

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

MARCELO DO VALE COIMBRA

**MODOS DE FALHA DOS COMPONENTES DA VIA PERMANENTE
FERROVIÁRIA E SEUS EFEITOS NO MEIO AMBIENTE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Prof^a. Maria Cristina Fogliatti de Sinay – Ph. D.
Prof. Marcelo Prado Sucena – D. Sc.

Rio de Janeiro

2008

c 2008

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

Praça General Tibúrcio, 80 – Praia Vermelha

Rio de Janeiro – RJ CEP: 22.290-270

Este exemplar é de propriedade do Instituto Militar de Engenharia, que poderá incluí-lo em base de dados, armazenar em computador, microfilmear ou adotar qualquer forma de arquivamento.

É permitida a menção, reprodução parcial ou integral e a transmissão entre bibliotecas deste trabalho, sem modificação de seu texto, em qualquer meio que esteja ou venha a ser fixado, para pesquisa acadêmica, comentários e citações, desde que sem finalidade comercial e que seja feita a referência bibliográfica completa.

Os conceitos expressos neste trabalho são de responsabilidade do(s) autor(es) e do(s) orientador(es).

C679m Coimbra, Marcelo do Vale

Modos de Falha dos Componentes da Via Permanente Ferroviária e seus Efeitos no Meio Ambiente / Marcelo do Vale Coimbra – Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2008.

165 p.: il., graf., tab.

Dissertação (mestrado) – Instituto Militar de Engenharia – Rio de Janeiro, 2008.

1. Transporte Ferroviário. 2. Ferrovias – Via Permanente. 3. Análise dos Modos de Falha, dos Efeitos e da Criticidade. 4. Manutenção Centrada na Confiabilidade. 5. Meio Ambiente. I. Título. II. Instituto Militar de Engenharia.

CDD 625.1

INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA

MARCELO DO VALE COIMBRA

**MODOS DE FALHA DOS COMPONENTES DA VIA PERMANENTE
FERROVIÁRIA E SEUS EFEITOS NO MEIO AMBIENTE**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências em Engenharia de Transportes.

Orientadores: Prof^a. Maria Cristina Fogliatti de Sinay – Ph. D.
Prof. Marcelo Prado Sucena – D. Sc.

Aprovada em 03 de janeiro de 2008 pela seguinte Banca Examinadora:

Prof^a. Maria Cristina Fogliatti de Sinay – Ph. D. do IME – Presidente

Prof. Marcelo Prado Sucena – D. Sc. do IME

Prof. Amaranto Lopes Pereira – Dr. Ing. da COPPE/UFRJ

Prof^a. Maria Esther Soares Marques – D. Sc. do IME

Rio de Janeiro

2008

Dedico este trabalho a minha querida mãe Carmen Lúcia do Vale, ao meu pai Ayrton Coimbra (*in memoriam*), a minha irmã Marselha Lúcia, aos meus familiares e a todas as pessoas que sempre me incentivaram e apoiaram durante o desenvolvimento do presente estudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar sempre ao meu lado me proporcionando as condições necessárias para concretizar todos os meus sonhos.

Aos meus pais, em especial a minha mãe, pela minha educação e por sempre me incentivar aos estudos, o que me proporcionou a chance de crescer como ser humano e profissionalmente.

A minha irmã Marselha Lúcia, a Juliana Soares e ao Carlos Henrique, pelo suporte a minha estadia na cidade do Rio de Janeiro durante o curso de mestrado.

Ao Instituto Militar de Engenharia – IME, pela oportunidade que me foi dada de estudar na escola que representa o berço da engenharia no Brasil.

Em especial, a professora Maria Cristina Fogliatti de Sinay pela excelente orientação e por sua incansável dedicação e ao professor Marcelo Prado Sucena pelo exemplo de profissional e por ter sempre me motivado a novos desafios.

Aos Professores Amaranto Lopes Pereira, Maria Esther Soares Marques e Marcus Vinícius Quintella Cury pela gentileza em aceitar o convite para fazer parte da banca examinadora.

A todos os professores do programa de pós-graduação do IME, em especial aos professores Luiz Antônio Silveira Lopes, Vânia Barcellos Gouvêa Campos e Paulo Afonso Lopes.

A CAPES por ter financiado os meus estudos.

A todos os engenheiros e especialistas de Via Permanente que contribuíram para o aperfeiçoamento deste trabalho, em especial ao Patrick Guedes Pedroni e Cristiano César de Mendonça da MRS Logística.

E por fim, aos amigos que fiz no mestrado, pela oportunidade de compartilhar dois anos de sacrifícios e sucessos profissionais e pessoais. Obrigado Isolina Cruz, Amílcar Sampedro, Danilo Dourado, Giovanni Viglioni, Olívio Beltrame, André Gasparini, Bruno Santana, Márcio Cazelli, Clauber Costa, Ten. Fábio Ávila, Marcela Chauviere, Maj. Marcos Diniz, Cap. Marcos Guerson, Mariana de Paiva, Cap. Renato Araújo, Ricardo Félix e Sabrina Diógenes.

“Trate bem a terra. Ela não foi doada a você pelos seus pais. Ela foi emprestada a você pelos seus filhos”.

Provérbio antigo do Quênia

SUMARIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	14
LISTA DE SIGLAS.....	16
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	20
1.2 OBJETIVO.....	21
1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	22
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	24
2 O SETOR FERROVIÁRIO BRASILEIRO	25
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	25
2.2 O TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGA NO BRASIL.....	28
2.2.1 EVOLUÇÃO INSTITUCIONAL	29
2.2.1.1 O PROCESSO DE CONCESSÃO	30
2.2.1.2 MARCO REGULATÓRIO DO PROCESSO DE CONCESSÃO	31
2.2.1.3 AS OPERADORAS DE TRANSPORTE DE CARGA	32
2.3 O TRANSPORTE FERROVIÁRIO URBANO DE PASSAGEIROS NO BRASIL	41
2.3.1 EVOLUÇÃO INSTITUCIONAL	41
2.3.2 O PROCESSO DE DESCENTRALIZAÇÃO DOS SISTEMAS METROFERROVIÁRIOS.....	42
2.3.3 OS SISTEMAS METROFERROVIÁRIOS CONCEDIDOS A INICIATIVA PRIVADA.....	43
2.3.4 AS OPERADORAS DE TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS.....	43
2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	46
3 A VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA.....	47
3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	47
3.2 O SISTEMA FERROVIA	48
3.2.1 SUBSISTEMA ENERGIA ELÉTRICA	49
3.2.2 SUBSISTEMA ELETRÔNICA	49
3.2.3 SUBSISTEMA MATERIAL RODANTE	50
3.2.4 SUBSISTEMA CIVIL	51
3.3 CONSTITUIÇÃO DA VIA PERMANENTE	52
3.3.1 COMPONENTES DA VIA PERMANENTE	55
3.3.1.1 TRILHO	55
3.3.1.2 ACESSÓRIOS DE FIXAÇÃO	57
3.3.1.3 DORMENTE	59

3.3.1.4	LASTRO	63
3.4	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
4	A DEGRADAÇÃO DA VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA	66
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	66
4.2	PRINCIPAIS ANOMALIAS NA GEOMETRIA DA VIA PERMANENTE	67
4.3	PRINCIPAIS ANOMALIAS NOS COMPONENTES DA VIA PERMANENTE.....	75
4.3.1	TRILHO	75
4.3.2	ACESSÓRIOS DE FIXAÇÃO	93
4.3.3	DORMENTE	93
4.3.4	LASTRO	95
4.4	A MANUTENÇÃO DA VIA PERMANENTE.....	95
4.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
5	A OPERAÇÃO DO SISTEMA FERROVIÁRIO: ATIVIDADES, IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS E MEDIDAS MITIGADORAS ASSOCIADAS ...	98
5.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	98
5.2	IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS PROVOCADOS PELA CIRCULAÇÃO DO MATERIAL RODANTE, SUAS CAUSAS E MEDIDAS MITIGADORAS ASSOCIADAS	99
5.3	IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS PROVENIENTES DA MANUTENÇÃO DA VIA PERMANENTE, SUAS CAUSAS E MEDIDAS MITIGADORAS ASSOCIADAS	108
5.4	IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS PROVENIENTES DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NAS UNIDADES DE APOIO DA FERROVIA, SUAS CAUSAS E MEDIDAS MITIGADORAS ASSOCIADAS	112
5.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	114
6	PROCEDIMENTO PROPOSTO	120
6.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	120
6.2	A TÉCNICA FMECA	123
6.3	DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO	133
6.4	APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO.....	136
6.5	COMENTÁRIOS FINAIS	153
7	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	154
7.1	CONCLUSÕES	154
7.2	RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES.....	155

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIG. 2.1	Densidade Ferroviária Brasil x EUA.....	26
FIG. 2.2	Produção de Transportes Ferroviário de Carga em Bilhões de TKU.....	28
FIG. 2.3	As Ferrovias Brasileiras de Transporte de Carga	33
FIG. 2.4	As Operadoras de Transporte Urbano de Passageiros no Brasil	44
FIG. 3.1	Constituição da Via Permanente.....	47
FIG. 3.2	Diagrama Organizacional do Sistema Ferrovia.....	48
FIG. 3.3	Esquema Básico da Linha Férrea	51
FIG. 3.4	Aparelho de Mudança de Via (Ilustração)	53
FIG. 3.5	Passagem em Nível (Ilustração)	54
FIG. 3.6	Desvio Ativo (Desenho Esquemático)	54
FIG. 3.7	Composição do Trilho (Desenho Esquemático).....	56
FIG. 3.8	Fixação Rígida	58
FIG. 3.9	Tipos de Fixação Elástica.....	58
FIG. 3.10	Dormente Monobloco.....	61
FIG. 3.11	Dormente Bi-bloco	61
FIG. 3.12	Dormente Polibloco.....	61
FIG. 3.13	Dormente de Aço	62
FIG. 3.14	Dormente de Plástico.....	63
FIG. 3.15	Via Permanente Elástica ou Lastrada.....	63
FIG. 3.16	Via Permanente Rígida sobre Lajes de Concreto	64
FIG. 3.17	Via Permanente Rígida sobre Viga.....	64
FIG. 4.1	Veículo de Avaliação da Via	68
FIG. 4.2	Bitola (Desenho Esquemático).....	69
FIG. 4.3	Desnívelamento Longitudinal (Desenho Esquemático)	71
FIG. 4.4	Desnívelamento Transversal (Ilustração)	72
FIG. 4.5	Desalinhamento (Desenho Esquemático em planta).....	73
FIG. 4.6	Empeno ou Torção (Ilustração).....	74
FIG. 4.7	Superelevação (Desenho Esquemático)	75
FIG. 4.8	Trinca Vertical (Ilustração).....	76
FIG. 4.9	Trinca Horizontal (Ilustração)	77

FIG. 4.10	Bolha (Ilustração)	77
FIG. 4.11	Trinca na Concordância Boleto/Alma (Ilustração)	78
FIG. 4.12	Trinca na Concordância Alma/Patim (Ilustração)	78
FIG. 4.13	Trinca Estelar na Furação (Ilustração)	79
FIG. 4.14	Sondagem com Equipamento de Ultra-som	79
FIG. 4.15	Fissuração no Canto da Bitola	80
FIG. 4.16	Escamação no boleto	81
FIG. 4.17	Estilhamento do Canto da Bitola	81
FIG. 4.18	Despedaçamento do Canto da Bitola (Ilustração)	82
FIG. 4.19	Shelling na Superfície de Rolamento (Ilustração)	83
FIG. 4.20	Patinagem	83
FIG. 4.21	Escoamento do Metal do Boleto (Ilustração)	84
FIG. 4.22	Esmagamento do Boleto	85
FIG. 4.23	Sulco no Boleto	85
FIG. 4.24	Fissuração Transversal	86
FIG. 4.25	Fissuração Composta	87
FIG. 4.26	Caroço	88
FIG. 4.27	Martelamento	89
FIG. 4.28	Desgaste Lateral	90
FIG. 4.29	Desgaste Ondulatório	91
FIG. 4.30	Dormente Quebrado na Área de Apoio	94
FIG. 4.31	Dormente Quebrado na Região Central	94
FIG. 4.32	Dormente com Fissura Longitudinal	94
FIG. 4.33	Desgaste da Região da Placa de Apoio	94
FIG. 4.34	Dormente de Madeira Apodrecido	94
FIG. 4.35	Lastro Colmatado	95
FIG. 4.36	Vazios no Lastro	95
FIG. 5.1	Acidente no Cruzamento da Linha Férrea (Carambeí/PR)	103
FIG. 5.2	Invasão de Faixa de Domínio (Rio de Janeiro/RJ)	104
FIG. 5.3	Passagem em Nível Crítica (São José do Rio Preto/SP)	104
FIG. 5.4	Muro de Concreto	105
FIG. 5.5	Cruzamento de Rodovia e Ferrovia em níveis diferentes	105
FIG. 5.6	Poluição do Solo e do Lençol Freático	108

FIG. 5.7	Vegetação ao longo da via (Lastro Colmatado)	109
FIG. 5.8	Canal obstruído.....	109
FIG. 5.9	Substituição de Dormentes	110
FIG. 5.10	Socaria e Regularização do Lastro.....	110
FIG. 5.11	Veículo Esmerilhador de Trilhos	111
FIG. 5.12	Pátio Ferroviário.....	112
FIG. 5.13	Terminal de Passageiros	112
FIG. 5.14	Terminal de Carga	112
FIG. 5.15	Oficinas de Manutenção.....	113
FIG. 6.1	Classificação das Falhas Segundo a MCC	124
FIG. 6.2	Padrões da Falhas	125
FIG. 6.3	Etapas de desenvolvimento da técnica FMECA	126
FIG. 6.4	Formulário FMECA	132
FIG. 6.5	Etapas do Desenvolvimento do Procedimento Proposto.....	134
FIG. 6.6	Diagrama Organizacional do Subsistema Via Permanente.....	136
FIG. 6.7	Aplicação da técnica FMECA (TRILHO).....	142
FIG. 6.8	Aplicação da técnica FMECA (ACESSÓRIO DE FIXAÇÃO).....	144
FIG. 6.9	Aplicação da técnica FMECA (DORMENTE)	146
FIG. 6.10	Aplicação da técnica FMECA (LASTRO).....	147

LISTA DE TABELAS

TAB. 2.1	Densidade Ferroviária em Alguns Países (km / km ²)	26
TAB. 2.2	Mobilidade Urbana no Brasil (2005)	27
TAB. 2.3	A Desestatização das Malhas da RFFSA.....	30
TAB. 2.4	Dados das Operadoras de Transporte de Carga no Brasil.....	34
TAB. 2.5	Dados das Operadoras de Transporte Urbano de Passageiros no Brasil	45
TAB. 4.1	Principais Anomalias nos Trilhos	92
TAB. 5.1	Níveis de Ruídos e suas Consequências	100
TAB. 5.2	Nível de Vibração em dB (V).....	102
TAB. 5.3	Padrões de Qualidade do Ar	106
TAB. 5.4	Operação da Via Permanente - Impactos Ambientais, suas possíveis Causas e as Medidas Mitigadoras.....	116
TAB. 5.5	Manutenção da Via Permanente - Impactos Ambientais, suas possíveis Causas e as Medidas Mitigadoras.....	118
TAB. 5.6	Operação nas Unidades de Apoio - Impactos Ambientais, suas possíveis Causas e as Medidas Mitigadoras.....	119
TAB. 6.1	Comparação da Manutenção Tradicional com a RCM.....	122
TAB. 6.2	Níveis de Severidade de Risco	127
TAB. 6.3	Classificação e Peso da Severidade das Falhas	128
TAB. 6.4	Níveis de Frequência de Modos de Falha	129
TAB. 6.5	Classificação e Peso da Probabilidade de Ocorrência de Falha.....	129
TAB. 6.6	Níveis de Detectabilidade de Risco	130
TAB. 6.7	Classificação e Peso da Probabilidade de Detecção da Falha	130
TAB. 6.8	Descrição dos Campos do Formulário FMECA.....	132
TAB. 6.9	Códigos de Referência dos Impactos Ambientais Negativos	148
TAB. 6.10	Associação dos Modos de Falha com os Impactos Ambientais Negativos.....	149
TAB. 6.11	Hierarquização dos Modos de Falhas (Trilho).....	151

TAB. 6.12	Hierarquização dos Modos de Falhas (Acessórios de Fixação)	152
TAB. 6.13	Hierarquização dos Modos de Falhas (Dormente).....	152
TAB. 6.14	Hierarquização dos Modos de Falhas (Lastro).....	153

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ABREVIATURAS

<i>Apud</i>	-	em
AVW	-	<i>Abnormal Vertical Wear</i>
BHC	-	<i>Bolt Hole Crack</i>
BOL	-	Bolha
CAN	-	Canoa
CAR	-	Caroço
CHW	-	<i>Cracking at Head/Web Fillet Radius</i>
CMF	-	<i>Compound Fissure</i>
CO	-	Monóxido de Carbono
CO ₂	-	Dióxido de Carbono
COR	-	<i>Corrugation Rail</i>
CRH	-	<i>Crushed Head</i>
CWF	-	<i>Cracking at Web/Foot Fillet Radius</i>
DAR	-	<i>Dark Spot</i>
dB	-	decibéis
DFR	-	<i>Detail Fracture</i>
<i>et al.</i>	-	e outros
etc.	-	etcétera
FIG.	-	Figura
FLK	-	<i>Flaking</i>
FLR	-	<i>Flowed Rail</i>
HCR	-	<i>Horizontal Crack</i>
HDC	-	<i>Head Checks</i>
IR	-	Índice de Risco
kg/m ³	-	kilograma por metro cúbico
km	-	quilômetro
km/h	-	quilômetro por hora
km ²	-	quilômetro quadrado

LNG	-	<i>Long Groove</i>
LTW	-	<i>Lateral Wear</i>
MAR	-	Martelamento
mm	-	milímetros
Mpa	-	mega pascal
NO ₂	-	Óxido Nítrico
PPDF	-	Peso que representa a Probabilidade de Detecção de Falha
PPOF	-	Peso que representa a Probabilidade de Ocorrência de Falha
PSF	-	Peso que representa a Severidade do efeito da Falha
SHL	-	<i>Shelling</i>
SO ₂	-	Dióxido de Enxofre
SPA	-	<i>Spalling</i>
t.km	-	toneladas quilômetros
TAB.	-	Tabela
TEPs	-	toneladas equivalente de petróleo
TKU	-	toneladas quilômetro útil
ton	-	toneladas
TU	-	toneladas útil
VCR	-	<i>Vertical Crack</i>
WHB	-	<i>Wheel Burn</i>

SÍMBOLOS

° C	-	Grau Celsius
%	-	per cento
°	-	graus

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALL	América Latina Logística S/A
AMV	Aparelhos de Mudança de Via
ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTP	Associação Nacional de Transportes Públicos
ANTT	Associação Nacional de Transportes Terrestres
AREMA	<i>American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association</i>
ASCE	<i>American Society of Civil Engineers</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CENTRAL	Companhia Estadual de Engenharia de Transportes e Logística
CFN	Companhia Ferroviária do Nordeste
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CNT	Confederação Nacional do Transporte
COFER	Comissão Federal de Transportes Ferroviários
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CTS	Companhia de Transportes de Salvador
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
DIN	<i>Deutsches Institut fur Normung</i>
EFA	Estrada de Ferro Amapá
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EFJ	Estrada de Ferro Jari
EFT	Estrada de Ferro Trombetas
EFVM	Estrada de Ferro Vitória Minas
FCA	Ferrovias Centro-Atlântica
FEPASA	Ferrovias Paulista S/A
FERROBAN	Ferrovias Bandeirantes S/A
FERROPAR	Ferrovias Paraná S/A

FLUMITRENS	Companhia Fluminense de Trens Urbanos
FMECA	<i>Failure Mode, Effects and Criticality Analysis</i>
FTC	Ferrovia Tereza Cristina
ICOMI	Indústria e Comércio de Minério S/A
IME	Instituto Militar de Engenharia
MCC	Manutenção Centrada na Confiabilidade
METROFOR	Companhia Cearense de Transportes Metropolitanos
NIEM	Núcleo de Inteligência Econômica e de Mercado
OMS	Organização Mundial da Saúde
PN	Passagem em Nível
PND	Programa Nacional de Desestatização
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S/A
RTF	Regulamento dos Transportes Ferroviários
RTFPP	Regulamento dos Transportes Ferroviários de Produtos Perigosos
SAE	<i>Society of Automotive Engineers</i>
SNCF	<i>Société National de Chemins de Fer Français</i>
STT	Secretaria de Transportes Terrestres
TLS	Trilho Longo Soldado
TUE	Trem Unidade Elétrica
UIC	<i>International Union of Railways</i>
MIT	<i>Massachusetts Institute of Technology</i>
EUA	Estados Unidos da América

RESUMO

A expansão da estrutura ferroviária brasileira conseguida após o processo de concessão vem proporcionando importantes ganhos de produtividade às diversas empresas de transporte de carga que atuam no setor. Com isso, essas estão conquistando destaque dado à importância de seus serviços na cadeia logística do país. No que tange o setor ferroviário de transporte urbano de passageiros, houve em anos recentes um crescimento substancial e significativamente superior ao valor médio verificado em anos anteriores.

Este crescimento na produção do transporte submete a Via Permanente a maiores solicitações, o que contribui para acelerar a degradação dos componentes que a constitui, sendo imprescindível a sua manutenção. Esta atividade, além de evitar o colapso, assegura o nível de serviço desejado e garante maior vida útil dos equipamentos.

A exigência de níveis de serviço cada vez mais altos leva o setor de transporte a buscar a melhoria contínua dos serviços oferecidos, de forma a apresentar atributos como confiabilidade e segurança, além de garantir o crescimento da produção calcada nos preceitos do transporte sustentável.

Para isto é necessário reavaliar questões técnicas de manutenção buscando novas metodologias. Entre as técnicas contemporâneas de análise de falha, a *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis*¹ (FMECA), incorporada a *Reliability Centered Maintenance*² (RCM), revela-se uma ferramenta bastante útil para realizar a análise sistemática dos componentes de um determinado sistema, e avaliar a maneira pela qual eles falham em cumprir suas funções e os efeitos na segurança, na operação, na economia e no meio ambiente.

Esta dissertação tem por objetivo apresentar um procedimento que proporciona a visão sistêmica de modos de falha de uma Via Permanente tipo, associando-os aos efeitos negativos sobre o meio ambiente.

Para alcançar este objetivo a técnica FMECA será adaptada e aplicada em um estudo de caso utilizando-se o subsistema Via Permanente, servindo de subsídio para uma das etapas de implantação da RCM como processo de manutenção da Via Permanente.

¹ Análise dos Modos de Falha, dos Efeitos e da Criticidade

² Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC)

ABSTRACT

The expansion of the Brazilian railway infrastructure, achieved after the concession process has been providing important gains of productivity to several cargo transportation companies acting in the sector. With this, they are being highlighted due to the importance of their services in the logistic chain in the country. About the railway sector for urban passenger transportation, in the last years there have been substantial growth, and significantly higher than the average seen in previous years.

This growth in the transport production leads the Track Structure to higher requests, which accelerates its components' degradation, being essential its maintenance. This activity, more than preventing collapse, provide the desired level of service and ensures greater lifetime of equipment.

The requirement of higher levels of service leads the transportation sector to seek continuous improvement of the offered services in order to present attributes as reliability and security, and ensure the growth of production based in the precepts of sustainable transportation.

For this, reassess technical issues of maintenance seeking new methodologies is needed. Among the contemporary techniques of failure analysis, the Failure Modes, Effects and Criticality Analysis (*FMECA*), incorporated the Reliability Centered Maintenance (*RCM*), it is a very useful tool for the systematic analysis of the components of a given system, and evaluate the way they fail in accomplish their duties, and their impacts on safety, operation, economy and environment.

This work aims to present a procedure that provides the systemic vision of the Track Structure failure modes, linking them to the negative effects on environment.

To achieve this goal the *FMECA* technique will be adapted and applied in a case study using the Track Structure, and a subsidy for one of the stages of implementation of the *RCM* as a process of railway maintenance.

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Comparando as condições atuais do setor ferroviário de carga brasileiro com as do período anterior à desestatização da Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA), acontecida a partir do final da década de 90 do século XX, deduz-se a presença de um cenário evolutivo favorável do setor.

A participação da ferrovia na matriz de transporte de carga cresceu 8%, passando de 17% em 1997 para 25% em 2005, com previsões de atingir 30% em 2010. No âmbito do setor ferroviário de transporte urbano de passageiros, houve no ano de 2006 um crescimento de 8%, crescimento esse significativamente superior ao valor médio de 3%, verificado no ano de 2005, para todo o setor.

O aumento na quantidade, na freqüência e no tipo de carga transportada, conseqüências diretas do crescimento da produção do transporte ferroviário, submete a Via Permanente a maiores solicitações de cargas, o que contribui para acelerar a degradação dos componentes que a constituem. Isto, por sua vez, eleva o risco de ocorrência de impactos ambientais negativos, como ruído, vibrações, contaminação do solo e do lençol freático, acidentes como descarrilamentos do material rodante e outros.

Além disso, a política ambiental atual, ao tentar alcançar objetivos sociais, econômicos e ambientais, exige do setor ferroviário brasileiro a adoção de estratégias de desenvolvimento sustentável, tanto no que tange a implantação e operação de novos projetos ferroviários quanto ao passivo ambiental sem equacionamento pela extinta RFFSA, o que expõe as concessionárias perante os órgãos ambientais, considerando que a maior parte das linhas férreas existentes foi construída no final do século XIX e início do século XX.

Somado a esses fatos, nos últimos anos, a exigência de níveis de serviço cada vez mais altos leva o setor de transporte a buscar a melhoria contínua dos serviços oferecidos, de forma a apresentar atributos como disponibilidade, acessibilidade,

economicidade, qualidade e confiabilidade. Estudos relativos à confiabilidade de funcionamento de sistemas operacionais vêm recebendo a atenção de especialistas em diversos ramos do conhecimento, particularmente ligados a áreas de projeto, operação, informação e manutenção.

O conceito moderno de manutenção alia a necessidade de alta disponibilidade dos equipamentos com a exigência de confiabilidade para a sua utilização. Desta forma, a manutenção está integrada ao sistema produtivo, possibilitando a produção quase ininterrupta, sem não-conformidades nos processos e nos produtos.

Entre as metodologias contemporâneas que se enquadram neste novo conceito, a *Reliability Centered Maintenance (RCM)*, que começou a ser desenvolvida na indústria aeronáutica por volta de 1960, tem expandido atualmente sua aplicação a praticamente todos os ramos da atividade humana onde há necessidade de manter o funcionamento de ativos ou dos seus processos de forma racional e sistêmica.

Incorporadas a *RCM* existem técnicas de análise de falhas, muitas delas relacionadas ao monitoramento da condição funcional dos equipamentos, sem a necessidade de desmonte ou desativação do item para inspeção, realizando a documentação sistemática das falhas possíveis. Entre elas, a *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*, tem o objetivo de identificar cada um dos componentes de um sistema a fim de levantar todas as maneiras pelas quais esses componentes possam vir a falhar e avaliar quais os efeitos que estas falhas acarretam sobre os demais componentes e sobre o sistema em geral.

1.2 OBJETIVO

Esta dissertação tem por objetivo apresentar um procedimento que representa a visão sistêmica dos modos de falha dos componentes de uma Via Permanente tipo, associando-os aos efeitos negativos sobre o meio ambiente. Para alcançar este objetivo foi adaptada a técnica *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*.

Após a aplicação do procedimento em um estudo sobre os componentes da Via Permanente, obtém-se uma tabela matricial onde os modos de falha são

relacionados aos impactos ambientais negativos passíveis de serem causados na ocorrência de uma falha. Também pode ser gerada uma lista hierarquizada dos modos de falha, segundo um índice de risco previamente definido a partir de pesquisa juntos aos especialistas do setor.

1.3 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Com a preocupação atual nos aspectos ambientais e de segurança, grande parte das normas vigentes, tais como as séries ISO 9.000 ou ISO 14.000, exigem que as organizações demonstrem que estão fazendo tudo que é prudente se fazer para garantir que seus processos sejam seguros. Além disso, a manutenção deixou a condição de simples apoio da operação e passou à condição de pilar de sustentação da produção em conjunto com a própria operação.

Para que o crescimento do setor ferroviário brasileiro não sofra interrupção na sua produtividade é necessário reavaliar questões técnicas de gerenciamento de manutenção de ativos, principalmente, no que se refere a um dos principais subsistemas da ferrovia, qual seja, a Via Permanente.

Segundo MAGALHÃES (2007), diversos estudos experimentais têm demonstrado a vinculação entre a boa qualidade (confiabilidade) da Via Permanente, com o desempenho produtivo das locomotivas e, conseqüentemente, com a redução no consumo de combustíveis. A título de exemplo, em pesquisas conduzidas recentemente nos EUA pelo *Massachusetts Institute of Technology (MIT)*, os testes mostraram que a mesma locomotiva que reboca 100 vagões em via ruim poderia rebocar 124 vagões em via de boa qualidade.

De acordo com o anuário estatístico 2004 da *Surface Transportation Board*, entre os custos operacionais típicos nas ferrovias americanas, no que se refere à manutenção de ativos, o item Via Permanente apresentou 18,2 % dos custos totais, contra 10,8 % para vagões, 9,7 % para locomotivas e 2,3 % para manutenção de outros equipamentos. Os demais percentuais referem-se à operação dos trens e despesas administrativas.

Ressalta-se desta maneira, a importância de se ter uma Via Permanente com um alto nível de confiabilidade, haja vista o impacto que a manutenção da Via Permanente exerce na produtividade do sistema, nos custos operacionais do mesmo, além da influência direta na segurança e no meio ambiente.

No que tange a sustentabilidade ambiental, o transporte ferroviário apresenta algumas vantagens importantes, quando comparado aos demais modos de transporte, motivo pelo qual deveria ser mais incentivado. Entre essas, destacam-se:

- a) alta capacidade para o transporte de cargas e de passageiros. Em média, são necessários 60 caminhões de 25 toneladas ($60 \times 25 = 1.500$ ton) para transportar a carga de uma composição de 15 vagões do tipo Jumbo Hoppers de 100 toneladas cada (CNI, 2004, a). Além disso, o metrô faz melhor uso do espaço urbano do que os ônibus e automóveis, por ter maior capacidade, visto que uma via de metrô pode transportar 60.000 passageiros por hora, enquanto uma faixa de ônibus urbano pode chegar a 6.700 passageiros por hora e três faixas para automóveis não ultrapassam a 5.450 passageiros por hora (CURY, 2007, p.61).
- b) baixo custo operacional para longas distâncias. No Brasil, o custo do transporte ferroviário chega a ser, em média, 31% mais barato que o transporte rodoviário (Ministério dos Transportes, 2006, a)..
- c) diversidade energética como a utilização do diesel e da eletricidade. O tipo de combustível utilizado pelos sistemas ferroviários modernos, a energia elétrica, configura-se numa fonte de energia renovável e limpa se comparada aos combustíveis derivados do petróleo. A utilização desta energia contribui para a redução do consumo de milhões de TEPs (toneladas equivalentes de petróleo) além de evitar que toneladas de CO_2 sejam lançadas na atmosfera.

Estas diretrizes justificam o desenvolvimento desta dissertação cujo tema também é contemplado na linha de pesquisa Gestão Ambiental de Sistemas de Transportes desenvolvida no curso de Mestrado em Engenharia de Transportes do Instituto Militar de Engenharia- IME.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para atingir o objetivo proposto, a presente dissertação está estruturada em sete capítulos, conforme descrito a seguir.

No Capítulo 1 apresenta-se o problema a ser estudado, seu objetivo, a justificativa e relevância e composição.

No Capítulo 2 é apresentado o setor ferroviário brasileiro, o seu contexto institucional, as operadoras de transporte de carga e de transporte urbano de passageiros, destacando o substancial crescimento na produção de transporte ocorrido na última década.

No Capítulo 3 são descritos os subsistemas que constituem uma ferrovia tipo ressaltando o subsistema de maior relevância para este trabalho, qual seja, a Via Permanente.

No Capítulo 4 são apresentadas as principais anomalias na geometria e nos componentes da Via Permanente, assim como, os processos de intervenção de manutenção da linha férrea.

No Capítulo 5 são apresentados os impactos ambientais negativos possíveis de serem causados por cada uma das atividades relacionadas à operação do sistema ferroviário e as medidas mitigadoras associadas.

No Capítulo 6 apresenta-se o procedimento proposto, detalhando as etapas para associar os modos de falha dos componentes da Via Permanente aos impactos ambientais negativos possíveis de serem causados na ocorrência de uma falha. Para tal, se faz necessário o conhecimento e a utilização da técnica *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*.

No Capítulo 7 são apresentadas as conclusões obtidas a partir da pesquisa realizada assim como algumas recomendações visando ao desenvolvimento de outros trabalhos relacionados a esse tema.

2 O SETOR FERROVIÁRIO BRASILEIRO

Neste capítulo é apresentado o setor ferroviário brasileiro, o seu contexto institucional, as operadoras de transporte de carga e de transporte urbano de passageiros, destacando o substancial crescimento na produção de transporte ocorrida na última década.

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O setor ferroviário de transporte de carga e passageiro, em nível mundial, evoluiu durante o século XIX, quase que exclusivamente impulsionado por governos locais ou federais, sendo tratado como de utilidade pública. Apenas eventualmente³ ocorreram incentivos por parte de companhias privadas. A partir da década de 80 do século XX, a maior parte dos países adotou medidas para privatizar seus sistemas ou colocá-los em bases comerciais a fim de permitir a sua concorrência (MOLITORIS, 2000).

No Brasil não foi diferente. Contudo, o desenvolvimento do setor ferroviário de transporte de carga, apesar do estímulo verificado nos primórdios da implantação das primeiras ferrovias, ficou muito aquém do desejável. Entre os fatores que contribuíram para a retração do crescimento do setor ferroviário na matriz de transporte brasileira, destacam-se:

- a) o modelo econômico do país. Nos países desenvolvidos, a organização das malhas ferroviárias decorreu da expansão econômica interna. Isso explica o elevado número de ferrovias e o alto grau de integração entre elas. No Brasil, cuja economia sempre foi dependente dos mercados externos, as

³ Nos Estados Unidos o transporte de carga foi incentivado pelo setor privado e o transporte de passageiros por entidades públicas amplamente subsidiadas pelos seus governos.

malhas são quase sempre periféricas, isoladas e convergentes para o litoral, visando à exportação.

- b) o incentivo de consecutivos governos ao modo rodoviário. Em 2006 o transporte rodoviário representou 58% das operações contra 25% do transporte ferroviário, enquanto que em outros países os números favoreceram o transporte ferroviário, como exemplo, na Rússia (81% contra 8%) e nos Estados Unidos (40% contra 25%) (ANTT, 2007, a).

Em virtude, principalmente, desses dois fatores o Brasil apresenta uma baixa densidade ferroviária em comparação com países de dimensões bem menores e até de dimensões continentais como os EUA (FIG. 2.1), China, Austrália e Canadá (TAB. 2.1).

TAB. 2.1: Densidade Ferroviária em Alguns Países (km / km²)

PAÍSES	EXTENSÃO DA MALHA (km)	ÁREA TERRITORIAL (km ²)	DENSIDADE FERROVIÁRIA (km / km ²)
ALEMANHA	47.201	349.223	135,2
INGLATERRA	17.156	241.590	71,0
JAPÃO	23.556	374.744	62,9
FRANÇA	29.085	545.630	53,3
ESTADOS UNIDOS	226.605	9.161.923	24,7
ÍNDIA	63.230	2.973.190	21,3
ARGENTINA	31.902	2.736.690	11,7
CHINA	74.408	9.326.410	8,0
AUSTRÁLIA	47.738	7.617.930	6,3
CANADÁ	48.467	9.093.507	5,3
BRASIL	29.252	8.456.510	3,5

FONTE: Adaptado pelo autor de CIA The World Factbook (2006)

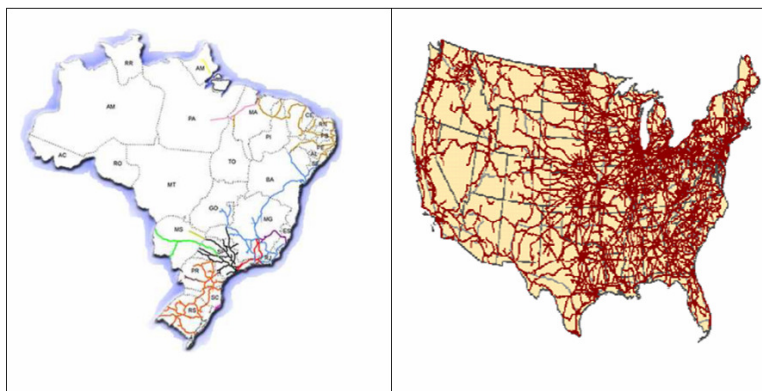


FIG. 2.1: Densidade Ferroviária Brasil x EUA

FONTE: Anuário Estatístico – Ministério dos Transportes (2001, b)

Além disso, o setor ferroviário de transporte de carga no Brasil convive com gargalos logísticos que impedem o seu crescimento de forma mais acelerada com destaque para:

- a) o elevado número de passagens em nível inadequadas ou críticas;
- b) as contínuas invasões de faixa de domínio das ferrovias;
- c) os problemas de acesso e de tráfego compartilhado nos principais portos brasileiros, destacando-se Santos, Sepetiba, Paranaguá e São Luis e
- d) as dificuldades nas transposições das grandes regiões metropolitanas, como Belo Horizonte e São Paulo.

