



COPPE/UFRJ

UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO OPERACIONAL DE FERROVIAS POR
MEIO DE SIMULAÇÃO PROBABILÍSTICA

Thadeu Renato Brandão Vieira

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Transportes, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes.

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Rio de Janeiro

Abril de 2009

UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO OPERACIONAL DE FERROVIAS POR
MEIO DE SIMULAÇÃO PROBABILÍSTICA

Thadeu Renato Brandão Vieira

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA
(COPPE) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES.

Aprovada por:

Prof. Márcio de Almeida D'Agosto, D.Sc.

Prof. Amaranto Lopes Pereira, Dr. Ing.

Prof. Altair dos Santos Ferreira Filho, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

ABRIL DE 2009

Vieira, Thadeu Renato Brandão

Uma Contribuição Para a Gestão Operacional de Ferrovias Por Meio de Simulação Probabilística/ Thadeu Renato Brandão Vieira. – Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2009.

XV, 108 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Márcio de Almeida D’Agosto

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia de Transportes, 2009.

Referencias Bibliográficas: p. 91-95.

1. Simulação. 2. Transporte Ferroviário. 3. Gestão Operacional. I. D’Agosto, Márcio de Almeida. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Engenharia de Transportes. III. Título.

A minha mãe Gilka pelo amor incondicional.

A Deus.

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha mãe que sempre está ao meu lado como uma grande amiga e fiel escudeira. A principal responsável pela minha formação.

À minha noiva Luciana, que sempre que precisei esteve presente mesmo através de telefones e e-mails, me dando aquele apoio e incentivo para o início e a conclusão desta dissertação.

Ao professor Márcio D'Agosto, pela orientação e paciência no decorrer do trabalho.

Ao professor Hostílio Ratton Neto, pelos ensinamentos na área ferroviária e o aval da minha proposta de dissertação.

Ao professor Altair Ferreira filho, pelas sugestões para a consistência da minha dissertação.

Ao José Luis Teixeira Filho, pela indicação dos contatos vitais na MRS Logística.

Ao Marcelo Neder, Guilherme Chiaini e Alan Fernandes pela boa vontade de fornecer os dados necessários para fazer valer o modelo.

Aos colegas Luis Lincoln Massena, Marcella Drummond e Estefânia Bordin pela amizade durante o programa de mestrado.

Ao Ricardo Guabiroba e a Suellem Deodoro pela colaboração com o *software* de simulação.

A todos os demais colegas que conheci na COPPE, que, cada um com suas particularidades, deixaram recordações inesquecíveis destes 3 anos de dedicação ao Mestrado.

Aos professores e funcionários do PET.

A Capes, pelo o auxílio que viabilizou a realização desta dissertação.

A todos que de alguma forma contribuíram para que eu pudesse realizar este trabalho.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

UMA CONTRIBUIÇÃO PARA A GESTÃO OPERACIONAL DE FERROVIAS POR
MEIO DE SIMULAÇÃO PROBABILÍSTICA

Thadeu Renato Brandão Vieira

Abril/2009

Orientador: Márcio de Almeida D'Agosto

Programa: Engenharia de Transportes

As empresas do setor ferroviário têm dado importância à logística como um ponto estratégico. Esta tendência é impulsionada pelo aumento da complexidade das operações aliada à exigência de altos níveis de serviço por parte dos clientes. Conjuntamente à logística, a modernização e a incorporação de novas tecnologias foram surgindo dentro de todas as áreas das empresas ferroviárias, incluindo a área operacional. Diante disso, esta dissertação tem como objetivo exemplificar, por meio de uma aplicação prática, como a ferramenta de simulação probabilística permite auxiliar a gestão operacional ferroviária.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

A CONTRIBUTION TO THE OPERATIONAL MANAGEMENT OF RAILWAYS
BY SIMULATION PROBABILISTIC

Thadeu Renato Brandão Vieira

April/2009

Advisor: Márcio de Almeida D'Agosto

Department: Transports Engineering

The railway companies in the sector have given importance to logistics as a strategic point. This trend is leveraged by the increasing complexity of operations associated with the requirement of high-levels service from the customers. Besides with logistics, the modernization and incorporation of new technologies were emerging in all areas of railway, including the operational area. Considering that this essay aims to illustrate through a practical application as a probabilistic simulation tool can help the railway operational management.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 OBJETIVOS	1
1.3 RELEVÂNCIA.....	2
1.4 DELIMITAÇÃO	3
1.5 METODOLOGIA DO TRABALHO	3
1.5.1 Método de pesquisa	3
1.5.2 Limitações do método	4
1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	5
2 O TRANSPORTE FERROVIÁRIO NO BRASIL	7
2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	7
2.2 BREVE HISTÓRICO DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGA NO BRASIL	7
2.3 CARACTERÍSTICAS DO MODO FERROVIÁRIO.....	8
2.3.1 Vantagens do modo ferroviário	10
2.3.2 Limitações do modo ferroviário	10
2.4 ASPECTOS DO PROGRAMA NACIONAL DE DESESTATIZAÇÃO	11
2.4.1 Reestruturação do setor ferroviário	14
2.4.2 Aspectos da fase pós-privatização.....	18
2.4.2.1 Pontos positivos da fase pós-privatização	18
2.4.2.2 Pontos negativos da fase pós-privatização	19
2.5 TRANSPORTE FERROVIÁRIO NA ATUALIDADE.....	20
2.6 PROBLEMAS QUE AFETAM A CIRCULAÇÃO DOS TRENS.....	22
2.6.1 Aspectos gerais	22
2.6.2 Principais entraves nas ferrovias	22
2.6.2.1 Extensão da malha ferroviária	23
2.6.2.2 Regulamentação no direito de passagem e a diferença de bitola	24
2.6.2.3 Passagens de nível	25
2.6.2.4 Invasões da faixa de domínio	25

3 GESTÃO DE SISTEMAS FERROVIÁRIOS DE CARGA	27
3.1 COMPONENTES DO SISTEMA FERROVIÁRIO.....	27
3.1.1 Via permanente da ferrovia	27
3.1.2 Material rodante.....	28
3.1.3 Sinalização ferroviária.....	29
3.1.4 Redes de comunicação	30
3.1.5 Pátios ferroviários.....	30
3.1.5.1 Quanto à localização.....	31
3.1.6 Terminais ferroviários	31
3.1.7 Instalações de reparos e de manutenção	32
3.2 GESTÃO OPERACIONAL	33
3.2.1 Variáveis da operação de sistemas ferroviários.....	33
3.2.2 Estrutura operacional.....	34
4 TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO OPERACIONAL.....	37
4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	37
4.2 RECURSOS UTILIZADOS.....	37
4.2.1 Teoria das filas.....	38
4.2.1.1 Estrutura básica.....	39
4.2.1.2 Características de uma fila.....	39
4.2.1.3 Medidas de desempenho de filas	41
4.2.1.4 Notação Kendall	41
4.2.1.5 A teoria de filas aplicada ao transporte ferroviário	42
4.2.2 Simulação	42
4.2.2.1 Etapas na criação de um modelo de simulação	44
4.2.2.2 Vantagens e Desvantagens da Simulação.....	46
4.2.2.3 A simulação aplicada ao transporte ferroviário no Brasil	47
5 ESTUDO DE CASO: MRS LOGÍSTICA	50
5.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA	50
5.1.2 Características operacionais	53
5.1.2.1 Cargas	53
5.1.2.2 Malha ferroviária	54
5.1.2.3 Material rodante.....	55

5.1.2.4 Tecnologias.....	55
5.1.2.5 Terminais	58
5.1.2.6 Pátios	59
5.1.2.7 Problemas enfrentados nos pátios	60
5.2 APOIO À GESTÃO DA OPERAÇÃO NA FERROVIA	62
5.2.1 Etapas da pesquisa.....	62
5.2.2 Fluxo das atividades e tipos de cargas.....	63
5.2.3 Definição das variáveis do modelo.....	64
5.2.4 Criação lógica do modelo	66
5.2.5 Coleta dos dados	68
5.2.6 Criação do modelo no Arena.....	70
5.2.6.1 Partida dos trens	70
5.2.6.2 Deslocamentos e Atendimento dos trens.....	70
5.2.6.3 Porcentagens de trens desviados.....	70
5.2.6.4 Chegada dos trens	71
5.2.7 Verificação do modelo por meio da comparação dos dados reais e simulados.....	77
5.2.7.1 Número total de trens gerados em cada servidor.....	77
5.2.7.2 Número total de trens que passaram no sistema.....	78
5.2.7.3 Número total de trens que chegaram ao destino final	78
5.2.7.4 Número total de trens gerados em cada pátio de partida.....	79
5.2.8 Comparativo entre os tempos de rodadas simuladas	80
5.2.9 Análise dos resultados	83
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES	88
6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
6.2 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS	89
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	901
RESUMO DOS SITES PESQUISADOS.....	95
ANEXO I.....	96
ANEXO II	98
ANEXO III	100
ANEXO IV	103
ANEXO V	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa do sistema ferroviário nacional	13
Figura 2 - Investimentos governamentais na RFFSA (antes de privatização)	15
Figura 3 – Elementos da via permanente	27
Figura 4 – Sinalização	29
Figura 5 – Variáveis da operação ferroviária	34
Figura 6 – Estrutura operacional	36
Figura 7 – Elementos de uma fila.....	39
Figura 8 – Formas de estudos de sistemas.....	43
Figura 9 – Etapas na criação de um modelo de simulação.....	44
Figura 10 – Traçado da malha ferroviária da MRS Logística e ferrovias co-existentes na região	50
Figura 11 – Relação dos acionistas em capital social.....	51
Figura 12 – Produção anual em milhares de toneladas	52
Figura 13 – Acesso aos Portos do Rio de Janeiro, Itaguaí e Guaíba	54
Figura 14 – Acesso ao Porto de Santos	55
Figura 15 – Centro de Controle Operacional.....	57
Figura 16 – Simulador de condução de trens TS-2	57
Figura 17 – Simulador de condução de trens TS-1	58
Figura 18 – Desenho esquemático do pátio de Arará.....	60
Figura 19 – Invasão da faixa de domínio da MRS	61
Figura 20 – Fluxo das atividades com as variáveis envolvidas.....	65
Figura 21 – Modelo da operação na malha da MRS	67
Figura 22 – Estrutura do modelo no Arena	72
Figura 23 – Processo no modelo responsável por gerar a partida dos trens nas origens	73
Figura 24 – Processo responsável por atender os trens nos pátios	74
Figura 25 - Processo responsável pelos percentuais de trens que seguem por rotas específicas.....	75
Figura 26 – Processo responsável pela saída dos trens do sistema	76
Figura 27 – Comparação entre os dados reais x dados simulados (trens gerados nos pátios)	78
Figura 28 – Comparação entre os dados reais e simulados (trens que passaram no sistema).....	78

Figura 29 – Comparação entre os dados reais e simulados (trens que chegaram ao destino final).....	79
Figura 30 – Comparação entre os dados reais e simulados (trens gerados nos pátios de origem)	79
Figura 31 – Variação média da ocupação dos pátios de origens	80
Figura 32 – Número médio das partidas dos trens em cada origem.....	81
Figura 33 – Tempo médio na fila em minutos.....	81
Figura 34 – Variação média da ocupação de cada servidor de 1 mês para 6 meses.....	82
Figura 35 – Variação média da ocupação de cada servidor de 6 meses para 1 ano	82
Figura 36 – Número médio de trens nas filas	83
Figura 37 – Número médio de trens que passaram em cada servidor	83
Figura 38 – Comparação entre o tempo médio na fila no sistema (FJC)	84
Figura 39 – Comparação entre o número médio de trens nas filas do sistema (FJC)	85
Figura 40 – Comparação entre o tempo médio na fila no sistema (FBB)	86
Figura 41 – Comparação entre o número médio de trens nas filas do sistema (FBB) ...	86
Figura 42 – Foto satélite do pátio do Arará	98

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Extensão da malha ferroviária em km	13
Tabela 2 – Principais produtos transportados.....	16
Tabela 3 – Transporte de cargas (características da demanda)	16
Tabela 4 – Carga transportada (valores em milhões de t úteis).....	17
Tabela 5 – Produção de transporte (Valores em bilhões de t x km úteis)	17
Tabela 6 – Transporte de carga por ferrovia.....	18
Tabela 7 – Cobertura da malha ferroviária nos países selecionados	23
Tabela 8 – Produção por tipo de carga em milhares de toneladas a partir de Janeiro....	53
Tabela 9 – Terminais estratégicos	59
Tabela 10 – Pátios da MRS Logística	59
Tabela 11 – Rotas dos trens	63
Tabela 12 – Distribuição dos <i>headways</i> dos trens	68
Tabela 13 – Distribuição dos tempos de atendimento dos trens nos pátios	69
Tabela 14 – Distribuição do <i>transit time</i> entre os pátios	69
Tabela 15 – Porcentagens de trens desviados pelas rotas.....	71

LISTA DE SIGLAS

ANTF	Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CCO	Centro de Controle Operacional
CEL	Centro de Estudos em Logística
CENTRAL	Companhia Estadual de Engenharia de Transportes e Logística
CFN	Companhia Ferroviária do Nordeste S.A
CND	Conselho Nacional de Desestatização
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
CTC	Controle de Tráfego Centralizado
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EFVM	Estrada de Ferro Vitória-Minas
EUA	Estados Unidos da América
FCA	Ferrovias Centro-Atlântica S.A
FERROBAN	Ferrovias Bandeirantes S.A
FERROESTE	Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A

FERRONORTE	Ferrovias Norte do Brasil S.A
FND	Fundo Nacional de Desestatização
FTC	Ferrovia Teresa Cristina
GE	General Eletric
GM	General Motors
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MBR	Minerações Brasileiras Reunidas S.A
MRS	MRS Logística S.A
NOVOESTE	Ferrovia Novoeste S.A
PIB	Produto Interno Bruto
PN	Passagem de Nível
PND	Programa Nacional de Desestatização
RFFSA	Rede Ferroviária Federal S.A
SISLOG	Sistema de Informações Operacionais da MRS
TECAR	Terminal de Carvão
TECON	Terminal de Contêiner
TEU's	Twenty Foot Equivalent Units
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Para o sucesso pleno de qualquer empresa no cenário nacional ou internacional, torna-se indispensável que a mesma aumente sua produtividade para ganhar competitividade no mercado de atuação, uma vez que, as vantagens competitivas estão sendo definidas nos pequenos detalhes.

