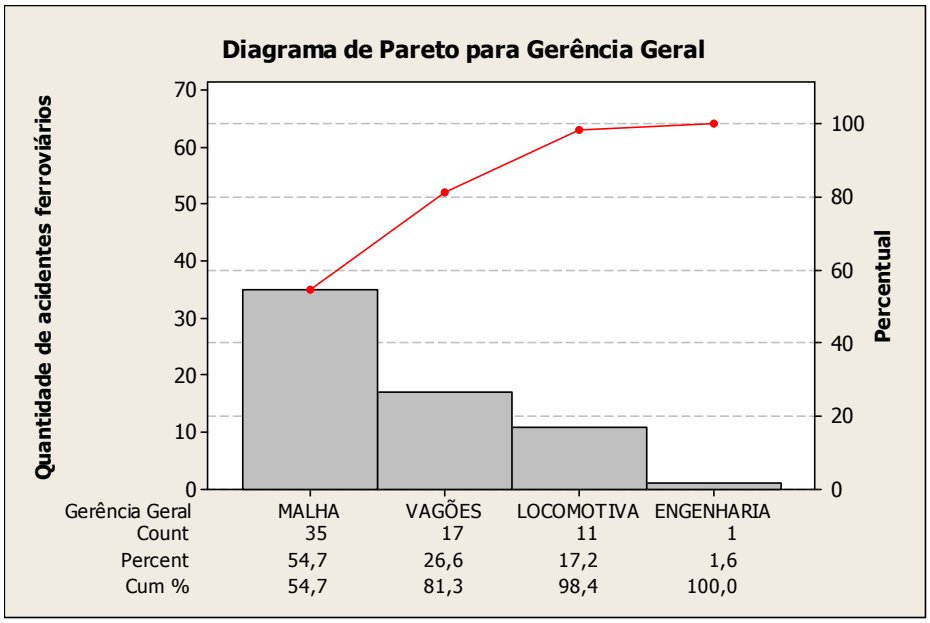

Figura 24 – Diagrama de Pareto para gerência geral
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

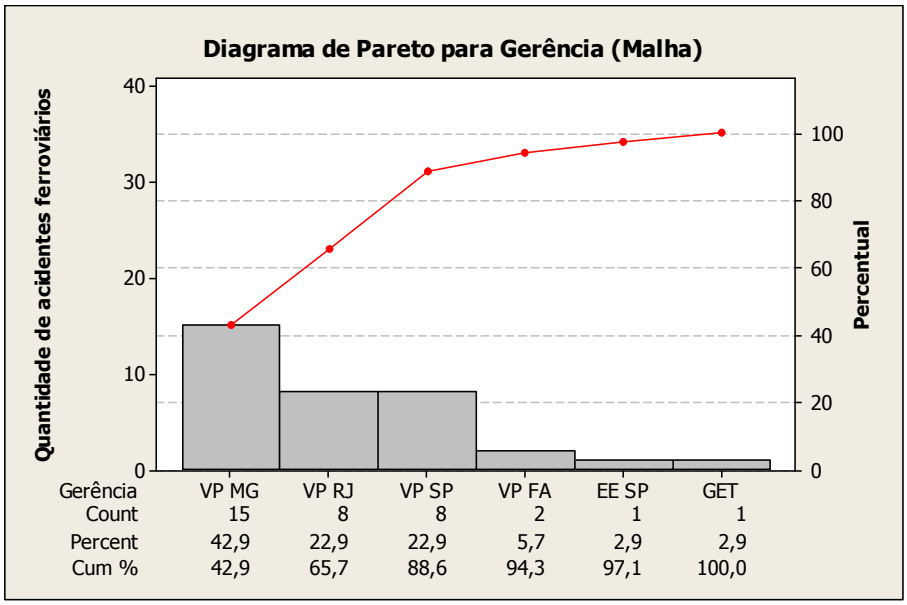

Figura 25 – Diagrama de Pareto para gerência
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

Avaliando o Diagrama de Pareto para os acidentes das três equipes citadas anteriormente (figura 26), verifica-se que 25,8% são devidos a problemas em aparelhos de mudança de via (AMV), 22,6% em geometria da via, 16,1% em dormente e 9,7% em trilho. Pela observação da figura 27, é possível notar que essas três causas imediatas são responsáveis por 73,3% dos acidentes da gerência VP MG, sendo geometria da via a mais expressiva, com 40%. Para VP RJ, problemas no AMV representa 50%, contribuindo geometria da via e dormente com 1 acidente cada. Já para a equipe VP SP, as causas AMV, deslizamento de aterro e trilho colaboram com 2 acidentes cada, totalizando 75% da gerência.