Da mesma forma, os sistemas metroferroviários pouco evoluíram, apresentando uma baixa participação na matriz brasileira de transporte urbano de passageiros, se comparado com o transporte realizado por ônibus e automóveis (TAB. 2.2).

TAB. 2.2: Mobilidade Urbana⁴ no Brasil (2005)

DADOS DE MOBILIDADE		VIAGENS (milhões por ano)	%
NAO MOTORIZADO	A PÉ	19.667	38,9
	BICICLETA	1.363	2,7
	Subtotal	21.030	41,6
INDIVIDUAL	AUTOMÓVEIS	13.762	27,2
	MOTO	995	2,0
	Subtotal	14.757	29,2
COLETIVO	ÔNIBUS MUNICIPAL	11.283	22,3
	ÔNIBUS METROPOLITANO	2.047	4,0
	METRÔFERROVIÁRIO	1.501	3,0
	Subtotal	14.831	29,3
Total		50.618	100,0

FONTE: Adaptado pelo autor de ANTP (2007)

Numa tentativa de reaquecer o setor ferroviário de transporte de carga, o governo brasileiro decidiu conceder à iniciativa privada a operação do sistema ferroviário, a partir da segunda metade da década de 90. Com isso, a participação da ferrovia na matriz de transporte de carga cresceu 8%, passando de 17%, em 1997, para 25% em 2005, propiciando um crescimento substancial na sua

⁴ Municípios com mais de 60 mil habitantes (dados da ANTP, 2003)

produtividade, conforme mostra o gráfico da FIG. 2.2 (ANTT, 2007; a, ANTF, 2007, a).

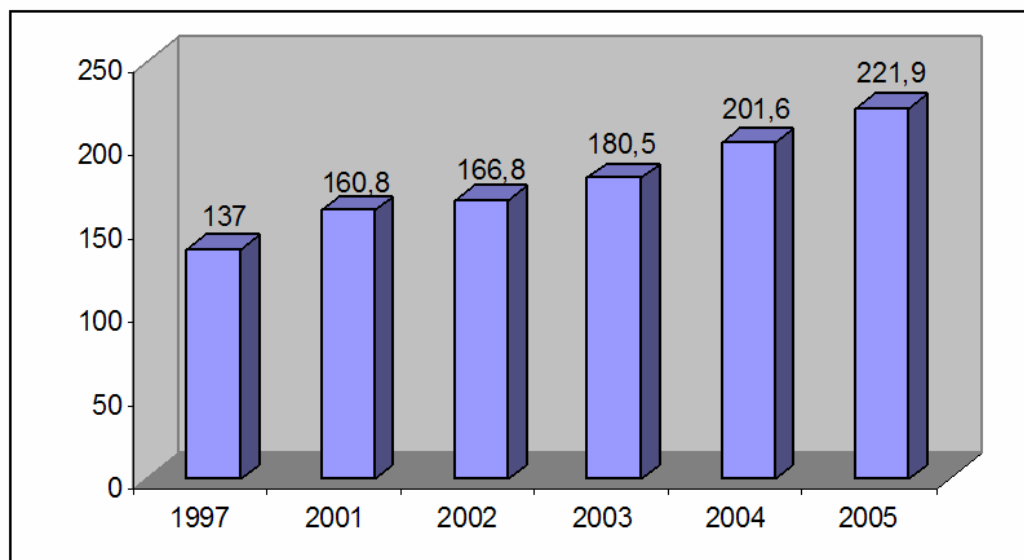


FIG. 2.2: Produção de Transportes Ferroviário de Carga em Bilhões de TKU

FONTE: ANTT (2007, a), ANTF (2007, a)

No âmbito do setor ferroviário de transporte urbano de passageiros, houve no ano de 2006 um crescimento de 8%, crescimento esse significativamente superior ao valor médio de 3%, verificado no ano de 2005, para todo o setor. Entre as operadoras urbanas, destacam-se o metrô de São Paulo, que passou de um crescimento de 2,1%, em 2005, para 9,9%, em 2006, e a Companhia Paulista de Trens Metropolitanos (CPTM), que passou de 5,4% para 10,7% no mesmo período (REVISTA FERROVIÁRIA, 2007, a, p.59).

2.2 O TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGA NO BRASIL

A seguir são apresentadas a evolução institucional, o processo de concessão, o marco regulatório e as operadoras que atuam no território brasileiro no serviço de transporte ferroviário de carga.

2.2.1 EVOLUÇÃO INSTITUCIONAL

O setor ferroviário brasileiro se encontra em seu terceiro ciclo de evolução institucional. O primeiro ciclo, ocorrido entre 1852 e 1900, foi impulsionado fortemente por incentivos oferecidos, no início, pelo Império e posteriormente pelos governos republicanos, que financiaram as primeiras estradas de ferro, principalmente com capital estrangeiro.

Nesse período, as ferrovias exerceram o monopólio dos transportes terrestres, conseguindo este feito, principalmente pela necessidade de escoar a produção cafeeira do país e pela participação de capital privado, notadamente o inglês sob regime de concessão do governo.

O segundo ciclo ocorreu entre 1901 e 1979, caracterizado pelo processo de nacionalização das ferrovias, período este em que as novas implantações passaram a ser financiadas por empréstimos estrangeiros garantidos pelo Tesouro Nacional. A expansão das ferrovias levaria ao recorde de 38.967 quilômetros de malha em 1958. Este período teve como marco a criação da RFFSA pela Lei n.º 3.115, de 1957 e da Ferrovias Paulista S.A (FEPASA) pela Lei estadual n.º 10.410 de 1971.

O terceiro ciclo teve seu início em 1980 e se estende até os dias de hoje. No início deste período, os investimentos do governo brasileiro no setor foram drasticamente reduzidos em consequência da escassez de recursos diante da crise mundial de liquidez, o que contribuiu para a deterioração da estrutura do setor ferroviário, com conseqüentes reflexos na sua confiabilidade e desempenho.

Em 1984, pelo decreto-lei n.º 2.178, as dívidas da RFFSA foram transferidas para o Tesouro Nacional, lançando as bases para a criação da Companhia Brasileira de Trens Urbanos (CBTU), com o objetivo de absorver a operação do transporte ferroviário de passageiros de subúrbio da RFFSA. Em 1990 foi instituído o Programa Nacional de Desestatização (PND), pela lei n.º 8.031, que contemplava, entre outros programas, a concessão da operação do transporte ferroviário de carga para a iniciativa privada. Este processo é descrito a seguir.

2.2.1.1 O PROCESSO DE CONCESSÃO

O processo de concessão da operação do setor ferroviário teve início com a inclusão da RFFSA no Programa Nacional de Desestatização através do Decreto n.º 473 de 1992, que propiciou a transferência destas malhas para a iniciativa privada, pelo prazo de 30 anos, prorrogáveis por mais 30 anos. Além da RFFSA, a FEPASA, após intensas negociações entre o governo brasileiro e o governo do estado de São Paulo foi transferida para a União com a finalidade específica de sua privatização.

De acordo com o modelo estabelecido pelo PND, as estradas de ferro pertencentes à União, e que eram controladas pela RFFSA, foram divididas em sete malhas, conforme apresentado na TAB. 2.2.

TAB. 2.3: A Desestatização das Malhas da RFFSA

MALHAS REGIONAIS	CONCESSIONÁRIAS	INÍCIO DA OPERAÇÃO
OESTE	FERROVIA NOVOESTE **	JUL/96
CENTRO-OESTE	FERROVIA CENTRO-ATLÂNTICA	SET/96
SUDESTE	MRS LOGÍSTICA	DEZ/96
TEREZA CRISTINA	FERROVIA TEREZA CRISTINA	FEV/97
NORDESTE	CIA. FERROVIÁRIA DO NORDESTE	JAN/98
SUL	FERROVIA SUL-ATLÂNTICO *	MAR/97
PAULISTA	FERROVIAS BANDEIRANTES **	JAN/99

* Atualmente, denominada América Latina Logística (ALL).

** As ferrovias do Grupo Brasil Ferrovias (FERROBAN e FERRONORTE) e a ferrovia Novoeste, foram incorporadas a América Latina Logística em maio de 2006.

FONTE: Adaptado pelo autor de ANTT (2007, c)

Com a transferência das ferrovias para a iniciativa privada, ocorreu uma desoneração dos cofres públicos e o governo brasileiro deixou de alocar cerca de R\$ 350 milhões nas malhas e passou a arrecadar cerca de R\$ 400 milhões por ano das concessionárias, em valores atualizados (ANTT, 2007, c).

Os investimentos privados no setor de transporte ferroviário de carga passaram de R\$ 353 milhões em 1997 para R\$ 3.378 milhões em 2005. Neste mesmo período, observou-se um crescimento de 60,2% na produção de transportes, passando de 137 para 221,9 bilhões de TKU (ANTT, 2007, c).

2.2.1.2 MARCO REGULATÓRIO DO PROCESSO DE CONCESSÃO

O Regulamento dos Transportes Ferroviários (RTF), aprovado pelo Decreto n.º 1.832/96, é considerado uma disciplina regulamentar básica do setor no que tange à exploração dos serviços de transporte ferroviário. Ainda no campo de regulamentação específica do sistema ferroviário na década de 90 do século XX, houve a publicação do Regulamento dos Transportes Ferroviários de Produtos Perigosos (RTFPP), aprovado pelo Decreto n.º 98.973/90 (MARTINS, 2007, p.12).

Com o objetivo de complementar o aparelho regulatório do setor ferroviário, o Ministério dos Transportes desenvolveu e editou normas, por meio da extinta Secretaria de Transportes Terrestres (STT), até o exercício de 2001, homologadas pela antiga Comissão Federal de Transportes Ferroviários (COFER).

Em virtude da crescente complexidade no planejamento e na gestão da infraestrutura de transportes que permeiam o processo de concessão, tais como a regulação e fiscalização das concessionárias, a integração nacional dos modais, a promoção da competitividade e a necessidade da redução de custos e tarifas, levou o governo brasileiro a instituir, no início de 2002, a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), pela Lei n.º 10.233, de 5 de junho de 2001 e regulamentada pelo Decreto n.º 4.130, de 13 de fevereiro de 2002.

Vinculada ao Ministério dos Transportes, na qualidade de órgão regulador da atividade de exploração da infra-estrutura ferroviária e rodoviária federal e da atividade de prestação de serviços de transporte terrestre, a ANTT tem como objetivos principais o estabelecimento de normas, procedimentos de fiscalização, de desempenho, de fortalecimento empresarial das concessões, de definição de metas de produção, de segurança, de tráfego mútuo e direito de passagem, de cliente dependente, de investimento, de receitas acessórias, de avaliação de trechos com baixa densidade de tráfego e de trens turísticos e comemorativos.

2.2.1.3 AS OPERADORAS DE TRANSPORTE DE CARGA

Desde que assumiram a concessão das malhas ferroviárias, as operadoras de transporte de carga mudaram o cenário do setor que passava por completa estagnação.

São apresentadas a seguir, as principais malhas ferroviárias de carga (FIG. 2.2) e na TAB. 2.4, para cada operadora, informações sobre a região de atuação, a carga transportada em tonelada útil (TU), a produção de transporte em tonelada quilômetro útil (TKU), a extensão da malha, a frota de vagões e de locomotivas, a bitola e os principais produtos transportados.



* As ferrovias do Grupo Brasil Ferrovias (FERROBAN e FERRONORTE) e a ferrovia Novoeste, foram incorporadas a América Latina Logística em maio de 2006.

** A Ferrovia Norte Sul possui um trecho de 226 km de extensão concluído, ligando as cidades de Estreito/MA e Açailândia/MA.

FIG. 2.3: As Ferrovias Brasileiras de Transporte de Carga

FONTE: CNI (2007, b)

TAB. 2.4: Dados das Operadoras de Transporte de Carga no Brasil

OPERADORA / FERROVIA	REGIÃO	TU [MILHÕES] *	TKU [BILHÕES] *	EXTENSÃO DA MALHA [km]	FROTA		BITOLA	PRODUTOS TRANSPORTADOS
					LOC.	VAGÕES		
 AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA (ALL)	SUL, SUDESTE, CENTRO-OESTE	21,70	15,40	20.495	980	28.000	MÉTRICA / MISTA	SOJA, FARELO, COMBUSTÍVEIS, CIMENTO, FERTILIZANTES, PRODUTOS AGRÍCOLAS
 FERROVIA TEREZA CRISTINA (FTC)	SUL	2,40	0,20	164	10	449	MÉTRICA	CARVÃO, COQUE, CIMENTO E CERÂMICA
 MRS LOGÍSTICA	SUDESTE	108,10	44,40	1.674	382	12.928	LARGA / MISTA	MINÉRIO, SOJA, FARELO, PRODUTOS SIDERÚRGICOS E CARVÃO
 FERROVIA CENTRO-ATLÂNTICA (FCA)	CENTRO-OESTE, SUDESTE	27,60	10,70	7.885	450	11.000	MÉTRICA / MISTA	MINÉRIO, CIMENTO, MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO, SOJA, FARELO, COMBUSTÍVEIS E PRODUTOS SIDERÚRGICOS
 COMPANHIA FERROVIÁRIA DO NORDESTE (CFN)	NORDESTE	1,40	0,80	4.220	93	1.291	MÉTRICA / MISTA	MINÉRIO, PRODUTOS SIDERÚRGICOS E AGRÍCOLAS, CARVÃO, COMBUSTÍVEIS E CIMENTO
 FERROVIA PARANÁ (FERROPAR)	SUL	0,15	0,30	248	3	52	MÉTRICA	SOJA, FARELO, CIMENTO, ADUBO E PRODUTOS AGRÍCOLAS
 ESTRADA DE FERRO VITÓRIA MINAS (EFVM)	SUDESTE	131,00	68,70	905	207	15.376	MÉTRICA	AÇO, CARVÃO, CALCÁRIO, GRANITO, CONTÊINERES, FERRO-GUSA, PRODUTOS AGRÍCOLAS, MADEIRA, CELULOSE E VEÍCULOS
 ESTRADA DE FERRO CARAJÁS (EFC)	NORDESTE	80,60	69,50	892	119	8.316	LARGA	MINÉRIO, SOJA, FARELO, COMBUSTÍVEIS E PRODUTOS SIDERÚRGICOS
 ESTRADA DE FERRO AMAPÁ (EFA)	NORTE	0,18	n.i.	194	5	101	MÉTRICA	MINÉRIO DE FERRO E CROMITA
 ESTRADA DE FERRO JARI (EFJ)	NORTE	1,50	n.i.	68	2	84	MÉTRICA	MADEIRA, BRITA E BAUXITA
 ESTRADA DE FERRO TROMBETAS (EFT)	NORTE	17,70	n.i.	35	6	146	MÉTRICA	BAUXITA

* Tonelada Útil referente ano de 2005.

** Tonelada Quilômetro Útil referente ao ano de 2005.

n.i. não informado.

FONTE: Editado pelo autor de ANTT (2006, b), ANTF (2006, c),

AMÉRICA LATINA LOGÍSTICA (ALL)

Em dezembro de 1996, quando ainda era denominada Ferrovia Sul Atlântico, a América Latina Logística S.A. (ALL) obteve o direito de explorar a Malha Sul, iniciando sua operação em março de 1997. Com a aquisição das ferrovias argentinas⁵ em agosto de 1999, a concessionária passou a adotar o nome atual.

Opera uma malha férrea de 20.495 km de extensão em sua maior parte com bitola métrica, cobrindo o Sul de São Paulo, Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, sendo que dessa extensão total, 9.811 km estão localizados em território argentino. Possui uma frota de 980 locomotivas e 28 mil vagões (ALL, 2007).

A média anual de carga transportada é de 20 milhões de TU, sendo os principais produtos transportados a soja, o farelo, os combustíveis, o cimento, os fertilizantes e os produtos agrícolas. A produção de transporte cresceu 10.6%, passando de 19,9 bilhões de TKU em 2005 para 22,0 bilhões de TKU em 2006 (ANTT, 2007, b).

Em maio de 2006 a ALL consolidou sua posição de maior empresa ferroviária da América do Sul em extensão, com a aquisição das Ferrovias Novoeste e do Grupo Brasil Ferrovias, que incluem a FERROBAN (Malha Paulista) e a Ferronorte. Futuramente essa extensão pode aumentar, haja vista que as ferrovias Novoeste e Ferronorte deverão ser expandidas.

FERROVIA TEREZA CRISTINA (FTC)

A Ferrovia Tereza Cristina S.A (FTC) obteve a concessão da Estrada de Ferro Tereza Cristina em novembro de 1996, iniciando sua operação em fevereiro de 1997.

⁵ Ferrovias argentinas: Ferrocarril Mesopotamico, General Urquiza e Ferrocarril Buenos Aires Al Pacífico General San Martín.

Opera uma malha férrea de 164 km de extensão em bitola métrica, interligando a região carbonífera e o pólo cerâmico do sul do estado de Santa Catarina ao porto de Imbituba/SC. Possui uma frota de 10 locomotivas e 449 vagões (FTC, 2007).

Com investimentos superiores a R\$ 35 milhões, a companhia dobrou o volume de toneladas úteis transportadas de 1,3 milhões em 1996 para 2,6 milhões em 2006, sendo os principais produtos transportados o carvão, o coque, o cimento e a cerâmica. A média anual de produção de transporte é de 0,2 bilhões de TKU (FTC, 2007, ANTT, 2007, b).

MRS LOGÍSTICA

A MRS Logística obteve a concessão da Malha Sudeste em dezembro de 1996, iniciando sua operação em março de 1997.

Opera uma malha férrea de 1.674 km de extensão, em sua maior parte bitola larga e apenas 42 km em bitola mista, interligando os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo. Possui uma frota de 382 locomotivas e 12.928 vagões (MRS, 2007).

Em 2006 a produção cresceu 4,6% atingindo a marca de 113,3 milhões de TU transportadas, sendo os principais produtos transportados o minério, a soja, o farelo, os produtos siderúrgicos e o carvão. A média anual de produção de transporte é de 35,0 bilhões de TKU (MRS, 2007, a; ANTT, 2006, a).

COMPANHIA VALE DO RIO DOCE (CVRD)

Atualmente, a Companhia Vale do Rio Doce S.A. (CVRD) opera quatro malhas: a Estrada de Ferro Vitória Minas (EFVM), a Estrada de Ferro Carajás (EFC), a Ferrovia Centro Atlântica (FCA) e a Estrada de Ferro Trombetas (EFT).

A EFVM foi construída pelos ingleses e inaugurada em 18 de maio de 1904. Em junho de 1997, a CVRD obteve a concessão para explorar os serviços de transporte ferroviário de cargas e passageiros executados pela ferrovia.

Opera uma malha férrea de 905 km de extensão em bitola métrica, sendo 594 km em via dupla, cobrindo a região Sudeste do país. Possui uma frota de 207 locomotivas e 15.376 vagões (EFVM, 2007).

Transporta uma média de 110 milhões de TU por ano, das quais 80% é minério de ferro e 20% correspondem a outros tipos de produtos, tais como o aço, o carvão, o calcário, o granito, os contêineres, o ferro-gusa, os produtos agrícolas, a madeira, a celulose e os veículos. A média anual de produção de transporte é de 61,1 bilhões de TKU. (EFVM, 2007, ANTT, 2007, b).

Pertencente a CVRD, a EFC foi inaugurada no dia 28 de fevereiro de 1985. A CVRD obteve a concessão para explorar os serviços de transporte ferroviário de cargas e passageiros executados pela ferrovia em junho de 1997, iniciando a operação em julho de 1997.

Opera uma malha férrea de 892 km de extensão em bitola larga, ligando a Serra de Carajás/PA ao terminal na Ponta da Madeira/MA. Possui uma frota de 119 locomotivas e 8.316 vagões.

Transporta uma média de 66,9 milhões de TU por ano, sendo os principais produtos transportados o minério, a soja, o farelo, os combustíveis e os produtos siderúrgicos. A média anual de produção de transporte é de 56,5 bilhões de TKU (ANTT, 2007, b).

A FCA obteve a concessão da Malha Centro-Oeste em junho de 1996, iniciando sua operação em setembro de 1996. Em setembro de 2003, autorizada pela ANTT, a CVRD assumiu o controle acionário da FCA, com 99,9% de suas ações.

Opera uma malha férrea de 7.885 km de extensão em bitola métrica e 208 km em bitola mista, cobrindo a região Sudeste, Nordeste e Centro-Oeste do país. Possui uma frota de 450 locomotivas e 11 mil vagões (FCA, 2007, a).

A média anual de carga transportada é de 23,6 milhões de TU, sendo os principais produtos transportados o minério, o cimento, materiais de construção, a soja, o farelo, os combustíveis e os produtos siderúrgicos. A média anual de produção de transporte é de 8,9 bilhões de TKU (ANTT, 2007, b).

Em julho de 1978, a empresa Mineração Rio do Norte S.A., controlada pela CVRD, obteve a concessão para construção e uso da EFT.

De cunho industrial, tem como principal produto transportado a bauxita. Em 2005 foram transportadas 17,7 milhões de TU do produto. Opera uma malha férrea de 35 km de extensão em bitola métrica, ligando as minas de bauxita da Serra do Saracã ao porto de Trombetas/PA. Possui uma frota de seis locomotivas e 146 vagões.

COMPANHIA FERROVIÁRIA DO NORDESTE (CFN)

A CFN obteve a concessão da Malha Nordeste em julho de 1997, iniciando sua operação em janeiro de 1998.

Opera uma malha férrea de 4.220 km de extensão em bitola métrica e 18 km em bitola mista, cobrindo a região Nordeste do país. Possui uma frota de 93 locomotivas e 1.291 vagões (CFN, 2007).

A média anual de carga transportada é de 1,3 milhões TU, sendo os principais produtos transportados o minério, os produtos siderúrgicos e agrícolas, o carvão, os combustíveis e o cimento. A média de produção de transporte é de 0,8 bilhões de TKU (ANTT, 2007, b).

FERROVIA PARANÁ (FERROPAR)

A Ferrovia Paraná S/A (FERROPAR) obteve a concessão da Estrada de Ferro Paraná Oeste, que era da FERROESTE S.A, em fevereiro de 1997 e iniciou suas atividades no mesmo ano.

Opera uma malha férrea de 248 km de extensão em bitola métrica no trecho Guarapuava - Cascavel. Possui uma frota de três locomotivas e 52 vagões.

O volume de 139,1 mil TU, movimentadas em fevereiro de 2007, é o maior dos últimos cinco anos, sendo os principais produtos transportados a soja, o farelo, o

cimento, o adubo e os produtos agrícolas. A média anual de produção de transporte é de 0,4 bilhões de TKU. (FERROPAR, 2007, ANTT, 2007, b).

ESTRADA DE FERRO AMAPÁ (EFA)

Inaugurada em março de 1953, a Estrada de Ferro Amapá (EFA) foi concedida à empresa Indústria e Comércio de Minério S.A. (ICOMI), com o objetivo de transportar o minério de manganês extraído e beneficiado na Serra do Navio no Estado do Amapá.

De cunho industrial, em 2005 foram transportadas 180 mil TU de minério de ferro e cromita. Opera uma malha férrea de 194 km de extensão em bitola métrica. Possui uma frota de cinco locomotivas e 101 vagões.

ESTRADA DE FERRO JARI (EFJ)

Localizada ao norte do Estado do Pará, a Estrada de Ferro Jari iniciou sua operação em 1979 e foi construída para transportar madeira que alimenta a fábrica de celulose do Projeto Jari.

Em 2005 foram transportadas 1,5 milhões de TU de madeira e atualmente transporta, além da madeira, a brita e a bauxita até o porto de Mungubá, à margem do rio Jari. Opera uma malha férrea de 68 km de extensão em bitola métrica. Possui uma frota de duas locomotivas e 84 vagões.

FERROVIAS EM FASE DE IMPLANTAÇÃO

Além das ferrovias apresentadas, existem ferrovias em fase de construção, entre as quais: a Ferrovia Norte Sul, a Nova Transnordestina e a Ligação Ferroviária Unaí-Pirapora.

A Ferrovia Norte-Sul está sendo implantada pela VALEC - Engenharia, Construções e Ferrovias S.A, empresa pública, do Ministério dos Transportes, que detém a concessão para sua construção e operação. Foi projetada para interligar as regiões Norte e Nordeste às regiões Sul e Sudeste, minimizando custos de transporte de longa distância visando fortalecer a infra-estrutura de transportes necessária ao escoamento da produção agropecuária e agro-industrial do cerrado brasileiro. Possui um trecho de 226 km de extensão concluído, ligando as cidades de Estreito/MA e Açailândia/MA. Com a Lei n.º 11.297, de maio de 2006, o trecho Açailândia/MA – Belém/PA foi incorporado ao traçado inicialmente projetado.

A Ferrovia Transnordestina começou a ser implantada pelo governo federal no início da década de 90 e em dezembro de 1992 foi paralisada por falta de recursos. Em novembro de 2005, o governo federal anunciou a retomada da construção da ferrovia, sendo a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN) a concessionária responsável pela obra. O projeto da Nova Transnordestina, com 1.860 km de extensão, começa no município de Eliseu Martins/PI chegando à cidade de Salgueiro/PE, onde existirá uma bifurcação em dois ramais. Um dos ramais seguirá em direção ao porto de Suape/PE e o outro em direção ao porto de Pecém/CE.

A ligação Unaí-Pirapora possuirá 285 km de extensão ligando o Centro-Oeste ao Centro-Atlântico do país, com o intuito de incentivar a produção de soja da região Noroeste de Minas. O Edital para licitação de concessão encontra-se em fase de elaboração pelo Ministério dos Transportes.

2.3 O TRANSPORTE FERROVIÁRIO URBANO DE PASSAGEIROS NO BRASIL

Neste item são apresentadas informações pertinentes ao transporte ferroviário urbano de passageiros: a evolução institucional, os processos de estadualização e de privatização de alguns sistemas e as operadoras que atuam no território brasileiro.

2.3.1 EVOLUÇÃO INSTITUCIONAL

Até a primeira metade da década de 80 do século XX, a maior parte dos serviços regulares de transporte ferroviário urbano de passageiros era operada pela Rede Ferroviária Federal S.A.

Em 22 de fevereiro de 1984 foi instituída a CBTU com a missão de operar e explorar comercialmente o transporte metropolitano e de subúrbio de passageiros. Com isso, os sistemas metroferroviários aos poucos foram transferidos para a CBTU, que passou a gerenciar primeiramente, em 1984 os sistemas de São Paulo e Rio de Janeiro, Recife em 1985 e Belo Horizonte no ano de 1986. Em 1988 foram transferidos para a CBTU os trens de subúrbio de Fortaleza, Salvador, Natal, João Pessoa e Maceió.

Além do processo de centralização dos serviços metroferroviários para a CBTU, em 1980 foi criada a TRENSURB para implantar e operar uma linha no eixo Norte da região metropolitana de Porto Alegre e iniciaram a implantação, por governos locais, dos sistemas metroferroviários nas cidades de Teresina em 1989 (CTMP) e Brasília em 1992 (METRÔ DF).

Com a Constituição de 1988 que enfatizava na repartição das competências entre os entes federados a responsabilidade dos municípios em organizar e prestar, diretamente ou sob regime de concessão ou permissão, os serviços públicos de interesse local, iniciou-se a implantação do programa de estadualização dos sistemas metroferroviários, com a finalidade de recuperar e modernizar todos os

sistemas operados pela CBTU, para serem entregues aos governos estaduais e futuramente a iniciativa privatizada (CBTU, 2007, b).

2.3.2 O PROCESSO DE DESCENTRALIZAÇÃO DOS SISTEMAS METROFERROVIÁRIOS

O programa de descentralização da CBTU teve início em 1990. Em 1994 foi efetivada a primeira transferência para os governos dos Estados de São Paulo, representado pela CPTM, e do Rio de Janeiro, representado pela Companhia Fluminense de Trens Urbanos (FLUMITRENS), os respectivos sistemas metroferroviários.

Em 1997 foi criada a Companhia Cearense de Transportes Metropolitanos (METROFOR), com o objetivo de executar a implantação do metrô na cidade de Fortaleza. Em junho de 2002, de acordo com o convênio de estadualização firmado entre os governos estadual e federal, o METROFOR recebeu a linha operada pela CBTU.

O programa de descentralização do sistema metroferroviário de Salvador está amparado na união do governo municipal e da iniciativa privada, representados pela Companhia de Transportes de Salvador (CTS), empresa criada no ano de 2000. Em 2005, o sistema de trens urbanos da cidade foi transferido para a prefeitura de Salvador.

Atualmente a CBTU opera os sistemas metroferroviários das cidades de Belo Horizonte, João Pessoa, Maceió, Natal e Recife. As providências administrativas para transferência desses sistemas estão sendo tratadas pela CBTU junto aos governos locais.

2.3.3 OS SISTEMAS METROFERROVIÁRIOS CONCEDIDOS A INICIATIVA PRIVADA

Em regime de concessão à iniciativa privada encontra-se a operação dos sistemas metroferroviários da cidade e região metropolitana do Rio de Janeiro.

Em 1997 o consórcio OPPORTANS obteve o direito de administrar e operar comercialmente as linhas do METRÔ RIO, por um período de 20 anos, ficando sob a responsabilidade do governo do Estado do Rio de Janeiro as expansões da rede por meio da empresa Rio Trilhos.

Em novembro de 1998 o consórcio formado pelo Banco Pactual, RENFE e CAF, criou a empresa SUPERVIA, que obteve o direito de administrar e operar comercialmente a malha ferroviária urbana de passageiros da região metropolitana do Rio de Janeiro, por um período de 25 anos (renováveis por mais 25 anos).

O restante da malha não privatizada, ou seja, as linhas de bitola métrica do contorno da Baía de Guanabara, é operada pela Companhia Estadual de Engenharia de Transporte e Logística (CENTRAL), empresa estatal fundada em maio de 2001, que absorveu as funções da extinta FLUMITRENS. A CENTRAL também opera o bonde turístico que liga o centro da cidade do Rio de Janeiro ao bairro de Santa Tereza.

2.3.4 AS OPERADORAS DE TRANSPORTE URBANO DE PASSAGEIROS

Na FIG. 2.3 são apresentadas as capitais brasileiras que possuem transporte metroferroviário e na TAB. 2.5, informações sobre as operadoras responsáveis pela operação.



FIG. 2.4: As Operadoras de Transporte Urbano de Passageiros no Brasil
FONTE: CBTU (2007, a)

TAB. 2.5: Dados das Operadoras de Transporte Urbano de Passageiros no Brasil

OPERADORA	CARACTERIZAÇÃO	CIDADE	PASSAGEIRO/ DIA ÚTIL *	EXTENSÃO DA MALHA (km)	BITOLA	FROTA		
						TUE's **	LOC.	CARROS
	METRÔ SP	ESTATAL GOV. ESTADUAL	SÃO PAULO	2.110.678	60,2	LARGA	117	
	CPTM (Cia. Paulista de Trens Metropolitanos)	ESTATAL GOV. ESTADUAL	SÃO PAULO	1.529.646	253,2	LARGA	349	
	METRÔ RIO	CONCESSIONÁRIA	RIO DE JANEIRO	524.625	42,0	LARGA	33	
	SUPERVIA	CONCESSIONÁRIA	RIO DE JANEIRO	422.873	225,0	LARGA/MÉTRICA	159	
	RECIFE - CBTU	ESTATAL GOV. FEDERAL	RECIFE	187.755	59,3	LARGA/MÉTRICA	25	
	TRENSURB	ECONOMIA MISTA	PORTO ALEGRE	157.234	33,8	LARGA	25	
	BELO HORIZONTE - CBTU	ESTATAL GOV. FEDERAL	BELO HORIZONTE	107.123	28,2	LARGA	25	
	METRÔ DF	ESTATAL GOV. DISTRITO FEDERAL	BRASÍLIA	58.000	42,0	LARGA	20	
	CENTRAL	ESTATAL GOV. ESTADUAL	RIO DE JANEIRO	17.865	75,2	MÉTRICA		9 31
	METROFOR	ESTATAL GOV. ESTADUAL	FORTALEZA	23.278	46,0	MÉTRICA		8 25
	CTS (Cia. de Transporte de Salvador)	ESTATAL GOV. ESTADUAL	SALVADOR	13.224	13,5	MÉTRICA	8	
	JOÃO PESSOA - CBTU	ESTATAL GOV. FEDERAL	JOÃO PESSOA	9.845	30,0	MÉTRICA		4 24
	NATAL - CBTU	ESTATAL GOV. FEDERAL	NATAL	9.434	56,2	MÉTRICA		3 20
	MACEIÓ - CBTU	ESTATAL GOV. FEDERAL	MACEIÓ	6.056	32,1	MÉTRICA		2 17
	CMTP (Cia. Metropolitana de Transporte Público)	ESTATAL GOV. ESTADUAL	TERESINA	2.800	12,6	MÉTRICA		4 4

* Dados relativos ao mês de novembro de 2006.

** TUE: abreviatura de Trem Unidade Elétrico, é uma espécie de composição formada por dois ou mais carros de passageiros. Em média, no Metrô Rio e no Metrô SP cada TUE é composto por seis carros e nos demais sistemas, média de quatro carros por composição.

FONTE: Adaptado pelo autor de REVISTA FERROVIÁRIA (2007, b)

Os sistemas metroferroviários ainda têm baixa participação na matriz brasileira de transporte urbano apesar de gerarem significativos benefícios sócio-econômicos e ambientais para toda a sociedade. Isso decorre de um conjunto de fatores políticos, culturais e econômicos que não permitem o desenvolvimento do setor, associado ao histórico incentivo ao automóvel. Entre esses fatores, as dificuldades nos processos de transferência dos sistemas operados pela CBTU para as mãos dos governos estaduais e locais, que envolvem intervenções físicas e institucionais, contribuem para o travamento do crescimento desses sistemas.

2.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após o início da operação privada, o setor ferroviário de carga está apresentando sinais de recuperação. Com relativos investimentos, a produção vem aumentando a cada ano e as empresas obtendo elevados lucros. A carga transportada também mudou. Além do minério de ferro e dos produtos agrícolas, as empresas ferroviárias passaram a diversificar os produtos transportados.

Nos sistemas metroferroviários, o índice de passageiros transportados vem apresentando um crescimento significativo, na medida em que os sistemas estão sendo entregues aos governos estaduais e locais.

Mesmos sabendo que há muito a ser realizado, principalmente no que se refere aos gargalos logísticos que impedem o desenvolvimento mais acelerado do setor, as empresas ferroviárias estão conquistando destaque pela importância de seus serviços, demonstrando que o modo ferroviário é essencial tanto para escoar as produções industriais e agrícolas, quanto para aliviar o tráfego nos grandes centros urbanos. Para tanto, é necessário que se tenha uma infra-estrutura adequada à nova realidade, principalmente no que se refere a um dos principais subsistemas de uma ferrovia, a Via Permanente.

No próximo capítulo é apresentada a Via Permanente, seus principais componentes, suas características técnicas e suas funções.

3 A VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA

Neste capítulo os subsistemas que constituem uma ferrovia são apresentados ressaltando-se o subsistema de maior relevância para este trabalho, qual seja, a Via Permanente.

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A ferrovia é composta por diversos subsistemas dos mais complexos possíveis que possuem influência no processo produtivo, pois interferem diretamente na confiabilidade, qualidade e segurança do mesmo.

Um dos subsistemas de maior importância e fundamental para a operação de uma ferrovia é a Via Permanente.

Segundo RIVES *et al.* (1977, p.29), a Via Permanente é constituída por duas vigas metálicas contínuas longitudinais denominadas trilhos, fixados aos apoios transversais espaçados regularmente, denominados dormentes que compõem a grade, que repousam sobre um colchão amortecedor de material granular, denominado lastro que por sua vez, absorve e transmite ao solo as pressões correspondentes às cargas suportadas pelos trilhos (FIG. 3.1).