As empresas do setor ferroviário têm dado importância a esses detalhes como um ponto estratégico, adotando a boa prática da logística como um diferencial. Esta tendência é impulsionada pelo aumento da complexidade das operações aliado à exigência de altos níveis de serviço por parte dos clientes. Com a competitividade do mercado, a redução dos custos operacionais é uma ação fundamental para a sobrevivência das empresas.

Conjuntamente a adoção da boa prática da logística, a modernização e a incorporação de novas tecnologias foram surgindo dentro de todas as áreas das empresas ferroviárias, incluindo a área de gestão operacional. Diante disso, esta dissertação apresenta uma opção de auxílio à gestão operacional de redes ferroviárias por meio da utilização da simulação probabilística, ferramenta que busca auxiliar o operador ferroviário no aprimoramento da utilização dos recursos disponíveis.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo desta dissertação é exemplificar, por meio de uma aplicação prática, como a ferramenta de simulação probabilística permite auxiliar a gestão operacional de ferrovias.

Os objetivos secundários desta dissertação são: (1) assimilar os conceitos teóricos da gestão ferroviária; (2) aprender e compreender a técnica de simulação probabilística destacando suas aplicações e restrições de uso e (3) aprender a utilizar e aplicar um *software* comercial de simulação probabilística de sistemas no estudo de caso.

1.3 RELEVÂNCIA

O aumento das exportações nos últimos anos teve vários aspectos positivos, ao mesmo tempo em que revelou uma série de fragilidades logísticas do país. Segundo Fleury (2005), dentre os aspectos positivos podem ser destacados o aumento da participação do Brasil nas exportações mundiais, o crescimento da participação das exportações no PIB e o aumento das reservas cambiais do país.

Os tipos de produtos predominantemente transportados pelas ferrovias são *commodities*, como: minério de ferro, grãos e cimento, todos caracterizados por Fleury (2005) como produtos de baixo valor agregado. Portanto, para que o preço destes produtos seja competitivo é indispensável um sistema de transporte eficiente, pois o custo de transporte é uma parcela considerável do valor destes produtos.

Dentre as fragilidades logísticas do país, podem ser destacados os entraves logísticos, em particular os associados ao uso do modo de transporte ferroviário. Segundo a pesquisa CNT/CEL/COPPEAD/UFRJ (2002), os entraves ferroviários prejudicam de forma significativa o desenvolvimento do país.

Como exemplo dessa fragilidade, podem ser citados; a pequena extensão da malha ferroviária, a concorrência predatória com o modo rodoviário, a invasão da faixa de domínio, a má ou a falta de sinalizações em passagens de nível, o problema de regulamentação do direito de passagem e a diferença de bitola.

Diante destes problemas, esta dissertação pretende apresentar como a simulação auxilia na gestão operacional por meio da previsão de possíveis problemas e do local onde eles podem ocorrer. Possibilitando prever entraves no sistema sem que, para tanto, sejam feitos investimentos em modificações de sua planta física ou na aquisição de material rodante.

Gomes (1982) afirma que uma alternativa viável, sem a necessidade de grandes investimentos, é a melhoria da operação do sistema ferroviário. A eficiência dos pátios, terminais ou intermediários influi diretamente nessa melhoria, já que a permanência de trens parados constitui parcela preponderante dos custos operacionais da ferrovia.

Segundo Gomes (1982), geralmente, existe grande facilidade das ferrovias em absorver incrementos de tráfego, com a melhor gestão das atividades relacionadas à dinâmica e à operação dos trens. Para tanto, torna-se necessária à aplicação de técnicas e modelos que contribuam com a análise operacional da ferrovia.

1.4 DELIMITAÇÃO

Não faz parte deste estudo a análise dos investimentos necessários para ampliação da capacidade da rede ferroviária. Não se pretende, portanto, tirar qualquer conclusão quanto à viabilidade da expansão da ferrovia ou avaliar sua rentabilidade futura, mas apenas a exemplificação de uma ferramenta de simulação permitindo auxiliar na gestão operacional ferroviária.

Tampouco serão discutidas questões relacionadas aos modelos de concessão das ferrovias brasileiras e aspectos relativos à legislação do setor ferroviário. Isto é, a dissertação terá foco operacional e não econômico-financeiro ou regulamentar.

O modelo de aplicação foi desenvolvido com base nos dados da MRS, porém, a aplicação em outras ferrovias pode ocorrer mudando as características e particularidades de cada empresa.

1.5 METODOLOGIA DO TRABALHO

1.5.1 Método de pesquisa

Vergara (1997) propõe dois critérios básicos de classificação de uma pesquisa: quanto aos fins e quanto aos meios.

Quanto aos fins, uma pesquisa pode ser classificada como exploratória, descritiva, explicativa, metodológica, aplicada ou intervencionista. Como o objetivo desta dissertação é desenvolver um modelo de aplicação que utilize a ferramenta de simulação probabilística, é possível classificá-la, quanto aos fins, como uma pesquisa aplicada, pois busca um resultado bastante específico.

“A pesquisa aplicada é fundamentalmente motivada pela necessidade de resolver problemas concretos, mais imediatos, ou não. Tem, portanto, finalidade prática, ao contrário da pesquisa pura, motivada basicamente pela curiosidade intelectual do pesquisador e situada, sobretudo no nível da especulação” (VERGARA, 1997, p.45).

Quanto aos meios, às classificações das pesquisas podem ser: pesquisa de campo, pesquisa de laboratório, telematizada, documental, bibliográfica, experimental, *ex post facto*, participante, pesquisa-ação ou estudo de caso. Esta dissertação, ao mesmo tempo, se enquadra como uma pesquisa de laboratório e estudo de caso.

“Pesquisa de laboratório é experiência realizada em local circunscrito, já que no campo seria praticamente impossível realizá-la. Simulações em computador situam-se nesta classificação” (VERGARA, 1997, p.46).

“Estudo de caso é o circunscrito a uma ou poucas unidades, entendidas essas como uma pessoa, uma família, um produto, uma empresa, um órgão público, uma comunidade ou mesmo um país. Tem caráter de profundidade e detalhamento. Pode ou não ser realizado no campo”(VERGARA, 1997, p.47).

Apesar de ter sido realizada na fase inicial uma pesquisa bibliográfica¹ e uma pesquisa telematizada², o corpo principal do trabalho encontra-se na análise dos dados do caso específico escolhido para o estudo. Ratificando assim, que esta pesquisa é de laboratório e estudo de caso.

1.5.2 Limitações do método

O método do estudo de caso apresentado permite tirar apenas conclusões específicas para a ferrovia selecionada.

Além disso, a complexidade das operações ferroviárias faz com que exista um grande número de variáveis envolvidas que devem ser consideradas para a avaliação de seu desempenho através de ferramentas analíticas e simulação. Um número demasiado de variáveis tornaria qualquer tipo de análise inviável. Para viabilizar tal processo faz-se

¹ “Pesquisa bibliográfica é o estudo sistematizado desenvolvido com base em material publicado em livros, revistas, jornais, redes eletrônicas, isto é, material acessível ao público em geral.” (VERGARA, 1997)

² “A pesquisa telematizada busca informações em meios que combinam o uso do computador e de telecomunicações. Pesquisas na *internet* são um exemplo.” (VERGARA, 1997)

necessária a utilização de um método de simplificação, onde apenas as variáveis de maior relevância sejam consideradas.

Todavia, embora essa simplificação da realidade permita o prosseguimento dos estudos e evite a “paralisa da análise”, deixa algumas lacunas no modelo adotado, limitando a validade dos resultados caso alguma das variáveis desconsideradas venham a sofrer uma alteração significativa.

1.6 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

Após este capítulo introdutório, em que se pretendeu deixar claro os objetivos do estudo, a sua relevância, a metodologia e as suas delimitações, inicia-se o Capítulo 2, intitulado “O Transporte Ferroviário no Brasil”. Neste capítulo é feita uma revisão bibliográfica que visa identificar na literatura o embasamento para a realização desta dissertação. Uma vez realizada uma breve apresentação do capítulo (2.1), é realizado um breve histórico do transporte ferroviário de carga no Brasil (2.2). Na terceira seção (2.3) são citadas as principais características do modo ferroviário e na quarta seção (2.4) é feita uma descrição dos aspectos do Programa Nacional de Desestatização. A quinta seção (2.5) mostra como se encontra o transporte ferroviário na atualidade e por fim, na sexta e última seção (2.6) deste capítulo são apresentados os problemas que vem dificultando a operação ferroviária.

O terceiro capítulo dedica-se a gestão de sistemas ferroviários de carga, como os componentes do sistema (3.1) e a gestão operacional (3.2).

O quarto capítulo, intitulado “Técnicas Para Avaliação de Desempenho Operacional”, realiza uma breve apresentação do capítulo (4.1) e a seguir apresenta a metodologia utilizada neste estudo (4.2).

O quinto capítulo consiste no estudo de caso da MRS Logística. Na primeira seção (5.1), é feita uma descrição da empresa. A segunda seção (5.2) se destina à apresentação do fluxo da operação ferroviária e o modelo de simulação desenvolvido, detalhando os passos seguidos e os resultados encontrados. Ao final desta seção, encontra-se a análise dos resultados em relação aos aspectos relevantes para a gestão da ferrovia.

O capítulo 6 – “Considerações Finais” – conclui o estudo, resumindo os principais resultados obtidos (6.1) e sugerindo pesquisas futuras (6.2).

Por fim, seguem nas “Referências Bibliográficas” as fontes pesquisadas ao longo do trabalho. Inicialmente, são apresentadas as referências ordenadas pelo sobrenome do autor. Em seguida, encontra-se uma relação dos principais *sites* pesquisados, com o intuito de facilitar a busca por informações relativas ao tema deste estudo. No final, encontram-se localizados os anexos para uma consulta mais detalhada de itens específicos.

2 O TRANSPORTE FERROVIÁRIO NO BRASIL

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Neste capítulo, são apresentados os fundamentos teóricos encontrados na literatura que serviram de base para o desenvolvimento desta dissertação. Este capítulo possui, inicialmente, seis seções que tratam a respeito das ferrovias. Na segunda seção (2.2), que se segue a estas considerações iniciais, são abordadas questões relativas ao transporte ferroviário de carga, incluindo um breve histórico no de sua gestão no Brasil. Na terceira seção (2.3) são citadas as principais características do modo ferroviário e na quarta seção (2.4) é feita uma descrição dos aspectos do Programa Nacional de Desestatização. A quinta seção (2.5) mostra como se encontra o transporte ferroviário na atualidade e por fim, na sexta e última seção (2.6) são apresentados os principais entraves que vêm dificultando a operação ferroviária.