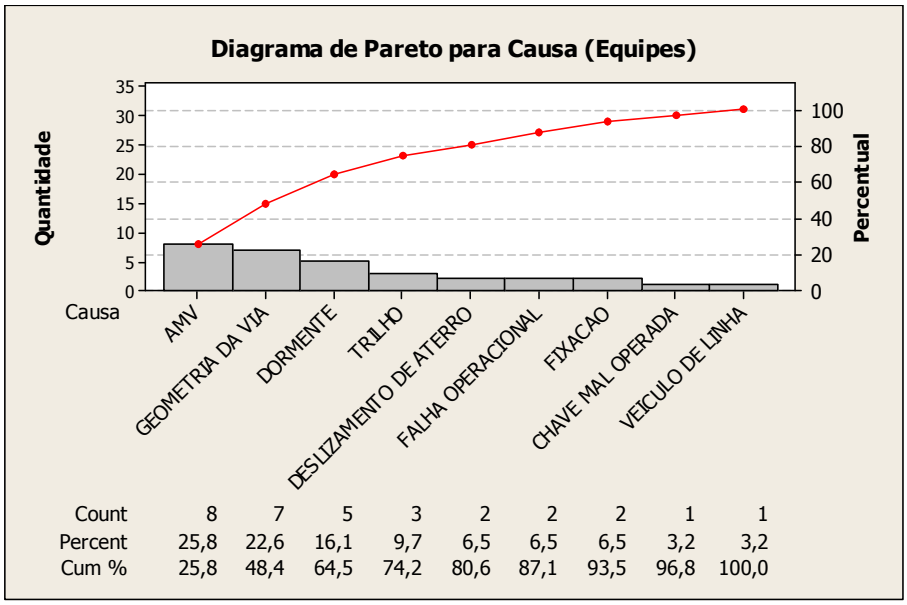

Figura 26 – Diagrama de Pareto para causa imediata
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