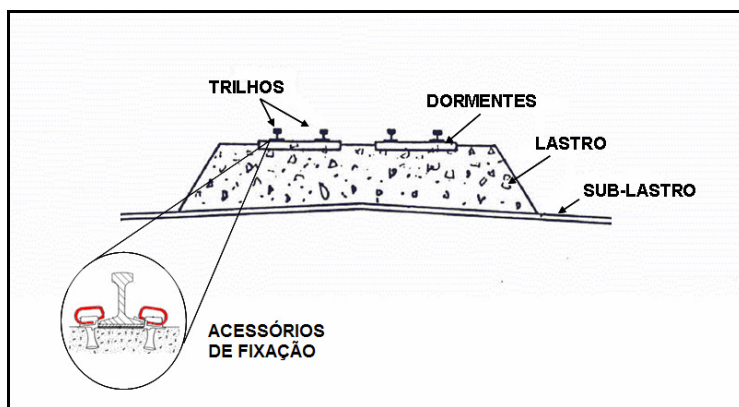


FIG. 3.1: Constituição da Via Permanente
FONTE: Adaptado pelo autor de BRINA (1979, p.6)

Para que o nível de confiabilidade de cada um destes componentes seja avaliado, faz-se necessário conhecer suas funções assim como a estrutura de cada um, identificando-se os pontos importantes que podem caracterizá-los como mais ou menos críticos em relação ao sistema global (SUCENA, 2002, a, p.56).

Além disso, é fundamental conhecer a dinâmica de cada subsistema que compõe a ferrovia, suas interfaces e relações com o meio ambiente e com os demais subsistemas.

Desta maneira, antes de destacar o subsistema Via Permanente, foco deste trabalho, é apresentado no próximo item o sistema ferroviário.

3.2 O SISTEMA FERROVIA

Os subsistemas que constituem uma ferrovia são: **Energia Elétrica, Eletrônica, Material Rodante e Civil** que, por sua vez, se decompõem em vários subsistemas, conforme mostra o diagrama organizacional da FIG. 3.2.

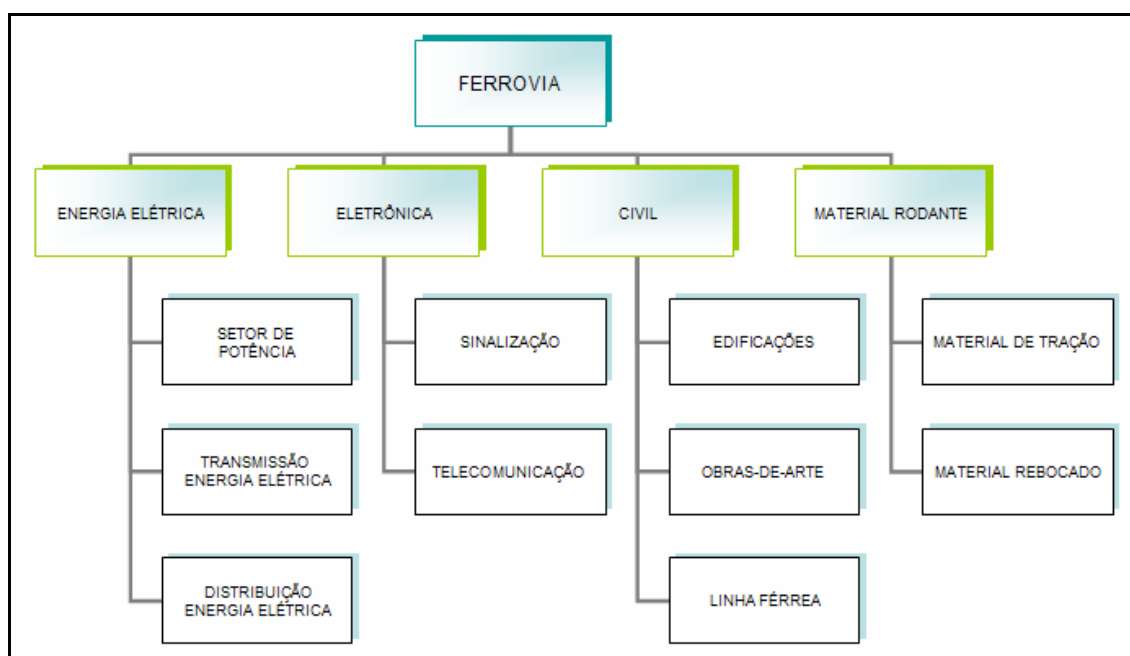


FIG. 3.2: Diagrama Organizacional do Sistema Ferrovia

FONTE: Adaptado pelo autor de SUCENA (2002, p.97)

3.2.1 SUBSISTEMA ENERGIA ELÉTRICA

Segundo SUCENA (2002, p.56) o subsistema **Energia Elétrica** é o responsável pelo suprimento de energia para toda a malha ferroviária, incluindo oficinas, estações, áreas administrativas e de apoio operacional e principalmente para a tração elétrica, caso a ferrovia utilize a energia elétrica para movimentação do material rodante.

Toda potência disponibilizada para alimentação elétrica da malha ferroviária é suprida inicialmente pela operadora de energia elétrica local, que alimenta algumas subestações da ferrovia, e que por sua vez, através de circuitos elétricos, distribuem para o restante do sistema.

Este subsistema divide-se em três setores: Potência, Rede de Transmissão de Energia Elétrica e Distribuição de Energia Elétrica.

O **Setor de Potência** é composto por subestações e seccionadoras instaladas ao longo da malha ferroviária com o objetivo de regular o suprimento de energia elétrica fornecida pela operadora local.

A **Rede de Transmissão de Energia Elétrica** tem a função de efetuar o transporte da energia elétrica das subestações e seccionadoras para alimentação elétrica das edificações e equipamentos, utilizando condutores de eletricidade.

O subsistema **Distribuição de Energia Elétrica**, baixa ou alta tensão, é o responsável pelo suprimento às edificações, oficinas e iluminação de pátios ferroviários.

3.2.2 SUBSISTEMA ELETRÔNICA

Neste subsistema estão reunidas duas áreas que tratam principalmente do controle do tráfego dos trens e das comunicações efetuadas dentro da ferrovia, gerenciando o movimento das composições através de seus equipamentos e proporcionando segurança ao tráfego. Essas são as áreas de Sinalização e de Telecomunicações (SUCENA, 2002, p.66).

De acordo com ALMEIDA *et al.* (1996) *apud* SUCENA (2002, p.66), a área de **Sinalização** de uma ferrovia é uma das mais vitais à segurança, e portanto, deve ser projetada para prevenir todo tipo de acidentes ferroviários. As funções básicas desta área são:

- a) manter distância segura entre dois trens consecutivos, de modo que a parada do que vai à frente possibilite a parada ou desvio do que vem atrás, sem causar um acidente;
- b) evitar rotas conflitantes, isto é, trens não devem ter liberado o acesso a um mesmo trecho de via, ao mesmo tempo, em sentidos inversos e
- c) proteger o trem, no que se refere à monitoração da velocidade máxima permitida, proporcionando o acionamento automático dos freios em caso de ultrapassagem de tal velocidade.

A área de **Telecomunicações** compreende um conjunto de equipamentos destinados a suprir, de modo integrado, as facilidades necessárias à transmissão de dados que compõem as comunicações operacionais, administrativas e de manutenção, voltadas para a funcionalidade do sistema ferroviário. Esta área está composta por oito subáreas: **Telefonia, Radiocomunicação, Meio Físico de Transmissão de Informação, Multiplex, Sonorização, Bilhetagem Automática, Cronometria e Painéis Informativos** (SUCENA, 2002, p.71).

3.2.3 SUBSISTEMA MATERIAL RODANTE

Material Rodante é toda a frota de veículos ferroviários de uma empresa e subdivide-se em Material de Tração e Material Rebocado.

O **Material de Tração** compreende as locomotivas, os trens autopropulsados e as locomotivas de manobra.

O **Material Rebocado** compreende os carros de passageiros e os vagões de cargas.

3.2.4 SUBSISTEMA CIVIL

O **Subsistema Civil** é dividido em três áreas: **Edificações**, **Obras de Arte** e **Linha Férrea**.

As **Edificações** são construções utilizadas no âmbito da ferrovia com o intuito de abrigar equipamentos, materiais ou pessoas e são classificadas em **Edificações Operacionais**, de **Manutenção** e **Administrativas**.

Segundo MEDEIROS (p.2) *apud* SUCENA (2002, p.81), **Obra-de-Arte** no âmbito ferroviário, é a construção de alvenaria, concreto, metal ou mista que se executa com a finalidade de proporcionar o escoamento das águas, a ultrapassagem de obstáculos ou a proteção do leito da estrada. Subdividem-se em Obras-de-arte Correntes e Especiais.

As primeiras são construções oriundas de um projeto tipo, como drenos, bueiros, pontilhões, pontes, passagem superior ou inferior, muros de arrimo e corta rios. As **Obras-de-Arte Especiais** são obras baseadas em projetos específicos e incluem túneis, pontes, viadutos, passagens superiores e inferiores especiais e muros de arrimo especiais, isto é, em dimensões maiores que as citadas como Obras-de-Arte Correntes (MEDEIROS, p.2 e p.3 *apud* SUCENA, 2002, p.85).

Linha Férrea é o conjunto de construções, instalações e equipamentos destinados ao tráfego de veículos ferroviários. Inclui a infra-estrutura e a superestrutura, esta última também denominada Via Permanente.

Na FIG. 3.3 apresentam-se os elementos principais de uma linha férrea básica.

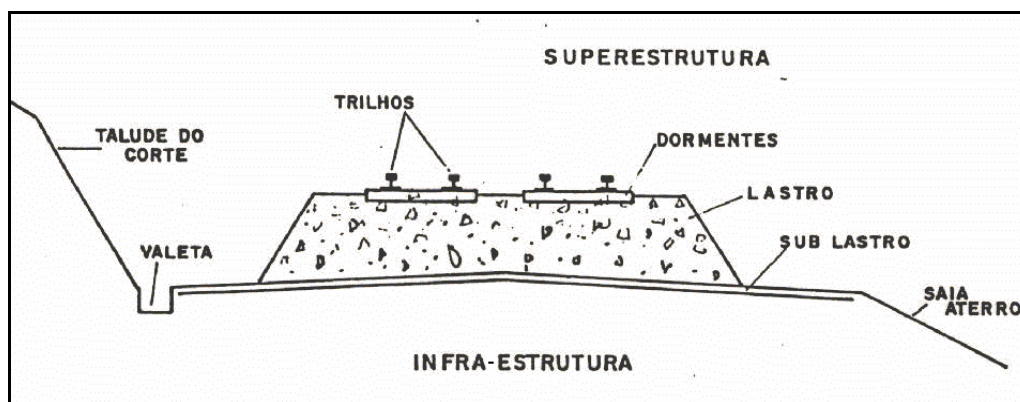


FIG. 3.3: Esquema Básico da Linha Férrea
FONTE: BRINA (1979, p.6)

A **infra-estrutura** da linha férrea é um complexo de obras destinadas a formar a plataforma da estrada e suportar a Via Permanente, mantendo o traçado da linha em condições de tráfego. É composta das obras de aterros, de cortes, de drenagem, de pontes, de viadutos, de túneis, etc. [RODRIGUES, 2001, p.30, CASTELLO BRANCO *et al.*, 2002, p.202 e MEDEIROS (p.1) *apud* SUCENA, 2002, p.75].

A função da Infra-estrutura é a de servir de base para a Via Permanente e o seu desempenho, sobre tudo das camadas finais de terraplanagem, é vital para a existência de uma geometria da via estável e, portanto menos susceptível a descarrilamentos (CASTELLO BRANCO *et al.*, 2002 p. 156).

A **superestrutura** da linha férrea tem a função de receber e distribuir os impactos diretos das cargas oriundas da circulação do material rodante, garantindo a estabilidade longitudinal, lateral e vertical do plano de rolamento dos veículos e a segurança (CASTELLO BRANCO *et al.* 2002, p.202).

No próximo item, considerando o objetivo do presente trabalho e para melhor entendimento dos conceitos fundamentais, é apresentada a descrição da superestrutura (ou Via Permanente), destacando os componentes que a constituem e os fatores que participam do fenômeno de degradação da via.

3.3 CONSTITUIÇÃO DA VIA PERMANENTE

Seguindo a definição de alguns autores, como SCHRAMM (1977, p.3), BRINA (1979, p.5), SUCENA (2002, p.76) e COIMBRA (2006, p.31), será considerado neste trabalho a Via Permanente como a superestrutura de uma linha férrea.

De acordo com SUCENA (2002, p.76) e COIMBRA (2006, p.33) a Via Permanente inclui as subáreas Linha Principal, Aparelhos de Mudança de Via, Passagens em Nível, Desvios e Linhas Secundárias.

Entende-se por **Linha Principal** a linha que atravessa pátios e liga estações e onde os trens são operados por horários e licenças em conjunto e controlados por sinais de bloqueio, de travamento sincronizado ou qualquer outra modalidade de controle (RFFSA, 1978 p.6 *apud* SUCENA, 2002, p.77) e (COIMBRA, 2006, p.34)

Os **Aparelhos de Mudança de Via**, ou simplesmente AMV, são dispositivos que permitem ao material rodante a passagem de uma linha principal para outra secundária, ou vice-versa. O AMV inclui a chave, composta de agulhas, trilhos de encosto e acessórios e o jacaré, com as pernas de cruzamento e contratrilhos e os trilhos de ligação (SCHRAMM, 1977, p.159 e p.161), conforme ilustrado na FIG. 3.4.

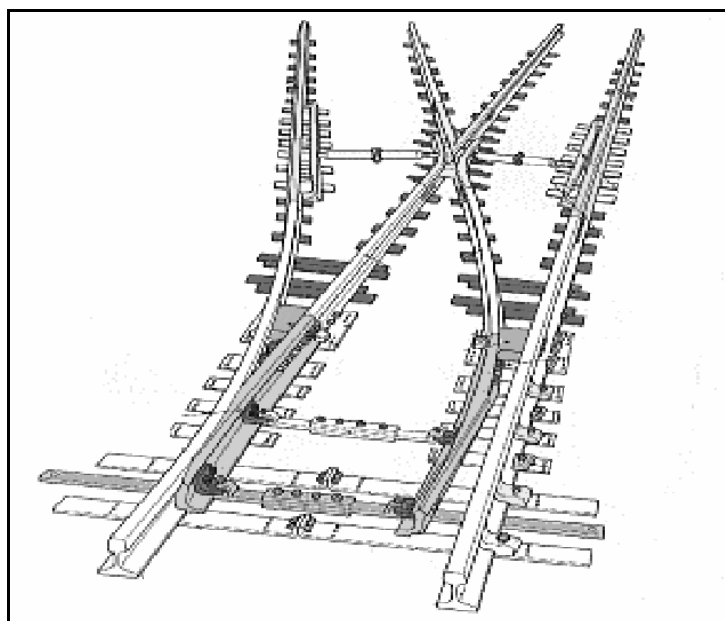


FIG. 3.4: Aparelho de Mudança de Via (Ilustração)
FONTE: Adaptado de SUCENA (2006, b)

O cruzamento de uma rodovia por uma ferrovia em um mesmo nível (FIG. 3.5) denomina-se **Passagem em Nível (PN)**. Geralmente utilizam-se contratrilhos colocados paralelamente aos trilhos para rodagem do material rodante, que além de fornecerem mais resistência transversal à via, proporcionam maior facilidade no cruzamento dos veículos rodoviários (RIVES *et al.*, 1980 p.687).

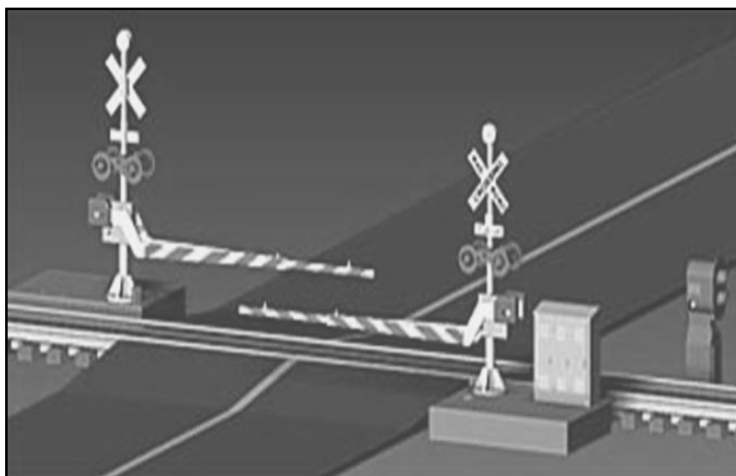


FIG. 3.5: Passagem em Nível (Ilustração)

FONTE: SUCENA (2006,a)

Considera-se **Desvio** a linha adjacente à linha principal ou a outro desvio, destinada aos cruzamentos, ultrapassagens e formação de trens. São considerados **Desvios Ativos** (FIG. 3.5) aqueles providos de chaves de mudança de via em ambas as extremidades e **Desvio Morto**, aquele provido de uma única chave de mudança de via, apresentando na outra extremidade um batente que determina o seu comprimento útil (SUCENA, 2002, p.80).

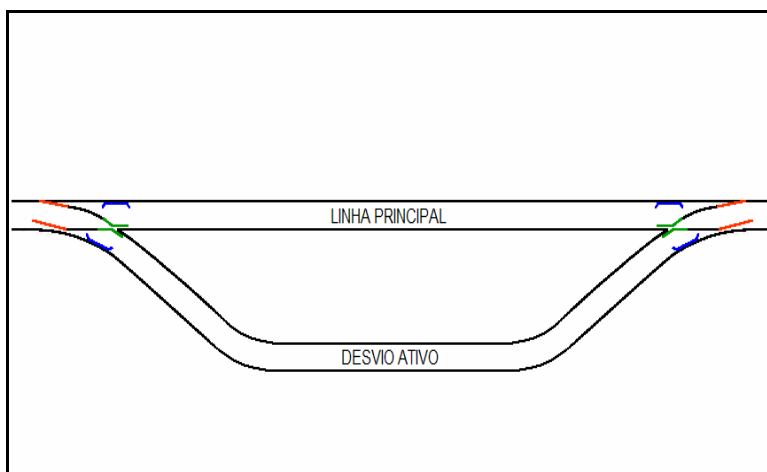


FIG. 3.6: Desvio Ativo (Desenho Esquemático)

FONTE: Adaptado de MARTINS DA SILVA (2006)

As **Linhas Secundárias** são linhas adjacentes as linhas principais, diferenciando-se pela periodicidade para intervenção da manutenção, pela menor influência no tráfego no que tange ao nível de influência e a segurança do transporte (RFFSA, 1978 p.4 e p.7 *apud* SUCENA, 2002, p. 81).

3.3.1 COMPONENTES DA VIA PERMANENTE

Como já apresentado na FIG. 3.1, a Via Permanente é constituída por trilhos, acessórios de fixação dos trilhos, dormentes, lastro, e em alguns casos pelo sublastro. Estes componentes são descritos a seguir:

3.3.1.1 TRILHO

O **trilho** é uma viga longa de aço com forma ou perfil especial que constituem a superfície de rolamento plana e de nível que recebe as rodas do material rodante (BRINA, 1979, p.47). O trilho possui as seguintes funções:

- a) resistir às tensões que recebe do material rodante e transmiti-las para o restante da via;
- b) guiar as rodas do material rodante durante o movimento;
- c) fazer o retorno da corrente elétrica de tração para a subestação, caso a ferrovia seja eletrificada;
- d) ser condutor elétrico para o circuito de via e
- e) funcionar como viga contínua sobre apoio elástico, resistindo à flexão.

O trilho possui três partes fundamentais: boleto, alma e patim, conforme representado na FIG. 3.7.

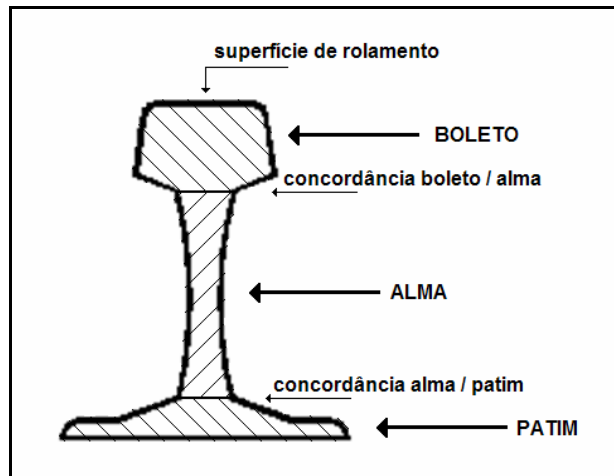


FIG. 3.7: Composição do Trilho (Desenho Esquemático)

FONTE: Adaptado pelo autor de METALICA, 2007

O **boleto** encontra-se na parte superior do trilho onde as rodas dos veículos ferroviários se apóiam. A **alma** é a parte mais estreita e vertical do trilho localizada entre o boleto e o patim. O **patim** é a base do trilho, parte mais larga onde normalmente se utilizam acessórios para fixá-lo ao dormente.

Os trilhos são classificados pelo seu peso por metro linear e pela sua seção transversal, podendo-se também identificá-los como trilho curto ou trilho longo soldado (TLS).

Os trilhos são confeccionados geralmente em aço, com seção transversal padronizada e com dureza, tenacidade, elasticidade e resistência à flexão, conforme normas técnicas, entre as quais AREMA, ASTM, ASCE, UIC, DIN, etc. ou segundo especificações técnicas do cliente. De acordo com o material constituinte, os trilhos podem ser divididos em dois grupos principais, quais sejam: trilhos de aço carbono e trilhos especiais.

Segundo BRINA (1979, p.47) a maioria dos trilhos fabricados em todo o mundo é de **aço carbono**. O processo de fundição é realizado em alto forno, dando origem a uma liga de ferro com alto teor de carbono, duro, frágil e não maleável. A dureza do trilho é uma propriedade importante, para que o mesmo possa suportar o desgaste provocado pelo atrito das rodas dos veículos, principalmente nas curvas.

O surgimento de veículos ferroviários mais pesados e potentes, capazes de desenvolver velocidades mais elevadas, e a composição de trens unitários longos, transportando cargas por eixo cada vez mais pesadas, exigiu o desenvolvimento de

trilhos de maior resistência ao desgaste (**trilhos especiais**), a fim de se evitar a redução da vida útil das peças. Esses novos trilhos podem ser classificados em dois grupos, quais sejam: **trilhos de aço-liga** e **trilhos tratados termicamente**.

Para se obter os do primeiro grupo, ao aço é agregado o manganês, o cromo ou silício que contribuem para o aumento da resistência à ruptura.

Já os **trilhos tratados termicamente** apresentam uma composição química bastante próxima dos trilhos de aço carbono endurecidos por tratamentos térmicos adequados.

A durabilidade dos trilhos é de grande importância para as ferrovias, sendo os desgastes dos boletos essenciais para representar a vida útil destes componentes. Segundo BRINA (1979, p.62), algumas ferrovias admitem o limite de 12 mm de “desgaste vertical” do boleto para linhas principais e 15 a 20 mm para linhas secundárias. Para o “desgaste lateral” do boleto, admite-se que o ângulo de desgaste possa atingir de 32 a 34° e a “perda de peso” seja de até 10% para trilhos de até 45 kg/m e entre 15 a 20% para trilhos mais pesados. De modo geral, é aceitável como limite de desgaste uma perda de até 25% da área do boleto.

3.3.1.2 ACESSÓRIOS DE FIXAÇÃO

Com a fixação dos trilhos nos dormentes objetiva-se manter o paralelismo das duas filas de trilhos transferindo para os dormentes as forças estáticas e dinâmicas que agem sobre aqueles.

Dois métodos de fixação de trilho podem ser empregados: **fixação rígida** ou **fixação flexível** (BRINA, 1979, p.72).

O primeiro método (FIG. 3.8) mantém a bitola, porém possibilitando amplos movimentos longitudinais. Para minimizar esses problemas utiliza-se o Retensor, peça geralmente de aço, apoiada na face lateral do dormente e fixada e ajustada ao patim do trilho. Neste tipo de Fixação são utilizados o Prego de Linha (ou Grampo de Linha) e o *Tirefond*. Os trilhos podem ser fixados diretamente aos dormentes, ou por intermédio de Placas de Apoio que proporcionam uma melhor distribuição de carga e prolongam a vida útil do dormente.

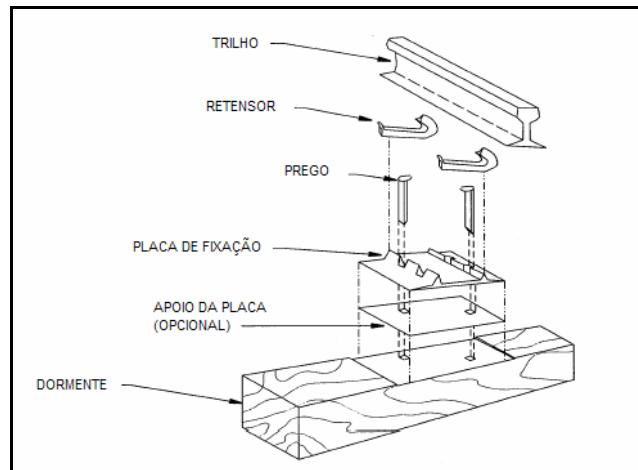


FIG. 3.8: Fixação Rígida

FONTE: Adaptado pelo autor de TI-850-02 (2000)

O segundo método de fixação foi concebido para cumprir não só a sua função mantenedora da Bitola, como também, a de amortecedora das vibrações de alta frequência gerada pela circulação do material rodante. Existem diversos tipos de **Fixação Elástica** (FIG. 3.9), todos com eficiência superior às fixações rígidas por terem a propriedade de absorverem choques e vibrações por meio de um ou mais elementos flexíveis.

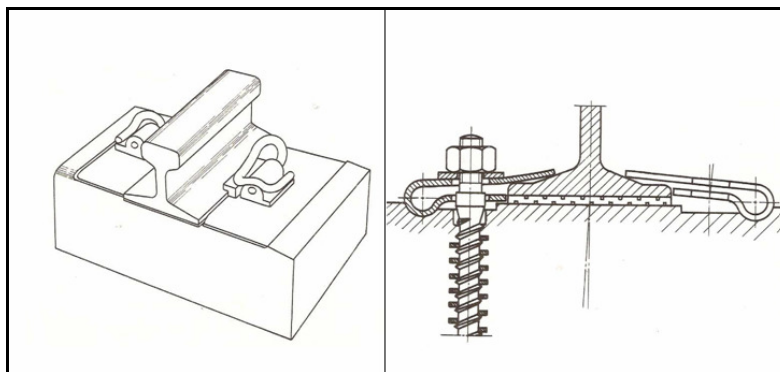


FIG. 3.9: Tipos de Fixação Elástica

FONTE: BRINA (1979, p.41)

3.3.1.3 DORMENTE

O **dormente** é o elemento que têm a função de receber e transmitir ao lastro os esforços de flexão, produzidos em decorrência da circulação do material rodante, servindo ainda de suporte para os trilhos, permitindo a sua fixação e mantendo invariável a distância entre eles (COIMBRA, 2006, p.38).

Segundo BRINA (1979, p.21) para o dormente cumprir estas finalidades é necessário que:

- a) suas dimensões, no comprimento e na largura, forneçam uma superfície de apoio para que a taxa de trabalho no lastro não ultrapasse certo limite;
- b) sua espessura lhes dê a necessária rigidez permitindo, entretanto, alguma elasticidade;
- c) tenham suficiente resistência aos esforços e durabilidade;
- d) permitam, com relativa facilidade, o nivelamento do lastro (socaria) na sua base;
- e) se oponham eficazmente aos deslocamentos longitudinais e transversais da via e
- f) permitam uma fixação firme do trilho, sem ser excessivamente rígida.

As dimensões do dormente variam com a bitola da via e com a sua utilização. Assim, para vias em bitola larga (1,60 m), onde as cargas por eixo são elevadas, os dormentes são mais compridos e robustos que os de uma via em bitola estreita (1,0 m). Por outro lado, numa mesma via, as dimensões dos dormentes variam com seu uso, isto é, dormentes de uso geral, dormentes de pontes e viadutos, dormentes de passagem em nível, dormentes de juntas e dormentes de terceiro trilho (ANTF, 2007, e).

Desde a implantação das primeiras ferrovias a madeira foi o principal material utilizado para os dormentes. Com o passar do tempo, em virtude da escassez das madeiras de lei e seus preços proibitivos, a madeira deixou de ser economicamente viável surgindo outros tipos de materiais para substituí-la, como o concreto

protendido e o aço. Atualmente, estudos envolvendo a aplicação de materiais sintéticos e borracha de descarte de pneus estão em desenvolvimento.

A importância dada ao meio ambiente e ao aumento da carga transportada, entre outros aspectos, tem levado algumas ferrovias brasileiras ao emprego de madeiras como eucalipto (ALL), concreto (FERRONORTE), aço (EFVM) e plástico (MRS) (ANTF, 2007, d) (CVRD, 2007).

A madeira reúne quase todas as qualidades exigidas para uso como dormente ferroviário e a escolha da espécie é normatizada pela NBR 7511 – Dormente de Madeira para Via Férrea, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de 30 de maio de 2005. Esta Norma estabelece, entre outros, valores mínimos de propriedades como: densidade de massa aparente (kg/m^3), dureza janka (MPa), resistência ao cisalhamento (MPa), resistência à tração normal (MPa), resistência ao fendilhamento (MPa) e índice de coesão. Além das características físico-mecânicas, a madeira deve possuir alta durabilidade natural (NBR 7511 *apud* NIEM, 2007).

Além destes parâmetros mencionados, outros fatores têm influência na durabilidade da madeira. Eles são o clima, a drenagem da via, o peso e a velocidade dos trens, a época do ano que a madeira foi cortada, o teor de umidade, o tipo de lastro e o tipo de fixação do trilho utilizado (BRINA, 1979, p.22). Com o objetivo de prolongar a vida útil das peças de madeira sujeitas à ação de intempéries, os dormentes ferroviários são submetidos a tratamentos químicos, sendo utilizados, entre outros, preservativos oleosos (Creosoto) e preservativos hidrossolúveis (Boliden K33).

O desenvolvimento histórico do dormente de concreto pode ser dividido em duas etapas: a primeira que vai até 1940, e a segunda de 1940 até o presente. Na primeira etapa, os dormentes eram confeccionados com concreto armado comum que fora substituídos, a partir de 1940 pelos dormentes monoblocos pré e pós-tensionados (SCHRAMM, 1977, p.77; BASTOS, 1999, p.12).

BRINA (1979, p.36), em função das características externas, classifica os dormentes de concreto como:

- a) Dormente Monobloco: constituído por somente uma peça rígida e contínua de uma extremidade a outra como o dormente *Dywidag* de fabricação alemã (FIG. 3.10);

- b) Dormente Bi-bloco: constituído por dois blocos rígidos de concreto armados e unidos por uma barra flexível de aço como o dormente *Vagneux* projetado por Roger Soneville da *Société Nationale des Chemins de Fer Français* (SNCF) (FIG. 3.11) e
- c) Dormente Polibloco: constituído de dois blocos de extremidade de concreto armado e uma peça intermediária de concreto (viga), ligados por fios de aço, com elevado limite elástico, tendido e ancorado nas extremidades como o dormente FB, projetado pelo engenheiro belga Franki-Bagon (FIG. 3.12).

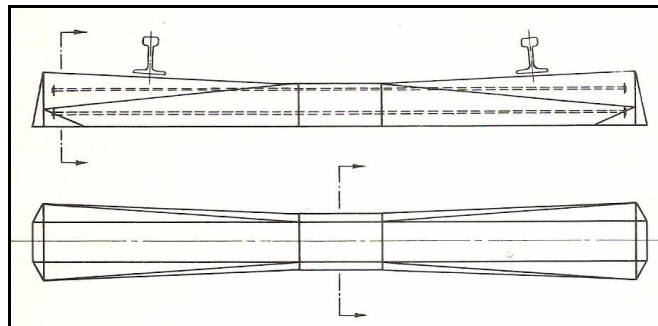


FIG. 3.10: Dormente Monobloco
FONTE: BRINA (1979, p.36)

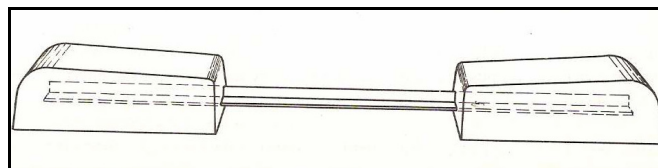


FIG. 3.11: Dormente Bi-bloco
FONTE: BRINA (1979, p.37)

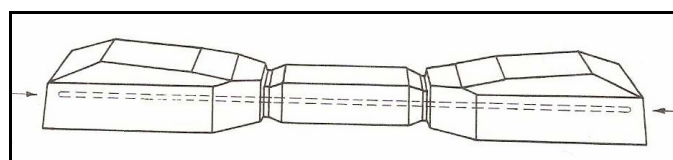


FIG. 3.12: Dormente Polibloco
FONTE: BRINA (1979, p.39)

Segundo BASTOS (1999, p.30) a durabilidade dos dormentes de concreto é, em média, de 50 anos, superior a de um dormente de madeira, e em condições semelhantes de solicitações, o dormente de concreto necessita de uma menor altura de lastro, resultando seu emprego, portanto, numa substancial economia de material e gastos reduzidos com a manutenção da via. Entretanto, a sua vida útil é ainda

questionável, pois em condições de serviço, os dormentes de concreto não foram completamente avaliados e na ocorrência de um descarrilamento sofrem danos estruturais que os inutilizam por completo.

O dormente de aço (FIG. 3.13), em sua essência, consiste numa chapa laminada, em forma de U invertido, curvada em suas extremidades a fim de formar garras que se afundam no lastro e se opõem ao deslocamento transversal da via. A fixação dos trilhos é realizada por parafusos (de quatro a oito furos) ou por ombreiras soldadas no próprio dormente (BRINA, 1979, p.33) (HIDREMEC, 2007).

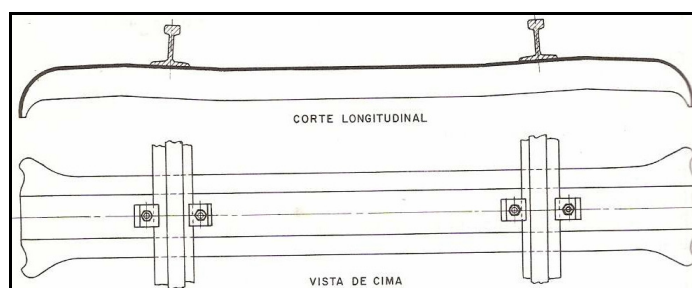


FIG. 3.13: Dormente de Aço
FONTE: BRINA (1979, p.34)

Os dormentes de aço são mais leves e de fácil manejo em comparação com os dormentes de madeira e concreto, porém apresentam problemas operacionais quanto a sua leveza, que deixa a via menos estável, e também restrições relativas ao ruído e às dificuldades no isolamento elétrico (SCHRAMM, 1977, p.86).

Os dormentes de aço quando assentados em regiões de clima seco e ar puro, e submetidos a criteriosos recondicionamentos, podem atingir de 38 e 45 anos de vida útil, de acordo com estudos realizados na Alemanha, país que possui grande experiência na utilização deste tipo de dormente. Em regiões industriais ou próximas ao mar, a vida útil dos dormentes de aço normalmente sofre ponderáveis reduções, em face da ação dos gases poluentes e do ar marítimo (SCHRAMM, 1977, p.84).

A necessidade de atender as exigências ambientais brasileiras e a fragilidade na cadeia de suprimentos de dormentes levou a MRS Logística a investir em pesquisa de dormentes alternativos. Em um trecho próximo à cidade de Bom Jardim/SP existem cerca de 80 dormentes de plástico (FIG. 3.14) assentados na via, os quais vêm apresentando resultados significativos em relação aos outros tipos de dormentes da via.



FIG. 3.14: Dormente de Plástico
FONTE: MRS (2007)

3.3.1.4 LASTRO

O **lastro** é o elemento da Via Permanente situado entre os dormentes e o sublastro e tem a função de distribuir uniformemente para a plataforma da Infra-estrutura os esforços resultantes das cargas do material rodante, garantindo a Via Permanente elasticidade e fazendo com que a carga vertical transmitida pelos trilhos seja suportada por vários dormentes, além de facilitar a drenagem da água da chuva (BRINA, 1979, p.10) (STOPATTO, 1987, p.109) (CASTELLO BRANCO *et al.*, 2002, p.202).

A Via Permanente é classificada como **elástica** (ou **lastrada**) (FIG. 3.15), se o lastro for constituído por materiais granulares, como cascalho e pedra britada.