2.2 BREVE HISTÓRICO DO TRANSPORTE FERROVIÁRIO DE CARGA NO BRASIL

Segundo Pereira (2003), razões históricas são responsáveis pela não integração da atual malha ferroviária brasileira. Para atender as exigências do mercado de exportações de bens primários, foram construídas diferentes ferrovias com a intenção de ligar as áreas produtoras aos portos. Cada ferrovia atuando independentemente, de forma isolada, sem a integração entre elas. Como resultado, hoje as ferrovias utilizam diferentes bitolas³, dificultando a integração física entre as ferrovias.

“A criação da Rede Ferroviária Federal (RFFSA), na década de 60, tinha como objetivo reunir as ferrovias, para tentar formar uma rede integrada. Apesar da sua criação, não houve uma reestruturação na maneira como funcionava o sistema de transporte de carga e a atuação da empresa ficou basicamente restrita ao transporte de granéis sólidos e líquidos que geralmente eram de baixo valor agregado” (BARAT, 1993).

Ainda nos anos 60 os governos federais e estaduais passaram a investir mais pesadamente em rodovias, tornando as ferrovias menos utilizadas (BARAT, 1993 *apud*

³ Bitola é a distância entre as faces internas dos boletos dos trilhos de uma via. Para o transporte de carga, encontram-se, no Brasil, trechos de ferrovias com bitola métrica (bitola = 1m) e trechos com bitola larga (bitola = 1,6m), impossibilitando o uso de uma mesma composição ferroviária nos dois tipos de via.

PEREIRA, 2003). Segundo o autor, os trens perderam os passageiros para os ônibus e a carga geral (produtos industrializados e cargas fracionadas) para os caminhões.

Segundo Barat (1993) *apud* Pereira (2003) nos anos 80 as tarifas sem correspondência com os custos, a ineficiência administrativa e operacional, a grande dispersão nas aplicações de recursos e a ausência de mecanismos de financiamento contínuo e sustentado nos médios e longos prazos; voltaram a prejudicar o pleno desenvolvimento das ferrovias no Brasil. Com isso, houve a degradação das vias permanentes, do material rodante e dos sistemas de sinalização e comunicação.

“Com a falta de investimentos e de uma política que estabelecesse objetivos claros para o setor, o sistema RFFSA se degradou e perdeu a competitividade, voltando-se apenas para os serviços intra-regionais. Diante desse fato e ciente das suas conseqüências para o país, em termos de custos de transportes, o governo decidiu, em 1992, incluir a RFFSA no Programa Nacional de Desestatização. A implementação do modelo foi iniciada em março de 1996” (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, 2002).

2.3 CARACTERÍSTICAS DO MODO FERROVIÁRIO

De acordo com Bowersox e Closs (2001), as ferrovias têm como característica, a capacidade de transportar, de forma eficiente, grandes volumes por longas distâncias. As operações ferroviárias apresentam custos fixos bastantes altos devido ao valor dos equipamentos, ao direito preferencial de passagem nas linhas, aos pátios de manobras, e aos terminais. Entretanto, a ferrovia apresenta custos variáveis de operação relativamente baixos. O desenvolvimento de motores a diesel reduziu os custos variáveis e a eletrificação tem propiciado reduções ainda maiores. As alterações nos acordos trabalhistas têm reduzido às exigências de mão-de-obra⁴, resultando em reduções nos custos variáveis.

Segundo Bowersox, Closs e Cooper (2006), existem dois princípios econômicos fundamentais que causam impacto na eficiência dos transportes ferroviários: economia de escala e economia de distância.

⁴ Embora a mão-de-obra seja considerada, na literatura, como um custo variável, no Brasil a legislação trabalhista faz com que este custo seja fixo. (COELI, 2004).

A economia de escala é a diminuição do custo por unidade de peso à medida que aumenta o tamanho do embarque. Os veículos de maior capacidade, como os utilizados em transportes ferroviários e marítimos, custam menos por unidade de peso do que outros de modos de menor capacidade. Os custos fixos incluem a gestão relacionada à programação, aos custos de equipamentos, ao tempo para posicionar os veículos para carga e descarga, e às atividades de faturamento. Esses custos são considerados fixos porque eles variam de acordo com o tamanho dos embarques. Em outras palavras, o custo para se gerenciar um embarque de 50 quilos é o mesmo de um de 500 quilos.

Coyle, Bardi e Novack (1994) *apud* Coeli (2004) também ressaltam a escala no transporte ferroviário e afirmam que esta é fundamental para a diluição dos custos fixos e para o aumento da margem de lucro das ferrovias. As ferrovias precisam atrair grandes volumes em tráfegos regulares, sendo especialmente no transporte de *commodities*⁵. Para clientes que transportam grandes volumes, a ferrovia é vantajosa não apenas em função dos custos, mas também em função da redução da complexidade administrativa, afinal é mais fácil gerenciar um embarque em um trem com 5 mil toneladas do que 200 carretas com 25 toneladas cada.

“A economia de distância se refere à diminuição do custo de transporte por unidade de peso conforme aumenta a distância a ser percorrida. Como exemplo, um embarque para a distância de 1.200 quilômetros custa menos do que dois embarques com o mesmo peso, cada um se deslocando 600 quilômetros. A economia de escala de distância é geralmente conhecida como Princípio Atenuante. A lógica das economias de distância é semelhante à das economias de escala. Especificamente, distâncias maiores permitem que custos fixos sejam diluídos em uma maior quilometragem, resultando em menor custo por quilômetro” (BOWERSOX; CLOSS; COOPER, 2006, p.275).

Novaes (2006) reforça que o transporte ferroviário é basicamente mais eficiente em transportar grandes volumes, com elevada eficiência energética, principalmente em casos de deslocamentos a médias e grandes distâncias. Da mesma forma concorda que os custos fixos de uma ferrovia são altos como: a conservação da via permanente, a operação dos terminais de carga e descarga, a operação das estações e na alimentação de energia no caso da via eletrificada.

⁵ Produto de base; produto primário; produto básico; mercadoria; artigo do comércio. (Ratton Neto; Castello Branco, 2005).

“Por essa razão as vantagens comparativas da ferrovia em relação à rodovia começam a aparecer para distâncias de deslocamento maiores. Para pequenas distâncias os custos fixos não conseguem ser diluídos, onerando os fretes em demasia e tornando essa modalidade não competitiva” (NOVAES, 2006 p.150).

Vale lembrar que as cargas típicas do modo ferroviário segundo a ANTT (2007) são: os produtos siderúrgicos; grãos; minério de ferro; cimento e cal; adubos e fertilizantes; derivados de petróleo; calcário; carvão mineral; e contêineres.

2.3.1 Vantagens do modo ferroviário

As ferrovias juntamente com os dutos são os únicos modos que possuem e mantêm sua própria rede e seus terminais, além de operar os equipamentos (COYLE; BARDI; NOVACK, 1994).

A ANTT (2007) cita que as ferrovias apresentam maior segurança, em relação ao modo rodoviário, com menor índice de acidentes e menor incidência de furtos e roubos.

De acordo com Coeli (2004), outra vantagem importante das ferrovias é a possibilidade de transportar qualquer tipo de produto, seja líquido ou sólido, devido à grande variedade de tipos de vagões como abertos, fechados, graneleiros e tanques.

Por fim, Novaes (2006) comenta que o transporte ferroviário está relacionado com as características de manuseio da carga e com os volumes transportados. Além dos vagões específicos, pode-se construir terminais de carga e descarga bastante eficientes como no caso de produtos a granel (grãos, minérios, fertilizantes, combustíveis), permitindo agilizar as operações, barateando os custos.

2.3.2 Limitações do modo ferroviário

O transporte ferroviário possui algumas limitações. Durante a viagem, um trem de carga costuma chegar num determinado pátio, pára e aguarda até que os vagões destinados àquele ponto sejam desmembrados e colocados num desvio. Noutros casos como de carga fracionada, o trem tem que esperar até que os operadores descarreguem e verifiquem toda a mercadoria, para só então seguir viagem (NOVAES, 2006). Nesses casos o tempo total de percurso aumenta consideravelmente. Devido a esse processo, é compreensivo o desinteresse dos produtos manufaturados nesse modo de transporte.

O transporte ferroviário possui outras limitações como cita Novaes (2006) de que os vagões não podem ser utilizados para transportar qualquer tipo de produto, por esses terem vagões com finalidades específicas. Os vagões utilizados para transportar fertilizante jamais podem transportar combustíveis, e vice-versa. O autor cita que é comum o desbalanceamento de fluxos nos dois sentidos da via férrea, e é fácil observar vagões vazios retornando ao ponto de origem para buscar mais carga. Esse fato costuma elevar os custos, e conseqüentemente os fretes ferroviários.

Uma forma de contornar esse tipo de problema, e já implantada no Brasil, é a operação de trens unitários (NOVAES, 2006). O autor comenta que nas viagens que envolvem razoáveis números de carga manufaturada, as empresas ferroviárias costumam oferecer serviços diretos, chamado de trem unitário, ligando dois pontos sem paradas intermediárias, e com carga, descarga, agilizando a distribuição nos dois extremos.

Outro fator limitante deste modo de transporte são os trajetos fixos. Segundo Coyle, Bardi e Novack (1994) *apud* Coeli (2004) os trens não andam fora dos trilhos nem param fora dos terminais. Portanto, na maioria dos casos se faz necessária a integração com o modo de transporte rodoviário, este por ser capaz de levar o produto a praticamente qualquer destino final. Esta operação de transbordo entre os modos de transporte aumenta os custos e o tempo da operação, além de ampliar o risco de danos à carga devido aos múltiplos manuseios.

As perdas no transporte ferroviário são altas não apenas devido aos múltiplos manuseios, mas também devido ao impacto dos trilhos com as rodas, ambos de aço, causando uma viagem com grandes choques e vibrações (COELI, 2004). Ao contrário dos caminhões, que possuem um sistema de amortecimento, abafando os duros impactos.

2.4 ASPECTOS DO PROGRAMA NACIONAL DE DESESTATIZAÇÃO

Conforme comentado no fim do item (2.2), com o intuito de aumentar a oferta e a melhoria de serviços, o governo federal colocou em prática ações voltadas para a privatização, concessão e delegação de serviços públicos de transporte a estados, municípios e iniciativa privada.

Segundo a ANTT (2006), a inclusão da RFFSA no Programa Nacional de Desestatização (PND) através do Decreto 473/92, propiciou o início da transferência de suas malhas para a iniciativa privada por um período de 30 anos, prorrogáveis por mais 30 anos. Esse processo também resultou na liquidação da RFFSA, a partir de 07/12/99. As privatizações ocorreram entre 1996 a 1998, concentradas em 1997.

A estrutura institucional do PND foi composta por dois grandes agentes principais: o Conselho Nacional de Desestatização - CND, órgão decisório, e o Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES, na qualidade de gestor do Fundo Nacional de Desestatização - FND. Teve como principais objetivos:

- ✓ Desonerar o Estado;
- ✓ Melhorar a alocação de recursos;
- ✓ Aumentar a eficiência operacional;
- ✓ Fomentar o desenvolvimento do mercado de transportes;
- ✓ Melhorar a qualidade dos serviços.

“Após as privatizações das ferrovias no Brasil, estas têm observado uma melhoria lenta, mas constante, nos serviços de transporte ferroviário. Muito embora a rede ferroviária seja relativamente pequena quando se considera todo o território nacional, seu potencial junto aos grandes centros produtores e consumidores é grande, ficando dependendo de melhorias de traçado e da via permanente, bem como do material rodante (vagões, locomotivas) e do aprimoramento das operações” (NOVAES, 2006 p.151).

No Brasil, a ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres, com sede em Brasília, foi criada através da Lei 10.233, de junho de 2001, e efetivamente, iniciou suas atividades em fevereiro de 2002. Esta coordena, regulamenta e controla as operações rodoviárias, ferroviárias e dutoviárias no país, incluindo também os terminais terrestres.

O contexto físico do sistema ferroviário brasileiro totaliza 29.596 km, concentrando-se nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste, atendendo parte do Centro-Oeste e Norte do país. Foram concedidos aproximadamente, 28.840 km das malhas. A figura a seguir apresenta o mapa atual das linhas férreas, segmentado por concessionária.