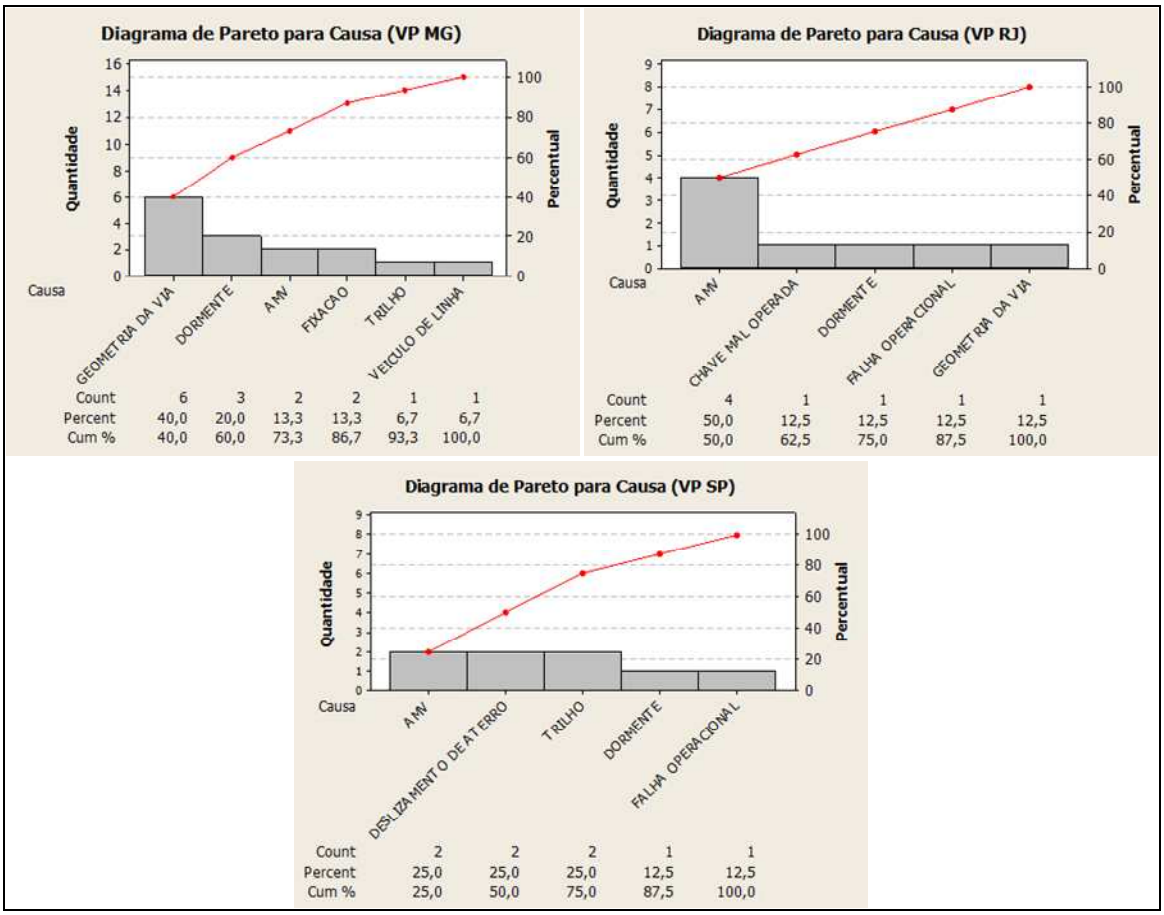

Figura 27 – Estratificação por causa imediata (por equipe)
Fonte: MRS Logística S.A., 2011

4. RESULTADOS

A realização deste estudo possibilitou um maior conhecimento a respeito dos fatores que envolvem a ocorrência de acidentes ferroviários. A meta inicial definida na etapa *Define* – Reduzir em 10% a ocorrência de acidentes ferroviários, até 31/12/2011 – foi desdobrada em duas metas específicas:

- Meta A: Reduzir em 35% a ocorrência de acidentes ferroviários da Diretoria de Operação, até 31/12/2011;
- Meta B: Reduzir em 30% a ocorrência de acidentes ferroviários da Diretoria de Manutenção, até 31/12/2011.

Atingindo as metas A e B, o número de acidentes ferroviários diminuiria em 34 ocorrências, sendo 15 referentes à primeira meta e 19 à segunda. Dessa forma, verifica-se que as metas prioritárias seriam suficientes para levar ao alcance da meta inicial, uma vez que permitiriam uma redução de aproximadamente 10,2%.

A análise realizada para a Diretoria de Operação definiu que quatro equipes (GOT SP, GOPT RJ, GOPT VP e GOT CL) foram responsáveis por 77,3% dos acidentes da área. Os 34 acidentes referentes a estas gerências foram analisados quanto ao tempo de empresa, dia da semana e causa imediata.

Na estratificação dos dados referentes a essas gerências por tempo de empresa dos colaboradores envolvidos, verificou-se que 18 eventos (52,9%) foram atribuídos aos colaboradores com tempo de empresa entre 1 e 5 anos, característica que se manteve quando cada equipe foi analisada separadamente.

Ao relacionar o número de acidentes com o dia da semana no qual o mesmo ocorreu, verificou-se que, neste caso, essas características são independentes, ou seja, a quantidade de acidentes não é alterada pelo dia da semana.

Analisando a causa imediata, observou-se que três causas foram responsáveis por 58,5% das ocorrências (20 acidentes), sendo elas: “transposição de chave contra”, “inobservância de obstáculos na via” e “ultrapassagem do limite de manobra”, que contribuem com respectivamente, 38,2%, 11,8% e 8,8%.

A análise dos dados referentes à meta B apontou que a Gerência Geral da Malha é a principal responsável pelos acidentes da Diretoria de Manutenção, representando 54,7%, ou 35 acidentes. Abrindo essas ocorrências por equipe, verificou-se que 31 (88,6%) foram atribuídas a três gerências, a saber: VP MG, VP RJ e VP SP. Ao estratificar essas equipes por

causa imediata, nota-se que 74,2% dos acidentes (23) tiveram como causa imediata problemas relacionados a AMV, geometria da via, dormente e trilho.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho, por meio da realização de um estudo de caso, possibilitou a aplicação das etapas *Define* (definir), *Measure* (medir) e *Analyze* (analisar) do método DMAIC, para conhecimento e entendimento da ocorrência de acidentes ferroviários relacionados a MRS Logística S.A., tendo o objetivo inicialmente estabelecido sido alcançado.

O programa Seis Sigma proporciona uma mudança cultural na empresa, uma vez que a sua implantação transforma o modo como as empresas enfrentam os seus problemas e também a forma como estes são identificados e tratados. O Seis Sigma está relacionado à capacidade do processo em se trabalhar livre de falhas, próximo do zero defeito.