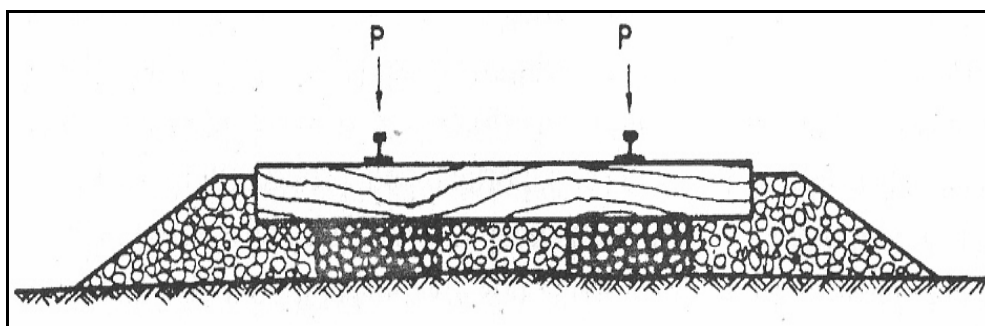


FIG. 3.15: Via Permanente Elástica ou Lastrada
FONTE: CASTELLO BRANCO *et al.*, 2002, p.203

Ela é dita ser **rígida**, ou em placas, se os dormentes forem assentados sobre lajes de concreto, como é o caso do metrô da cidade do Rio de Janeiro (FIG. 3.16), ou ainda, quando os trilhos são fixados diretamente sobre uma viga, como é o caso

do metrô da cidade de São Paulo (FIG. 3.17) (CASTELLO BRANCO *et al.*, 2002, p.202).

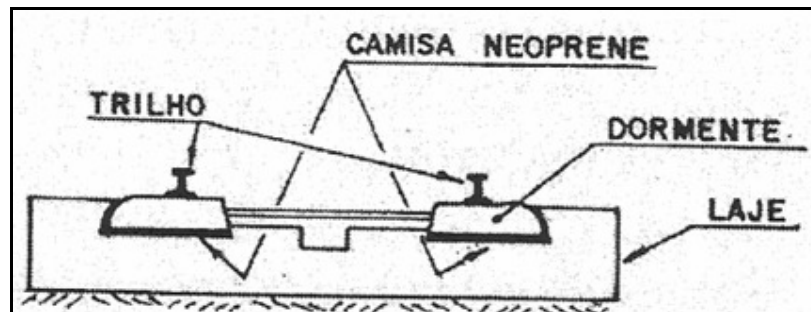


FIG. 3.16: Via Permanente Rígida sobre Lajes de Concreto
FONTE: CASTELLO BRANCO *et al.*, 2002, p.202

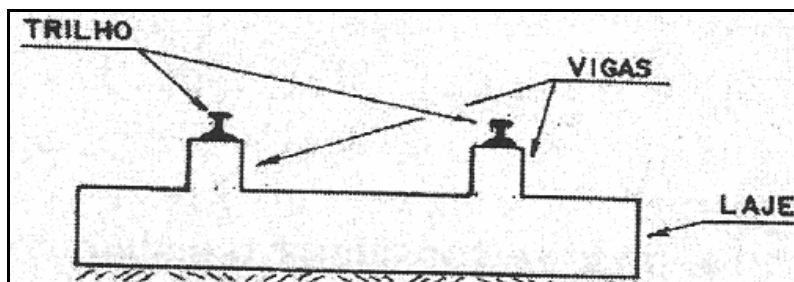


FIG. 3.17: Via Permanente Rígida sobre Viga
FONTE: CASTELLO BRANCO *et al.*, 2002, p.202

Entre o lastro e a plataforma pode ou não se utilizar uma camada de material granular de qualidade inferior ao do lastro denominada de **sub-lastro**. Este diminui a altura do lastro necessário e proporciona economia à Via Permanente.

Além disso, o sub-lastro deve aumentar a capacidade de suporte da plataforma da infra-estrutura, evitar a penetração do lastro na plataforma, melhorar a drenagem da via aumentando a resistência do leito à erosão e a infiltração de água e melhorar a elasticidade do apoio do lastro no leito da via (SUCENA, 2002, p.79).

3.4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Via Permanente tem a função de receber e distribuir as solicitações das cargas verticais e horizontais originadas pela movimentação do material rodante.

A atuação simultânea desta movimentação e da ação do meio ambiente contribui para acelerar a degradação dos componentes que a constitui. Para garantir a segurança dos funcionários e assegurar a comodidade da circulação do material rodante, a Via Permanente deve ser avaliada constantemente, a fim de se adotar medidas de manutenção quando o seu desgaste atinge os limites de tolerância exigidos.

No próximo capítulo são apresentadas as principais anomalias na geometria e nos componentes da Via Permanente, assim como, os processos de intervenção de manutenção da Via Permanente.

4 A DEGRADAÇÃO DA VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA

Neste capítulo são apresentadas as principais anomalias na geometria e nos componentes da Via Permanente, assim como, os processos de intervenção de manutenção da Via Permanente.

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Uma vez implantada, uma ferrovia começa a se degradar pelo uso e pela ação do meio ambiente. Esta degradação se fará sentir nos componentes que constituem a Via Permanente, tão mais aceleradamente quanto maior for a sua utilização e mais agressivo for o meio ambiente (CASTELLO BRANCO *et al.*, 2002, p.203).

Segundo WANKE (1979) *apud* LIMA (1998, p. 27) a degradação da Via Permanente pode ser agrupada em três categorias em função dos seguintes fatores: precisão das construções civis; construções mecânicas e condições ambientais, como explicados a seguir.

- Precisão das construções civis: são todas as degradações que se verificam nos parâmetros geométricos da Via Permanente decorrentes de seu assentamento no campo. A este grupo pertencem as degradações que se observam nos nivelamentos longitudinais e transversais, nos alinhamentos em tangentes e nas curvas;
- Precisão das construções mecânicas: são as degradações que se verificam nos parâmetros geométricos da Via Permanente decorrentes da precisão exigida nas construções mecânicas. Constituem este grupo as degradações resultantes do desgaste mecânico dos componentes da Via Permanente, principalmente nas juntas de ligação e de seus acessórios; as provocadas pela diminuição da capacidade de retenção da fixação dos trilhos aos dormentes, devido ao seu fendilhamento ou esmagamento da madeira e as

degradações decorrentes dos fatores mecânicos que resultam da ação dos diversos esforços verticais e horizontais que atuam dinamicamente sobre toda a Via Permanente e

- Condições ambientais: são as degradações que se verificam nos parâmetros da Via Permanente decorrentes da influência do meio ambiente e associadas ao fator tempo. Neste grupo, podem ser destacadas degradações da via decorrente da oxidação ou corrosão dos componentes metálicos e as provocadas pelo apodrecimento das fibras da madeira dos dormentes, reduzindo sua resistência de suporte e sua capacidade de fixar os trilhos aos dormentes.

A seguir, são descritos as principais anomalias nas características geométricas da Via Permanente.

4.2 PRINCIPAIS ANOMALIAS NA GEOMETRIA DA VIA PERMANENTE

Em uma publicação da CANADIAN PACIFIC RAIL SYSTEM (1996) *apud* LIMA (1998, p.30), listam-se os parâmetros que definem a geometria da Via Permanente. Eles são: **Bitola, Nivelamento Longitudinal e Transversal, Alinhamento, Empeno e Superelevação.**

Segundo RODRIGUES (2001, p.42) a análise do estado das condições da via consiste em comparar esses parâmetros, medidos “in loco”, com valores e tolerâncias estabelecidas no projeto através de métodos indiretos ou diretos.

Os **métodos indiretos** usam aparelhos como os acelerômetros ou rodeiros instrumentados. Os primeiros são aparelhos instalados nos veículos que medem as acelerações verticais, transversais e longitudinais em relação à via e fornecem informações como índice de conforto e índice de segurança operacional (RODRIGUES, 2005, p.8).

Os rodeiros instrumentados registram os esforços dinâmicos (lateral e vertical) no contato roda-trilho e as suas relações, por intermédio de sensores instalados em pontos estratégicos das rodas dos veículos (RODRIGUES, 2005, p.8).

A avaliação por **métodos diretos** consiste na utilização de veículo de avaliação da via (FIG. 4.1) para medir, dinamicamente, todos os parâmetros da geometria da via e compará-los, posteriormente, com os limites de tolerância adotados pela ferrovia.



FIG. 4.1: Veículo de Avaliação da Via
FONTE: MRS (2007, b)

Na maioria dos casos, esses limites são fixados em função da velocidade do material rodante, da carga por eixo e das características da via, entre outros (LIMA, 1998, p.38).

Os parâmetros que definem a qualidade da geometria da Via Permanente e as suas anomalias são descritos a seguir.

- BITOLA

Este parâmetro define a base de uma ferrovia. E em função dele são especificados os demais componentes da Via Permanente (dimensões dos dormentes e a altura de lastro), da Infra-estrutura (largura da plataforma e obras de artes) e do material rodante.

Segundo SCHRAMM (1977, p.4) BRINA (1979, p.6) e RODRIGUES (2001, p.40), denomina-se **bitola** a distância entre as faces internas dos trilhos que

compõem uma via, medida a alguns milímetros (entre 12 mm e 16 mm) abaixo do plano de rodagem, plano constituído pela face superior dos trilhos.

SUCENA (2002, p.76) define a bitola como a medida determinada geometricamente seguindo a seqüência representada na FIG. 4.2: traça-se a reta “a” perpendicular ao eixo da linha e apoiada na superfície de rolamento dos dois boletos dos trilhos; em seguida são traçados dois segmentos de reta ($\overline{AB}$) e ($\overline{A'B'}$) perpendiculares à reta “a”, medidos abaixo da superfície de rolamento dos trilhos, de forma que toquem nas faces internas dos dois boletos dos trilhos. A distância entre esses dois segmentos de reta representa a Bitola.

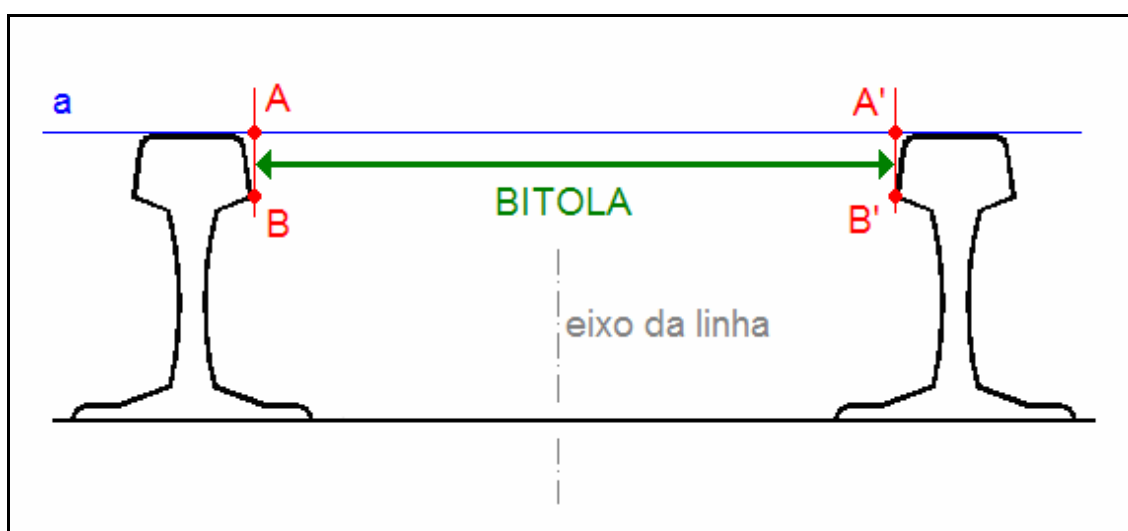


FIG. 4.2: Bitola (Desenho Esquemático)

As dimensões da plataforma ou do leito da linha férrea são fixadas por normas e dependem da bitola utilizada.

Na maior parte dos países desenvolvidos, como os Estados Unidos, Canadá, Alemanha, França, etc., utiliza-se a bitola de 1435 mm, também conhecida por bitola Internacional, estabelecida pela Conferência Internacional de Berna em 1907.

Em alguns países, onde não há unificação de bitolas, existem diferentes larguras entre trilhos que variam entre 610 mm à 1955 mm, como na Rússia (bitola de 1523 mm) e na Argentina (bitola de 1676 mm) (BRINA, 1979, p.6).

No Brasil, pelo Plano Nacional de Viação, a bitola padrão é a de 1600 mm, ou bitola Larga (BRINA, 1979, p.6). Entretanto, existem bitolas menores, conforme apresentado na TAB. 2.4 do capítulo anterior.

Segundo publicação GUIDELINES FOR TRACK EFFECTS & REPORTS (1996) *apud* LIMA (1998, p.42) as anomalias na bitola são classificadas em dois tipos:

- **alargamento da bitola** (*Wide Gauge*): quando o valor medido é maior do que o valor limite máximo. As razões causadoras deste tipo de anomalia estão vinculadas aos seguintes fatores: dormentes em condições ruins; grupos de dormentes defeituosos; dormentes laqueados; desgaste da placa de apoio dos dormentes e *tirefonds* frouxos; desgaste lateral do boleto do trilho; orifícios dos *tirefonds* desgastados; falta ou folga de parafusos nas juntas e juntas quebradas e
- **estreitamento de bitola** (*Narrow Gauge*): quando o valor do parâmetro medido é menor do que o valor limite mínimo. Ocorre geralmente quando existem dormentes empenados, deformação do lado interno do trilho, placas de apoio quebradas e dormentes defeituosos.

- NIVELAMENTO LONGITUDINAL

Consiste em comparar o nivelamento da linha férrea em relação ao seu plano horizontal original medindo a deformação vertical (y) de um ponto qualquer (C) na superfície de rolamento de um trilho em relação ao segmento de reta ($\overline{AB}$), conforme desenho esquemático mostrado na FIG. 4.3.

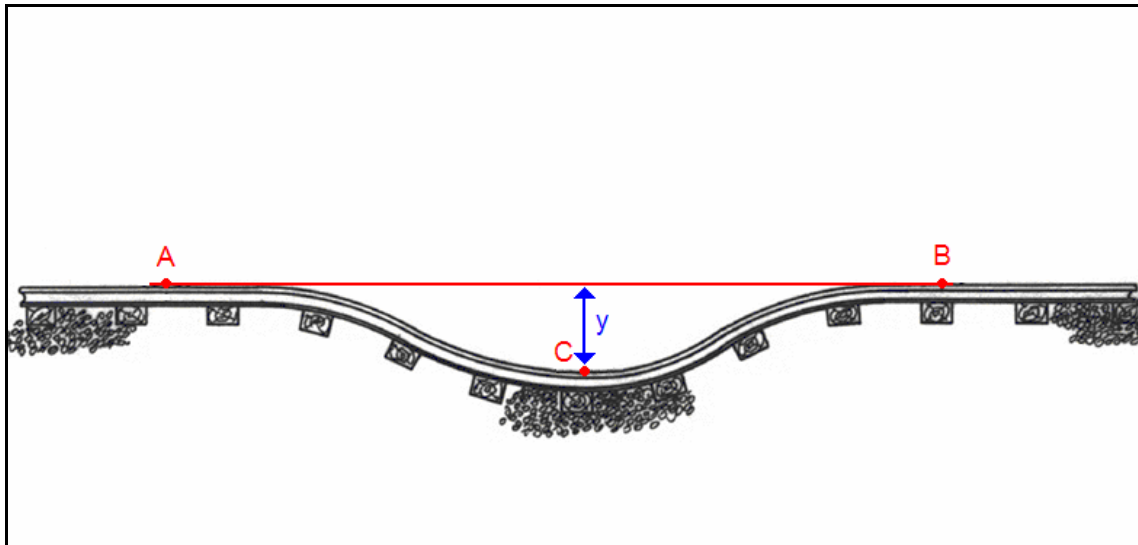


FIG. 4.3: Desnivelamento Longitudinal (Desenho Esquemático)

FONTE: Adaptado pelo autor de RODRIGUES (2005, p.10)

O **desnivelamento longitudinal** (FIG. 4.3) é considerado quando o valor de (y) ultrapassa os limites de tolerância estabelecidos por cada ferrovia.

As principais causas desta anomalia, segundo publicação da CANADIAN PACIFIC *apud* LIMA (1998, p.39), são: lastro laqueado; trilho corrugado; problemas de drenagem; grupo de dormentes defeituosos e juntas desniveladas.

Essas irregularidades são responsáveis principalmente pela ocorrência do movimento de galope nos veículos em movimento.

O desnivelamento longitudinal gera desconforto e, se ultrapassar certos limites, pode acarretar desgaste de veículos e fracionamento do trem com consequências que podem ser críticas (RODRIGUES, 2005, p.11).

- **NIVELAMENTO TRANSVERSAL**

Consiste em comparar o nivelamento da superfície de rolamento de um trilho em relação ao outro trilho medindo a deformação vertical (y) conforme é ilustrado na FIG. 4.4.

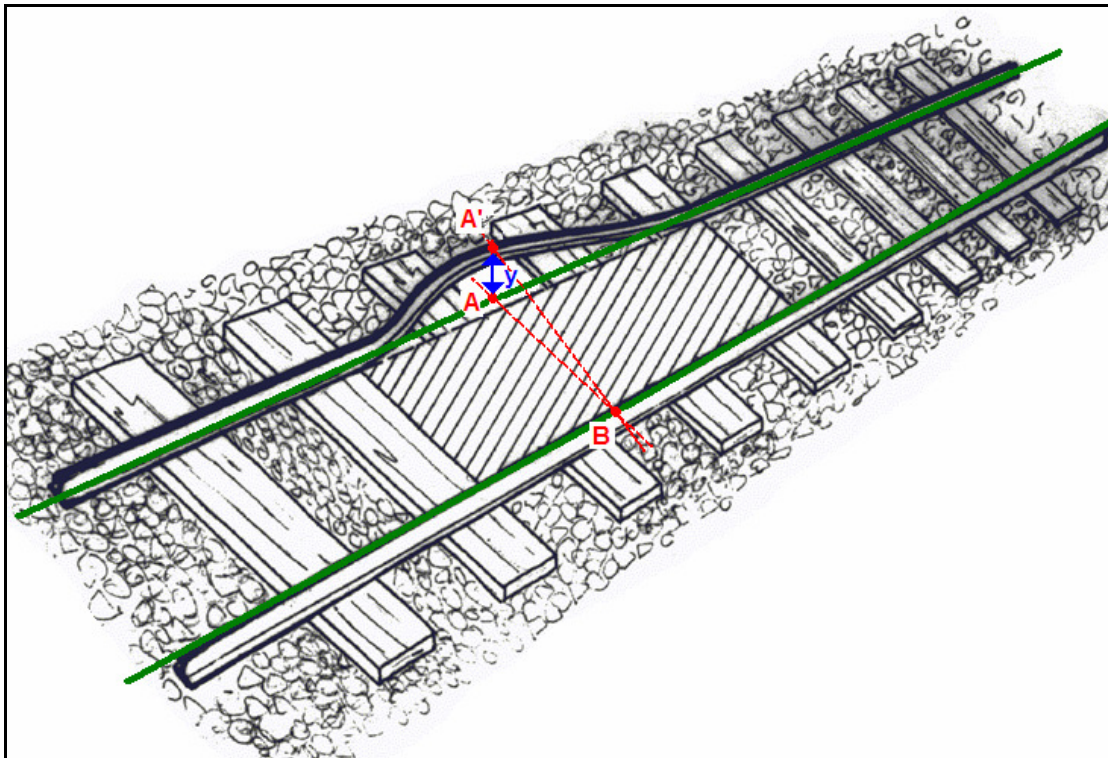


FIG. 4.4: Desnivelamento Transversal (Ilustração)
FONTE: Adaptado pelo autor de RODRIGUES (2005, p.10)

O **desnivelamento transversal** (FIG. 4.4) é considerado quando o valor (y) ultrapassa os limites de tolerância estabelecidos por cada ferrovia.

Este tipo de anomalia ocorre muitas vezes, em virtude dos vazios (laqueados) observados entre a superfície inferior do dormente e a brita (RODRIGUES, 2005, p.12).

- **ALINHAMENTO**

Consiste em comparar o alinhamento da linha férrea com o seu eixo central original medindo a distância horizontal (x) que um ponto qualquer (C), situado na lateral do boleto de um trilho, tem em relação ao segmento de reta ($\overline{AB}$), conforme apresentado na FIG. 4.5.

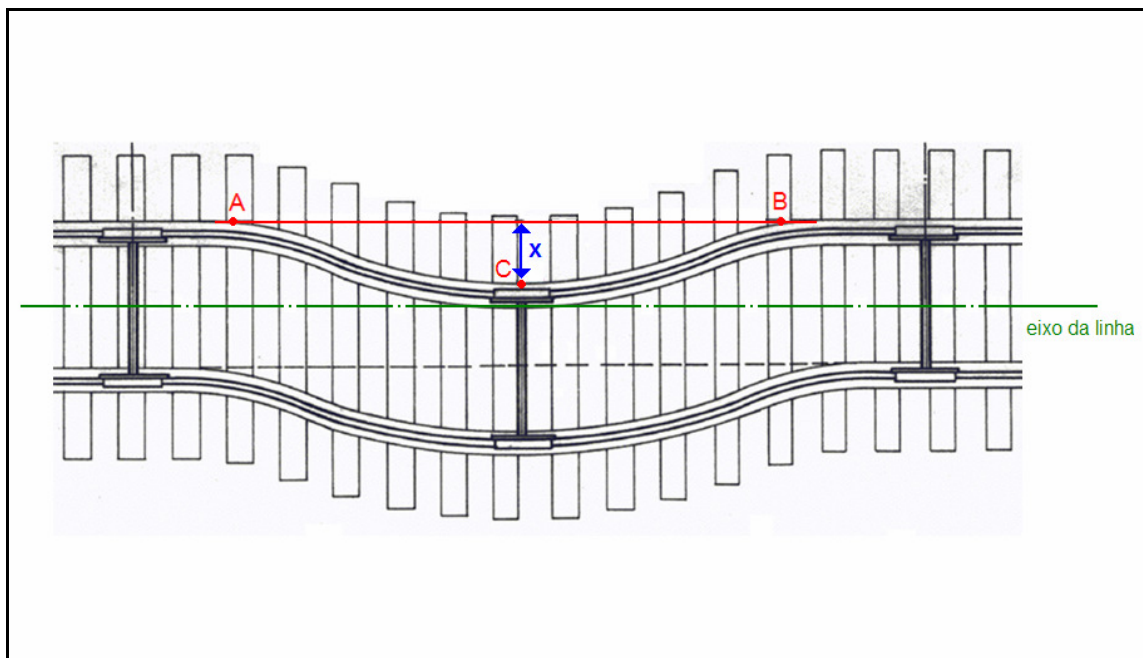


FIG. 4.5: Desalinhamento (Desenho Esquemático em planta)
FONTE: Adaptado pelo autor de RODRIGUES (2005, p.13)

O **desalinhamento** (FIG. 4.5) é considerado quando o valor (x) ultrapassa os limites de tolerância estabelecidos por cada ferrovia.

As principais causas deste tipo de anomalia são: dormentes laqueados, ombro de lastro insuficiente, desgaste ou quebra de placas de apoio e quebra ou deformação de trilhos (LIMA, 1998, p.38).

- EMPENO

Considerando quatro pontos sobre a superfície de rolamento dos trilhos, dois em cada trilho, formando um retângulo ABCD, define-se como **empeno** (ou torção) a distância vertical (y) dos pontos (B') ou (D') ao plano formado pelo retângulo ABCD como ilustrado na FIG. 4.6.

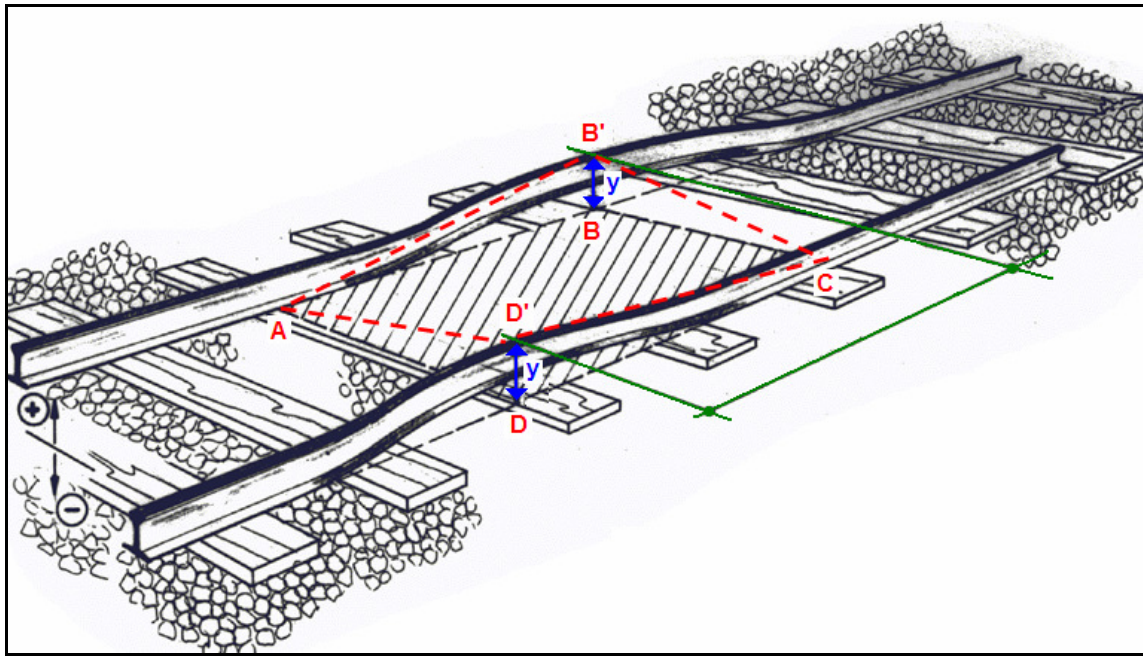


FIG. 4.6: Empeno ou Torção (Ilustração)

FONTE: Adaptado pelo autor de RODRIGUES (2001, p.42)

Esta anomalia causa o movimento de torção no material rodante. Suas causas são as mesmas dos desnivelamentos longitudinal e transversal, sendo observada com mais freqüência em vias que possuem maiores quantidades de juntas consecutivas e alternadas nos trilhos, e as principais conseqüências são o descarrilamento e tombamento do material rodante (LIMA, 1998, p.41).

- SUPERELEVAÇÃO

Segundo BRINA (1979, 125) e CASTELLO BRANCO *et al.* (2002, p.21) a **superelevação** é a maior altura do trilho externo em relação ao interno com a finalidade de equilibrar o efeito da força centrífuga que tende a jogar o material rodante para o lado de fora da curva, conforme mostra a FIG. 4.7.

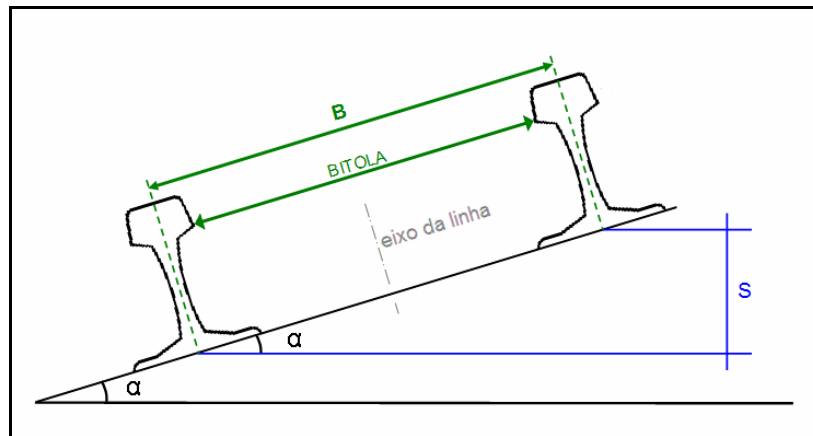


FIG. 4.7: Superelevação (Desenho Esquemático)

Não é considerada propriamente uma anomalia de via. Entretanto, BRINA (1979, p.127) cita que a velocidade máxima de projeto de uma via é prevista para trens de passageiros e esta mesma via é utilizada por veículos mais lentos, como trens de carga e veículos de manutenção. Como a velocidade desses veículos é menor, aparece o risco de tombamento para dentro da curva e de excesso de desgaste do trilho interno.

4.3 PRINCIPAIS ANOMALIAS NOS COMPONENTES DA VIA PERMANENTE

4.3.1 TRILHO

As anomalias no trilho podem se manifestar **interna** ou **externamente**. As primeiras se vinculam a defeitos metalúrgicos adquiridos durante o processo de fabricação (dos trilhos ou das soldas) e as anomalias externas são aquelas originadas naturalmente pelo uso do trilho em serviço.

Considerando que na iminência de uma fratura as anomalias internas podem mostrar indícios externos, neste trabalho foi adotada a classificação a seguir: anomalias longitudinais, transversais, superficiais, nas soldas e juntas e desgastes da área do boleto.

- ANOMALIAS LONGITUDINAIS (CVRD, 2001, p.35; p.49)

São aquelas que se manifestam no sentido do comprimento do trilho. As principais anomalias desta natureza são: trinca vertical, trinca horizontal, bolha (ou vazio), trinca na concordância do boleto/alma, trinca na concordância da alma/patim e trinca estelar na furação.

Todas estas anomalias são instaladas durante a solidificação do aço devido a segregação ou inclusão de impurezas e outros componentes da liga e contribuem para a perda da resistência mecânica do trilho. Estas anomalias são consideradas perigosas, pois progridem com a tonelagem trafegada e a fratura do trilho ocorre durante a passagem dos trens.

A **Trinca Vertical** (FIG. 4.8), ou **Vertical Crack (VCR)**, se desenvolve de modo progressivo longitudinalmente ao centro do boleto com crescimento acelerado após afloramento da trinca.

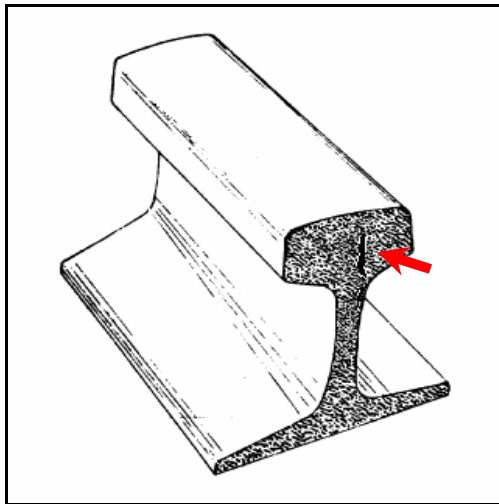


FIG. 4.8: Trinca Vertical (Ilustração)

FONTE: Adaptado pelo autor de TM-5-628 (1991)

A **Trinca Horizontal** (FIG. 4.9), ou **Horizontal Crack (HCR)**, se desenvolve de modo progressivo longitudinalmente e paralela ao topo do boleto e apresenta crescimento acelerado ao longo do comprimento.

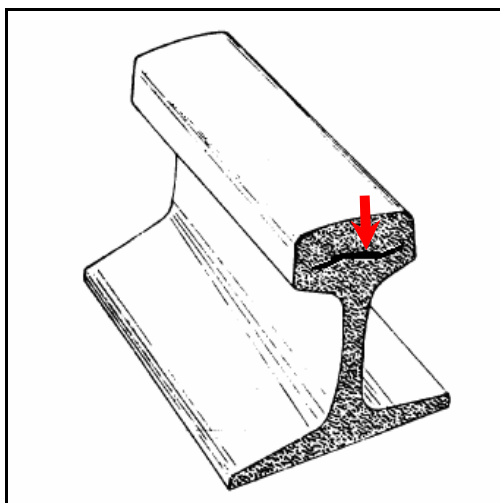


FIG. 4.9: Trinca Horizontal (Ilustração)
FONTE: Adaptado pelo autor de TM-5-628 (1991)

Bolha (BOL) (FIG. 4.10) é uma fenda vertical localizada na alma do trilho causada por gás contido em uma cavidade interna.

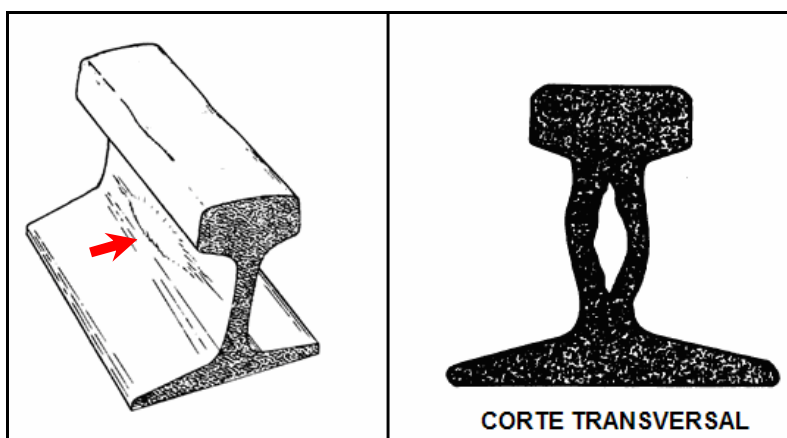


FIG. 4.10: Bolha (Ilustração)
FONTE: TM-5-628 (1991)

A Trinca na Concordância Boleto/Alma (FIG.4.11), ou *Cracking at head/web fillet radius (CHW)*, inicia-se nas partes externas dos trilhos na região das suas junções podendo gerar uma separação boleto/alma.

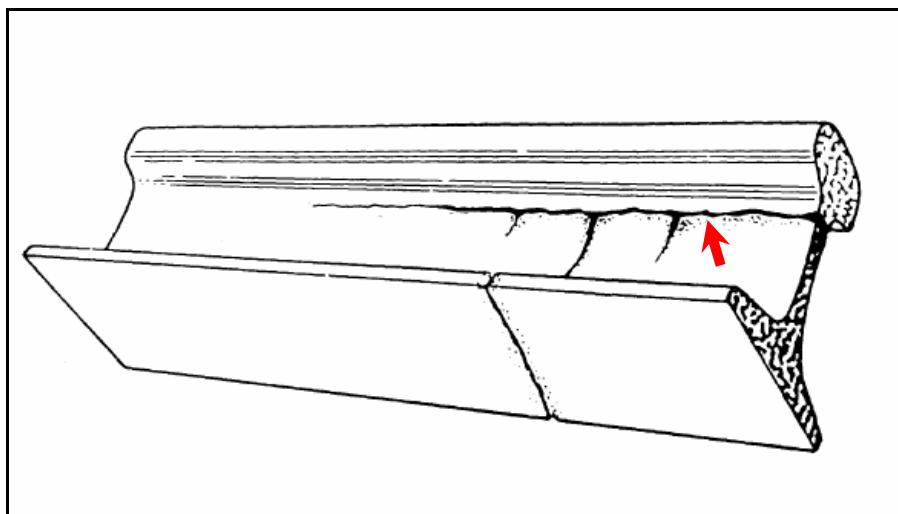


FIG. 4.11: Trinca na Concordância Boleto/Alma (Ilustração)
FONTE: TM-5-628 (1991)

A Trinca na Concordância Alma/Patim (FIG. 4.12), ou ***Cracking at web/foot fillet radius (CWF)***, é uma trinca horizontal que se manifesta no extremo do trilho e que tem a tendência de separar a alma/patim.

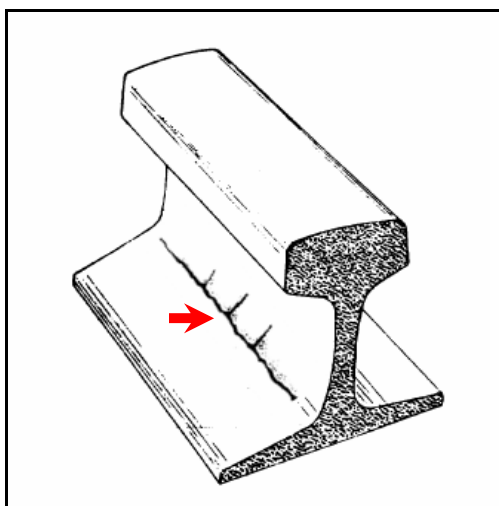


FIG. 4.12: Trinca na Concordância Alma/Patim (Ilustração)
FONTE: Adaptado pelo autor de TM-5-628 (1991)

A Trinca Estelar na Furação (FIG. 4.13), ou ***Bolt Hole Crack (BHC)***, se origina no furo de fixação da tala ou no furo do trilho e progride no sentido longitudinal em direção ao furo seguinte ou muda de direção indo para o patim ou boleto.