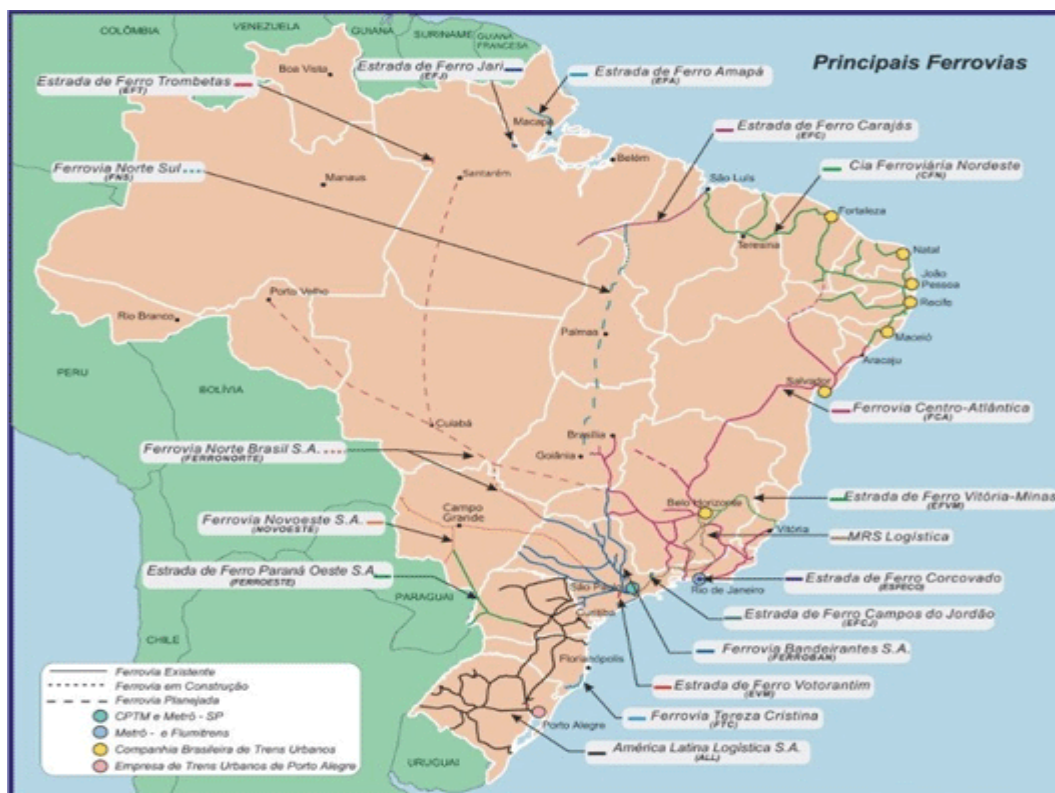


Figura 1 – Mapa do sistema ferroviário nacional

Fonte: ANTT (2006)

A Tabela 1 apresenta a extensão da malha ferroviária dividida por tipo de bitolas existentes no país, segmentado por concessionária.

Tabela 1 – Extensão da malha ferroviária em km

OPERADORAS	BITOLA			
	Larga	Métrica	Mista	Total
NOVOESTE – Ferrovias Novoeste S.A.		1.942		1.942
FCA – Ferrovias Centro-Atlântica S.A.		7.885	208	8093
MRS – MRS Logística S.A.	1.632		42	1.674
FTC – Ferrovias Tereza Cristina S.A.		164		164
ALL – América Latina Logística do Brasil S.A.		7214	11	7.225
FERROESTE / FERROPAR		248		248
EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas		905		905
EFC – Estrada de Ferro Carajás	892			892
CFN – Companhia Ferroviária do Nordeste S.A.		4220	18	4.238
FERROBAN – Ferrovias Bandeirantes S.A.	1.513	241	275	2.029
FERRONORTE – Ferrovias Norte do Brasil	504			504
VALEC / Estrada de Ferro Norte Sul	420			420
Subtotal	4.961	22.819	554	28334
Trombetas/Jarí/Corcovado/Supervia/Campos do Jordão		374		374
Amapá/CBTU/CPTM/Trensurb/CENTRAL/METRO-SP RJ		888		888
Subtotal		1.262		1.262
TOTAL	4.961	24.081	554	29596

Fonte: ANTT (2006)

Além das malhas da RFFSA e das estradas de ferro da Companhia Vale do Rio Doce, a ANTT é responsável pelas seguintes concessões:

- ✓ Ferrovias Norte Brasil S.A. - Ferronorte
- ✓ Estrada de Ferro Mineração Rio do Norte
- ✓ Estrada de Ferro Jarí
- ✓ Estrada de Ferro Trombeta
- ✓ Estrada de Ferro Votorantim
- ✓ Estrada de Ferro Paraná Oeste S.A. – Ferroeste

Segundo a ANTT (2006) o Estado do Paraná detém a concessão da Ferroeste, que era operada pela sub-concessionária Ferropar até dezembro de 2006, quando foi decretada a falência da Ferropar. A Estrada de Ferro Norte-Sul, em construção, tem o trecho de Açailândia ao terminal de Porto Franco, com 215 km de extensão, operado desde 1996 pela EFC e está em processo licitatório para sub-concessão.

Ainda a ANTT (2006) a Estrada de Ferro Amapá após o fim da exploração do minério na região, passou ao Estado do Amapá. As Ferrovias Trombetas e Jarí são industriais e locais. A CBTU, Central, CPTM, Campos do Jordão e Trensurb são operadoras públicas. As demais são operadoras privadas. A extensão de linhas eletrificadas é de 549 km sendo utilizadas no transporte metropolitano de passageiros.

Mesmo após o plano de desestatização das ferrovias, diversas delas não fazem conexão entre si por não possuírem bitolas compatíveis. Segundo a revista CNT (2006), essa diversidade de bitolas acarreta perda de tempo e custo ao fazer o transbordo de mercadorias no ponto de mudança de bitola. Conclusivamente esse custo é repassado aos clientes.

2.4.1 Reestruturação do setor ferroviário

Com a transferência das operações para a iniciativa privada houve uma desoneração dos cofres públicos, que deixaram de gastar cerca de R\$ 350 milhões e passaram a arrecadar cerca de R\$ 400 milhões por ano, em valores atualizados, com leilões de privatização, impostos, pagamentos trimestrais de concessões e arrendamento de bens da antiga rede

(ANTT, 2006). A figura 2 representa bem os investimentos feitos pelo governo até o último ano de estatal.

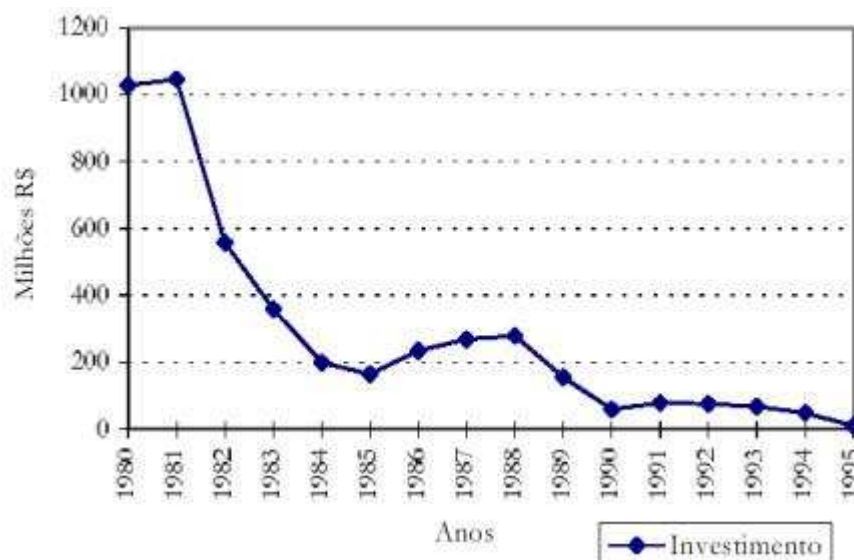


Figura 2 - Investimentos governamentais na RFFSA (antes de privatização)
Fonte: IPEA – Reestruturação Financeira e Institucional do Sub-setor Ferroviário (2002)

Ao assumirem a operação da malha privatizada, os novos operadores encontraram a maioria das linhas em estado lastimável de conservação. De acordo com CNT/CEL/COPPEAD/UFRJ (2002) até os dias de hoje é comum encontrar trechos onde a velocidade média fica abaixo de 15 km/h, devido ao péssimo estado de conservação.

Vale lembrar que no ano de 2003 foi aprovado pelo governo o Programa de Integração e Adequação Operacional das Ferrovias, com objetivos de promover a integração das ferrovias e reconstituir os corredores operacionais de transporte ferroviário. Portanto, assim que foi implantado, foi iniciada pela ANTT (2006) a reestruturação das malhas, com desvinculação e vinculação de trechos, a celebração de contratos operacionais específicos entre as operadoras e a reestruturação societária, visando novos investimentos nas concessões.

Pereira (2003) chama atenção para as operadoras privadas, que ao assumirem as diferentes malhas da RFFSA, investiram para amenizar os principais entraves operacionais e partiram para a diversificação das cargas transportadas, procurando atrair um mercado dominado pelo modo rodoviário. Porém, ainda existem inúmeros entraves nas ferrovias brasileiras, que serão tratados mais a diante.

Embora o governo tenha feito as privatizações das operações, faltam os investimentos necessários na infra-estrutura. Fontana Neto (2005) afirma que as concessionárias têm agido com criatividade ao buscar parcerias com usuários para a compra de material rodante e construção de pátios e desvios ferroviários. Os operadores também têm partido para a abertura de capital como forma de captação de recursos.

São apresentados na tabela 2 os principais produtos transportados pelas ferrovias e na tabela 3 a quantidade de clientes, além do índice de satisfação dos usuários baseado no ano de 2005 e os tipos de produtos transportados subdivididos por concessionárias.

Tabela 2 – Principais produtos transportados

Minério de ferro	63%
Produtos agrícolas	3%
Soja e farelo de soja	8%
Granéis minerais	2%
Produtos siderúrgicos	7%
Combustíveis, derivados de petróleo e álcool	2%
Carvão e coque	4%
Outros	11%

Fonte: ANTF e Cel/Coppead (2002)

Tabela 3 – Transporte de cargas (características da demanda)

CONCESSIONÁRIAS	Clientes	Índice Satisf. Usuário - 2005	Principais Produtos Transportados
NOVOESTE	17	4,77	Minério, soja e farelo, combustível e carga geral
FCA	828	6,18	Produto siderúrgico, minério, cimento e material de construção, soja e farelo e combustível
MRS	229	6,71	Minério, soja e farelo, produto siderúrgico e carvão
FTC	29	8	Carvão e coque, cimento e cerâmica
ALL	443	6,17	Produto agrícola, soja e farelo, combustível, cimento e fertilizante
FERROESTE/FERROPAR	60	4,83	Produto agrícola, soja e farelo, cimento e adubo
EFVM	674	6,43	Minério, produtos siderúrgicos e agrícola e carvão
EFC	227	5,84	Minério, produto siderúrgico, soja e farelo e combustível
CFN	71	6,09	Minério, produtos siderúrgico e agrícola, carvão, combustível e cimento
FERROBAN	64	5,92	Minério, fertilizante, soja e farelo, açúcar, combustível e produto agrícola
FERRONORTE	38	6,24	Soja e farelo, fertilizante e combustível

Fonte: ANTT (2006)

Nas tabelas 4 e 5 serão apresentados os principais indicadores do setor ferroviário, considerando o ano de 1992 como representativos da situação anterior (estatal), o ano de 1997 como o início das concessões e o ano de 2001 como término da fase de ajustes iniciais das concessionárias privadas. Em 1992 a operação das ferrovias ainda estava a cargo da EFVM, EFC, RFFSA e FEPASA.

Tabela 4 – Carga transportada (valores em milhões de t úteis)

CONCESSIONÁRIAS	1992	1997	2001	2002	2003	2004	2005	2006
NOVOESTE	2,6	2,5	2,2	2,5	2,2	2,7	3,5	3,4
FCA	16,6	16,6	21,2	22	21,6	25,4	27,6	15,2
MRS	44,7	49,6	68,6	74,8	86,2	98	108,1	102
FTC	1,2	2,1	2,8	2,5	2,3	2,5	2,4	2,6
ALL	13,8	11,4	18	18,6	19,6	20,1	21,7	28,9
FERROESTE/FERROPAR	0	0,4	1,6	1,6	1,8	1,5	1,5	1,5
EFVM	84,6	106,9	108,7	113,6	118,5	126,1	131	131,6
EFC	34,7	49,3	57,3	58,9	63,3	74,3	80,6	92,6
CFN	1,9	1,2	1,2	1,2	1,3	1,3	1,4	1,5
FERROBAN	18	13,1	20,3	20,7	23,4	20,5	4,4	4,2
FERRONORTE	0	0	3,2	4,5	5	5,6	6,6	5,6
TOTAL	218,1	253,1	305,1	320,9	345,2	378	388,8	389,1

Fonte: ANTT (2006)

É possível notar que está havendo um crescimento da quantidade de cargas transportadas a cada ano. Analisando o ano de 1997, início da fase de privatizações, pode-se afirmar que houve um aumento de 54% na quantidade de carga transportada no ano de 2006.