Por meio do desenvolvimento deste estudo, o problema relacionado à ocorrência de acidentes ferroviários foi priorizado, tendo sido apontados dois problemas específicos: ocorrência de acidentes da Diretoria de Operação e Diretoria de Manutenção.

Analisando os acidentes da Diretoria de Operação, foram identificadas quatro equipes principais responsáveis pelos acidentes (GOT SP, GOPT RJ, GOPT VP e GOT CL). Além disso, foi possível notar que os acidentes destas equipes foram atribuídos sobretudo aos colaboradores com tempo de empresa entre 1 e 5 anos, além de terem sido identificadas três causas imediatas principais: “transposição de chave contra”, “inobservância de obstáculos na via” e “ultrapassagem do limite de manobra”.

Quanto aos acidentes da Diretoria de Manutenção, estes estão atribuídos principalmente a três equipes da Malha: VP MG, VP RJ e VP SP. Além de estarem associados a problemas em AMV, geometria da via, dormente e trilho.

Diante dos resultados, algumas recomendações para trabalhos futuros podem ser apresentadas:

- Aplicação das duas etapas seguintes do método DMAIC, *Improve* e *Control*, dando continuidade ao trabalho desenvolvido;
- Estudo técnico a respeito das causas imediatas da Diretoria de Manutenção;
- Estudo dos acidentes das Diretorias Comercial e de Recursos Humanos.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Silvio. **Integração das ferramentas da qualidade ao PDCA e ao programa seis sigma.** Nova Lima: INDG, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000:** sistemas de gestão da qualidade – fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro, 2005.

ANDRADE, Fábio Felippe. **O método de melhorias PDCA.** 2003. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3146/tde-04092003-150859/pt-br.php>. Acesso em: 24 out. 2010.

BRASIL. Ministério do Transporte. Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Resolução nº 1431 de 26 de abril de 2006.** Brasília, DF, 2006. Disponível em: <http://www.antt.gov.br/resolucoes/resolucoes2006.asp>. Acesso em: 13 nov. 2010.

BRUSSEE, Warren. DMAIC: The basic six sigma roadmap. In: ___. **Statistics for six sigma made easy!.** New York: McGraw-Hill, 2004.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC:** Controle da qualidade total (no estilo japonês). 8. ed. Nova Lima: INDG, 2004.

CARVALHO, Marly Monteiro; ROTONDARO, Roberto Gilioli. Modelo Seis Sigma. In: CARVALHO, Marly Monteiro et al. (Org.). **Gestão da qualidade:** teoria e caos. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. p. 125-151.

MARIANI, Celso Antonio; PIZZINATTO, Nadia Kassouf. FARAH, Osvaldo Elias. Método PDCA e Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos Industriais: Um Estudo de Caso. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2005, Bauru. **Anais Eletrônicos**... Bauru: UNESP, 2005. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep_aux.php?e=12>. Acesso em: 05 out. 2010.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick et al. (Org). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MONTGOMERY, Douglas C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade.** 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

PANDE, Peter S.; NEUMAN, Robert P.; CAVANAGH, Roland R.. **The six sigma way:** how GE, Motorola, and other top companies are honing their performance. New York: McGraw-Hill, 2000.

ROTONDARO, Roberto Gilioli et al. (Coord.). **Seis sigma:** estratégia gerencial para a melhoria de processos, produtos e serviços. São Paulo: Atlas, 2008.

TONINI, Antonio Carlos; LAURINDO, Fernando José Barbin; SPÍNOLA, Mauro de Mesquita. O Seis Sigma na melhoria dos processos de software. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 12., 2005, Bauru. **Anais eletrônicos**... Bauru: UNESP,

2005. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep_aux.php?e=12>. Acesso em: 29 out. 2010.

YAMANE, Alexandre Kenji.; SOUZA, Luiz Gonzaga Mariano. Aplicação do mapeamento de árvore de falhas (FTA) para melhoria contínua em uma empresa do setor automobilístico. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 27., 2007, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos**... Rio de Janeiro: ABEPRO, 2007. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/publicacoes/index.asp?pchave=&ano=2007&x=19&y=15>. Acesso em: 13 nov. 2010.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino. **Criando a cultura Seis Sigma.** Nova Lima: Werkema, 2004.

ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, _____ de _____ de 20____.

_____	_____
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
_____	_____
ASSINATURA	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena – detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.