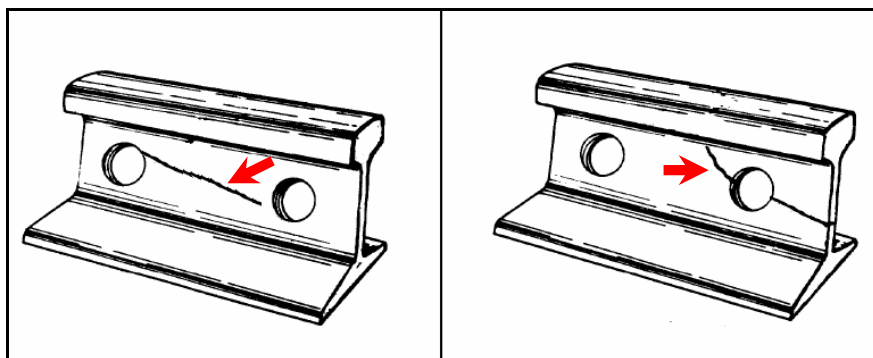


FIG. 4.13: Trinca Estelar na Furação (Ilustração)

FONTE: Adaptado pelo autor de TM-5-628 (1991)

Quando ainda não são aparentes, o melhor meio para detectar as anomalias internas é fazer a sondagem dos trilhos com equipamento de ultra-som (FIG. 4.14) ou por percussão com um martelo, já que eles só se tornam visíveis quando os trilhos estão na iminência de uma fratura.



FIG. 4.14: Sondagem com Equipamento de Ultra-som

FONTE: MRS (2007, c)

- ANOMALIAS SUPERFICIAIS (CVRD, 2001, p.51; p.83).

São aquelas que se manifestam na superfície do boleto, no caminho de rolamento das rodas. Em geral, as anomalias superficiais são evidenciadas por

manifestações que são detectadas visualmente. Entre elas, destacam-se: fissuração do canto da bitola, escamação do boleto, estilhamento do canto da bitola, despedaçamento do canto da bitola, *shelling* na superfície do boleto, patinagem, escoamento, esmagamento do boleto e sulco no boleto.

Fissuração no Canto da Bitola (FIG.4.15), ou **Head Checks (HDC)**, consiste no aparecimento de trincas capilares de pequena extensão que se manifestam transversalmente ao boleto (no sentido da largura), próximas do canto superior da bitola, causadas pela grande pressão das rodas contra os trilhos, principalmente quando a carga por eixo dos vagões é muito elevada (igual ou maior de 30 tf).

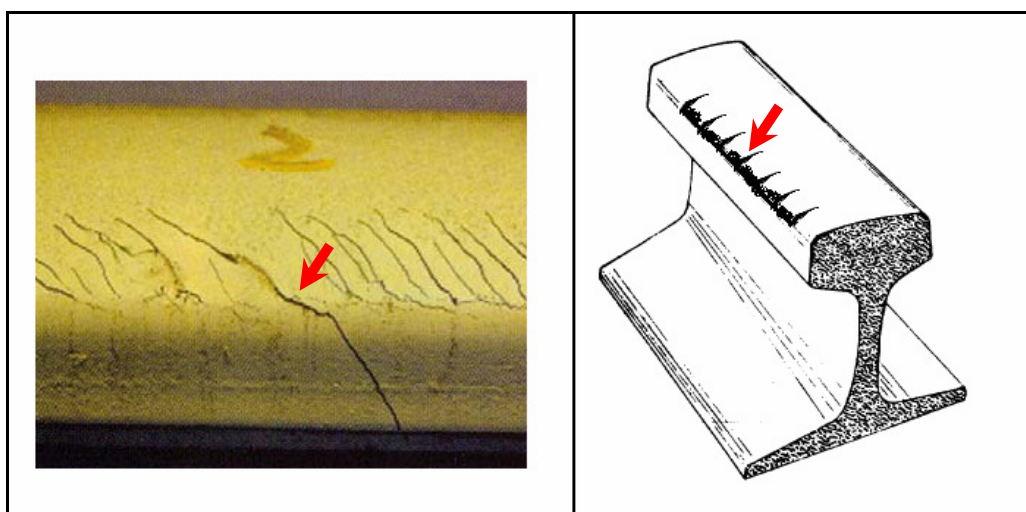


FIG. 4.15: Fissuração no Canto da Bitola

FONTE: SEMPREBONE (2006, p.43); Adaptado pelo autor de TM-5-628 (1991)

Escamação no Boleto (FIG.4.16), ou **Flaking (FLK)**, é a separação de finas e pequenas lâminas do aço que se interpõem nas trincas capilares (*Head Checks*). É causada pelas elevadas tensões que resultam do contato roda-trilho.

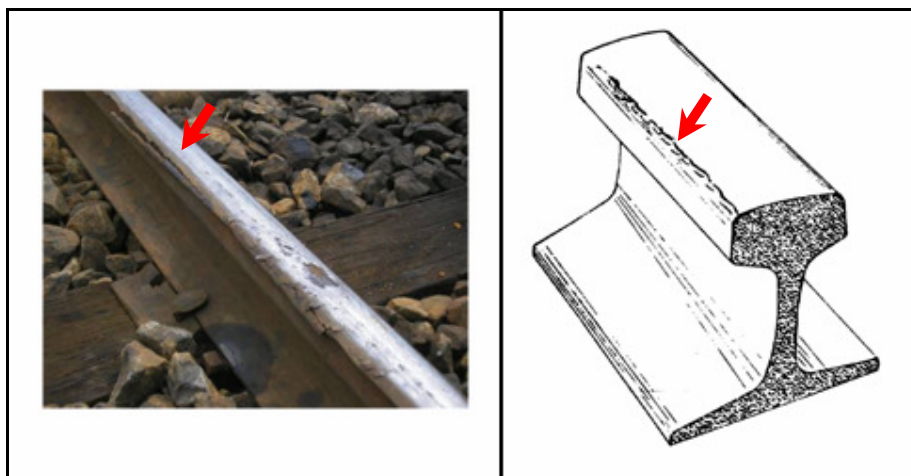


FIG. 4.16: Escamação no boleto
FONTE: FCA (2007, b); TM-5-628 (1991)

Estilhamento do Canto da Bitola (FIG.4.17), ou **Spalling (SPA)**, é uma anomalia associada ao *Flaking* caracterizada pelo destacamento de massas ou porções de aço do trilho (estilhas), próximas do canto da bitola. É causada provavelmente pelas pesadas cargas de rodas atuando sobre áreas do trilho em que o aço está fragilizado entre trincas superficiais que se aprofundaram.



FIG. 4.17: Estilhamento do Canto da Bitola
FONTE: FCA (2007, b)

O **Despedaçamento do Canto da Bitola** (FIG. 4.18), ou **Shelling (SHL)**, inicia-se por manchas escuras alongadas e irregularmente espaçadas no canto da bitola. Essas manchas são os primeiros sinais de desintegração do aço logo abaixo da superfície de rolamento. Neste estágio de evolução, o escoamento do metal pelo efeito do tráfego acarreta desnivelamento do boleto. O *Shelling* é principalmente

causado por elevadas cargas por roda agindo com elevada frequência sobre uma pequena área do contato roda-trilho do que resultam tensões de cisalhamento e de escoamento que excedem a capacidade do aço do trilho para suportá-las.

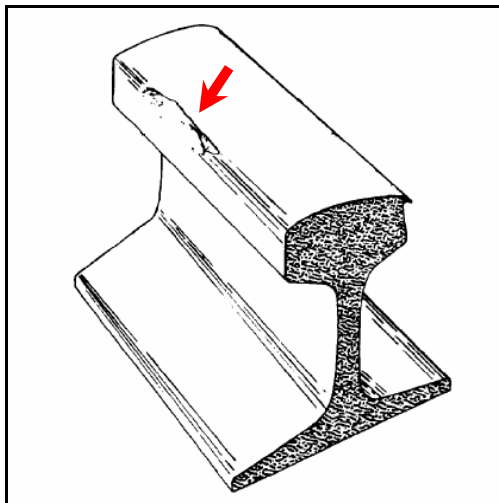


FIG. 4.18: Despedaçamento do Canto da Bitola (Ilustração)
FONTE: TM-5-628 (1991)

Shelling na Superfície de Rolamento (FIG. 4.19), também conhecido como ***Dark Spot (DAR)*** ou *Squat*, se apresenta inicialmente como falsas corrugações de películas polidas, nas quais se instalaram pequenos orifícios e/ou trincas superficiais no interior de uma ampla área do boleto, manchada em tom ferrugem ou negro. Esta anomalia é desenvolvida somente em trilhos nos quais o boleto sofreu tratamento térmico para torná-lo resistente ao desgaste. Ela não ocorre isoladamente, sendo geralmente acompanhada do amassamento ou afundamento do boleto. O *Dark Spot* pode originar fratura repetina no local e danificar os aros das rodas (formação de calos).

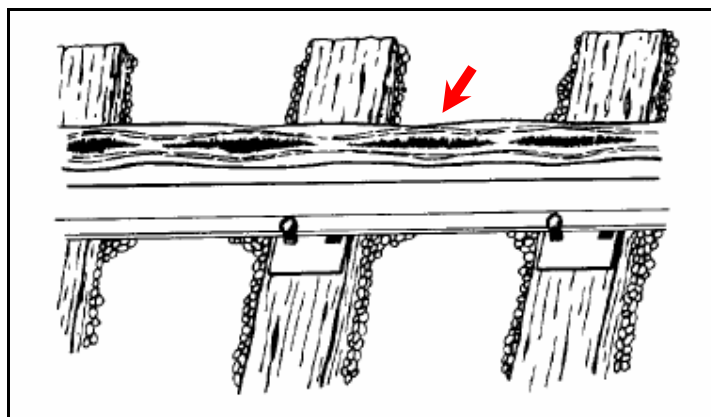


FIG. 4.19: Shelling na Superfície de Rolamento (Ilustração)
FONTE: TM-5-628 (1991)

Patinagem (FIG. 4.20), ou **Wheel Burn (WHB)**, é uma avaria na superfície de rolamento causada pelas rodas das locomotivas que por eventual insuficiência de aderência – entre as rodas e o trilho – ficam rodando no mesmo lugar (rodadas em falso). A fricção e o calor gerado nesses deslizamentos ocasionam uma escavação da superfície do trilho, com contornos irregulares e chamuscados, pelo que é também conhecido por queima do boleto. Em geral, se manifesta nas proximidades de pátios, de sinais e nos trechos de fortes rampas em que os trens pesados são obrigados a parar para depois retornar a sua marcha e ali não encontram condições favoráveis de aderência (trilho úmido, óleo e graxa sobre os trilhos). A partir desta anomalia, pode haver a formação de trincas transversais ao boleto (trincas térmicas) em volta da marca deixada pela patinagem e o trilho adquirir o fissuramento transversal interno, que pode progredir até uma fratura completa.



FIG. 4.20: Patinagem
FONTE: FCA (2007, b)

Escoamento do Metal do Boleto (FIG. 4.21), ou ***Flowed Rail (FLR)***, é uma deformação plástica que altera o contorno do boleto do trilho sem afetá-lo na sua estrutura. Essa irregularidade resulta da ação combinada de elevadas forças de compressão e de arrasto geradas pelo repetidos “passeios” dos aros das rodas sobre o seu caminho de rolamento. Como consequência dessas ações há um “repuxado” ou “escorrimento” do aço para além da face externa do boleto com formação de rebarbas ou apêndices externos. Esta anomalia pode afetar a transposição dos trilhos quando o trilho externo desgastar. Transposição do trilho é a operação de mútuo deslocamento paralelo dos trilhos de uma fila oposta com decorrente inversão das faces laterais do boleto que se desgastaram em serviço.

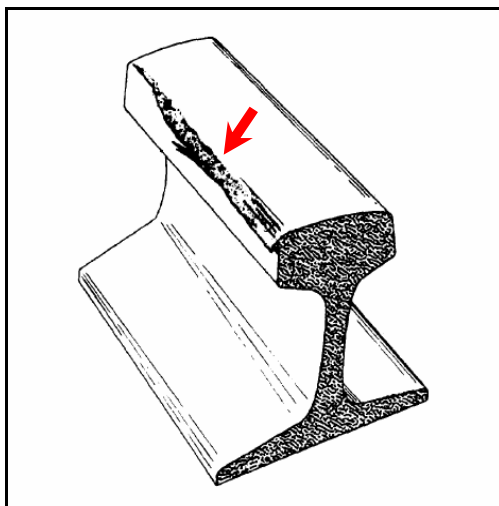


FIG. 4.21: Escoamento do Metal do Boleto (Ilustração)
FONTE: TM-5-628 (1991)

Esmagamento do Boleto, (FIG. 4.22), ou ***Crushed Head (CRH)***, se manifesta em um segmento do trilho, no qual o aço de que é feito apresenta uma queda na sua resistência mecânica, que o torna inadequado para suportar as elevadas cargas que continuamente passam sobre ele. Há um abaulamento e um alargamento do boleto no local e ao longo do defeito. Esta anomalia leva a uma queda na resistência mecânica do trilho, que o torna inadequado para suportar as elevadas cargas que continuamente passam sobre ele. A anomalia ocorre principalmente nos trilhos internos das curvas provocando um “galope” nos veículos que sobre ele trafegam.

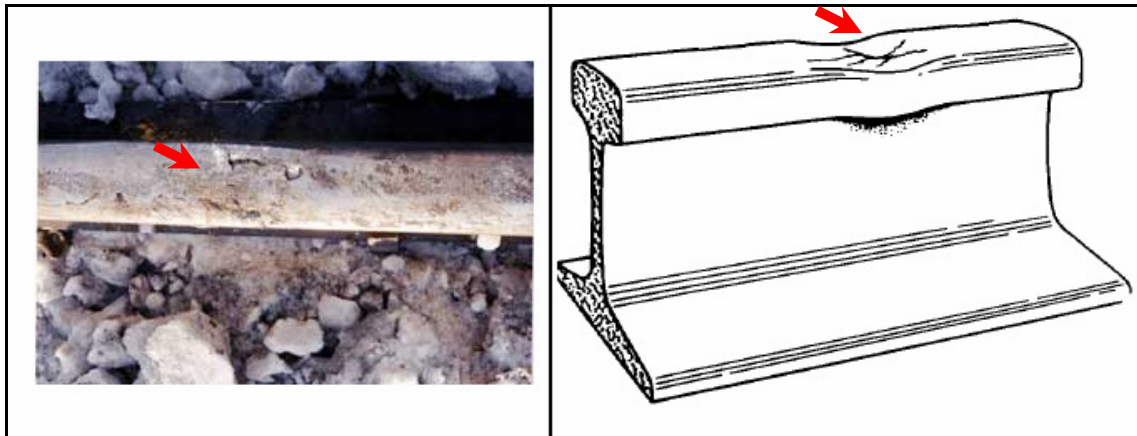


FIG. 4.22: Esmagamento do Boleto
FONTE: TSB (2002); TM-5-628 (1991)

Sulco no Boleto (FIG. 4.23), ou **Long Groove (LNG)**, é uma anomalia de fabricação que se manifesta na superfície do boleto indicado por uma quase imperceptível mancha retilínea nas imediações de uma das suas faces laterais. É uma anomalia progressiva uma vez que a mancha evolui em trinca, também retilínea e pouco profunda, com 2 ou 3mm. Ocorre com mais freqüência nos trilhos com boleto não tratado termicamente, sendo muito comum a fratura do boleto na posição em que o sulco se instalou.

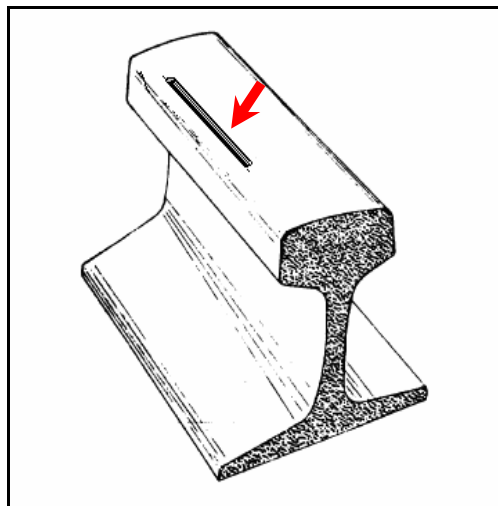


FIG. 4.23: Sulco no Boleto
FONTE: Adaptado pelo autor de TM-5-628 (1991)

- ANOMALIAS TRANSVERSAIS (CVRD, 2001, p.85 a 93)

É qualquer anomalia interna capaz de, progredindo, gerar uma fratura transversal do trilho. São detectáveis por ultra-som e se classificam em Fissuração Transversal, Fissuração Composta e Fratura de Fragmentação.

Fissuração Transversal (FIG. 4.24), ou ***Transversal Fissure (TRF)***, é uma fratura progressiva que se desenvolve a partir de um núcleo ou centro cristalino no interior do boleto, do qual ela se expande para fora como uma superfície lisa, brilhante ou não, de forma oval ou circular. A anomalia cresce lentamente até alcançar cerca de 25% da área do boleto, depois cresce rapidamente até a fratura.

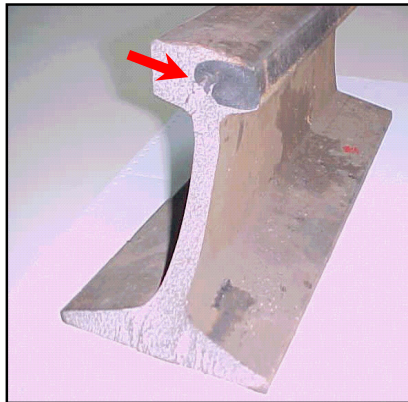


FIG. 4.24: Fissuração Transversal
FONTE: STEFFLER (2007)

Fissuração Composta (FIG. 4.25), ou ***Compound Fissure (CMF)***, é uma fratura progressiva no boleto do trilho, iniciando como uma separação horizontal depois mudando para uma direção vertical, para cima e para baixo, para formar uma fratura em dois planos, um dos quais atinge a superfície de rolamento. Do mesmo modo que a Fissuração Transversal inicia em uma segregação ou inclusão interna com crescimento lento até um tamanho de entre 30 a 35% da área do boleto.

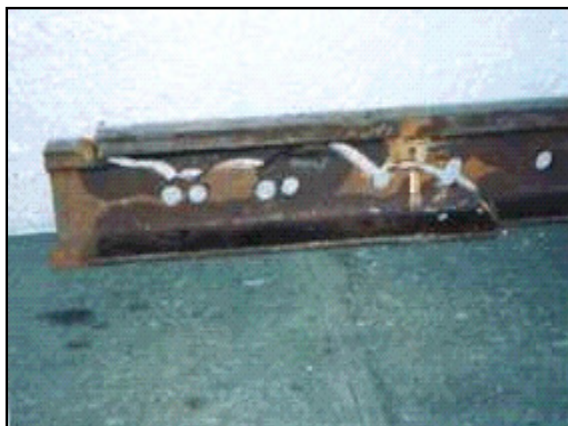


FIG. 4.25: Fissuração Composta
FONTE: STEFFLER (2007)

Fratura de Fragmentação, ou ***Detail Fracture (DFR)***, é uma fratura progressiva que inicia por uma separação longitudinal próxima da superfície de rolamento dirigindo-se para baixo para formar uma separação transversal. Essa fratura não deve ser confundida com a fissuração transversal que é nucleada, e nem com a fissuração composta em que a fratura é exibida com dois planos de separação. A fratura de fragmentação pode crescer de um *Shelling* ou de *Head Checks*.

- ANOMALIAS NAS SOLDAS E JUNTAS (CVRD, 2001, p.103 a 107)

As anomalias que se manifestam nas soldas e juntas aqui consideradas são geralmente de duas naturezas:

- vibrações geradas por **caroço** e **canoa** nas regiões das soldas dos trilhos que, por sua vez, podem produzir corrugações, trincas e amassamento localizados e
- **martelamento** das junções mecânicas pela passagem das rodas pelas folgas deixadas para a dilatação do trilho o que pode causar uma fratura do trilho através dos furos na alma para a passagem dos parafusos e desnivelar a junta além de implicações com a sinalização.

O **Caroço (CAR)** (FIG. 4.26) e a **Canoa (CAN)** são respectivamente pontos altos ou depressões com entre 5 a 10 cm de comprimento e profundidade de 1 milímetro, que se manifestam nas soldas dos trilhos sob a ação do tráfego, nas zonas afetadas pelo calor de fusão desenvolvido nos processos de soldagem. As duas anormalidades descritas dão lugar à formação de corrugações de ondas curtas e, na passagem do trem transmitem a impressão de que a junção dos trilhos é feita por dispositivos mecânicos, devido ao ruído metálico que emitem causados por vibrações transmitidas às ferragens dos truques.

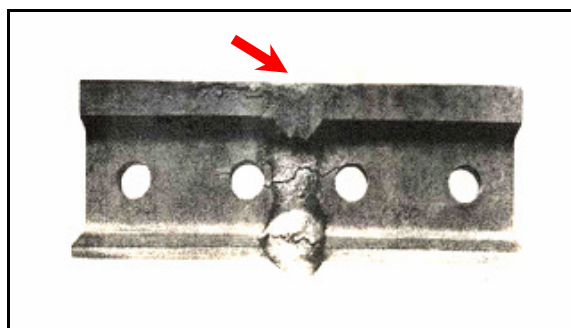


FIG. 4.26: Caroço
FONTE: STEFFLER (2007)

O **Martelamento (MAR)** (FIG. 4.27) é uma anomalia comum nas junções mecânicas – talas parafusadas nas faces da alma – traduzido pelo choque e martelamento da junta pelas rodas do material rodante em sua passagem pela folga deixada para a dilatação do trilho. Este martelamento pode vir a alterar o nivelamento da junta e causar o escoamento longitudinal do aço das pontas dos trilhos das junções, fechando a folga. Se a via for sinalizada, pode levar à destruição do end-post (isolador elétrico do topo do trilho) permitindo a passagem de corrente elétrica que deveria ser bloqueada para dar a correta indicação dos sinais controladores do tráfego entre estações. Esta anormalidade pode ser atenuada pelo biselamento do topo dos trilhos na montagem das suas junções.

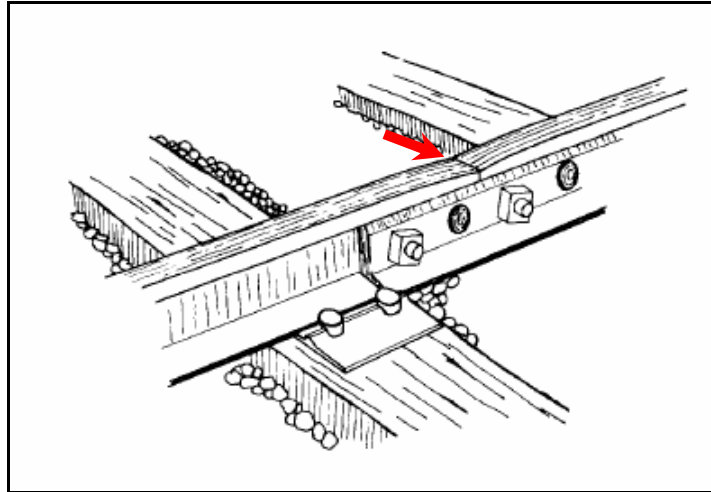


FIG. 4.27: Martelamento

FONTE: TM-5-628 (1991)

- DESGASTES DO BOLETO (CVRD, 2001, p.95 a p.101)

Os desgastes do boleto são uma consequência natural do seu uso em serviço, sendo subdivididos em desgaste lateral, desgaste vertical anormal e desgaste ondulatório.

O **Desgaste Lateral** (FIG. 4.28), também conhecido por ***Lateral Wear (LTW)*** ou chanframento do trilho, é uma anomalia adquirida pelo contato dos frisos das rodas durante a inscrição dos veículos nas curvaturas do traçado. Atinge principalmente os trilhos externos das curvas de pequenos raios, podendo, todavia, ocorrer em tangentes em virtude de um movimento anormal dos truques, denominado “*hunting*”. Esta anomalia é adquirida pelo contato dos frisos das rodas durante a inscrição dos veículos nas curvaturas do traçado, o que causa o enfraquecimento do trilho a tal ponto que possa vir a provocar uma fratura.



FIG. 4.28: Desgaste Lateral

FONTE: FCA (2007, b)

O **Desgaste Vertical Anormal** ou ***Abnormal Vertical Wear (AVW)***, é resultante da ação do tráfego por um longo período aliado com a falta ou descuido da inspeção dos trilhos das tangentes onde as frenagens são freqüentes. A redução excessiva da altura dos trilhos pode levar a uma fratura. A identificação da anormalidade pode ser caracterizada pela excessiva largura (achatamento) assumida pelo boleto que se apresenta geralmente com escoamento do aço.

Os dois tipos de desgastes apresentados, o Desgaste Lateral e o Desgaste Vertical anormal, podem ser sensivelmente atenuados se o traçado for projetado com amplos raios de curvatura – acima de 1000m e rampas suaves – abaixo de 0,5%. Além disso, pode-se diminuir este tipo de desgaste com a prática de uma controlada lubrificação da face da bitola dos trilhos superelevados, uma vez que a lubrificação em excesso estimula a formação de *Shelling*.

O **Desgaste Ondulatório** (FIG. 4.29), ou ***Corrugation Rail (COR)***, está associado com as ações exercidas pelo tráfego e pode ser classificado em ondas curtas ou longas. As ondas curtas apresentam comprimento de onda de 3 a 8 cm e longas, de 8 a 30 cm. Esta anomalia deve ser permanentemente investigada e saneada dadas as conseqüências danosas que ela causa ao material rodante e à via, onerando o custo de sua manutenção.

No tocante à Via Permanente essas conseqüências se traduzem em:

- ruídos de grande intensidade (108 a 120 dB);

- diminuição da periodicidade do ciclo de socaria, de desguarnecimento e limpeza do lastro;
- afrouxamento dos parafusos de fixação da placa ao dormente;
- diminuição da vida útil do dormente e
- perda de confiabilidade de segurança da via.

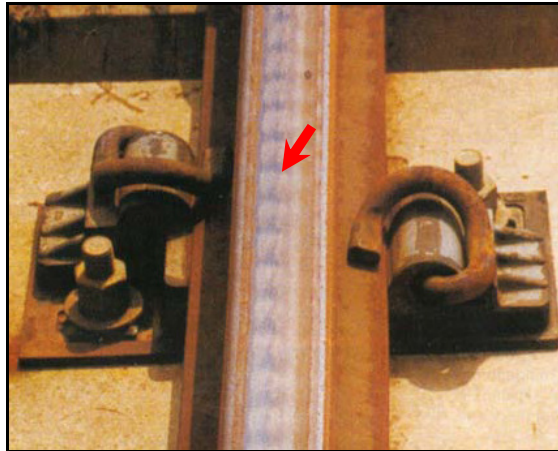


FIG. 4.29: Desgaste Ondulatório
FONTE: SEMPREBONE (2006, p.50)

A seguir, na TAB. 4.1 são apresentadas as anomalias nos trilhos mencionados neste item.

TAB. 4.1: Principais Anomalias nos Trilhos

LONGITUDINAIS	TRANSVERSAIS	SUPERFICIAIS	DESGASTES	SOLDAS E JUNTAS
• Trinca Vertical (<i>Vertical Crack</i> – VCR) • Trinca Horizontal (<i>Transversal Crack</i> – TCR) • Trinca na concordância boleto/alma (<i>Cracking at head/web Fillet Radius</i> – TBA) • Trinca na concordância alma/patim (<i>Cracking at web/foot Fillet Radius</i> – TAP) • Trinca estelar na furação (<i>Bolt Hole Crack</i> – BHC)	• Fratura Transversal (<i>Transversal Fracture</i> – TRF) • Fratura Composta (<i>Compound Fracture</i> – CMF) • Fratura de Fragmentação (<i>Detail Fracture</i> – DFR)	• Fissuração do canto da bitola (<i>Head Checks</i> – HDC) • Escamação no boleto (<i>Flaking</i> – FLK) • Estilhamento do canto da bitola (<i>Spalling</i> – SPA) • Despedaçamento do canto da bitola (<i>Shelling</i> – SHL) • <i>Shelling</i> na superfície do boleto (<i>Dark Spot</i> – DAR) • Patinagem (<i>Wheel Burn</i> – WHB) • Escoamento (<i>Flowed Rail</i> – FLR) • Esmagamento (<i>Crushed Head</i> – CRH) • Sulco no boleto (<i>Long Groove</i> – LNG)	• Desgaste lateral (<i>Lateral Wear</i> – LTW) • Desgaste Vertical Anormal (<i>Abnormal Vertical Wear</i> – AVW) • Desgaste Ondulatório (<i>Corrugation rail</i> – COR)	• Caroço (CAR) • Canoa (CAN) • Martelamento (MAR)

4.3.2 ACESSÓRIOS DE FIXAÇÃO

As anomalias na fixação são resultantes do **desgaste mecânico** dos componentes (grampo de linha, *tirefond*, placa de fixação, retensor, etc.) originados pela ação dos diversos esforços verticais e horizontais que atuam dinamicamente sobre a Via Permanente. Estes componentes também podem sofrer outras intervenções do meio externo como a **oxidação** das peças e **vandalismo** (retirada de peças).

4.3.3 DORMENTE

As anomalias apresentadas no dormente são aquelas originadas naturalmente pelo seu uso em serviço e pela ação do meio ambiente, entre elas:

- **fratura transversal** do dormente na região central ou na região de apoio do trilho;
- **fissuras longitudinais** na parte superior do dormente permitindo o afrouxamento da fixação;
- **desgaste** da região da placa de apoio permitindo o movimento lateral da placa de apoio e
- **apodrecimento** das fibras devido a ação do meio ambiente (dormente de madeira).

Estas anomalias são ilustradas nas FIGURAS 4.30, 4.31, 4.32, 4.33 e 4.34 a seguir.

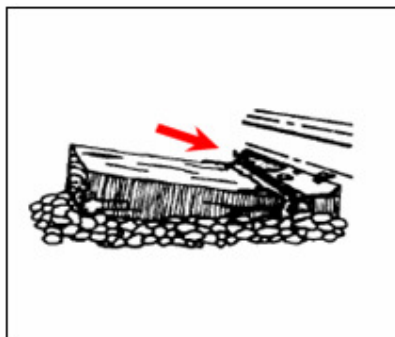


FIG. 4.30: Dormente Quebrado na Área de Apoio
FONTE: TM-5-628 (1991)

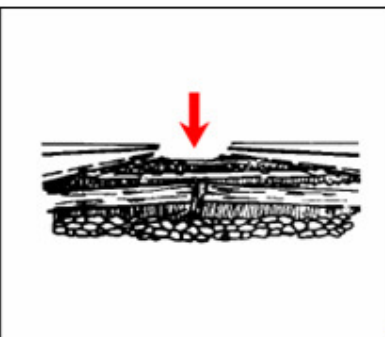


FIG. 4.31: Dormente Quebrado na Região Central
FONTE: TM-5-628 (1991)

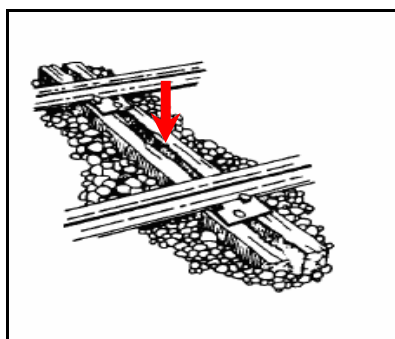


FIG. 4.32: Dormente com Fissura Longitudinal
FONTE: TM-5-628 (1991)

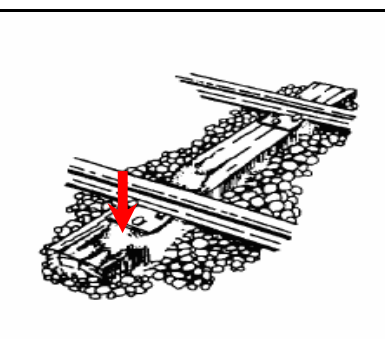


FIG. 4.33: Desgaste da Região da Placa de Apoio
FONTE: TM-5-628 (1991)



FIG. 4.34: Dormente de Madeira Apodrecido
FONTE: MRS (2007, e)

4.3.4 LASTRO

As anomalias no lastro estão relacionadas com a formação de **bolsão de lama** e **crescimento da vegetação** na faixa de domínio da via, o que dificulta a drenagem superficial e subterrânea (FIG. 4.35), e com a existência de **vazios** (lastro laqueado) (FIG. 4.36) em virtude de finos gerados pelo desgaste das partículas frente à solicitação do tráfego.



FIG. 4.35: Lastro Colmatado
FONTE: ABGE, 2007

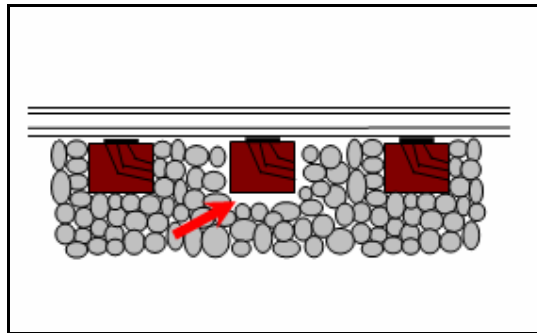


FIG. 4.36: Vazios no Lastro

4.4 A MANUTENÇÃO DA VIA PERMANENTE

Para BRINA (1979, p.234) qualquer variação na posição dos trilhos, dos dormentes, do lastro, ou o mau funcionamento dos acessórios de fixação,

compromete a qualidade geométrica da via, exigindo intervenções de manutenção sempre que certos limites de segurança ou de conforto forem alcançados.

A Via Permanente é construída de modo a ser renovada quando o seu desgaste atinge o limite de tolerância exigido pela segurança ou comodidade da circulação e a ter substituídos seus principais constituintes pela intensidade de tráfego ou pelo aumento de peso do material rodante (CASTELLO BRANCO *et al.*, 2002, p.202).

Segundo CASTELLO BRANCO *et al.* (2002, p.159), no início da atividade ferroviária, o planejamento das atividades de manutenção da Via Permanente tinha por base as inspeções e prospecções realizadas a pé. A baixa produtividade e as interrupções inoportunas do tráfego (pouca confiabilidade) eram realidade corrente. Com o desenvolvimento tecnológico melhoraram as formas de levantar e armazenar os dados coletados, bem como de compará-las às tolerâncias estabelecidas.

Na norma IVR – I (RFFSA, 1978) *apud* RODRIGUES (2001, p.46) classificam os processos de intervenção de manutenção em uma Via Permanente como de conservação, de remodelação e de renovação.

De modo geral, os trabalhos de **conservação** da via, são o conjunto de atividades necessárias para manter a qualidade da mesma dentro de padrões aceitáveis buscando, a cada intervenção, atingir níveis de qualidade mais próximos quanto possível do nível inicialmente estabelecido no projeto construtivo (RODRIGUES, 2001, p.46). Os serviços de conservação podem ser realizados por três métodos: conservação eventual, conservação cíclica e conservação com base no acompanhamento da degradação da via. A **conservação eventual** consiste na reparação dos defeitos à medida que vão ocorrendo. Estes serviços, normalmente não são programados, portanto trata-se do método mais rudimentar de conservação. A **conservação cíclica**, o método mais empregado pelas ferrovias do mundo todo é executado com cronograma fixo, com o pressuposto que a via se degrada com taxa uniforme e conhecida em toda a sua extensão. A **conservação com base no estado de degradação da via**, parte do pressuposto que os recursos disponíveis são suficientes para toda a extensão degradada e que os trechos selecionados necessitam de manutenção na sua extensão total.

Os trabalhos de **remodelação**, caracterizados pela substituição de significativa quantidade de componentes da Via Permanente, têm como objetivo recuperar o nível de qualidade inicial da via e dilatar o ciclo das intervenções de Conservação

sem, contudo, alterar as características dos componentes inicialmente empregados na construção da via (RODRIGUES, 2001, p.47).

Os trabalhos de **renovação** objetivam, através da alteração das características dos seus componentes, dotar a via de um nível de qualidade maior do que o inicialmente estabelecido em sua construção, quando estes não mais atendem as solicitações operacionais (RODRIGUES, 2001, p.47).

4.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise dos parâmetros geométricos é de fundamental importância para o planejamento da manutenção de uma ferrovia, pois através disto, é possível diagnosticar o nível de degradação da Via Permanente, identificar os trechos em pior estado e com isso dimensionar os serviços de correção geométrica que fazem parte da manutenção da Via Permanente.

O conhecimento visual das diversas anomalias de trilhos é essencial para uma correta investigação de descarrilamentos, e também para a formação de bancos de dados a respeito dos mesmos.

O conhecimento das anomalias e dos limites de desgaste dos componentes da Via Permanente são de suma importância para a área de manutenção devido às questões técnicas e de segurança envolvidas, haja vista que, dependendo do grau de severidade do defeito, eleva-se o risco de ocorrência de impactos ambientais negativos na faixa do domínio da ferrovia.

No próximo capítulo são apresentados os impactos ambientais negativos, suas causas e as medidas mitigadoras associadas às atividades que propiciam a operação do sistema ferrovia.

5 A OPERAÇÃO DO SISTEMA FERROVIÁRIO: ATIVIDADES, IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS E MEDIDAS MITIGADORAS ASSOCIADAS

Neste capítulo, são apresentados os impactos ambientais negativos possíveis de serem causados por cada uma das atividades relacionadas à operação do sistema ferroviário e as medidas mitigadoras associadas.