Tabela 5 – Produção de transporte (Valores em bilhões de t x km úteis)

CONCESSIONÁRIAS	1992	1997	2001	2002	2003	2004	2005	2006
NOVOESTE	1,9	1,5	1,5	1,7	1,2	1,2	1,3	1,4
FCA	6,4	5,3	8,1	8,6	7,5	9,5	10,7	9,1
MRS	20,1	20,6	27,4	29,4	34,5	39,4	44,4	47,7
FTC	0,1	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
ALL	7,7	6,8	12	12,8	13,9	14,2	15,4	18,2
FERROESTE/FERROPAR	0	0,1	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	1
EFVM	42,7	56,6	54,4	57	60,5	64,8	68,7	73,4
EFC	29,9	41,8	48	49	52,4	63,6	69,5	76,7
CFN	0,8	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
FERROBAN	6,5	5	8,3	8,3	9,2	9,5	2,3	2,2
FERRONORTE	0	0	1,3	1,9	2,1	2,3	8	7,4
TOTAL	116,1	138,3	162,3	170,1	182,7	205,8	221,6	238

Fonte: ANTT (2006)

Na tabela 5 pode-se notar que a movimentação dos produtos transportados (valores em bilhões de tonelada por quilômetros úteis) cresce de uma forma mais agressiva, comparado com a tabela 4. O crescimento entre 1997 e 2006 foi de 72%.

Por fim, a tabela 6 apresenta a movimentação do transporte de carga por ferrovia em tonelada útil (TU) e tonelada por quilômetro útil (TKU) com datas mais recentes.

Tabela 6 – Transporte de carga por ferrovia

Operadoras	fev/06		fev/07		Δ%	
	TU (10 ³)	TKU (10 ³)	TU (10 ³)	TKU (10 ³)	fev/06	fev/07
ALL/Delara	1.627,60	1.094,50	-	-	-	-
CFN	108,6	45,6	112,5	63,6	3,6	39,5
E.F Carajás	6.339,30	5.243,70	7.536,80	6.296,50	18,9	20,1
E.F.V.M	9.683	5.404	9.632,60	5.328	-0,5	-1,4
Ferrobán	187,9	95,6	-	-	-	-
Ferronorte	463,6	616,9	-	-	-	-
Ferropar	138,3	91,9	137,3	95,1	95,1	3,5
FCA	1.170,20	616,4	1.253,60	821,4	821,4	33,3
FTC	172,4	12,1	194,1	13,8	13,8	14
MRS Logística	6.869	3.208,90	7.931,90	3.634,60	3.634,60	10,8
Novoeste	307,1	146,3	-	-	-	-
Total	27.067,10	16.647,90	-	-	-	-

Fonte: ANTT (2007)

2.4.2 Aspectos da fase pós-privatização

2.4.2.1 Pontos positivos da fase pós-privatização

De acordo com Fleury (2006), os pontos positivos são:

- ✓ Crescimento do volume de carga transportada. Segundo os últimos dados disponíveis, o volume de cargas transportadas pelas ferrovias cresceu 54% desde o início da privatização (1997). O mais interessante é constatar que as cargas gerais, com 74%, cresceram num ritmo superior ao do minério de ferro que alcançou 47%. Porém, o avanço geral é ainda pequeno comparado com as ferrovias de ponta no mundo.
- ✓ Aumento do faturamento. O faturamento conjunto das empresas ferroviárias saltou de R\$ 2,29 bilhões para R\$ 7,49 bilhões, um aumento substancial que representa um índice de crescimento de 213% no período;

- ✓ Aumento dos investimentos. Os investimentos das concessionárias cresceram entre 1997 e 2005. Saltaram de R\$ 398 milhões no ano em 1997 para R\$ 3,1 bilhões em 2005. No acumulado, os investimentos alcançaram R\$ 9,5 bilhões;
- ✓ Resultados financeiros. Embora tenham acumulado prejuízos significativos nos primeiros anos após as privatizações, nos últimos três anos (2003, 2004 e 2005) as empresas ferroviárias vêm revertendo o resultado negativo;
- ✓ Índice de acidentes. É uma das variáveis continuamente controladas pelo órgão regulador, isto é, a ANTT. O índice foi reduzido em 56%, de 75,5 para 32,9 acidentes/milhão de trem por km (1997-2005);
- ✓ Oferta de serviços. Após a privatização, as empresas concessionárias passaram a oferecer uma série de serviços, não disponíveis anteriormente, como a movimentação de contêineres, os trens expressos, e informações sobre a localização das cargas;
- ✓ Aumento de 81% entre 1997 e 2005 no número de empregos diretos e indiretos, o equivalente a 14 mil novos postos de trabalho.

Vilaça (2006) afirma que a gestão privada rompeu a letargia das ferrovias na busca por resultados como a geração de receitas e a obtenção de lucros com a melhoria da eficiência operacional, a reconquista de antigos clientes, a atração de novos embarcadores para o sistema e a diversificação dos produtos transportados. Para atingir estes objetivos, as principais empresas deixaram de atuar como simples transportadoras ferroviárias para se tornar operadoras logísticas.

2.4.2.2 Pontos negativos da fase pós-privatização

Segundo Fleury (2006), os pontos negativos são:

- ✓ A distância média percorrida permaneceu praticamente inalterada, próxima de 545 km. Este número pode ser considerado baixo, se comparado com o das ferrovias americanas – distância média de 1.300 km – e indica que não houve crescimento

significativo da malha ferroviária, nem acordos entre empresas concessionárias para trabalhar em tráfego mútuo ou direito de passagem.

- ✓ A velocidade de percurso da linha férrea manteve-se praticamente inalterada, crescendo cerca de 1,7%, isto é, de 28,6 para 29,1 km/h (1997-2005). Estes são números modestos quando se considera que nos EUA este valor está em torno de 40 km/h;
- ✓ A produtividade dos vagões, isto é, a quantidade de t.km transportadas por ano, por vagão, reduziu em 14,9%, o que é um indicador preocupante. Isto parece indicar o início de saturação de certos trechos, conseqüência do aumento do número de vagões e locomotivas nas linhas sem o respectivo investimento em expansão e melhoramento das linhas. De fato, o número de vagões passou de 53.837 para 94.075, o que representa um aumento de 75% no período. Da mesma forma, o número de locomotivas passou de 1.365 para 2.542, isto é, um crescimento de 86%.

Por fim, podem ser comparados os pontos positivos e negativos. Segundo Fleury (2006), às condições lamentáveis em que se encontravam as ferrovias estatais no Brasil, a decisão de privatizar pode ser considerada como bastante positiva. O custo da não privatização seria representativo. Por outro lado, os pontos negativos, principalmente a queda de produtividade dos vagões preocupam. Parece ser o resultado da baixa velocidade de percurso, e distância média percorrida, que continua estabilizada em torno de 545 km por viagem.

2.5 TRANSPORTE FERROVIÁRIO NA ATUALIDADE

As ferrovias têm se concentrado no desenvolvimento de equipamentos especializados, para oferecer melhores serviços aos seus principais clientes tais como vagões fechados, vagões com amortecedores especiais, trens unitários e vagões articulados. Bowersox (2006) comenta que essas tecnologias são aplicadas pelas ferrovias para reduzir o peso, aumentar a capacidade de carregamento e facilitar o intercâmbio.

A MRS Logística, como exemplo, tem uma prática operacional de trem unitário. Onde todos os vagões transportam um único produto. Normalmente, o produto é uma

mercadoria a granel, como minério de ferro ou grãos. Os trens unitários têm sido também, usados como apoio a operações de montagem para a indústria automotiva. É uma prática operacional mais rápida e custa menos para ser operada do que os trens tradicionais, uma vez que apresenta uma rota ininterrupta, sem pontos de parada da origem ao destino.

Ballou (2001) chama atenção também para o fato de que já são encontrados serviços especializados de transporte por meio de ferrovia, como exemplo, o transporte em vagões climatizados para produtos perecíveis e com baixo impacto no produto (que permite o transporte de produtos sensíveis). Preferencialmente, é utilizado o serviço de carga completa com grandes volumes, o que diminui o impacto do preço do transporte no custo unitário do produto.

Segundo a pesquisa realizada pela CNT/CEL/COPPEAD/UFRJ (2002) 111 empresas industriais de 17 setores declaram o interesse em aumentar a utilização da ferrovia como transportadora, em média, de 5,4% para 9,2%. Mas a nova demanda pelo frete ferroviário não poderá ser plenamente atendida.

Fleury (2006) afirma que em 10 anos de privatização a ferrovia conseguiu expandir a sua capacidade de transporte em 60%. Para atender a demanda atual, as operadoras precisariam elevar a capacidade atual em 70% em apenas 3 anos. E como já foi citado, anteriormente, no item 2.4.2.2 a respeito da velocidade média comercial e do excesso de vagões e locomotivas, a posição das operadoras é de que elas já executam a manutenção da linha, com troca de dormentes e de trilhos, entretanto, investir no aumento da malha é responsabilidade do governo.

Entretanto, esses investimentos em ferrovia não são prioridades na pauta do governo. Segundo o Governo Federal, o Estado brasileiro está em processo de restrição de despesa e tem que gerar superávit fiscal. Neste impasse sobre a responsabilidade de ampliação das linhas férreas brasileiras entre o governo e os concessionários, o tempo está passando. Já se foram 10 anos de concessão, só faltam 20 anos, o que diminui a possibilidade das operadoras virem a realizar esses investimentos.

Por fim, Fleury (2006) conclui afirmando que uma medida que poderia mudar o quadro atual seria permitir que os pagamentos a título de arrendamento fossem transformados em investimentos. Porém, o governo também precisaria alocar recursos para a reestruturação da malha, como o que foi feito na Transnordestina.

Em 2006 não poderia existir momento melhor para a conquista de carga nova pela ferrovia. Mas infelizmente não há capacidade instalada para atender a demanda na velocidade desejada. O setor pode estar perdendo a sua janela de crescimento. Fleury (2006) afirma que há interesse por parte dos operadores logísticos em trocar o modo rodoviário pelo modo ferroviário, porém, não o faz porque não há espaço. Sendo assim, provavelmente os operadores vão preferir operar junto com o transporte rodoviário ou vão procurar outra solução. Se obtiverem êxito, dificilmente terão interesse pelo modo ferroviário.

2.6 PROBLEMAS QUE AFETAM A CIRCULAÇÃO DOS TRENS

2.6.1 Aspectos gerais

A capacidade de transporte de uma empresa do setor ferroviário está diretamente relacionada ao ciclo do trem, isto é, ao tempo de viagem desde a saída do vagão do ponto de carregamento até o seu retorno para o mesmo. Esta seção tem como foco analisar alguns dos principais problemas encontrados no transporte de carga ferroviário, que influenciam substancialmente o aumento do tempo de viagem dos trens.

2.6.2 Principais entraves nas ferrovias

Segundo a pesquisa CNT/CEL/COPPEAD/UFRJ (2002), o modo ferroviário ainda convive com uma série de dificuldades, que representam barreiras significativas para o seu desenvolvimento pleno. Entre eles, destacam-se a pequena extensão da malha ferroviária, a concorrência predatória com o modo rodoviário, o problema de regulamentação no direito de passagem e a diferença de bitola.

A seguir, serão vistos alguns desses problemas que afetam como um todo as ferrovias brasileiras. Também serão abordados os principais entraves que afetam diretamente o tempo de ciclo dos vagões no acesso aos pátios ferroviários em geral, tais como, a invasão da faixa de domínio e a má ou a falta de sinalizações em passagens de nível.

2.6.2.1 Extensão da malha ferroviária

Uma de muitas limitações que há no país, é a pequena extensão da malha ferroviária brasileira em comparação com as demais ferrovias do mundo. A tabela 7 apresenta a oferta de vias de transporte no Brasil, medida pelo índice km de via por km² de espaço territorial. Percebe-se que o índice brasileiro é bem inferior aos países selecionados. Em relação à Argentina, por exemplo, a diferença relativa da malha ferroviária chega a ser de um quarto, e em relação aos Estados Unidos chega a ser de um sexto.

Comparando a malha ferroviária norte americana que possui 227.736 km e semelhança na extensão territorial, pode ser visto que a malha ferroviária brasileira apresenta uma extensão bastante reduzida.