5.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Segundo a resolução n.º 001/1986 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais, e para quais, medidas mitigadoras e corretivas devem ser previstas para evitar a formação de passivo ambiental.

Passivo Ambiental é o conjunto dos componentes ambientais afetados além dos níveis considerados aceitáveis por lei ou estabelecidos na política da empresa pela natureza das atividades desenvolvidas. Sua identificação e tratamento se consolidam como responsabilidade social, obrigação oficial ou de próprio interesse de quem desenvolve a atividade causadora do passivo que deve ser restaurado em prol da qualidade de vida e do desenvolvimento sustentável.

As atividades relacionadas à operação ferroviária, diretamente associadas ao uso da Via Permanente, tendem a provocar alguns impactos ambientais negativos nas respectivas áreas de influência.

Segundo a resolução do CONAMA N.º 349 (Art. 2º, inciso IV), de 16 de agosto de 2004, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de empreendimentos ferroviários e sobre a regularização dos empreendimentos em operação, a operação

ferroviária corresponde às atividades relacionadas com a **circulação do material rodante**, as **atividades de manutenção da Via Permanente** e as **atividades nas unidades de apoio**.

A seguir, para cada uma das atividades mencionadas, são apresentados os impactos ambientais negativos possíveis de acontecerem, suas causas e algumas medidas mitigadoras que possam evitar a formação de passivo ambiental. Ressalta-se, no entanto, que algumas atividades desenvolvidas nas unidades de apoio, não afeta diretamente os componentes da Via Permanente, contudo são apresentadas a título de informação.

5.2 IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS PROVOCADOS PELA CIRCULAÇÃO DO MATERIAL RODANTE, SUAS CAUSAS E MEDIDAS MITIGADORAS ASSOCIADAS

Segundo FOGLIATTI *et al.* (2004, p.125) e CRUZ (2004, p.56), em decorrência das atividades desenvolvidas durante a circulação do material rodante, os seguintes impactos ambientais negativos podem ser provocados:

- poluição sonora, que por sua vez, pode provocar a alteração na saúde e no comportamento humano e dos animais que vivem próximos à área de influência da linha férrea ;
- vibração, que por sua vez, pode provocar alterações estruturais dos empreendimentos próximos à área de influência da linha férrea e desconforto aos habitantes próximos à via férrea;
- ocorrências indesejadas na linha férrea, como acidentes, atropelamentos, descarrilamentos do material rodante, etc.;
- poluição atmosférica e
- poluição do solo e da água.

Cada um destes impactos, suas fontes e medidas mitigadoras são apresentadas a seguir.

- POLUIÇÃO SONORA

A poluição sonora é a difusão do som acima do limite suportado pelos organismos vivos.

Este limite é estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e algumas das consequências na saúde humana estão apresentadas na TAB. 5.1, a seguir.

TAB. 5.1: Níveis de Ruídos e suas Consequências

NÍVEL DE RUÍDO	CONSEQUÊNCIAS
Até 50 dB	Leve perturbação
Maiores que 55 dB	Estresse leve, desconforto
Maiores que 65 dB	Desequilíbrio bioquímico, risco de enfarte e derrame cerebral
Maiores que 80 dB	Liberação de morfina biológica
Maiores que 100 dB	Perda imediata da audição

FONTE: SOUZA (1992) apud PEREIRA (2000, p.84)

De acordo com o manual de defeitos em trilhos da CVRD (2001, p. 131), os desgastes ondulatórios ou corrugações, que se manifestam na superfície do boleto, podem gerar ruídos irritantes e de grande intensidade, na ordem de 108 a 120 dB. Entre as fontes causadoras de ruído, em virtude das atividades desenvolvidas para a circulação do material rodante, destacam-se (WATKINS, 1972 *apud* PEREIRA, 2000, p.83):

- atrito entre a roda e o trilho;
- impacto da roda na junção dos trilhos;
- irregularidades da via;
- utilização de dormentes de aço e
- funcionamento da locomotiva (ruídos derivados do motor, cilindros, engrenagem, pistão, etc.).

As seguintes medidas podem atuar como mitigadoras deste impacto pois reduzem o nível de ruído gerado pela circulação do material rodante:

- ◆ construção de barreiras de som de acrílico ou vegetal;
 - ◆ manutenção, recondicionamento ou substituição dos componentes danificados da Via Permanente;
 - ◆ utilização de equipamento de proteção auricular por parte dos funcionários da ferrovia;
 - ◆ utilização de palmilha de borracha entre o trilho e sua placa de apoio e
 - ◆ utilização de Trilhos Longos Soldados (TLS) a fim de reduzir o número de talas de junção na via.
-
- VIBRAÇÃO

Vibração é uma oscilação mecânica em torno de uma posição de referência que pode provocar problemas estruturais em construções próximas à dita posição, assim como, efeitos adversos sobre o comportamento e na saúde humana, animal e vegetal.

No caso da ferrovia, este tipo de problema pode ser observado com maior frequência nos trechos elevados e subterrâneos. CRUZ (2004, p.59) cita, em seu trabalho, limites de vibração para trecho em superfície ou em túnel para Via Permanente lastrada ou rígida. Estes limites são apresentados na TAB.5.2, a seguir.

TAB. 5.2: Nível de Vibração em dB (V)

TRECHO	TIPO DE VIA PERMANENTE	NÍVEL DE VIBRAÇÃO [dB (V)]
Superfície	Lastrada	90
Túnel	Lastrada	96
Túnel	Rígida (com absorção)	96
Túnel	Rígida (sem absorção)	97

FONTE: TASCHENBUCH DER TECHNISCHEN AKUSTIC (1995), LAGE (2003)
apud CRUZ (2004, p.59)

Entre as fontes causadoras de vibrações em virtude da circulação do material rodante, podem ser citadas:

- impacto da roda na junção dos trilhos e
- irregularidades da via.

A fim de reduzir o nível de vibrações geradas pela circulação do material rodante, devem ser adotadas medidas mitigadoras como:

- ◆ manutenção, recondicionamento ou substituição dos componentes danificados da Via Permanente;
- ◆ utilização de palmilha de borracha entre o trilho e sua placa de apoio;
- ◆ utilização de Trilhos Longos Soldados (TLS) e
- ◆ utilização do sistema massa-mola, que pode ser entendido como uma massa com apoio elástico que, em função do dimensionamento deste último e da massa da laje permite o amortecimento das vibrações [REVISTA FERROVIÁRIA (1998) *apud* PEREIRA (2000, p.87)].

- Ocorrências indesejadas na linha férrea

As ocorrências indesejadas na linha férrea associadas à circulação do material rodante incluem todo tipo de acidentes em passagem em nível (FIG. 5.1), em cruzamentos, ou ao longo da via que impactam o meio antrópico ou biótico.



FIG. 5.1: Acidente no Cruzamento da Linha Férrea (Carambeí/PR)
FONTE: Prefeitura Municipal de Carambeí/PR (2006)

Estas ocorrências têm como fatores causadores:

- invasão da faixa de domínio, seja pelos homens, animais ou outros veículos;
- passagens em nível críticas com falta ou inadequada sinalização;
- negligência humana (má condução do trem, desrespeito às normas de sinalização, falhas de comunicação, vandalismo, etc.);
- formação inadequada das composições (má distribuição da carga por eixo) e
- irregularidades da via.

A FIG. 5.2 ilustra o exemplo de invasão da faixa de domínio da linha férrea próxima ao acesso ao porto da cidade do Rio de Janeiro/RJ e a FIG. 5.3 ilustra o exemplo de passagem em nível crítica na cidade de São José do Rio Preto/SP.



FIG. 5.2: Invasão de Faixa de Domínio (Rio de Janeiro/RJ)
FONTE: ANTF (2007, b)



FIG. 5.3: Passagem em Nível Crítica (São José do Rio Preto/SP)
FONTE: ANTF (2007, b)

CRUZ (2004, p.63) recomenda como medidas mitigadoras deste impacto:

- ◆ manutenção e fiscalização da via e da faixa de domínio da mesma a fim de se inibir as invasões;
- ◆ construção de muros de concreto com o objetivo de coibir a construção de moradias na faixa de domínio da ferrovia (FIG. 5.4);
- ◆ construção de cruzamentos em ângulo reto a fim de melhorar a visibilidade do maquinista;

- ◆ construção de passagens secas para a circulação de animais;
- ◆ construção de cruzamentos de rodovias com a ferrovia em níveis diferentes (FIG. 5.5);
- ◆ instalação e manutenção adequada da sinalização da via;
- ◆ manutenção, recondicionamento ou substituição dos componentes danificados da Via Permanente;
- ◆ planejamento das composições com tração distribuída conforme a quantidade de vagões, a fim de distribuir melhor a concentração de carga;
- ◆ proteção das passagens em nível por barreiras corrediças, giratórias ou oscilantes e
- ◆ retirada da vegetação lateral da via para propiciar uma boa visibilidade.



FIG. 5.4: Muro de Concreto
FONTE: ANTF (2007, b)



FIG. 5.5: Cruzamento de Rodovia e Ferrovia em níveis diferentes
FONTE: ANTF (2007, b)

- **POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA**

Entende-se por poluição atmosférica, a presença na atmosfera aberta de um ou mais agentes contaminantes como poeira, fumaça, gás, névoa, odor ou vapor em quantidades, de características ou duração, que seja prejudicial aos seres humanos, plantas, vida animal ou propriedades (móveis ou imóveis), ou que interfira de forma

relevante no aproveitamento confortável da vida ou da propriedade (PEREIRA e WANG, 1979 *apud* PEREIRA, 2000, p.87).

A emissão de poluentes na atmosfera afeta os meios biótico, antrópico e físico pela destruição da clorofila das plantas assim como a capacidade respiratória e a acuidade visual do homem e dos animais.

Os principais poluentes liberados em virtude do funcionamento das locomotivas, movidas a diesel, são (CETESB, 1994 *apud* PEREIRA, 2000, p.88): material particulado; monóxido de carbono; óxido de enxofre; hidrocarbonetos; aldeídos; ácidos orgânicos e óxidos de nitrogênio.

A resolução do CONAMA 003/1990 estabelece padrões para material particulado em suspensão, fumaça, partículas inaláveis, SO₂, CO, Ozônio e NO₂ para diferentes métodos de amostragem, conforme apresentado na TAB. 5.3, a seguir.

TAB. 5.3: Padrões de Qualidade do Ar

POLUENTE	PADRÃO	TEMPO DE AMOSTRAGEM	CONCENTRAÇÃO [µm ³]
Partículas Totais	Primário	Anual (1)	80
		24 h (2)	150
	Secundário	Anual (1)	60
		24 h (2)	150
Dióxido de Enxofre	Primário	Anual (1)	80
		24 h (2)	365
	Secundário	Anual (1)	40
		24 h (2)	100
CO	Primário e Secundário	8 h (2)	10.000
		1 h (2)	40.000
Ozônio	Primário e Secundário	1 h (2)	160
NO ₂	Primário	Anual (3)	100
		1 h (2)	320
	Secundário	Anual (3)	100
		1 h (2)	190

FONTE: Resolução 003/1990 do CONAMA

Além disso, o transporte de material particulado sem a devida proteção contribui para a poluição atmosférica da área de influência da operação ferroviária.

Para mitigar a poluição do ar devem ser adotadas medidas mitigadoras como:

- ◆ manutenção periódica das locomotivas;
 - ◆ priorização do uso de locomotivas elétrica-elétrica;
 - ◆ utilização de catalisadores nas locomotivas e
 - ◆ utilização de mantas de proteção da carga e/ou dextrina em solução aquosa.
-
- POLUIÇÃO DO SOLO E DO LENÇOL FREÁTICO (CRUZ, 2004, p.62)

A poluição do solo é definida como a adição de materiais que podem modificar qualitativa e quantitativamente as suas características naturais e utilizações do mesmo.

A poluição da água é a incorporação à água de materiais estranhos como microorganismos, produtos químicos, resíduos industriais e de outros tipos, ou esgoto doméstico.

Estas poluições afetam os meios biótico, antrópico e físico provocando a mortandade de peixes e da vegetação aquática, a inibição do crescimento das plantas e doenças em seres humanos e animais.

Entre as fontes causadoras destas poluições, em virtude da circulação do material rodante, podem ser citadas:

- derramamento de óleo diesel da locomotiva;
- poluentes liberados em virtude do funcionamento da locomotiva;
- transporte de material particulado sem a devida proteção;
- descarrilamento do material rodante transportando carga perigosa e
- lixiviação da água de chuva, que pode transportar para a área de influência da ferrovia, resíduos que caem ao longo da via devido a passagem da locomotiva e pelo transporte de material particulado se a devida proteção.

Este tipo de degradação ambiental poderá assumir maior gravidade na ocorrência de acidentes (FIG. 5.6) envolvendo o transporte de produtos perigosos,

em função das características explosivas, inflamáveis, tóxicas, oxidantes, corrosivas ou radioativas dos produtos transportados.

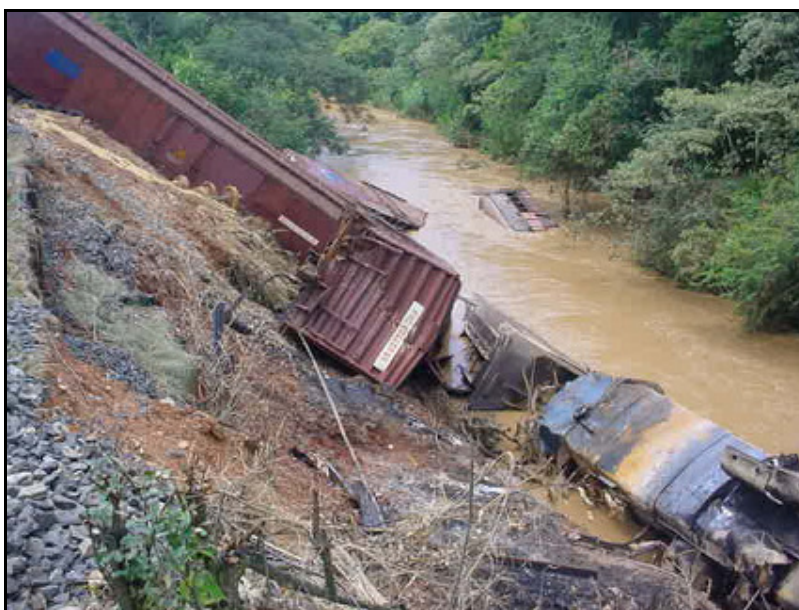


FIG. 5.6: Poluição do Solo e do Lençol Freático
FONTE: FCA (2007, b)

Como medidas mitigadoras para estes impactos devem-se adotar:

- ◆ cumprimento do Decreto n.º 98.973/90 para transporte de cargas;
- ◆ manutenção, recondicionamento ou substituição dos componentes danificados da Via Permanente;
- ◆ manutenção periódica das locomotivas e
- ◆ utilização de mantas de proteção da carga e/ou dextrina em solução aquosa.

5.3 IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS PROVENIENTES DA MANUTENÇÃO DA VIA PERMANENTE, SUAS CAUSAS E MEDIDAS MITIGADORAS ASSOCIADAS

Os serviços de manutenção da Via Permanente podem ser classificados em serviços de conservação, de remodelação da geometria da via e de renovação de seus componentes.

Os serviços de conservação, por sua vez, subdividem-se em serviços de limpeza da faixa de domínio e de limpeza e reparo de sistemas de drenagem, bueiros, canais e corta-rios.

A limpeza de faixa de domínio consiste na retirada do mato que cresce ao longo da linha (FIG. 5.7). Pode ser realizada manualmente, com uso de enxada, ou por processo químico, com uso de herbicida, chamado, neste caso, de capina química.



FIG. 5.7: Vegetação ao longo da via (Lastro Colmatado)
FONTE: FCA (2007, b)

A limpeza e reparo de sistemas de drenagem, bueiros, corta-rios e canaletas (FIG. 5.8) é realizada a fim de evitar entupimento e destruição desses elementos que, por sua vez, podem afetar a integridade da Via Permanente.



FIG. 5.8: Canaleta obstruída
FONTE: FCA (2007, b)

A utilização de capina química nos serviços de limpeza pode provocar danos ao meio ambiente pelo fato de que os herbicidas podem ser extremamente tóxicos, dependendo do tipo utilizado. Nesse caso, em contato com o solo, podem poluí-lo, bem como causar a contaminação de lençol freático, prejudicando o meio físico e biótico. O meio antrópico também pode ser prejudicado pelos danos que podem causar aos funcionários que trabalham diretamente com o produto, o qual é aspergido em jatos finos que poluem o ar pela formação de partículas, que ficam suspensas por longo período de tempo. Aspirar o ar assim poluído pode causar intoxicação e doenças pulmonares.

Os serviços de remodelação da geometria da via consistem na verificação dos parâmetros geométricos da Via Permanente e são realizados com o Veículo de Avaliação da Via.

Os serviços de renovação consistem na substituição e regularização dos componentes danificados da via (FIG. 5.9, FIG. 5.10 e 5.11) e são realizados com equipamentos especializados.



FIG. 5.9: Substituição de Dormentes
FONTE: CONSTRENCE (2007, b)



FIG. 5.10: Socaria e Regularização do Lastro
FONTE: CONSTRENCE (2007, a)



FIG. 5.11: Veículo Esmerilhador de Trilhos
FONTE: MRS (2007, d)

Os serviços de reconstituição e recondicionamento da via visam reduzir o número de acidentes decorrentes da operação, entretanto, aumenta-se o risco de acidentes envolvendo operários assim como o ruído na área de influência da ferrovia (FOGLIATTI *et al.*, 2004, p.127).

Como medidas mitigadoras destes impactos tem-se:

- ◆ utilização de Equipamento de Proteção Individual (EPI) pelos funcionários envolvidos nas atividades desenvolvidas nos serviços de recondicionamento da via;
- ◆ evitar, sempre que possível, o uso da capina química, priorizando a capina manual e
- ◆ realizar manutenção dos equipamentos envolvidos nos serviços de recondicionamento e reconstituição da via.

5.4 IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS PROVENIENTES DAS ATIVIDADES DESENVOLVIDAS NAS UNIDADES DE APOIO DA FERROVIA, SUAS CAUSAS E MEDIDAS MITIGADORAS ASSOCIADAS

Entendem-se como unidades de apoio da ferrovia os pátios, os terminais e as oficinas de manutenção que propiciam a operação ferroviária.

Pátios ferroviários são áreas destinadas às formações, manobras, transbordos e cruzamento de veículos ferroviários (FIG. 5.12).



FIG. 5.12: Pátio Ferroviário
FONTE: SESCSP (2007)

Terminais ferroviários são os pontos nos quais os passageiros (FIG. 5.13) ou as cargas (FIG. 5.14) entram e saem do sistema.



FIG. 5.13: Terminal de Passageiros
FONTE: TREKEARTH (2007)



FIG. 5.14: Terminal de Carga
FONTE: Puerto Ventanas S.A (2007)

Oficinas de manutenção são locais construídos com o intuito de realizar os serviços de lubrificação, lavagem, troca de peças, reparos, etc., de locomotivas e vagões (FIG. 5.15).



FIG. 5.15: Oficinas de Manutenção
FONTE: RAILBUSS (2007)

Em decorrência das atividades desenvolvidas nestas unidades de apoio impactos ambientais negativos podem ser provocados, destacando-se entre eles:

- poluição sonora (nas oficinas devido a execução dos serviços de manutenção; nos pátios devido a necessidade de manobra do material rodante; nos terminais de carga devido o funcionamento dos equipamentos presentes nas operações de carga e descarga e no terminais de passageiros devido o elevado número de composições e de usuários);
- vibrações, que por sua vez, provocam alterações estruturais dos empreendimentos próximos às “unidades de apoio”;
- ocorrências indesejadas nas “unidades de apoio” como acidentes, atropelamentos, descarrilamentos do material rodante, etc;
- poluição atmosférica (nos terminais de carga devido a difusão aérea de graneis sólidos minerais nas operações de carga e descarga) e

- poluição do solo e da água (nas oficinas de manutenção em virtude dos efluentes gerados, na manutenção e lavagem do material rodante, como óleos e lubrificantes, embalagens, etc., e nos pátios e terminais em virtude do alto volume de composições realizando manobras).

CRUZ (2004, p.66) recomenda como medidas para mitigar estes impactos:

- ♦ utilização de EPI pelos funcionários envolvidos nas atividades desenvolvidas nas unidades de apoio;
- ♦ implantação de dispositivos como filtros, drenos retentores, aspersores contra difusão aérea;
- ♦ colocação de dispersores de água do tipo “sprinklers” e
- ♦ realização das operações de manutenção do material rodante em áreas pavimentadas, bem como devem ser instaladas caixas de areia e caixas separadoras de óleo a fim de que esses elementos não atinjam o solo e os cursos d água.

5.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme verificado no decorrer deste capítulo, são muitas as interferências com o meio ambiente durante a operação do sistema ferroviário. Além disso, no segmento ferroviário, seja no transporte de carga ou de passageiros, uma falha na operação acarreta prejuízos financeiros, e dependendo da gravidade dessa falha, perdas materiais ou até mesmo irreparáveis perdas de vidas podem acontecer.

Cabe mencionar que como medidas mitigadoras para todos os impactos mencionados neste capítulo, programas de educação ambiental divulgando a importância de observar regras de segurança, tanto para os funcionários quanto para a população do entorno, assim como, programas de treinamento dos funcionários em suas atividades, tem repercussão imediata para evitar a formação de Passivo Ambiental.

Para consolidar as informações descritas neste capítulo, a seguir, é apresentada a TAB. 5.4, onde são listados os impactos ambientais, suas possíveis causas e as medidas mitigadoras associadas às atividades que propiciam a operação e manutenção da Via Permanente.

No próximo capítulo é apresentada a técnica *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*, ferramenta de análise de falhas incorporada à *RCM*, a qual será utilizada na metodologia proposta neste trabalho.

TAB. 5.4: Operação da Via Permanente - Impactos Ambientais, suas possíveis Causas e as Medidas Mitigadoras

IMPACTOS	CAUSAS DOS POSSÍVEIS DOS IMPACTOS	MEDIDAS MITIGADORAS
DESLOCAMENTO DO MATERIAL RODANTE		
1. Poluição Sonora 2. Vibrações 3. Ocorrências Indesejadas na Linha Férrea 4. Poluição Atmosférica 5. Poluição do Solo e do Lençol Freático	• atrito entre a roda e o trilho (1) • funcionamento da locomotiva (1) • impacto da roda na junção dos trilhos (1, 2) • irregularidades da via (1, 2, 3) • utilização de dormentes de aço (1) • invasão da faixa de domínio (3) • passagens em nível críticas com falta ou inadequada sinalização (3) • negligência humana (3) • formação inadequada das composições (3) • poluentes liberados em virtude do funcionamento da locomotiva (4, 5) • derramamento de óleo diesel da locomotiva (5) • transporte de material particulado sem a devida proteção (4, 5) • descarrilamento do material rodante transportando carga perigosa (5); • lixiviação de material da Via Permanente pela água de chuva (5)	• construção de barreiras de som de acrílico ou vegetal (1) • manutenção, recondicionamento ou substituição dos componentes danificados da Via Permanente (1, 2, 3, 5) • utilização de equipamento de proteção auricular por parte dos funcionários da ferrovia (1) • utilização de palmilha de borracha entre o trilho e sua placa de apoio (1, 2) • utilização de Trilhos Longos Soldados (TLS) (1, 2) • utilização do sistema massa-mola (2) • manutenção e fiscalização da via e da faixa de domínio da mesma (3) • construção de muros de concreto com o objetivo de coibir a construção de moradias na faixa de domínio da ferrovia (3) • construção de cruzamentos em ângulo reto a fim de melhorar a visibilidade do maquinista (3) • construção de passagens secas para a circulação de animais (3) • construção de cruzamentos de rodovias com a ferrovia em níveis diferentes (3) • instalação e manutenção adequada da sinalização da via (3) • planejamento das composições com tração distribuída

		conforme a quantidade de vagões, a fim de distribuir melhor a concentração de carga (3) • proteção das passagens em nível por barreiras corrediças, giratórias ou oscilantes (3) • retirada da vegetação lateral da via para propiciar uma boa visibilidade (3) • treinamento dos maquinistas e dos operadores do CCO (3) • manutenção periódica das locomotivas (4, 5) • priorização do uso de locomotivas elétrica-elétrica (4) • utilização de catalisadores nas locomotivas (4) • utilização de mantas de proteção da carga e/ou dextrina em solução aquosa (4, 5) • cumprimento do Decreto n.º 98.973/90 (regulamento do transporte ferroviário de produtos perigosos)(5)
--	--	---

TAB. 5.5: Manutenção da Via Permanente - Impactos Ambientais, suas possíveis Causas e as Medidas Mitigadoras

IMPACTOS	CAUSAS DOS POSSÍVEIS DOS IMPACTOS	MEDIDAS MITIGADORAS
SERVIÇOS DE CONSERVAÇÃO DA VIA PERMANENTE		
1. Poluição do Solo e do Lençol Freático	- Falta de treinamento por parte dos funcionários da ferrovia (1) - Poluentes liberados em virtude do uso da capina química (1)	- realizar periodicamente o treinamento dos funcionários quanto aos cuidados com a segurança na operação destes serviços (1) - evitar, sempre que possível, o uso da capina química e priorizar a capina manual (1)
SERVIÇOS DE RECONSTITUIÇÃO DA GEOMETRIA DA VIA PERMANENTE		
1. Ocorrências Indesejáveis na Linha Férrea	- falta de treinamento por parte dos funcionários da ferrovia (1) - falta de manutenção dos equipamentos envolvidos nos serviços de reconstituição da via (1)	- realizar periodicamente o treinamento dos funcionários quanto aos cuidados com a segurança na operação destes serviços (1) - realizar periodicamente a manutenção dos equipamentos envolvidos nos serviços de reconstituição da via (1)
SERVIÇOS DE RECONDICIONAMENTO DA VIA PERMANENTE		
1. Poluição Sonora 2. Ocorrências Indesejáveis na Linha Férrea	- execução dos serviços inerentes ao recondicionamento da via (1, 2) - falta de treinamento por parte dos funcionários da ferrovia (1, 2) - falta de manutenção dos equipamentos envolvidos nos serviços de recondicionamento da via (1, 2)	- realizar periodicamente o treinamento dos funcionários quanto aos cuidados com a segurança na operação destes serviços (1, 2) - utilização de EPI pelos funcionários envolvidos nas atividades desenvolvidas nos serviços de recondicionamento da via (1, 2) - realizar manutenção dos equipamentos envolvidos nos serviços de recondicionamento e reconstituição da via (2)

TAB. 5.6: Operação nas Unidades de Apoio - Impactos Ambientais, suas possíveis Causas e as Medidas Mitigadoras

IMPACTOS	CAUSAS DOS POSSÍVEIS DOS IMPACTOS	MEDIDAS MITIGADORAS
OPERAÇÃO NAS UNIDADES DE APOIO (Pátios, Terminais de Carga e Oficina de Manutenção do Material Rodante)		
1. Poluição Sonora 2. Vibrações 3. Ocorrências Indesejadas na Linha Férrea 4. Poluição Atmosférica 5. Poluição do Solo e do Lençol Freático	• execução dos serviços de manutenção (oficina de manutenção) (1) • manobra do material rodante (pátios) (1, 2) • funcionamento dos equipamentos presentes nas operações de carga e descarga (terminais de carga) (1) • elevado número de composições e de usuários (terminais de passageiros) (1, 2)	• utilização de EPI pelos funcionários envolvidos nas atividades desenvolvidas nas unidades de apoio (1) • implantação de dispositivos como filtros, drenos retentores, aspersores contra difusão aérea (4) • colocação de dispersores de água do tipo “sprinklers” (4) • realização das operações de manutenção do material rodante em áreas pavimentadas, bem como devem ser instaladas caixas de areia e caixas separadoras de óleo a fim de que esses elementos não atinjam o solo e os cursos d água (5) • treinamento dos funcionários quanto aos cuidados com a segurança na operação destes serviços (3, 4, 5)

6 PROCEDIMENTO PROPOSTO

Nos capítulos anteriores foram descritos, de forma estanque, a Via Permanente ferroviária, seus componentes e suas respectivas funções, suas anomalias e os impactos ambientais negativos possíveis de serem causados na operação e manutenção de uma ferrovia.

No presente capítulo, onde se busca associar os modos de falha dos componentes da Via Permanente aos impactos ambientais negativos possíveis de serem causados na operação da linha férrea, todos os quesitos mencionados serão tratados em conjunto.

Para alcançar este propósito a técnica *Failure Mode, Effects and Criticality (FMECA)*, incluída na metodologia *Reliability Centered Maintenance (RCM)* se mostra adequada para o tratamento sistemático dos modos de falha e, por este motivo, terá especial atenção.

6.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nas últimas três décadas, em virtude principalmente da necessidade de maior disponibilidade e confiabilidade nos sistemas operacionais, serviços essenciais como saúde, telecomunicações, energia, saneamento e transporte passaram a depender totalmente de processos automáticos.

Nesse mesmo período se afirmou na humanidade a consciência da importância da preservação do meio ambiente exigindo melhor qualidade e maior garantia de desempenho na operação de processos e produtos industriais.

Esses fatores geraram as condições que motivaram o surgimento de metodologias de manutenção de sistemas destacando-se entre elas a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC), traduzido do inglês *Reliability Centered Maintenance (RCM)*.

Segundo LAFRAIA (2001, p.161), **manutenção** é um conjunto de ações destinadas a manter ou recolocar um item num estado específico no qual pode executar sua função requerida.

PINTO (2001, p.20) cita que a missão da área de manutenção é garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados.

MOUBRAY (2000) *apud* MARCORIN *et al.* (2003, p.6) define a **RCM** como “um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional”.

De acordo com a norma *SAE-JA-1011*⁶ *apud* SIQUEIRA (2005, p.16), a função da **RCM** é de determinar os requisitos de manutenção para modos de falha que possam causar falhas funcionais de quaisquer itens físicos em seu ambiente operacional.

Para isso a **RCM** procura obter respostas corretas e precisas a um conjunto de sete questões, colocadas em uma ordem seqüencial específica, aplicáveis ao sistema objeto da manutenção (SIQUEIRA, 2005, p.18):

1. quais as “**funções**” a preservar?
2. quais as “**falhas**” funcionais?
3. quais os “**modos de falha**”?
4. quais os “**efeitos**” das falhas?
5. quais as “**conseqüências**” das falhas?
6. quais as “**tarefas**” aplicáveis e efetivas?
7. quais as “**alternativas**” restantes?

Se antes a manutenção buscava preservar o equipamento, desativando-o, atuando em todos os itens e realizando tudo que era possível ser feito, a

⁶ SAE-JA-1011: Society of Automotive Engineers. Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard. SAE JA 1011, Warrendale, PA, USA, 1999

metodologia *RCM* propõe, segundo a norma IEC 60300.3.11⁷ e o relatório ATA MSG-3⁸: preservar as funções dos equipamentos, com a segurança requerida; restaurar sua confiabilidade e segurança projetada, após a deterioração; otimizar a disponibilidade; minimizar o custo do ciclo de vida; atuar conforme os modos de falha; realizar apenas as atividades necessárias; agir em funções dos efeitos e consequências da falha e documentar as razões para escolha das atividades realizadas (SIQUEIRA, 2005, p.16).

A TAB. 6.1 compara as características principais da *RCM* com a manutenção tradicional.

TAB 6.1: Comparação da Manutenção Tradicional com a *RCM*

Característica	Manutenção Tradicional	RCM
Foco	Equipamento	Função
Objetivo	Manter o equipamento	Preservar a função
Atuação	Componente	Sistema
Atividades	O que pode ser feito	O que deve ser feito
Dados	Pouca ênfase	Muita ênfase
Documentação	Reduzida	Obrigatória e Sistemática
Metodologia	Empírica	Estruturada
Combate	Deterioração do equipamento	Consequências das falhas
Normalização	Não	Sim
Priorização	Inexistente	Por função

FONTE: SIQUEIRA (2005, p.17)

Porém, como os componentes da maioria dos sistemas são diversos e suas características e funções variadas, com correspondentes vidas úteis e influências no sistema, estes componentes tornam-se mais ou menos críticos para o adequado funcionamento do sistema.

Tendo isto em vista, dentro da *RCM* foi incluída a técnica *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*, apresentada a seguir.

⁷ IEC 60300.3.11: Gestion de la Sureté de Fonctionnement – Partie 3.11. Guide d’application – Maintenance basée sur la fiabilité.

⁸ MSG – 3: Operator/Manufacturer Scheduled Maintenance Development, Air Transport Association of America. Washington, DC, USA.

6.2 A TÉCNICA FMECA

Incorporadas à metodologia *RCM* existem duas técnicas de tratamento de falhas relacionadas ao monitoramento da condição funcional dos equipamentos, sem a necessidade de desmonte ou desativação do item para inspeção, realizando a documentação sistemática das falhas possíveis. Elas são: ***Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*** e ***Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)***.

A Análise de Modos e Efeitos de Falhas, traduzido do inglês ***Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)***, é uma ferramenta utilizada para efetuar a análise de como um componente ou sistema pode falhar.

Um estudo de *FMEA*, segundo a norma *SAE-J-1739*⁹, envolve a identificação sistemática para cada componente de um sistema, dos seguintes aspectos: função, falha funcional, modos de falha, efeito da falha e causa da falha (SIQUEIRA, 2005, p.63).

Função é a finalidade para a qual um dispositivo, um equipamento, uma instalação ou um sistema foi desenhado, projetado ou montado (BRANCO FILHO, 2000 *apud* SOUZA, 2004, p.44).

Falha é definida como a interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada (SIQUEIRA, 2005, p.51). Estas podem ser classificadas pela extensão, manifestação, criticidade, velocidade, idade e origem e também em **falhas potenciais** ou **falhas funcionais**, e estas últimas, ainda em evidentes, ocultas e múltiplas conforme ilustrado na FIG. 6.1 (SIQUEIRA, 2005, p.51).

⁹ SAE-J -1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and assembly Processes (Process FMEA) Reference Manual. Warrendale, PA, USA, 1993

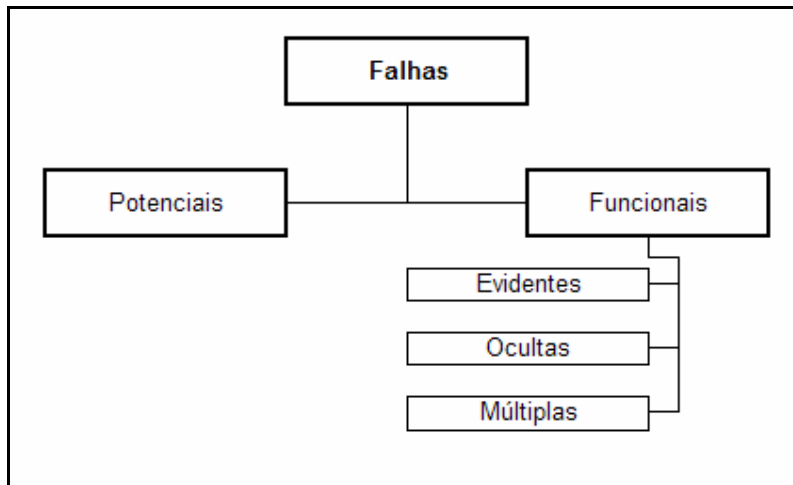


FIG. 6.1: Classificação das Falhas Segundo a MCC

FONTE: Adaptado de SIQUEIRA (2005, p.52)

Falha potencial é uma condição identificável e mensurável que indica uma falha funcional pendente ou em processo de ocorrência.

Falha funcional é a incapacidade de um item desempenhar uma função específica dentro de limites desejados de desempenho. A **falha evidente** é aquela detectada pela equipe de operação durante o trabalho normal. A **oculta** é aquela que não é detectada pela equipe de operação durante o trabalho normal e a **múltipla** é uma combinação de uma falha oculta mais outra falha que a torne evidente.

Note-se que os desvios de desempenho de funções são percebidos como falhas de forma diferente por cada usuário do sistema. Daí a importância de se ter uma equipe multidisciplinar para aplicação da metodologia *RCM*, pois caberá ao analista *RCM* negociar com os especialistas envolvidos qual a definição de falha que será adotada. Para fins práticos neste trabalho, todas as falhas identificadas serão relacionadas como **falhas funcionais**, mesmo considerando variações mínimas de desempenho com baixa ameaça à integridade física das pessoas e processos.

Os padrões de falha representam a frequência de ocorrência das falhas em relação à idade operacional de um componente. A *RCM* adota seis padrões de falha para caracterizar a vida dos componentes, conforme ilustrados na FIG. 6.2 (LAFRAIA, 2001, p.77 e SIQUEIRA, 2005, p.79).

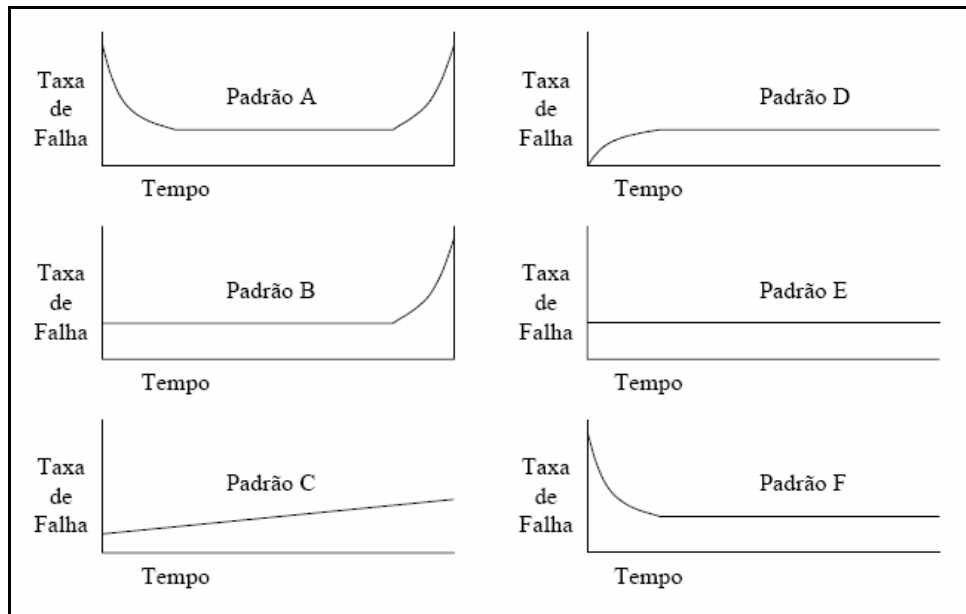


FIG. 6.2: Padrões da Falhas
FONTE: LAFRAIA (2001, p.77)

O *padrão A* é conhecido como a curva da banheira. Nesse padrão, há uma elevada ocorrência de falhas no início de operação do item físico, denominada mortalidade infantil, que decai para falhas constantes para, posteriormente, aumentar devido à degradação ou desgaste do equipamento.

O *padrão B* apresenta uma taxa de falha constante, seguida de uma zona de acentuado desgaste no fim da sua vida útil. Esse padrão descreve falhas relacionadas com a idade dos componentes.

O *padrão C* apresenta um aumento lento e gradual da taxa de falha, porém sem uma zona definida de desgaste. Uma possível causa para a ocorrência de padrões da falha tipo C é a fadiga.

O *padrão D* mostra baixa taxa de falha quando o item é novo e sofre posteriormente um rápido aumento da taxa de falha para um nível constante.

O *padrão E* mostra uma taxa de falha constante em qualquer período e o *padrão F* indica que uma maior taxa de falhas ocorre quando o componente é novo ou imediatamente após sua restauração. Esse padrão inicia-se com uma alta taxa de mortalidade infantil, que eventualmente cai para uma taxa da falha constante.

Na literatura técnica sobre o assunto verifica-se a distinção de três palavras básicas que determinam o nível de percepção de um problema, quais sejam: falha, erro e defeito. A **falha**, como já exposto, é o acontecimento que altera o padrão

normal de funcionamento de um dado componente do sistema. O **erro** é a transição do sistema do estado normal para anormal e o **defeito** é o não cumprimento da função pelo sistema. Desta maneira, uma falha pode gerar (ou não) um erro, que por sua vez, pode gerar (ou não) um defeito.

Modos de Falha é a descrição da maneira pela qual um item falha em cumprir com a sua função (SAE-JA-1011 *apud* SIQUEIRA, 2005, p.69).

Efeito da falha é a descrição do que acontece quando um modo de falha ocorre (MOUBRAY 2000 *apud* SOUZA, 2004, p.47 e SIQUEIRA, 2005, p.93).

Causa da Falha é a descrição da maneira como se origina um modo de falha.

Como variante da técnica *Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)*, a técnica ***Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*** acrescenta a análise de “**Criticidade**” da falha, que leva em consideração o cálculo do **Índice de Risco (IR)** produto de três parcelas: Severidade do Efeito da Falha, Probabilidade de Ocorrência da Falha e Probabilidade de Detecção da Falha.

De acordo com a norma MIL-STD-1629A *apud* SUCENA (2002, p.123) e STUNNEL (2003, p.6), o desenvolvimento da *FMECA* é composto pelas etapas ilustradas na FIG. 6.3.

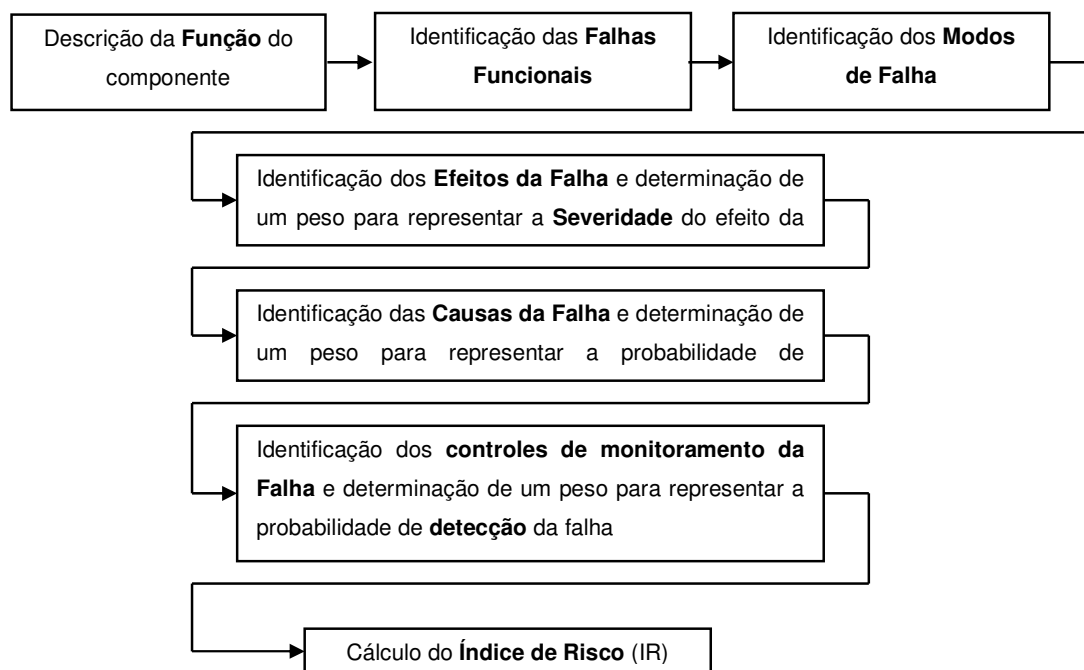


FIG. 6.3: Etapas de desenvolvimento da técnica FMECA

Na primeira etapa são descritas as **funções** desempenhadas por cada componente do sistema, as relações entre estas e as características técnicas relevantes.

Na segunda etapa são descritas as **falhas funcionais** que podem ser identificadas diretamente da descrição das funções desempenhadas pelo componente ou sistema.

Na terceira etapa são identificados os possíveis **modos de falha** de cada componente do sistema. É importante distinguir **modo de falha** e **causa da falha**. O modo descreve **o que** está errado na funcionalidade do item. Já a causa descreve **porque** está errada a funcionalidade do item.

Na quarta etapa é identificado o **efeito** de cada modo de falha, ou seja, o impacto de um dado modo de falha na capacidade funcional do sistema e os riscos para o meio ambiente. Identificado o efeito de um modo de falha pode-se classificá-lo segundo níveis de importância com base numa escala de severidade da falha.

Esta escala é derivada da norma militar americana MIL-STD-882¹⁰, que define cinco categorias como apresentado na TAB. 6.2 a seguir.

TAB. 6.2: Níveis de Severidade de Risco

Categoria	Severidade	Valor	Dano		
			Ambiental	Pessoal	Econômico
I	Catastrófica	5	Grande	Mortal	Total
II	Crítica	4	Significante	Grave	Parcial
III	Marginal	3	Leve	Leve	Leve
IV	Miníma	2	Aceitável	Insignificante	Aceitável
V	Insignificante	1	Inexistente	Inexistente	Inexistente

FONTE: SIQUEIRA (2005, p.101)

Estas cinco categorias foram subdivididas por SUCENA (2001, p.130 e 134) que considerou em um procedimento para alocação de recursos financeiros na manutenção dos componentes de um sistema metroferroviário, a seguinte classificação e peso para a severidade das falhas (TAB. 6.3):

¹⁰ MIL- STD- 882: System Safety Requirements / Standard Practice for System Safety

TAB. 6.3: Classificação e Peso da Severidade das Falhas

Classificação	Peso	Descrição
Nula	1	A falha não tem efeito real no sistema não afetando o usuário.
Leve	2	A falha causa leves transtornos ao cliente não afetando o nível de serviço do sistema.
Baixa	3	A falha causa pequenos transtornos ao cliente afetando pouco o nível de serviço do sistema.
Moderada	4	A falha causa relevantes transtornos ao cliente afetando o nível de serviço do sistema.
Média	5	A falha causa relevantes transtornos ao cliente deixando-o desconfortável, degradando o nível de serviço do sistema.
Média/Alta	6	A falha causa irritação ao cliente deteriorando sensivelmente o nível de serviço.
Alta	7	A falha causa alto grau de insatisfação ao cliente devido ao nível de deterioração do nível de serviço. Não envolve riscos à segurança dos usuários nem descumprimento dos requisitos legais.
Muito Alta	8	A falha envolve alto risco à segurança dos equipamentos e leve risco à segurança dos usuários, não causando descumprimento de requisitos legais.
Altíssima	9	A falha envolve alto risco à segurança operacional e dos usuários causando descumprimento legal de requisitos legais.
Grave	10	A falha promove acidente com graves proporções.

FONTE: SUCENA (2001, p.130 e 134)

Na quinta etapa são identificadas as **causas** das falhas. Em geral, cada componente de um processo pode gerar um conjunto de modos de falha, que por sua vez, pode ser originado por um conjunto de causas. Da mesma forma que no caso da severidade pode-se determinar um peso para representar a probabilidade de ocorrência da falha.

Em uma das formas mais simples de análise de risco, SIQUEIRA (2005, p.100) apresenta a frequência de ocorrência de modos de falha em seis níveis conforme a TAB. 6.4.

TAB. 6.4: Níveis de Frequência de Modos de Falha

Frequência	Descrição	Exemplo
Frequente	Esperado ocorrer freqüentemente Falha ocorrerá continuamente	$\geq 10^{-1}$ / ano
Provável	Ocorrerá várias vezes Falha ocorrerá com freqüência	$< 10^{-1}$ / ano $\geq 10^{-2}$ / ano
Ocasional	Possível ocorrer várias vezes Falha esperada ocorrer ocasionalmente	$< 10^{-2}$ / ano $\geq 10^{-3}$ / ano
Remoto	Esperada ocorrer algumas vezes Falha razoavelmente esperada	$< 10^{-3}$ / ano $\geq 10^{-4}$ / ano
Improvável	Possível de ocorrer, mais improvável Falha ocorrerá excepcionalmente	$< 10^{-4}$ / ano $\geq 10^{-5}$ / ano
Inacreditável	Especialmente inesperada ocorrer Falha praticamente não ocorrerá	$< 10^{-5}$ / ano

FONTE: SIQUEIRA (2005, p.100)

SUCENA (2001, p.131 e 134), propõe a classificação e peso correspondente da probabilidade de ocorrência de falha mostrados na TAB. 6.5.

TAB. 6.5: Classificação e Peso da Probabilidade de Ocorrência de Falha

Classificação	Peso	Descrição	Taxa de Falhas
Quase Nula	1	A falha é improvável de acontecer	< 1 falha em 10^6 horas
Baixa	2	Poucas falhas acontecem	1 falha entre 10^6 e 20.000 horas
	3		1 falha entre 20.000 e 4.000 horas
Moderada	4	Falhas ocasionais acontecem	1 falha entre 4.000 e 1.000 horas
	5		1 falha entre 1.000 e 400 horas
	6		1 falha entre 400 e 80 horas
Alta	7	Falhas repetitivas acontecem	1 falha entre 80 e 40 horas
	8		1 falha entre 40 e 20 horas
Muito Alta	9	Falhas são quase inevitáveis	1 falha entre 40 e 8 horas
	10		1 falha entre 8 e 2 horas

FONTE: SUCENA (2001, p.131 e 134)

Na sexta etapa são identificados os **controles** para detecção e monitoramento da falha, assim como é determinado o peso para representar a probabilidade de detecção da falha antes que o sistema seja afetado. A dificuldade na detecção de eventos de risco normalmente pode ser avaliada através de uma escala de cinco níveis, conforme ilustrado na TAB. 6.6 e proposto por SIQUEIRA (2005, p.99).

TAB. 6.6: Níveis de Detectabilidade de Risco

Nível	Detectabilidade	Descrição
1	Fácil	Falha detectável por procedimento operacional
2	Razoável	Falha detectável por inspeção operacional
3	Difícil	Falha detectável por ensaio funcional
4	Muito Difícil	Falha detectável apenas por desligamento
5	Impossível	Falha totalmente oculta

FONTE: SIQUEIRA (2005, p.99)

SUCENA (2001, p.132 e 134), propõe a classificação e peso correspondente da probabilidade de detecção da falha conforme mostrado na TAB 6.7:

TAB. 6.7: Classificação e Peso da Probabilidade de Detecção da Falha

Classificação	Peso	Descrição
Muito Alta	1	A falha é detectada durante o projeto, fabricação, montagem ou na operação
Alta	2	A falha é detectada durante a fabricação, montagem ou na operação
Média/Alta	3	A falha é detectada pela montagem ou pelos processos de controle na operação
Moderada	4	A falha é detectada pelos processos de controle na operação
Média	5	Existe 50% de chance da falha ser detectada na operação
Média/Baixa	6	Há possibilidade de detecção da falha pelos processos de controle na operação
Baixa	7	Há alguma possibilidade de detecção da falha pelos processos de controle operacionais
Muito Baixa	8	É improvável a detecção da falha pelos processos de controle na operação
Baixíssima	9	Os sistemas de controle na operação não estão apropriados para detecção da falha
Nula	10	A falha não será detectada com certeza

FONTE: SUCENA (2001 p.132 e 135)

Na etapa final do processo é realizado o cálculo do índice de risco (IR), associado à falha do componente com a equação:

$$IR = PSF \times PPOF \times PPDF \quad (\text{EQ. 1})$$

onde:

PSF: peso que representa a severidade do efeito da falha (TAB. 6.3);

PPOF: peso que representa a probabilidade de ocorrência da falha (TAB. 6.5) e

PPDF: peso que representa a probabilidade de detecção da falha (TAB. 6.7).

Com o objetivo de documentar de forma sistemática, permanente e auditável todas as informações e resultados de cada etapa do processo, o uso de um formulário é recomendado. A técnica *FMECA* não exige muitos recursos informáticos. Em princípio, apenas os programas tradicionais de automação de escritório, tais como processadores de texto, planilhas eletrônicas e sistemas de bancos de dado são necessários. Se desejável, a organização poderá adotar, além destes programas, *softwares* especializados em *RCM/FMECA*, dentre os muitos disponíveis no mercado, por exemplo, *WinMBF*, *Reliability Workbench*, *IRCMS*, *Relex FMEA/FMECA*, *FMEA Tools*, entre outros. Destes softwares, alguns são fornecidos gratuitamente na internet, tal como o *Integrated Reliability Centered Maintenance System (IRCMS)*.

Neste estudo, o recurso utilizado foi a planilha eletrônica que permite maior liberdade na personalização que os *softwares* citados. A FIG. 6.4 ilustra o modelo desenvolvido e na TAB. 6.8 são descritos os campos que compõem este modelo de formulário *FMECA*.

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Data

Folha de

Unidade	Código
Item	Código

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
												0
												0
												0
												0

FIG. 6.4: Formulário FMECA

TAB. 6.8: Descrição dos Campos do Formulário FMECA

TÍTULO	DESCRIÇÃO
Unidade	Preencher com a denominação da unidade ou instalação sob análise. Adotar uma denominação mais próxima possível do nome usado pela área de produção ou do projeto original.
Código	Adotar um código de identificação para a unidade. Usar um código que seja o mais próximo possível do que for usado pela área de produção ou do projeto original.
Data	Informar a data em que foi concluída a análise.
Item	Preencher com a denominação do item ou sistema sob análise. Adotar uma denominação mais próxima possível do nome usado pela área de produção ou do projeto original.
Código	Adotar um código de identificação para o item ou subsistema. Usar um código que seja o mais próximo possível do que for usado pela área de produção ou do projeto original.
Folha	Numerar sequencialmente as folhas do formulário, iniciando pelo numeral 1.
FU	Numerar sequencialmente as funções do sistema atual. Este número será referenciado em outros formulários.
Função	Identificar cada função desempenhada pelo sistema.
FF	Numerar sequencialmente as falhas possíveis da função atual, reiniciando a contagem em cada nova falha. Este número será referenciado em outros formulários.
Falha Funcional	Nomear cada falha possível da função atual.
MF	Numerar sequencialmente os modos possíveis da falha atual, reiniciando a contagem em cada nova falha. Este número será referenciado em outros formulários.
Modo de Falha	Nomear cada modo de falha possível para a falha atual.
Efeito da Falha	Descrever o efeito da falha, em termos de resultados esperados na função, sistema e instalação em análise.
Causa da Falha	Descrever a causa da falha.
PSF	Preencher com um peso que represente a severidade da falha.
PPOF	Preencher com um peso que represente a probabilidade de ocorrência da falha.
PPDF	Preencher com um peso que represente a probabilidade de detecção da falha.
IR	Preencher com o produto dos pesos referentes a PSF, PPOF e PPDF.

FONTE: Adaptado de SIQUEIRA (2005, p.303)

6.3 DESENVOLVIMENTO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

O procedimento proposto tem por objetivo apresentar uma visão sistêmica dos modos de falha de cada componente de um sistema operacional e associá-los aos efeitos negativos sobre o meio ambiente. Para alcançar este objetivo será aplicada a técnica *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)* apresentada no item anterior.

Após a aplicação do procedimento, obtém-se uma tabela matricial onde os modos de falha são relacionados aos impactos ambientais passíveis de serem causados na ocorrência de uma falha, assim como uma lista hierarquizada dos modos de falha segundo o índice de risco relacionado.

O desenvolvimento do procedimento proposto é composto pelas etapas ilustradas na FIG. 6.5.

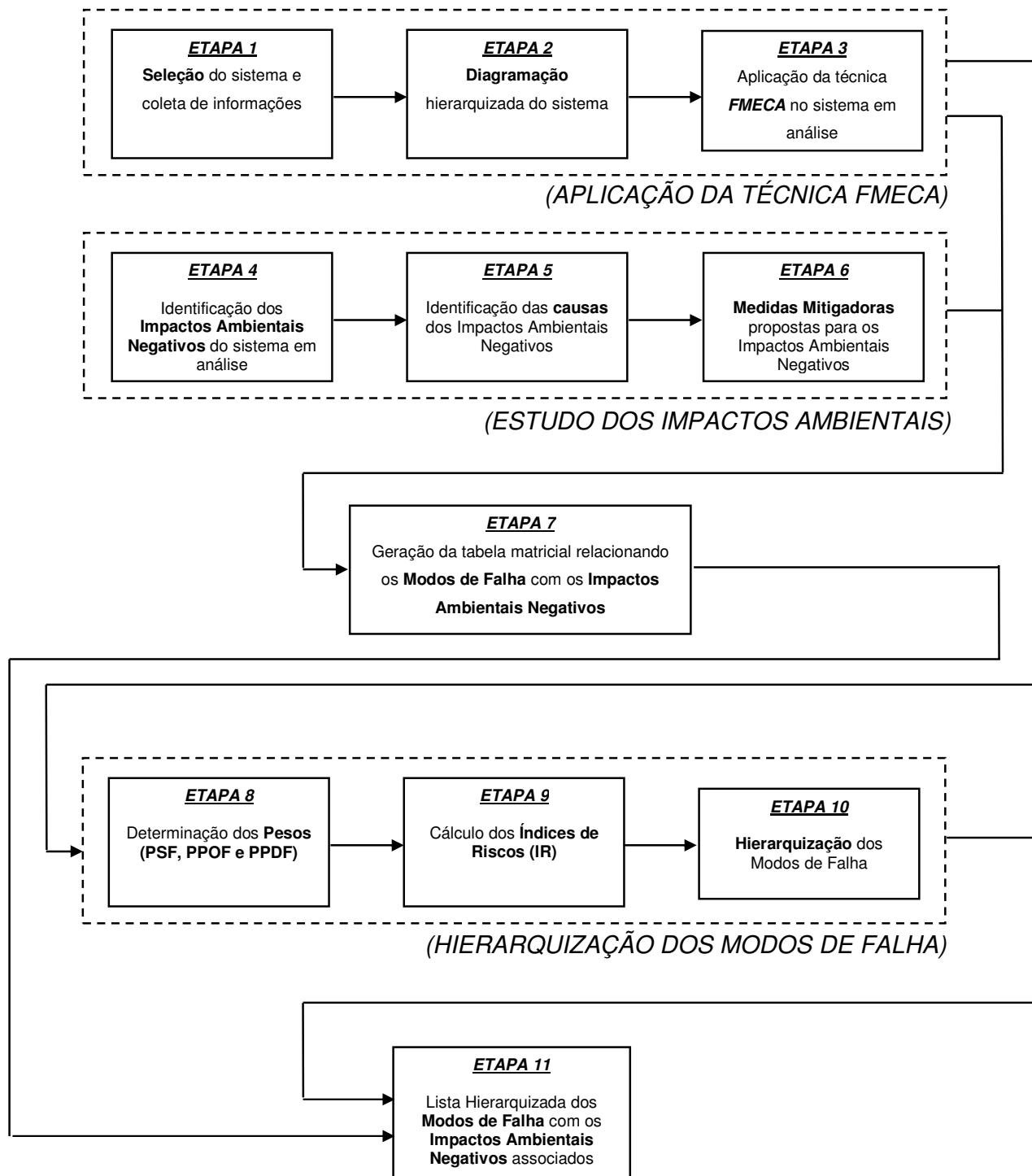


FIG. 6.5: Etapas do Desenvolvimento do Procedimento Proposto

A primeira etapa objetiva **identificar e documentar as informações** coletadas do sistema que será submetido à análise.

Na segunda etapa é elaborado um **diagrama hierarquizado** que possibilite estabelecer o relacionamento gráfico entre as partes que compõem o sistema, facilitando a visualização dos subsistemas e seus componentes.

Na terceira etapa, utilizando um modelo adaptado do **formulário FMECA** proposto na norma MIL-STD-1629A, são identificados e documentados para cada componente do sistema: suas funções, as falhas funcionais, os modos de falha, os efeitos das falhas, as causas das falhas além dos controles de detecção das mesmas. Funções e componentes redundantes podem apresentar falhas sem consequências imediatas ou visíveis para o sistema, necessitando atenção especial. Nesta etapa do processo, todas as falhas possíveis devem ser cadastradas, ignorando a existência de redundâncias que possam reduzir suas consequências.

Na quarta etapa são identificados os **impactos ambientais negativos** possíveis de serem causados em decorrência das atividades desenvolvidas na operação do sistema em análise.

Na quinta etapa são identificadas as **causas** dos impactos ambientais negativos.

Na sexta etapa são apresentadas as **medidas mitigadoras** propostas para cada um dos impactos ambientais negativos.

Na sétima etapa, utilizando uma **tabela matricial**, são **relacionados os modos de falha aos impactos ambientais negativos** passíveis de serem causados na ocorrência de uma falha.

Como um resultado a mais do processo exposto, podem-se **hierarquizar** pela **criticidade** os modos de falha identificados. Assim, na oitava etapa, são determinados os pesos relativos à severidade das falhas (PSF), as probabilidades de ocorrência das falhas (PPOF) e a probabilidade de detecção das falhas (PPDF), respectivamente.

E na nona etapa, com o auxílio de especialistas e técnicos da área do sistema em análise, é realizado o cálculo do índice de risco (EQ. 1) para cada modo de falha. Para isto, podem ser utilizadas metodologias como a *Ad Hoc* e a *Delphi*. A primeira, chamada também de espontânea ou reunião de especialistas, consiste em reunir técnicos da área com o objetivo de indicar o peso a ser alocado a um determinado quesito baseado na experiência individual. A metodologia *Delphi*, também conhecida

como técnica Delfos, consiste em fazer consulta a diversos especialistas, sem deslocá-los do local de trabalho e sem promover reuniões. As informações obtidas são resumidas e enviadas novamente aos especialistas para nova avaliação, objetivando um resultado mais homogêneo e isto é repetido até as respostas ficarem homogêneas (BRANDÃO, 1996, p.62 e p.63 *apud* SUCENA, 2001, p.135).

Na décima etapa, tomando-se os valores dos índices de risco (IR) calculados, os modos de falha são hierarquizados do mais crítico para o menos crítico.

Na última etapa, é gerada uma lista hierarquizada pelo índice de risco de todos os modos de falha identificados no estudo.

Cabe mencionar que os **formulários FMECA** gerados na terceira etapa, a **Tabela Matricial** da sétima etapa e a **Lista Hierarquizada** da última etapa, correspondem ao produto final do procedimento proposto.

6.4 APLICAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO

Considerando o objetivo deste trabalho, a seguir, é demonstrada a aplicação do procedimento proposto no subsistema Via Permanente.

No que se refere a identificação do subsistema, utilizou-se o estudo do CAP.3 que descreve detalhadamente as características técnicas de uma Via Permanente ferroviária com os seus componentes e suas funções.

Para documentar a identificação da Via Permanente, utilizou-se o diagrama organizacional que ilustra a estrutura hierárquica do subsistema em análise, no caso em questão, uma Via Permanente tipo (FIG. 6.6).

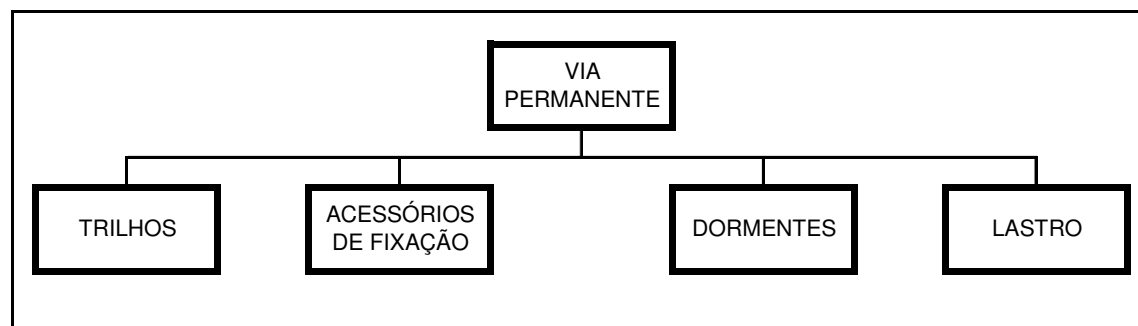


FIG. 6.6: Diagrama Organizacional do Subsistema Via Permanente

Utilizando um modelo adaptado do formulário *FMECA* proposto na norma MIL-STD-1629A, e o estudo dos CAP. 3, 4 e 6, foi aplicada a técnica *FMECA* nos componentes da Via Permanente, conforme os formulários *FMECA* ilustrados nas FIG. 6.7, 6.8, 6.9 e 6.10 a seguir apresentadas.

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Unidade	Código
Via Permanente	SSVP
Item	Código
Trilho	CT

DATA

FOLHA

1

de

5

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
FU-01	Resistir às tensões que recebe do material rodante transmitindo-as para o restante da via	FF-01	Não resistir às tensões	MF-01	Trilho TRINCADO (<i>Vertical Crack, Horizontal Crack, Cracking at Head/Web Fillet Radius, Cracking at Web/Foot Fillet Radius e Bolt Hole Crack</i>)	Queda da resistência mecânica. Pode crescer lentamente até a ruptura iminente do trilho	Defeitos metalúrgicos adquiridos durante o processo de fabricação. Progridem com a tonelada trafegada.	Sondagem dos trilhos com equipamento de ultra-som ou por percussão com martelo				
				MF-02	Trilho FISSURADO (<i>Transversal Fissure e Compound Fissure</i>)	Queda da resistência mecânica. Pode crescer lentamente até a ruptura iminente do trilho	Desenvolve-se a partir de um núcleo cristalino no interior do boleto originado pela segregação ou inclusão de impurezas na liga do aço.	Sondagem dos trilhos com equipamento de ultra-som ou por percussão com martelo				
								Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				
				MF-03	Trilho FRATURADO (<i>Detail fracture</i>)	Queda da resistência mecânica	Pode crescer de um <i>Shelling</i> ou de <i>Head Checks</i>	Sondagem dos trilhos com equipamento de ultra-som ou por percussão com martelo				
								Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Unidade	Código
Via Permanente	SSVP
Item	Código
Trilho	CT

DATA

--	--	--

FOLHA 2 de 5

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
FU-O1	Resistir às tensões que recebe do material rodante transmitindo-as para o restante da via	FF-01	Não resistir às tensões	MF-04	Trilho DESGASTADO na superfície de rolamento (<i>Wheel Burn e Abnormal Vertical Wear</i>)	Queda da resistência mecânica	Insuficiência de aderência entre roda e trilho. Ação exercida pelo tráfego constante	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				
				MF-05	Trilho DESGASTADO na lateral do boleto (<i>Lateral Wear</i>)	Queda da resistência mecânica	Contato dos frisos das rodas durante a inscrição nas curvas de pequenos raios ou em tangentes devido ao movimento anormal dos truques	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				
				MF-06	Trilho CORRUGADO (<i>Corrugation Rail</i>)	Queda da resistência mecânica; ruídos superiores à 120 Db e trepidação do material rodante	Ação exercida pelo tráfego constante aliado a falta ou descuido da inspeção dos trilhos das tangentes onde as frenagens são frequentes	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Unidade	Código
Via Permanente	SSVP
Item	Código
Trilho	CT

DATA

--	--	--

FOLHA

3	de	5
---	----	---

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
FU-O1	Resistir às tensões que recebe do material rodante transmitindo-as para o restante da via	FF-01	Não resistir às tensões	MF-07	Trilho LASCADO no canto da bitola (<i>Head Cheks, Spalling e Shelling</i>) ou na superfície de rolamento (<i>Flaking, Dark Spot e Long Groove</i>)	Queda da resistência mecânica devido ao destacamento de camadas de aço	Carga por eixo muito elevada. Apenas o <i>Long Groove</i> é um defeito de fabricação	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				
				MF-08	Trilho ESMAGADO no boleto (<i>Crushed Head</i>)	Queda da resistência mecânica	Movimento de galope do material rodante	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				
				MF-09	Metal do boleto ESCOADO (<i>Flowed Rail</i>)	Queda da resistência mecânica. Pode afetar a transposição dos trilhos	Arrasto devido a falta de aderância entre a roda e o trilho	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Unidade	Código
Via Permanente	SSVP
Item	Código
Trilho	CT

DATA

--	--	--

FOLHA 4 de 5

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
FU-02	Guiar as rodas do material rodante	FF-01	Não guiar as rodas do material rodante	MF-01	Segmento da via com trilho EMPENADO	Movimento de torção no material rodante. Pode originar o descarrilamento do material rodante	Lastro laqueado (existência de vazios)	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				
							Grupo de dormentes defeituosos					
							Juntas desniveladas					
				MF-02	Segmento da via com trilho DESNIVELADO (na transversal e na longitudinal)	Movimento de torção no material rodante. Pode originar o descarrilamento do material rodante	Lastro laqueado (existência de vazios)	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				
							Grupo de dormentes defeituosos					
							Juntas desniveladas					
				MF-03	Segmento da via com trilho DESALINHADO	Movimento de torção no material rodante. Pode originar o descarrilamento do material rodante	Desgaste ou ruptura da placa de apoio	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				
							Ombro de lastro insuficiente					

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Unidade	Código
Via Permanente	SSVP
Item	Código
Trilho	CT

DATA

FOLHA 5 de 5

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
FU-03	Funcionar como viga contínua sobre apoio elástico, resistindo à flexão	FF-01	Não funcionar como viga contínua	MF-01	Trilho FLAMBADO na longitudinal	Alargamento ou estreitamento da bitola	Variação da temperatura	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				
FU-04	Fazer o retorno da corrente elétrica de tração	FF-01	Não fazer o retorno da corrente elétrica	MF-01	Circuito do sistema ABERTO	Corte da tração da locomotiva	Rail-bond desconectada	Prospecção da via permanente				
							Rail-bond afetado por corrosão					
FU-05	Ser condutor elétrico para o circuito da via	FF-01	Não conduzir a corrente elétrica	MF-01	Circuito do sistema ABERTO	Corte da corrente elétrica da via	Channel-pin e/ou solda desconectada	Prospecção da via pelo ronda ou com uso do carro controle				
							Channel-pin afetado por corrosão					
							Contato entre trihos devido ao desgaste das juntas ou martelamento das rodas do material rodante					

FIG. 6.7: Aplicação da técnica **FMECA** (TRILHO)

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Unidade	Código
Via Permanente	SSVP
Item	Código
Acessórios de Fixação	CAF

DATA

--	--	--

FOLHA

1	de	2
---	----	---

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
FU-O1	Fixar os trilhos aos dormentes mantendo a bitola	FF-01	Não fixar os trilhos aos dormentes	MF-01	Fixação INSUFICIENTE num segmento de via	Permite movimento longitudinal e transversal do trilho	Desgaste mecânico dos acessórios de fixação (grampo de linha, tirefond, placa de apoio, retensor pandrol, etc.)	Prospecção da via permanente				
							Fixação faltante (vandalismo)					
							Grupo de dormentes defeituosos num segmento de via					
				MF-02	Fixação DEFEITUOSA devido a oxidação das peças	Permite movimento longitudinal e transversal do trilho	Ação do meio ambiente	Prospecção da via permanente				

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Unidade	Código
Via Permanente	SSVP
Item	Código
Acessórios de Fixação	CAF

DATA

--	--	--

FOLHA 2 de 2

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
FU-02	Transferir para o dormente as forças estáticas e dinâmicas que recebe dos trilhos	FF-01	Não transferir as forças estáticas e dinâmicas	MF-01	Fixação INSUFICIENTE num segmento de via	Comprometimento da vida útil dos trilhos	Desgaste mecânico dos acessórios de fixação (grampo de linha, tirefond, placa de apoio, retensor, pandrol, etc.)	Prospecção da via permanente				
							Fixação faltante (vandalismo)					
FU-03	Amortecer (no caso da Fixação Elástica) as vibrações oriundas da circulação do material rodante	FF-01	Não amortecer as vibrações	MF-01	Fixação do trilho IRREGULAR	Comprometimento da vida útil dos trilhos	Desgaste mecânico da fixação elástica (Pandrol, entre outros)	Prospecção da via permanente				

FIG. 6.8: Aplicação da técnica FMECA (ACESSÓRIO DE FIXAÇÃO)

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Unidade	Código
Via Permanente	SSVP
Item	Código
Dormente	CD

DATA

--	--	--

FOLHA

1	de	2
---	----	---

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
FU-O1	Manter a bitola	FF-01	Não manter a bitola	MF-01	Dormente FRATURADO (transversal)	Fixação irregular. Defeitos geométricos na via (desnivelamento transversal e longitudinal, empeno e alinhamento)	Carga por eixo muito elevada	Controle da carga transportada				
								Prospecção da via permanente				
				MF-02	Dormente APODRECIDO	Fixação irregular. Defeitos geométricos na via (desnivelamento transversal e longitudinal, empeno e alinhamento)	Ação do meio ambiente	Prospecção da via permanente				
				MF-03	Dormente FISSURADO (longitudinal)	Fixação irregular. Defeitos geométricos na via (desnivelamento transversal e longitudinal, empeno e alinhamento)	Fendilhamento das fibras na região da fixação	Prospecção da via permanente				
				MF-04	Dormente DESGASTADO na região da placa de apoio	Fixação irregular. Defeitos geométricos na via (desnivelamento transversal e longitudinal, empeno e alinhamento)	Carga por eixo muito elevada	Controle da carga transportada				
								Prospecção da via permanente				

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Unidade	Código
Via Permanente	SSVP
Item	Código
Dormente	CD

DATA

--	--	--

FOLHA

2	de	2
---	----	---

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
FU-02	Distribuir as cargas que recebe dos trilhos para o lastro	FF-01	Não transmitir as cargas que recebe dos trilhos para o lastro	MF-01	Dormente FRATURADO (transversal)	Perda da resistência	Carga por eixo muito elevada	Controle de carga transportada				
								Prospecção da via permanente				
				MF-02	Dormente APODECIDO	Perda da resistência	Ação do meio ambiente	Prospecção da via permanente				

FIG. 6.9: Aplicação da técnica FMECA (DORMENTE)

FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis

Unidade	Código
Via Permanente	SSVP
Item	Código
Lastro	CL

DATA

--	--	--

FOLHA

1	de	1
---	----	---

FU	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODO DE FALHA	EFEITO DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CONTROLES CORRENTES	PSF	PPOF	PPDF	IR
FU-O1	Distribuir uniformemente na plataforma de infra-estrutura os esforços resultantes da circulação do material rodante	FF-01	Não distribuir os esforços	MF-01	Partículas do lastro FORA da granulometria específica	Existência de vazios em função de finos gerados do desgaste das partículas frente à solicitação do tráfego (lastro laqueado)	Atrito entre as partículas do lastro devido a ação exercida pelo tráfego constante	Prospecção da via permanente				
FU-O2	Facilitar a drenagem da água da chuva	FF-01	Não drenar a água da chuva	MF-01	Lastro CONTAMINADO	Formação de bolsão de lama	Sistema de drenagem insuficiente (bueiros e valas entupidos) e crescimento da vegetação na faixa de domínio da via	Prospecção da via permanente				
FU-O3	Manter o alinhamento da via	FF-01	Não manter o alinhamento da via	MF-01	Ombro de lastro INSUFICIENTE	Defeitos geométricos na via (desnívelamento transversal e longitudinal, empeno e alinhamento)	Atrito entre as partículas do lastro devido a ação exercida pelo tráfego constante	Prospecção da via permanente				

FIG. 6.10: Aplicação da técnica FMECA (LASTRO)

No que se refere a identificação dos impactos ambientais negativos passíveis de serem causados na operação da Via Permanente, utilizou-se o estudo do CAP. 5 que descreve detalhadamente os mesmos, relacionados às atividades desenvolvidas na operação do sistema ferroviário, suas causas e as medidas mitigadoras. Em decorrência das atividades desenvolvidas na operação da Via Permanente, que envolve a circulação do material rodante, os seguintes impactos negativos foram identificados: poluição sonora, vibração, ocorrências indesejadas na linha férrea, poluição atmosférica e poluição do solo e do lençol freático. No entanto, deve ser observado que a poluição atmosférica não será considerada em virtude de não ter relacionamento direto com os componentes da Via Permanente, haja vista que este impacto é gerado, principalmente, pela liberação dos poluentes em virtude do funcionamento das locomotivas e pelo transporte de material particulado sem a devida proteção.