Tabela 7 – Cobertura da malha ferroviária nos países selecionados

Países	Área Territorial (Km ²) A	Extensão da malha Ferroviária (Km) B	B/A
Alemanha	357.021	46.166	0,129
Reino Unido	244.820	17.274	0,071
Japão	377.835	23.577	0,062
França	547.030	29.519	0,054
Índia	2.973.190	63.230	0,021
EUA	9.631.420	227.736	0,024
África do Sul	1.219.912	20.872	0,017
China	9.596.960	71.898	0,007
Canadá	9.220.970	48.683	0,005
Austrália	7.686.850	54.652	0,007
Rússia	17.075.200	87.157	0,005
Brasil	8.511.965	29.596	0,003
Argentina	2.766.890	34.091	0,012

Fonte: Cia Factbook (2006)

Entretanto, o Brasil deveria ser urgentemente rasgado por novas ferrovias, para que pudesse concorrer significativamente no cenário internacional. Steinbruch (2007) afirma que qualquer país com dimensão continental, deve usar o transporte de cargas por trem em larga escala, pois só essas vias podem trazer áreas completamente esquecidas para que sejam inseridas na produção e no consumo.

Há no território brasileiro regiões semelhantes a países potencialmente produtivos, como o Centro-Oeste, Norte e Nordeste, que vêm apresentando grande crescimento das

produções agrícola e industrial e que só não produzem mais por falta de integração. Para Steinbruch (2007) a ferrovia tem o poder de transformar áreas não-produtivas em produtivas, mas para isso, são necessários obras para aumentar a velocidade dos trens, o que daria mais eficiência ao transporte.

Para Pires (2002) a evolução do desempenho das ferrovias pode ser analisada, de forma simplificada, a partir de três diferentes óticas: a do usuário, que busca a redução dos preços e a melhoria no nível de serviço; a do prestador de serviços, que busca a saúde financeira da empresa e a remuneração dos seus acionistas; e a do governo, que visa melhorias sociais e econômicas ao país a partir de uma maior eficiência de seu sistema de transportes.

É interessante ressaltar que as três situações acima indicadas devem em um cenário ótimo, ocorrer simultaneamente, o que poderia ser entendido como o sucesso do processo de privatização.

2.6.2.2 Regulamentação no direito de passagem e a diferença de bitola

Outro entrave que persiste nas ferrovias brasileiras é a diferença de bitola. Se houvesse a oportunidade de usar a linha de outra ferrovia, certamente os custos seriam reduzidos segundo uma Revista CNT (2006). Mas como não há condições, as ferrovias procuram construir estações de transbordo eficientes entre os diferentes trechos de ferrovia (trechos escolhidos estrategicamente para garantir um fluxo ótimo de carga entre dois pontos da rede ferroviária).

Os terminais têm que ser extremamente eficientes, para proporcionar a passagem de carga entre dois trechos ferroviários de bitola diferente com a máxima rapidez, o mínimo custo, e com o mínimo esforço, equivalente a uma troca de bitola.

Outro ponto delicado para a modernização do sistema diz respeito ao chamado direito de passagem e tráfego mútuo. Segundo uma matéria (autor não divulgado) da Revista Tecnológica (2001) atualmente, não se chega a um acordo porque não existe uma regulamentação eficaz que obrigue uma concessionária a liberar a passagem para o outro. Fazendo uma analogia com o modo rodoviário, seria como se um caminhão do Rio Grande do Sul não pudesse ir até São Paulo para entregar uma carga porque as concessionárias das rodovias de Santa Catarina e Paraná não deixam.

Ainda de acordo com a matéria, nos Estados Unidos, existe uma regulamentação que obriga as ferrovias a negociarem acordos de passagem. Quando as empresas não chegam a um consenso, uma câmara de negociação arbitra um determinado valor e as condições daquela operação, evitando que se faça o transbordo da carga ou a entrega dos vagões para a outra ferrovia puxar.

2.6.2.3 Passagens de nível

Outro aspecto relevante são as passagens de nível. De acordo com Vilaça (2006), o número exagerado de passagens de nível (PN's), e os cruzamentos com estradas e vias públicas – onde circulam pedestres e trafegam veículos de passeio, de cargas e de passageiros –, obrigam à redução da velocidade das composições ferroviárias em até 70%, atrasando o transporte e interferindo diretamente no custo operacional do transporte de carga ferroviário.

Segundo a ANTF (2006), das 12 mil PN's existentes na malha férrea brasileira (a maioria improvisada, ou clandestina, sem qualquer tipo de sinalização) 1.200 encontram-se em situação crítica, comprometendo a vida de quem mora ou transita perto. Isto significa que, se colocada em linha reta a malha ferroviária teria uma passagem de nível a cada 2,7 km, o que é um absurdo, fazendo com que o faturamento das empresas deixe de crescer até 30% em suas receitas brutas.

Segundo os especialistas a solução é a construção de obras de transposição ou contornos. São obras caras e segundo a ANTF (2006), o governo precisaria investir R\$ 4,3 bilhões para solucionar todos os entraves do setor ferroviário, sendo R\$ 672 milhões voltados para as PN's críticas e invasões de faixa de domínio.

2.6.2.4 Invasões da faixa de domínio

O quarto entrave, também grave por suas implicações de ordem social, são as invasões da faixa de domínio das ferrovias por pessoas de baixa renda. Vilaça (2006) cita a construção dos barracos e casebres muito próxima da via férrea. Esse entrave combinado às outras limitações do sistema, também reduz sensivelmente a velocidade dos trens e, conseqüentemente, a produtividade da operação, além de colocar sob risco de acidentes cerca de 200 mil famílias.

A ANTF (2005) chama atenção de que, muitos barracos foram construídos a apenas 30 centímetros das linhas. A legislação exige uma faixa de 15 a 25 metros desocupada em torno dos trilhos, porém, isso é simplesmente ignorado pelos moradores das 824 invasões existentes em grandes centros urbanos. A maioria das invasões existentes ao longo dos trilhos ocorreu antes das privatizações. A partir daí, as empresas ficaram atentas às tentativas de novas invasões, mas não têm autoridade para retirar a população já instalada nas áreas contíguas às ferrovias.

Segundo a ANTF (2005) a ocupação dessa população nas áreas de domínio das ferrovias se deve pela a incapacidade de se manter como inquilino nos bairros das grandes cidades.

Reduzir esses entraves, que não agregam valor ao produto, é fundamental para obter a redução de custos nos transportes de cargas e principalmente aumentar a segurança dessa parcela carente da população. Pois tudo que acarreta aumento de tempo na circulação dos trens, faz com que diretamente os custos operacionais das ferrovias sejam aumentados.

3 GESTÃO DE SISTEMAS FERROVIÁRIOS DE CARGA

3.1 COMPONENTES DO SISTEMA FERROVIÁRIO

Neste capítulo serão abordados alguns dos principais componentes do sistema ferroviário. Esse sistema é composto por via permanente, material rodante, sinalização, redes de comunicação, pátios, terminais e instalações de reparo e manutenção.

3.1.1 Via permanente da ferrovia

A via por onde o trem circula é denominada de via permanente, sendo composta por um conjunto de elementos (trilhos, dormentes, lastro, sub-lastro e sub-leito, fixações e placas de apoio que unem os trilhos aos dormentes) cada um com uma função específica, como apresenta a figura 3.

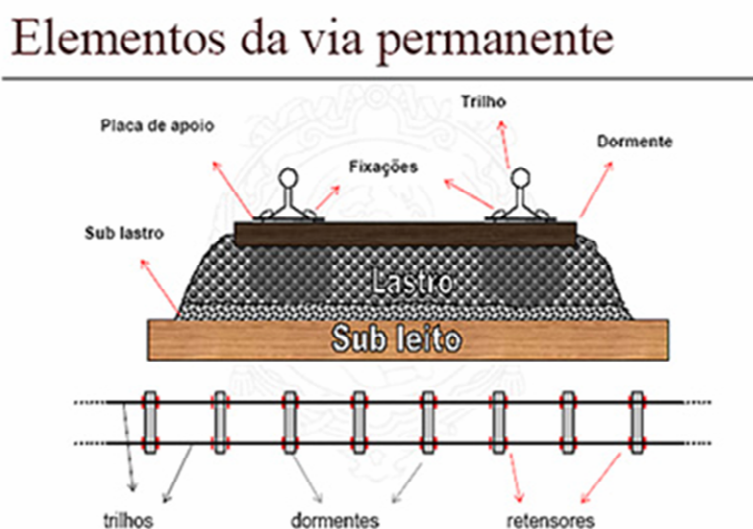


Figura 3 – Elementos da via permanente

Fonte: Porto (2008) *apud* Santos (2008)

A formação de um trilho contínuo é composta por barras com o comprimento de 12 ou 18 metros e são unidas por meio de talas de junção ou soldadas (SANTOS, 2008).

Segundo o autor citado, a soldagem dos trilhos pode ser feita em um estaleiro de solda no canteiro de obra ou no próprio local. A vantagem de realizar a soldagem no canteiro é que se obtém uma melhor qualidade, porém, existe a dificuldade do transporte das barras soldadas que atingem centenas de metros.

Os trilhos são assentados sobre as placas de apoio e são presos aos dormentes através das fixações que podem ser rígidas ou elásticas. Os retensores também auxiliam a manter o alinhamento dos trilhos (SANTOS, 2008).

O autor ainda cita que os dormentes usualmente são de madeira ou de concreto, os quais ficam assentados no lastro que é composto de pedra britada. Sob o lastro, são executadas ainda duas outras camadas: a de sub-lastro e a de sub-leito, que têm a função de distribuir ao solo os pesos e os esforços que todo o conjunto da via permanente está submetido.

Em função da utilização desses componentes, que devem estar sempre ajustados, a execução de uma ferrovia é onerosa e necessita de manutenção permanente para que todos os componentes possam trabalhar adequadamente.

Por fim, Santos (2008) exemplifica que se numa rodovia ocorrer um pequeno recalque devido a problema de adensamento de solo, o conjunto do pavimento acompanha esse recalque formando uma depressão e o rodado do caminhão também acompanha a nova conformação da pista de rolamento. Já na ferrovia, esse pequeno recalque ocasionaria um descarrilamento, porque todo o conjunto da ferrovia como os trilhos, as fixações e os dormentes ficariam desalinhados e deixariam de guiar as rodas do trem.

3.1.2 Material rodante

No sistema de transporte ferroviário é conhecido como material rodante todos os tipos de veículos com rodas capazes de circular sobre uma via férrea. Segundo Rattton Neto (2006), entre os veículos ferroviários há as locomotivas, as unidades elétricas, os carros e os vagões. As locomotivas podem ser elétricas, diesel-eletricas, a vapor, a gás (em desenvolvimento) e a motor linear (também em desenvolvimento).

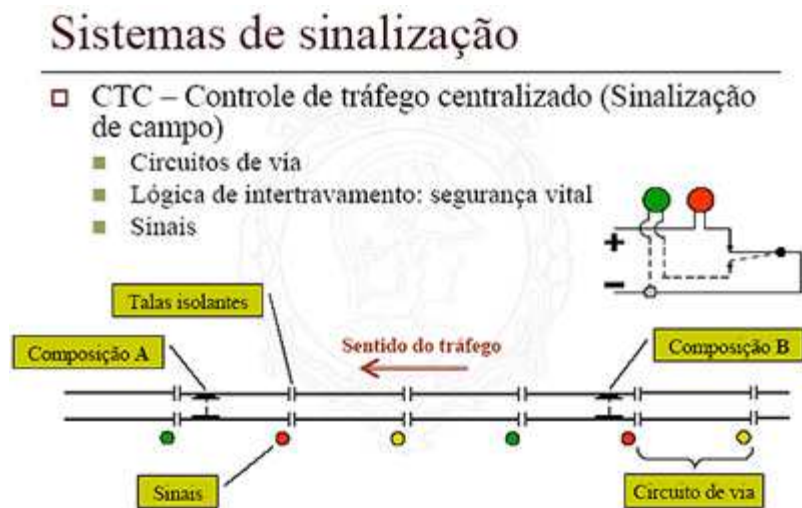
Rattton Neto (2006) cita que dentre as unidades elétricas, basicamente são o metrô, o VLT e o bonde. O VLT é conhecido popularmente como pré-metrô, sendo um veículo de média capacidade sobre trilhos.

Por fim, Rattton Neto (2006) comenta as diferenças entre os carros e os vagões. Os Carros são aqueles que transportam passageiros e que podem ser vistos com poltronas,

dormitórios e restaurantes. Já os vagões são aqueles que transportam cargas, onde os tipos de vagões mais conhecidos são o *hopper*, o tanque, o fechado, o gôndola, o plataforma, e o gaiola.

3.1.3 Sinalização ferroviária

O Controle de Tráfego Centralizado (CTC) funciona como um sistema integrado de controle da circulação e da segurança dos trens. Segundo Santos (2008), o CTC é um sistema composto por circuitos de via, relés elétricos e sinais indicativos de tráfego, ligados a um centro de controle de onde são comandados os sinais como pode ser visto na figura 4.



Os trens e os sinais são representados por luzes sobre o painel acima. Para controlar a circulação, todos os sinais e as linhas são representados num painel mímico-cinético no Centro de Controle Operacional (CCO), com o qual estão interligados através de fios e cabos elétricos (SANTOS, 2008).

Do CCO, os operadores de tráfego podem controlar cada trecho da via, disciplinando o fluxo dos trens.

3.1.4 Redes de comunicação

As redes de comunicação são vitais no sistema ferroviário. De acordo com Rattton Neto (2006), existem as redes administrativas, de tráfego, de manobra, de seletivo e de manutenção.

A rede administrativa se restringe as áreas administrativas. A rede de tráfego realiza as comunicações entre o Controle de Tráfego Centralizado (CTC) e os trens em movimento. A rede de manobra realiza a comunicação entre os trens em manobra e o controle de pátio. A rede de seletivo realiza as comunicações do CTC e as estações e a rede de manutenção onde são realizadas as comunicações entre o pessoal de operação e a manutenção.

3.1.5 Pátios ferroviários

Para que se possa realizar o estudo sobre as operações das ferrovias, deve-se deixar claras as definições de pátios e terminais, assim como, a compreensão de suas funções.

Segundo Gomes (1982), os pátios servem de apoio ao sistema de transporte ferroviário, desempenhando diversas funções essenciais para o funcionamento do sistema, atuando em alguns casos como ponto de integração com outros sistemas de transporte.

Santos (1989) define que o pátio ferroviário é um sistema composto de um ou mais feixes de vias situados entre limites definidos, que pode estar destinado a desempenhar uma ou mais funções dentre as quais as mais comuns podem ser citadas:

- ✓ Estacionamento de trens ou de seus elementos componentes (locomotivas e vagões);
- ✓ Carga e descarga;
- ✓ Cruzamento de trens;
- ✓ Posto aduaneiro;
- ✓ Ponto de mudança de bitola;
- ✓ Abastecimento do material de tração;
- ✓ Ponto de troca de equipagem;
- ✓ Inspeção e manutenção de locomotivas e/ou vagões;
- ✓ Pré-classificação ou classificação de vagões.

Ainda segundo Santos (1989), todas essas funções podem ser desempenhadas em feixes distintos, o que às vezes torna-se imprescindível devido ao grande volume de serviço. Quando se tem um tráfego e movimentação de carga e/ou passageiro pouco expressivo, desempenha-se em um só feixe de vias, o que é mais comum.

3.1.5.1 Quanto à localização

A localização dos pátios ferroviários pode ser classificada segundo Santos (1989) como pátio terminal, isto é, quando estão situados na extremidade do sistema ou, como pátio intermediário, quando estão posicionados entre as extremidades.

Ainda segundo este autor, nos pátios intermediários as composições circulam com destino a outros terminais, muitas vezes até sem efetuar qualquer parada ou operação nestes pátios. Assim, pode-se observar que imprescindivelmente deverão ser previstas vias para livre circulação nos pátios intermediários, o que nem sempre ocorre naqueles caracterizados como pátios terminais.

Ratton Neto (2006) chama atenção que além das funções mencionadas acima, há ainda os pátios de triagem, que servem de entroncamento a duas ou mais linhas. Como exemplo, podem-se citar os ramais ferroviários que atendem a pontos de quebra de tração (alteração da quantidade ou do tipo de locomotiva) em função do perfil da linha ou da energia utilizada.

David (1996) cita que o pátio ferroviário é o local específico para a movimentação de vagões, podendo ter equipamento de transferência de carga para outra modalidade. Dentro dos pátios ferroviários, existem terminais somente de carga, somente de descarga ou, ainda, os que operam tanto com a carga como com a descarga.

3.1.6 Terminais ferroviários

Segundo Morlock (1978) *apud* Bruns (2002), o terminal ferroviário de carga é um sistema dinâmico composto de infra-estrutura e instalações. Podendo a ferrovia realizar o transbordo da carga dos vagões para os meios complementares⁶ de dispersão e

⁶ Entende-se no Brasil como intermodalidade. Segundo Novaes (2006), designa a conjugação de duas ou mais modalidades de transporte, sem maiores preocupações além da simples integração física e operacional.

concentração, a transferência direta do vagão ao cliente e do cliente ao vagão e o armazenamento temporário das cargas.

Para Rattton Neto (2006), os terminais são pontos da via de uma modalidade de transporte em que fluxos significativos têm origem, destino ou transferência de veículo ou modalidade. Como o foco desta dissertação são cargas, os principais tipos de terminais são os de carga geral, frigorífico, granéis sólidos, granéis líquidos e carga unitizada.

Segundo Robinson (1986) as operações básicas de um terminal ferroviário são aquelas que estão diretamente relacionadas com as tarefas necessárias para a movimentação da carga. Segue como exemplo de um terminal ferroviário genérico, as seguintes operações básicas:

- ✓ Embarque, desembarque e baldeação de passageiros (no caso de movimentação em terminais de passageiros);
- ✓ Carga dos vagões: engloba as atividades de recebimento das mercadorias, armazenagem para posterior transbordo ou transbordo direto dos caminhões ou navios;
- ✓ Descarga dos vagões: engloba as atividades de descarga e armazenagem das mercadorias ou transbordo direto para o caminhão/navio e retirada da carga;

3.1.7 Instalações de reparos e de manutenção

Segundo o Ministério dos Transportes (2009), a manutenção da via permanente obedece a uma programação prévia de serviços, onde são levantados todos os serviços de recuperação necessários, priorizando-se os locais onde o fluxo de tráfego é mais intenso. Já para o caso de manutenção das locomotivas, segundo Rattton Neto (2006), as oficinas são classificadas entre postos de inspeção e abastecimentos, reparos e manutenção. Nos postos de inspeção e abastecimento são realizados serviços como: lavagem e limpeza; abastecimento com combustível e substituição ou remonta de lubrificante; e inspeções de viagem.

Nas oficinas de reparos o autor cita que são realizados os serviços de manutenção preventiva leve como: lavagem e limpeza; parte elétrica; freios, tubulações e válvulas;

componentes mecânicos de potência (motores); componentes mecânicos de tração (truques, rodas e engates).

Por fim, conclui a respeito das oficinas de manutenção, onde são realizados serviços como manutenção preventiva pesada (montagem, desmontagem e recuperação de componentes) e manutenção corretiva (não programável).

3.2 GESTÃO OPERACIONAL

Segundo Ratton Neto (2006), a gestão operacional dos sistemas ferroviários de carga, trata dos processos, métodos, atividades e ações relativos à produção de transporte, de modo a atender à demanda dos mercados potenciais.

3.2.1 Variáveis da operação de sistemas ferroviários

De acordo com Ratton Neto (2006), as atividades operacionais podem ser subdivididas entre ferroviárias e não ferroviárias. As ferroviárias são diretamente ligadas à movimentação dos trens, isto é, responsabilidade exclusiva do operador ferroviário. Já as não ferroviárias, entendem-se como, o atendimento aos clientes, a administração de integração com outros modos de transportes, a movimentação das cargas, a captação e distribuição das cargas, e por fim a armazenagem. Porém, como o enfoque desta dissertação é tratar somente das operações ferroviárias, as atividades não ferroviárias não serão detalhadas.

A gestão da operação ferroviária tem como objetivo racionalizar as atividades, isto é, otimizar da melhor forma os recursos disponíveis de modo que consiga ao mesmo tempo, minimizar os custos com manutenção assim como a melhoria do padrão de qualidade do serviço prestado.

Para racionalizar essas atividades Ratton Neto (2006) cita que a operação dos sistemas ferroviários possui inúmeras variáveis para serem analisadas. A figura 5 apresenta as variáveis que podem ser estudadas nas operações.

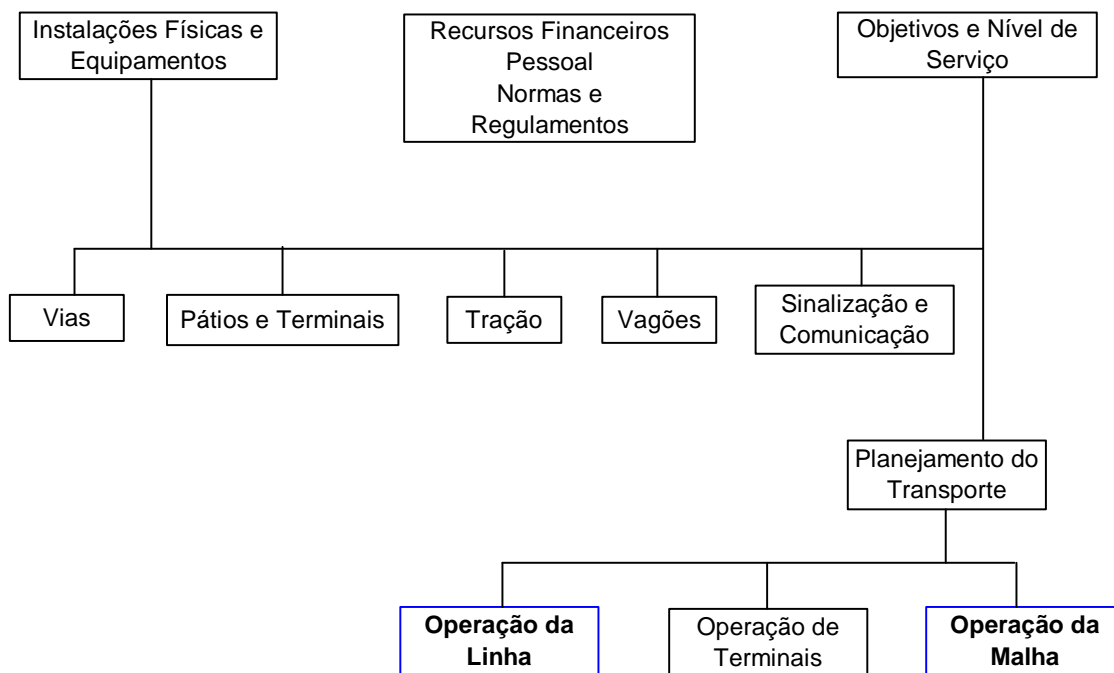


Figura 5 – Variáveis da operação ferroviária

Fonte: Rattton Neto (2006)

A operação da linha é a variável que será analisada nesta dissertação. Considera-se como linha o itinerário entre 2 ou mais pontos em sequência. Já a operação da malha considera o conjunto de linhas. No estudo de caso serão aprofundadas as variáveis da operação das linhas com enfoque específico para a realização da presente pesquisa.

No Capítulo 4 considera-se a avaliação de desempenho aplicada à operação ferroviária e o uso das ferramentas de apoio na sua determinação, como a teoria de filas e a simulação.

3.2.2 Estrutura operacional

Dentro das operações ferroviárias há uma estrutura operacional de suporte que consiste em realizar o controle, a administração e a gerência das operações na ferrovia. Rattton Neto (2006) cita que as grandes empresas de ferrovia adotam essa estrutura da seguinte forma:

✓ Gerência de cargas

Frota: Onde é realizada a programação das cargas (mensal, semanal, diária).

Centro de cargas: Onde são processadas as necessidades das cargas como a localização das cargas (solicitação de transporte) e a classificação do serviço (coleta, distribuição ou principal).

Controle de vagões: Onde se controla a posição e o estado do vagão; lotação e a alocação de vagões.

Pátios e terminais: Estabelece os padrões operacionais; controla os vagões e locomotivas imobilizadas e contacta os clientes locais.

✓ Gerência de locomotivas

Controle das locomotivas: Controla a posição e o estado das locomotivas; a alocação e programa a entrada e saída da operação.

Escala das locomotivas: Trata da escala das locomotivas propriamente ditas.

✓ Gerência de trens

Programação de trens: Onde é realizada a programação diária dos trens e controla a realização do transporte.

Composição dos trens: Onde é efetuada a composição dos trens. Composição das demandas (distribuição das solicitações de carga) e seleção dos vagões.

✓ Gerência de tráfego

Organiza o despacho dos trens nas linhas troncais e ramais.

✓ Gerência de pessoal

Pessoal das estações: Responsável pela a organização de escalas, férias e substituições. Além de controlar as horas trabalhadas e da produtividade.

Escalas das equipagens: Responsável pelas escalas dos maquinistas e dos auxiliares. Também controla as horas trabalhadas e a produtividade.

A figura 6 exemplifica a estrutura operacional numa ferrovia.