Para os demais impactos foram criados os códigos de referência da TAB. 6.9 para utilização na próxima etapa do procedimento.

TAB. 6.9: Códigos de Referência dos Impactos Ambientais Negativos

Impactos Ambientais Negativos	Código
Poluição Sonora	IAN 01
Vibração	IAN 02
Ocorrências Indesejadas na Linha Férrea	IAN 03
Poluição do Solo e do Lençol Freático	IAN 04

Obs.: IAN - Impactos Ambientais Negativos.

Em seguida, cada modo de falha foi associado aos possíveis impactos ambientais negativos conforme ilustrado na TAB. 6.10.

TAB. 6.10: Associação dos Modos de Falha com os Impactos Ambientais Negativos

				IMPACTOS AMBIENTAIS NEGATIVOS			
MODOS DE FALHA				IAN 01	IAN 02	IAN 03	IAN 04
CT	FU 01	FF 01	MF 01			X	
			MF 02			X	
			MF 03			X	
			MF 04	X		X	
			MF 05	X		X	
			MF 06	X	X	X	
			MF 07	X	X	X	
			MF 08	X	X	X	
			MF 09	X		X	
	FU 02	FF 01	MF 01	X	X	X	
			MF 02	X	X	X	
			MF 03	X	X	X	
	FU 03	FF 01	MF 01	X	X	X	
	FU 04	FF 01	MF 01			X	
	FU 05	FF 01	MF 01			X	
CAF	FU 01	FF 01	MF 01	X	X	X	
			MF 02	X	X	X	
	FU 02	FF 01	MF 01	X	X	X	
CD	FU 01	FF 01	MF 01		X	X	
			MF 02		X	X	
			MF 03		X	X	
			MF 04		X	X	
	FU 02	FF 01	MF 01		X	X	
			MF 02		X	X	
CL	FU 01	FF 01	MF 01			X	X
	FU 02	FF 01	MF 01			X	X
	FU 03	FF 01	MF 01			X	

CT: Componente Trilho

CAF: Componente Acessório de Fixação

CD: Componente Dormente

CL: Componente Lastro

FU: Função

FF: Falha Funcional

MF: Modo de Falha

IAN: Impactos Ambientais Negativos

Este processo pode ter continuidade com a aplicação das etapas 8, 9 e 10 que permitem hierarquizar os modos de falha pela criticidade. Segundo elas são determinados os pesos relativos à severidade das falhas (PSF), as probabilidades de ocorrência das falhas (PPOF) e a probabilidade de detecção das falhas (PPDF), respectivamente. Para alocação dos pesos são utilizadas as TAB. 6.3, 6.5 e 6.7 previamente apresentados.

Com os formulários *FMECA* e os pesos definidos, o último passo consiste no uso da metodologia *Delphi*, ou outra equivalente, junto aos especialistas da área para obter o índice de risco (IR). Neste estudo, utilizou-se a metodologia *Delphi*.

A título de exemplo uma pequena amostra de especialistas consultados gerou as listas hierarquizadas ilustradas nas TAB. 6.11, 6.12, 6.13 e 6.14, a seguir apresentadas.

TAB. 6.11: Hierarquização dos Modos de Falhas (Trilho)

FU	FF	MF	MODO DE FALHA	CF	CC	IR
FU-01	FF-01	MF-03	Trilho FRATURADO (<i>Detail fracture</i>)	CF-01	CC-02	550
FU-01	FF-01	MF-02	Trilho FISSURADO (<i>Transversal Fissure e Compound Fissure</i>)	CF-01	CC-02	533
FU-01	FF-01	MF-03	Trilho FRATURADO (<i>Detail fracture</i>)	CF-01	CC-01	500
FU-01	FF-01	MF-01	Trilho TRINCADO (<i>Vertical Crack, Horizontal Crack, Cracking at Head/Web Fillet Radius, Cracking at Web/Foot Fillet Radius e Bolt Hole Crack</i>)	CF-01	CC-01	467
FU-01	FF-01	MF-02	Trilho FISSURADO (<i>Transversal Fissure e Compound Fissure</i>)	CF-01	CC-01	427
FU-04	FF-01	MF-01	Circuito do sistema ABERTO	CF-02	CC-01	416
FU-02	FF-02	MF-01	Trecho da via com trilho EMPENADO	CF-01	CC-01	392
FU-01	FF-01	MF-05	Trilho DESGASTADO na lateral do boleto (<i>Lateral Wear</i>)	CF-01	CC-01	352
FU-05	FF-01	MF-01	Circuito do sistema ABERTO	CF-01	CC-01	349
FU-01	FF-01	MF-04	Trilho DESGASTADO na superfície de rolamento (<i>Wheel Burn e Abnormal Vertical Wear</i>)	CF-01	CC-01	324
FU-05	FF-01	MF-01	Circuito do sistema ABERTO	CF-03	CC-01	297
FU-02	FF-02	MF-01	Trecho da via com trilho EMPENADO	CF-02	CC-01	279
FU-02	FF-02	MF-01	Trecho da via com trilho EMPENADO	CF-03	CC-01	260
FU-05	FF-01	MF-01	Circuito do sistema ABERTO	CF-02	CC-01	228
FU-01	FF-01	MF-06	Trilho CORRUGADO (<i>Corrugation Rail</i>)	CF-01	CC-01	227
FU-02	FF-02	MF-02	Trecho da via com trilho DESNIVELADO (na transversal e na longitudinal)	CF-02	CC-01	218
FU-02	FF-02	MF-02	Trecho da via com trilho DESNIVELADO (na transversal e na longitudinal)	CF-01	CC-01	200
FU-03	FF-01	MF-01	Trilho FLAMBADO na longitudinal	CF-01	CC-01	198
FU-02	FF-02	MF-02	Trecho da via com trilho DESNIVELADO (na transversal e na longitudinal)	CF-03	CC-01	188
FU-02	FF-02	MF-03	Trecho da via com trilho DESALINHADO	CF-02	CC-01	187
FU-04	FF-01	MF-01	Circuito do sistema ABERTO	CF-01	CC-01	173
FU-01	FF-01	MF-08	Trilho ESMAGADO no boleto (<i>Crushed Head</i>)	CF-01	CC-01	163
FU-02	FF-02	MF-03	Trecho da via com trilho DESALINHADO	CF-01	CC-01	163
FU-01	FF-01	MF-07	Trilho LASCADO no canto da bitola (<i>Head Cheks, Spalling e Shelling</i>) ou na superfície de rolamento (<i>Flaking, Dark Spot e Long Groove</i>)	CF-01	CC-01	120
FU-01	FF-01	MF-09	Metal do boleto ESCOADO (<i>Flowed Rail</i>)	CF-01	CC-01	100

TAB. 6.12: Hierarquização dos Modos de Falhas (Acessórios de Fixação)

FU	FF	MF	MODO DE FALHA	CF	CC	IR
FU-O2	FF-01	MF-01	Fixação INSUFICIENTE num segmento de via	CF-01	CC-01	181
FU-O1	FF-01	MF-01	Fixação INSUFICIENTE num segmento de via	CF-03	CC-01	141
FU-O1	FF-01	MF-02	Fixação DEFEITUOSA devido a oxidação das peças	CF-01	CC-01	99
FU-O3	FF-01	MF-01	Fixação do trilho IRREGULAR	CF-01	CC-01	96
FU-O2	FF-01	MF-01	Fixação INSUFICIENTE num segmento de via	CF-02	CC-01	72
FU-O1	FF-01	MF-01	Fixação INSUFICIENTE num segmento de via	CF-01	CC-01	70
FU-O1	FF-01	MF-01	Fixação INSUFICIENTE num segmento de via	CF-02	CC-01	58

TAB. 6.13: Hierarquização dos Modos de Falhas (Dormente)

FU	FF	MF	MODO DE FALHA	CF	CC	IR
FU-O1	FF-01	MF-03	Dormente FISSURADO (longitudinal)	CF-01	CC-01	120
FU-O1	FF-01	MF-04	Dormente DESGASTADO na região da placa de apoio	CF-01	CC-02	118
FU-O2	FF-01	MF-02	Dormente APODRECIDO	CF-01	CC-01	114
FU-O2	FF-01	MF-01	Dormente FRATURADO (transversal)	CF-01	CC-01	112
FU-O1	FF-01	MF-01	Dormente FRATURADO (transversal)	CF-01	CC-01	99
FU-O1	FF-01	MF-01	Dormente FRATURADO (transversal)	CF-01	CC-02	99
FU-O1	FF-01	MF-04	Dormente DESGASTADO na região da placa de apoio	CF-01	CC-01	97
FU-O2	FF-01	MF-01	Dormente FRATURADO (transversal)	CF-01	CC-02	93
FU-O1	FF-01	MF-02	Dormente APODRECIDO	CF-01	CC-01	71

TAB. 6.14: Hierarquização dos Modos de Falhas (Lastro)

FU	FF	MF	MODO DE FALHA	CF	CC	IR
FU-O3	FF-01	MF-01	Ombro de lastro INSUFICIENTE	CF-01	CC-01	240
FU-O2	FF-01	MF-01	Lastro CONTAMINADO	CF-01	CC-01	220
FU-O1	FF-01	MF-01	Partículas do lastro FORA da granulometria específica	CF-01	CC-01	129

6.5 COMENTÁRIOS FINAIS

Na revisão bibliográfica sobre a metodologia *RCM* foi verificado que, embora muitos exemplos de sua aplicação sejam oriundos das indústrias mecânica, elétrica e química, ela independe da tecnologia podendo ser implementada em qualquer empreendimento industrial ou de serviço.

MOUBRAY (1997, p.18) enfatiza que o processo de *RCM* deve ser aplicado por equipes multidisciplinares pequenas, constituídas da seguinte forma: facilitador, supervisor de operação, operador, supervisor de manutenção, técnico de manutenção e se necessário por um especialista externo.

Na etapa de aplicação do procedimento proposto, onde foram levantados os possíveis modos de falha, notou-se que a experiência e o entendimento sobre o funcionamento dos componentes da Via Permanente, são fatores preponderantes e que algumas fontes de informações, tais como, documentação do fabricante, listas genéricas de defeitos, histórico de falhas e relatos de operadores, entre outras, podem complementar este conhecimento.

7 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

7.1 CONCLUSÕES

Este estudo proporcionou a reunião de informações atualizadas a respeito do setor ferroviário brasileiro com destaque para o substancial crescimento na produção de transporte de carga e passageiros ocorrido em anos recentes.

Conceitos técnicos importantes que envolvem a Via Permanente foram abordados com ênfase nas principais anomalias que ocorrem na geometria da via e nos componentes que a constitui.

Os impactos ambientais negativos passíveis de serem causados por cada uma das atividades relacionadas à operação do sistema ferroviário foram apresentados e medidas mitigadoras foram ressaltadas.

Disponibilizou-se conceitos básicos de falha, modos de falha e da metodologia *Reliability Centered Maintenance (RCM)*, assim como, da técnica *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)*, que serviu de base para o desenvolvimento do procedimento proposto.

Na pesquisa verificou-se que ferrovias que operam linhas solicitadas por grandes fluxos, principalmente aquelas acima de 25 milhões de toneladas brutas por ano, podem apresentar problemas de fadiga nos trilhos. Com as excessivas tensões de contato entre a roda e o trilho, seja por elevadas cargas ou por aumento de velocidade e com a maior frequência de trens, esses problemas evoluem de forma crescente.

Desta maneira, a busca por novas metodologias de planejamento da manutenção da Via Permanente torna-se imprescindível, com o intuito de racionalizar o processo de manutenção com um menor número de intervenções, custos adequados, segurança e baixos impactos ambientais negativos.

O procedimento proposto nesta dissertação buscou demonstrar que a criticidade é uma boa referência para análise das condições de desempenho da Via Permanente, podendo ser utilizada como indicador das condições de execução da manutenção da via, da necessidade de treinamento para pessoas das áreas de

operação e manutenção da mesma e de necessidades de modificação dos processos de controle e planejamento.

A aplicação da técnica *FMECA*, mostrou-se ser um método útil e de fácil compreensão para documentar de forma organizada o impacto potencial de cada falha funcional, fornecendo estimativas para as frequências de ocorrência das falhas e o grau de severidade dos efeitos das mesmas, visando definir formas de prevenção ou correção. Ressalta-se que a forma estruturada e organizada do formulário *FMECA* atende aos requisitos das normas vigentes, tais como as séries ISO 9.000 ou ISO 14.000.

Quanto ao estudo de caso, a determinação do índice de risco, a partir dos pesos referentes à severidade da falha e às probabilidades de ocorrência e detecção das mesmas, alocados por especialistas entrevistados durante a aplicação do procedimento, permitiu a hierarquização dos modos de falha.

Constatou-se que a análise dos efeitos dos modos de falha dos componentes da Via Permanente sobre o meio ambiente são fundamentais para o desenvolvimento sustentável do setor ferroviário. Destacam-se alguns malefícios, em particular ao meio antrópico, entre os quais, pode-se citar: ameaça à vida pessoal de funcionários e ameaça à vida humana na área de influência da linha férrea. Para mitigar esses efeitos, é necessário que se tenha infra-estrutura adequada tecnologicamente à nova realidade do setor ferroviário, principalmente no que se refere a um dos principais subsistemas de uma ferrovia, qual seja, a Via Permanente.

Enfim, este trabalho contribui para o aprimoramento do planejamento da manutenção ferroviária associado às questões ambientais, denotando que não há, hoje em dia, como dissociar as atividades produtivas das interações com o ambiente que cerca o sistema.

7.2 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES

Entre alguns trabalhos que podem dar continuidade ao aqui apresentado, destacam-se:

- o desenvolvimento de um software para automatizar o procedimento, o que facilitará o trabalho de preenchimento e acompanhamento das etapas;
- a adaptação do procedimento proposto para hierarquizar os modos de falha segundo a criticidade dos passivos ambientais relacionados à operação ferroviária;
- adaptação deste procedimento para o desenvolvimento de metodologia de implementação da *Reliability Centered Maintenance (RCM)* de forma integrada aos preceitos ambientais;
- incorporação de estudos, mundialmente reconhecidos, que incorporem as relações entre as atividades produtivas e as ações ambientais, destacando-se as estruturas “Pressão-Estado-Resposta”, desenvolvida pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico, e a DPSIR, desenvolvida pela Agência Européia de Meio Ambiente e
- o desenvolvimento e aplicação do procedimento proposto, ou equivalente, a outros subsistemas do sistema ferrovia, como Material Rodante, Sinalização, Telecomunicação, Sistema de Potência, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica etc..

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABGE. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental. **Lastro Colmatado**. Disponível: www.abge.com.br/acervo_ficha.htm [Capturado em: 30 de nov. 2007].
- ALL. América Latina Logística. **Histórico e dados de produção**. Disponível: <http://www.all-logistica.com/port/index.asp> [capturado em 16 mar. 2007].
- ANTF (a). Agência Nacional de Transportes Ferroviários. **Produção de Transporte Ferroviário de Carga**. Disponível: http://www.antf.org.br/cgi-bin/PageSvrExe.exe/Get?id_doc=2540 [capturado em 15 mar. 2007].
- ANTF (b). Agência Nacional de Transportes Ferroviários. **Histórico da ANTF**. Disponível: http://www.antf.org.br/cgi-bin/PageSvrExe.exe/Get?id_doc=2540 [capturado em 15 mar. 2007].
- ANTF (c). Agência Nacional de Transportes Ferroviários. **As empresas de transporte ferroviário de carga**. Disponível: http://www.antf.org.br/cgi-bin/PageSvrExe.exe/Get?id_doc=2540 [capturado em 15 mar. 2007].
- ANTF (d). Agência Nacional de Transportes Ferroviários. **Aplicação de Dormentes Alternativos à Madeira pelas Ferrovias Brasileiras**. Disponível: http://www.antf.org.br/cgi-bin/PageSvrExe.exe/Get?id_doc=2540 [capturado em 15 mar. 2007].
- ANTF (e). Agência Nacional de Transportes Ferroviários. **Dimensões de Dormentes**. Disponível: http://www.antf.org.br/cgi-bin/PageSvrExe.exe/Get?id_doc=2540 [capturado em 15 mar. 2007].
- ANTP. Associação Nacional de Transportes Públicos. Mobilidade Urbana no Brasil. Disponível: <http://www.antp.org.br/default.aspx> [capturado em 28 jan. 2007].
- ANTT (a). Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Extensão da malha ferroviária brasileiras**. Disponível: <http://www.antt.gov.br/concessaofer/apresentacaofer.asp> [capturado em 20 mar. 2007].
- ANTT (b). Agência Nacional de Transportes Terrestres. **Dados da produção das ferrovias brasileiras**. Disponível: <http://www.antt.gov.br/concessaofer/apresentacaofer.asp> [capturado em 20 mar. 2007].
- ANTT (c). Agência Nacional de Transportes Terrestres. **A desestatização das malhas da RFFSA**. Disponível: <http://www.antt.gov.br/concessaofer/apresentacaofer.asp> [capturado em 20 mar. 2007].

- BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Análise Experimental de Dormentes de Concreto Protendido Reforçados com Fibras de Aço**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), 1999.
- BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de Ferro I**. 258 p.: Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., ISBN 85-216-0011-9, Rio de Janeiro, 1979.
- BRINA, Helvécio Lapertosa. **Estradas de Ferro II**. 216 p.: Editora LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., ISBN 85-216-0122-0, Rio de Janeiro, 1982.
- CASTELLO BRANCO, José Eduardo S., FERREIRA, Ronaldo. **Tratado de Estradas de Ferro vol. II – Prevenção e Investigação de Descarrilamentos**. 534 p.: il.: 21 cm, Editora Reflexus Estúdio de Produção Gráfica, ISBN 85-901545-2-1, Rio de Janeiro, 2002.
- CBTU (a). Companhia Brasileira de Trens Urbanos. **As Operadoras de Transporte Urbano de Passageiros no Brasil**. Disponível: <http://www.cbtu.gov.br> [capturado em 23 mar. 2007].
- CBTU (b). Companhia Brasileira de Trens Urbanos. **Histórico e dados de produção**. Disponível: <http://www.cbtu.gov.br> [capturado em 23 mar. 2007].
- CENTRAL. Companhia Estadual de Engenharia de Transporte e Logística. **Histórico e dados de produção**. Disponível: <http://www.central.rj.gov.br> [capturado em 23 mar. 2007].
- CFN. Companhia Ferroviária do Nordeste. **Histórico e dados de produção**. Disponível: <http://www.cfn.com.br/noticias.htm> [capturado em 16 mar. 2007].
- CIA. The World Factbook. **Densidade Ferroviária em Alguns Países**. Disponível: <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/index.html> [capturado em 22 de dez. 2006].
- CMTP. Companhia Metropolitana de Transporte Público. **Histórico e dados de produção**. Disponível: <http://www.florianonet.com.br> [capturado em 23 mar. 2007].
- CNI. Confederação Nacional das Indústrias. **As Ferrovias Brasileiras de Transportes de Carga**. Disponível: http://www.cni.org.br/empauta/hidrovia/Luiz_Eduardo_Garcia-seminario2.pdf [capturado em 18 de abr. 2007].
- CNI. Confederação Nacional das Indústrias. **Capacidade de Transportes**. Disponível em: http://www.cni.org.br/empauta/hidrovia/Luiz_Eduardo_Garcia-seminario2.pdf [capturado em 18 de abr. 2007].
- COIMBRA, Marcelo do Vale. **A Manutenção na Via Permanente Ferroviária**. Monografia (Mestrado em Engenharia de Transporte). Instituto Militar de Engenharia, 2006.

- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N.º 003/1990.**
Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res90/res0390.html> [capturado em 10 de jul. 2007].
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N.º 001/1986.**
Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html> [capturado em 12 de jul. 2007]
- CONAMA. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N.º 349/2004.**
Disponível: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res04/res34904.xml> [capturado em 21 de ago. 2007]
- CONSTRENGE (a). **Socaria e Nivelamento da Via.** Disponível <http://www.constrenge.com.br/fotosmecanizacao.htm> [capturado em 28 de ago. 2007].
- CONSTRENGE (b). **Substituição de Dormentes.** Disponível: <http://www.constrenge.com.br/fotosreformas.htm> [capturado em 28 de ago. 2007].
- CRUZ, Isolina. **Gestão Ambiental da Operação do Transporte Ferroviário de Carga.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, 2004.
- CTS. Companhia de Transporte de Salvador. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.metro.salvador.ba.gov.br> [capturado em 23 mar. 2007].
- CURY, Marcus Vinícius Quintella. **O Transporte Metroferroviário e suas Vantagens Ambientais.** Revista Ferroviária. Rio de Janeiro, mar. 2007 pg. 60.
- CVRD. Companhia Vale do Rio Doce. **Manual de Defeitos em Trilhos.** Estrada de Ferro Carajás. Engenharia da Via Permanente – GAVIN, 2001.
- CVRD. Companhia Vale do Rio Doce. **Tipo de dormentação da EFVM e da EFC.** Disponível: www.cvrld.com.br/cvrld/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=525-46k [Capturado em 20 de mai. 2007].
- EFA. Estrada de Ferro Amapá. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.transportes.gov.br/bit/ferro/efa/inf-efa.htm> [capturado em 16 mar. 2007].
- EFC. Estrada de Ferro Carajás. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.transportes.gov.br/bit/ferro/efc/inf-efc.htm> [capturado em 16 mar. 2007].
- EFJ. Estrada de Ferro Jarí. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.transportes.gov.br/bit/ferro/efj-jari/inf-efj.htm> [capturado em 16 mar. 2007].

EFT. Estrada de Ferro Trombetas. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.transportes.gov.br/bit/ferro/eft/inf-eft.htm> [capturado em 16 mar. 2007].

EFVM. Estrada de Ferro Vitória Minas. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.cvrld.com.br/cvrld/cgi/cgilua.exe/sys/start.htm?sid=63> [capturado em 16 mar. 2007].

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Consumo de energia por modal em 2005.** Rio de Janeiro, mar. 2007. Disponível: http://www.ben.epe.gov.br/BEN2006_Capitulo3.aspx [Capturado em 28 mar. 2007].

FCA (a). Ferrovia Centro-Atlântico. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.fcasa.com.br/> [capturado em 16 mar. 2007].

FCA (b). Ferrovia Centro-Atlântico. **Curso de Treinamento de Rondas de Linha e Condutores da FCA**, 22 dez. 2007.

FERRONORTE. Ferrovia do Norte Brasil. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.transportes.gov.br/bit/ferro/ferronorte/inf-fen.htm> [capturado em 16 mar. 2007].

FERROPAR. Ferrovia do Paraná. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.ferropar.com.br/> [capturado em 16 mar. 2007].

FERROVIA NORTE SUL. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.ferrovianortesul.com.br/> [capturado em 16 mar. 2007].

FERROVIA NOVA TRANSNORDESTINA. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.transportes.gov.br/bit/ferro/transnordestina/pltransnordestina.htm> [capturado em 16 mar. 2007].

FERROVIA NOVOESTE. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.transportes.gov.br/bit/ferro/fnoeste/inf-fno.htm> [capturado em 16 mar. 2007].

FERROVIA UNAÍ-PIRAPORA. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.transportes.gov.br/bit/ferro/unai-pirapora/inf-unai-pi.htm> [capturado em 16 mar. 2007].

FOGLIATTI, Maria Cristina. FILIPPO, Sandro. GOUDARD, Beatriz. **Avaliação de Impactos Ambientais** – Aplicação aos Sistemas de Transporte. 249 p. Editora Interciência, ISBN 85-7193-108-9, Rio de Janeiro, 2004.

FTC. Ferrovia Tereza Cristina. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.ftc.com.br> [capturado em 16 mar. 2007].

HIDREMEC. Tipos de Fixação de Dormentes de Aço. Disponível: <http://www.hidremec.com.br/produtos.asp?pag=4115> [Capturado em: 30 de mai. 2007].

IEC 60300.3.11: **Gestion de la Sureté de Fonctionnement – Partie 3.11. Guide d’aplication – Maintenance basée sur la fiabilité.** International Standard, Second Edition, 2003.

JORNALVEJAAGORA. **Descarrilamento do Material Rodante Transportando Produtos Inflamáveis.** Disponível: <http://www.jornalvejaagora.com.br/Fotos/JVA0232.11909.A.jpg> [capturado em 28 de ago. 2007].

LAFRAIA, João Ricardo Barusso. **Manual de Confiabilidade, Manutenibilidade e Disponibilidade.** p. 374, Editora Qualitymark, ISBN 85-7303-294-4, Rio de Janeiro, 2001.

LIMA, Henrique Alexandre Dourado. **Procedimento para Seleção de Método para Manutenção da Geometria da Superestrutura Ferroviária.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, 1998.

MAGALHÃES, Paulo César Barroso. **Via Permanente.** Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas. Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro, 2007.

MARCORIN, Wilson Roberto, LIMA, Carlos Roberto Camello. **Análise dos Custos de Manutenção e de Não-manutenção de Equipamentos Produtivos.** Revista de Ciência & Tecnologia, v.11, n° 22, p.35-42, 2003.

MARTINS DA SILVA, Ricardo. **Desvio Ativo (Desenho Esquemático).** Disponível: <http://www.poli.usp.br/d/ptr2501> [Capturado em: 30 de out. 2006].

MARTINS, Ellen Regina Capistrano. **Regulação do Transporte Ferroviário de Carga.** Curso de Especialização em Transportes Ferroviário de Cargas. Instituto Militar de Engenharia – IME, Rio de Janeiro, 2007.

METALICA. **Ilustração de Perfil de Trilho.** Disponível: www.metalica.com.br [Capturado em 20 de mai. 2007].

METRÔ DF. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.metro.df.gov.br> capturado em 23 mar. 2007].

METRÔ RIO. **Histórico e dados de produção.** Disponível: <http://www.metrorio.com.br/> capturado em 23 mar. 2007].

METRÔ SP. **Histórico e dados de produção**. Disponível: <http://www.metrorio.com.br> [capturado em 23 mar. 2007].

MIL- STD- 882: **System Safety Requirements / Standard Practice for System Safety**, Department of Defense Standard Practice for System Safety, 1993.

MIL-STD-1629A. DD. Department of Defense, Departments of The Army, The Navy and The Air Force ARMY. **Military Standard Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis**. Washington, DC, November, 1980.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Anuário Estatístico 2001**. Disponível: <http://www.transportes.gov.br/> [Capturado em 23 de mar. 2007].

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. **Custo do Transporte Ferroviário**. Disponível: <http://www.transportes.gov.br/> [Capturado em 20 de mar. 2007].

MOLITORIS, Jolene. **Perspectivas Econômicas**. Revista Eletrônica do Departamento de Estados dos EUA, Vol.5 Nº3, Outubro de 2000. Disponível: <http://usinfo.state.gov/journals/ites/1000/ijep/toc.htm> [capturado em 15 mar. 2007].

MOUBRAY, J. **Reliability - centered maintenance**. Oxford: Butterworth Heinemann, 1997

MRS LOGÍSTICA S.A (a). **Histórico e dados de produção**. Disponível: <http://www.mrs.com.br/> [capturado em 16 mar. 2007].

MRS LOGÍSTICA S.A. (b). **Track Evaluation Vehicle (Track Star)**. Disponível: http://www.mrs.com.br/interna.php?nomPagina=tecnologia/trackstar_e_esmerilhadora.php&IdSecao=6 [capturado em 28 de ago. 2007]

MRS LOGÍSTICA S.A. (c). **Sondagem com Equipamento de Ultra-som**. Disponível: http://www.mrs.com.br/interna.php?nomPagina=tecnologia/trackstar_e_esmerilhadora.php&IdSecao=6 [capturado em 28 de ago. 2007].

MRS LOGÍSTICA S.A. (d). **Veículos Esmerilhadores de Trilhos**. Disponível: http://www.mrs.com.br/interna.php?nomPagina=tecnologia/trackstar_e_esmerilhadora.php&IdSecao=6 [capturado em 28 de ago. 2007].

MRS LOGÍSTICA S.A. (e). **Fotos registradas pelo autor na visita técnica a empresa MRS Logística**, 05 de outubro de 2007.

NIEM. Núcleo de Inteligência Econômica e de Mercado. **Características Técnicas da Madeira**. Disponível: <http://niem.ipt.br/ipt/SubNivel.asp?codtema=17&codsub=439> [capturado em 24 de mai. 2007].

PEREIRA, Alessandra Pimentel de Oliveira. **Subsídios para o Gerenciamento Ambiental na Implantação e Operação de Ferrovias**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, 2000.

- PINTO, Alan Kardec. NASCIF, Júlio. **Manutenção: Função Estratégica**. 2º Edição. Editora Qualitymark, Rio de Janeiro, 2001.
- PREFEITURA DE CARAMBEI/PR. **Notícia de Acidente Ferroviário**. Carambei, 2006. Disponível: <http://www.carambei.pr.gov.br/html/modules/news/article.php?storyid=145> [capturado em 28 de ago. 2007].
- PUERTO VENTANAS S.A. **Terminal de Carga**. Disponível: http://www.puertoventanas.cl/fotos%20paginas%20web/PUERTO_VENTANAS_SA_1_05.jpg [capturado em 28 de ago. 2007].
- RAILBUSS. **Oficina de Manutenção**. Disponível: http://www.railbuss.com/noticias/fotos/DSC07738_resize.JPG&imgrefurl [capturado em 28 de ago. 2007]
- REVISTA FERROVIÁRIA. **A participação do sistema metroferroviário na matriz de transporte urbano brasileira**. Rio de Janeiro, mar. 2007 pg. 59.
- REVISTA FERROVIÁRIA. **Dados das Operadoras de Transporte Urbano de Passageiros no Brasil**. Rio de Janeiro, mar. 2007 pg. 24.
- RIVES, F.O., M.R. MENDES e M.M. PUENTE. **Tratado de Ferrocarriles II – Ingeniería Civil e Instalaciones**. Editora Ruerda, Madri, ISBN 84-7207-015-8, Madri (Espana), 1980.
- RIVES, F.O., PITA, A.L. e PUENTE, M.J.M. **Tratado de Ferrocarriles I**. Editora Ruerda, Madri (Espana), 1977.
- RODRIGUES, Carlos Alceu. **Análise de Registros do Carro-Control PV-6 Diagnósticos sobre a qualidade da via**. Programa para Capacitação em Análise de Registros do Carro-Control PV6: Ênfase Segurança e Economicidade – FCA/Technicontrol, Rio de Janeiro, 2005.
- RODRIGUES, Carlos Alceu. **Contribuição ao Planejamento da Manutenção Preditiva da Superestrutura Ferroviária**. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2001.
- SAE-JA-1011. **Evaluation Criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes**. Society of Automotive Engineers. Warrendale,PA, USA, 1999.
- SAE-JA-1012. **A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard**. Society of Automotive Engineers. Warrendale,PA, USA, 2002.
- SCHRAMM, Gerhard. **Técnica e Economia na Via Permanente**. Tradução por Rudy A. Volkmann, 297 p, 1977.

- SEMPREBONE, Paula da Silva. **Desgaste em Trilhos Ferroviários – Um Estudo Teórico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Faculdade de Engenharia Estadual de Campinas, 2006.
- SESCSP. Serviço Social do Comércio de São Paulo. **Pátio Ferroviário**. Disponível: <http://www.sescsp.org.br/sesc/hotsites/brasmitte/portugues/pari.htm> [capturado em 17 de set. 2007].
- SILVA, Luiz Francisco Muniz da Silva. **Fundamentos Teóricos-Experimentais da Mecânica dos Pavimentos Ferroviários e Esboço de um Sistema de Gerência Aplicado à Manutenção da Via Permanente**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.
- SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade – Manual de Implementação**. 408 p.: Editora Qualitymark, ISBN 85-7303-566-8, Rio de Janeiro, 2005.
- SOUZA, Fabio Januário de. **Melhoria do Pilar “Manutenção Planejada” da TPM Através da Utilização do RCM para Nortear as Estratégias de Manutenção**. (Mestrado Profissionalizante em Engenharia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2004.
- STB. Surface Transportation Board. **Custos Operacionais Típicos nas Ferrovias Americanas**. Anuário Estatístico 2004
- STEFFLER, Fábio. **Curso de Investigação de Acidentes da ALL**. Técnica de Via Permanente. Engenharia de Linhas. Curso ministrado aos funcionários da empresa ALL, 2007.
- STOPATTO, Sérgio. **Via Permanente Ferroviária: Conceitos e Aplicações**. 251 p. ISBN 85-85008-69-5, São Paulo, 1987.
- STUNNEL Technology Limited. **FMEA for Engineers. How to Improve Productivity in Design and Development**. Engineering FMEA. Version 2.2, 2003.
- SUCENA, Marcelo Prado (a). **Passagem em Nível (Ilustração)**. Notas de aula da disciplina Transporte Ferroviário – Instituto Militar de Engenharia, 2006.
- SUCENA, Marcelo Prado (b). **Aparelho de Mudança de Via (Ilustração)**. Notas de aula da disciplina Transporte Ferroviário – Instituto Militar de Engenharia, 2006.
- SUCENA, Marcelo Prado. **Subsídios para a Alocação de Recursos Financeiros em Sistemas de Transportes Urbanos Sobre Trilhos Baseado em Critérios Técnicos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Militar de Engenharia, 2002.
- SUPERVIA. **Histórico e dados de produção**. Disponível: <http://www.supervia.com.br> [capturado em 23 mar. 2007].

TI-850-02. DD. Department of Defense, Departments of The Army, The Navy and The Air Force ARMY. **Railroad Design and Rehabilitation Manual**. Washington, DC, October, 2000.

TM-5-628. DD. **Department of Defense, Departments of The Army, The Navy and The Air Force ARMY**. Field Identification of Rail Defects. Washington, DC, April, 1991

TREKEARTH. **Estação da Luz**. Disponível: <http://images.google.com.br/imgres?imgurl=http://i1.trekearth.com/photos/6778/luz.jpg> [capturado em 28 de ago. 2007].

TRENSURB. Empresa de Trens Urbanos de Porto Alegre. **Histórico e dados de produção**. Disponível: <http://www.trensurb.com.br> [capturado em 23 mar. 2007].

TSB. Transportation Safety Board of Canadá. **Esmagamento do Boleto**, 2002. Disponível em <http://www.tsb.gc.ca/en/reports/rail/2002/r02q0021/r02q0021.asp> [Capturado em: 30 de nov. 2007].