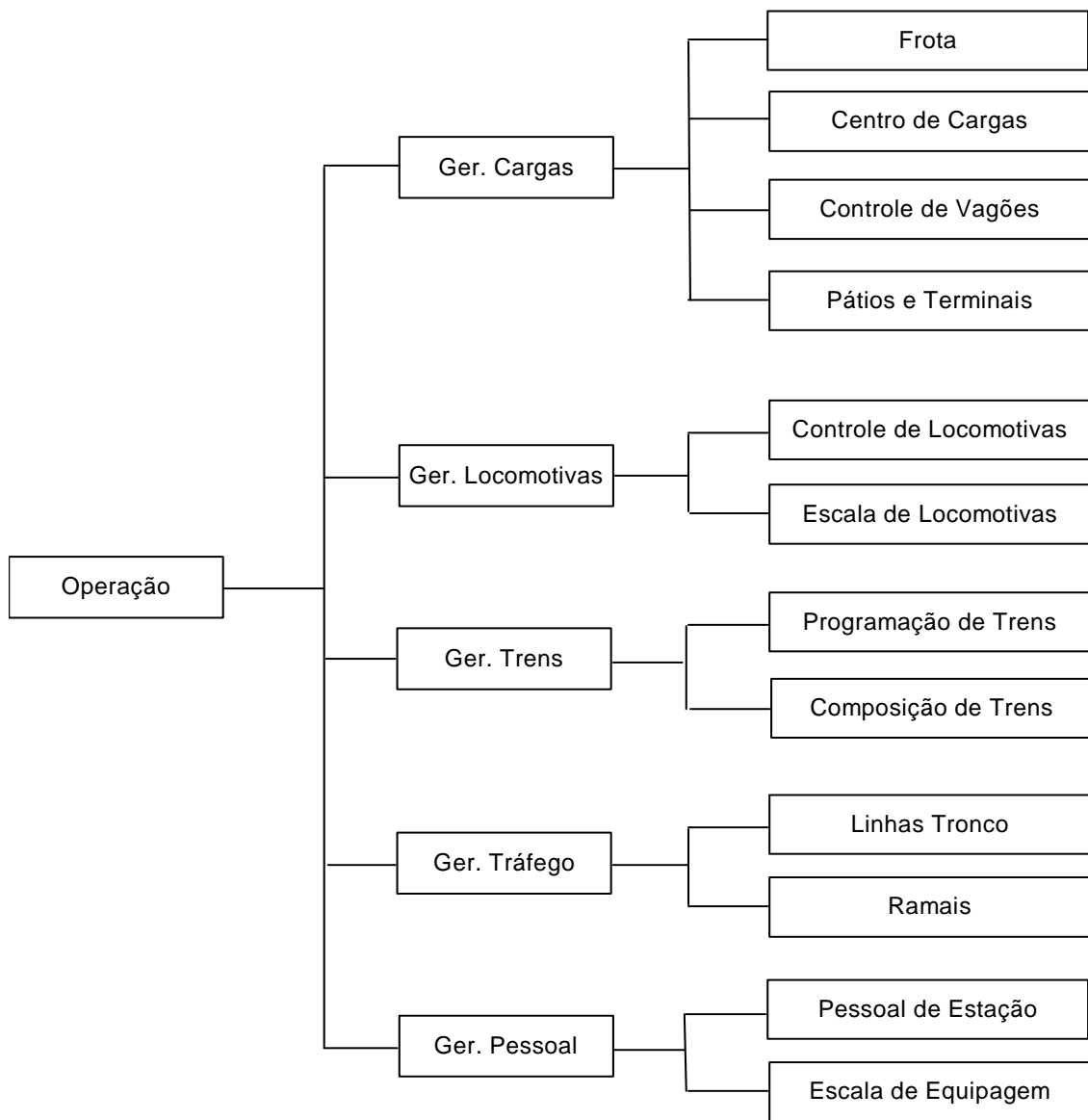


Figura 6 – Estrutura operacional
 Fonte: Rattton Neto (2006)

Dentro do universo de funções apresentado na figura 6, esta dissertação explorará a aplicação da simulação probabilística como ferramenta de apoio ao gerenciamento de tráfego em linhas tronco e ramais.

4 TÉCNICAS PARA AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO OPERACIONAL

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O desempenho operacional na gestão operacional das ferrovias pode ser avaliado pelas operadoras ferroviárias através da comparação de indicadores selecionados para cada atividade desenvolvida com padrões estabelecidos.

Segundo Fernandes (2006), o aperfeiçoamento e o emprego da avaliação de desempenho operacional são essenciais para uma gestão eficiente de todos os processos de uma empresa, principalmente para o planejamento e o controle organizacional.

Para as determinações estratégicas na tomada de decisões, a avaliação do desempenho se torna fundamental. De acordo com Fernandes (2006), a ferrovia passa a ter a possibilidade de avaliar as alternativas necessárias para a melhoria de seus fluxos e prever o investimento necessário para o desempenho futuro diante das análises dos resultados operacionais.

Gerenciar as operações ferroviárias não é uma tarefa fácil por se tratar de um sistema complexo com atividades seqüenciais. De qualquer forma, há modelos, técnicas e procedimentos que podem auxiliar nesse objetivo.

4.2 RECURSOS UTILIZADOS

Ao longo do tempo, alguns modelos e técnicas foram desenvolvidos com o objetivo de auxiliar no gerenciamento operacional baseado nos recursos disponíveis. Essas técnicas visam melhorar a eficiência das operações desenvolvidas nas instalações avaliadas, aumentando assim, sua competitividade no mercado.

Santos (1989) cita que a avaliação de desempenho operacional consiste na aplicação de ferramentas de estatística e da teoria da probabilidade, agrupados ou não, para obter valores caracterizadores da operação. Valores que podem ser da taxa de ocupação do sistema, do tempo de espera nas filas, do número de unidades na fila, do tempo de ociosidade dos equipamentos e do sistema, entre outros.

Entre essas ferramentas probabilísticas, a teoria de filas (metodologia analítica) e/ou a simulação (método experimental), poderão alcançar o objetivo desta dissertação dependendo do grau da complexidade na interpretação da realidade operacional.

Segundo Santos (1989), quando o sistema analisado for simples e possibilitar a sua interpretação analítico-matemática opta-se pelo emprego da teoria de filas. Já a simulação se aplica a qualquer sistema operacional que possa ser descrito e onde possam ser obtidos os parâmetros estatísticos necessários das chegadas, dos atendimentos e da espera dos trens.

A seguir, serão apresentadas as características e alguns trabalhos desenvolvidos no Brasil com aplicações da teoria de filas e simulação no setor de transportes para saber qual dos dois métodos se aplica melhor a esta dissertação.

4.2.1 Teoria das filas

Atualmente são muito comuns as situações em que há filas de espera para atendimento em relação a um determinado serviço. Essa espera normalmente é indesejável e, em algumas situações, a redução dos tempos de espera resulta em ganhos significativos em termos econômicos e operacionais.

Prado (2004) define a teoria de filas como um método analítico que aborda o assunto através de fórmulas matemáticas. A Teoria de Filas é um setor da pesquisa operacional que utiliza conceitos básicos de processos estocásticos e de matemática aplicada para analisar o fenômeno de formação de filas e suas características (NOVAES, 1975).

Fogliatti e Mattos (2007) resumem de forma bastante eficiente que um sistema com fila é qualquer processo em que usuários oriundos de uma determinada população chegam para receber um serviço pelo qual esperam, e saem do sistema assim que o serviço é completado. Essa espera ocorre quando a demanda é superior a capacidade de atendimento oferecido.

Vale comentar que em função da aleatoriedade dos processos de chegada e atendimento dos clientes no sistema, o fenômeno de formação de filas poderá ocorrer mesmo que a capacidade de atendimento seja superior à demanda pelo serviço.

Segundo Corrêa (2006), as filas causam insatisfação aos clientes e dependendo do acordo comercial firmado entre a ferrovia e o cliente, este poderá solicitar descontos ou até mesmo repassar o prejuízo causado em função da fila de espera à ferrovia.

Como as filas são responsáveis pelo aumento da parcela de tempo dos trens nas vias, fato que não agrega valor ao produto, a boa gestão operacional da ferrovia é fundamental na determinação do nível de serviço oferecido.

4.2.1.1 Estrutura básica

Um sistema com fila é composto fisicamente por usuários, servidores e um espaço designado para a espera (FOGLIATTI E MATTOS, 2007). Os usuários chegam com um determinado comportamento que caracteriza o processo de chegadas, para serem atendidos pelos servidores que podem funcionar em paralelo ou em série seguindo um padrão de atendimento.

Pode ser exemplificado na relação entre usuário/servidor onde enquanto os postos estão ocupados, os usuários aguardam numa fila única e assim que um servidor fica livre, um dos usuários da fila é chamado para o atendimento. Uma vez completado o serviço, o usuário é liberado do sistema. A figura 7 ilustra o processo.

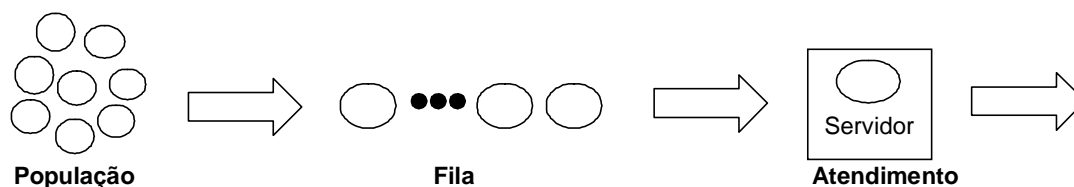


Figura 7 – Elementos de uma fila

Fonte: Elaboração do autor baseado em Prado (2004)

4.2.1.2 Características de uma fila

4.2.1.2.1 Processo de chegadas dos usuários

O processo de chegada dos usuários consiste no comportamento de chegadas ao sistema (FOGLIATTI E MATTOS, 2007). Os autores citam que o modelo de chegada pode ser classificado como determinístico ou estocástico. É denominado determinístico quando são conhecidos o número de chegadas e os instantes de tempo que elas ocorrem. É estocástico quando o processo de chegadas ocorre de forma aleatória, caracterizado por

uma distribuição de probabilidade, especificado pela taxa média de chegadas em um período de tempo ou o intervalo médio entre chegadas no sistema.

4.2.1.2.2 Processo de Atendimento

Prado (2006) cita que o processo é especificado pelo tempo médio de atendimento e a taxa de atendimento que representam a velocidade com que o servidor do sistema está realizando o atendimento.

4.2.1.2.3 Número de servidores

Segundo Fogliatti e Mattos (2007), os servidores são os locais onde são atendidos os usuários. O número de servidores no atendimento é um dado de fundamental importância na caracterização de um modelo. Há filas com um servidor único e filas com vários servidores que operam simultaneamente, isto é, servidores em paralelos para atendimento que podem operar com uma fila única ou com formação de uma fila de espera por servidor.

4.2.1.2.4 Capacidade do sistema

Há filas com limites de capacidade, isto é, sistemas com limitações físicas e que só permitem filas até certo comprimento limite, a partir do qual os clientes que chegam não têm acesso ao sistema. De acordo com Fogliatti e Mattos (2007) a capacidade do sistema é o número máximo de usuários que o mesmo comporta incluindo fila e atendimento.

4.2.1.2.5 Disciplina de Atendimento

Fogliatti e Mattos (2007) citam que a disciplina de atendimento é o critério relacionado com as unidades selecionadas para serem atendidas quando existir a formação de um sistema com fila. Desta forma, as disciplinas mais adotadas são:

FIFO⁷: Os usuários são atendidos na ordem de chegadas. É a disciplina mais comum.

⁷ *First in – first out*. No Brasil é conhecido como PEPS (Primeiro a entrar, primeiro a sair).

LIFO⁸: O primeiro usuário a ser atendido é o que chegou por último. Essa disciplina é muito comum em modelos de estoques.

PRI⁹: O atendimento aos usuários segue uma ou mais prioridades estabelecidas pelo gestor do sistema.

SIRO¹⁰: O atendimento aos usuários ocorre de forma aleatória.

4.2.1.3 Medidas de desempenho de filas

Fogliatti e Mattos (2007) acrescentam que a teoria de filas permite avaliar a eficiência de um sistema através da análise de suas características utilizando medidas de desempenho. A seguir são apresentadas essas medidas.

L_q: Número médio de usuários na fila;

L: Número médio de usuários no sistema;

W_q: Tempo médio de espera na fila;

W: Tempo médio de espera no sistema;

ρ : Taxa de ocupação ($\rho = \lambda / (c \cdot \mu)$);

λ : Taxa de chegadas;

c: Número de postos de atendimento;

μ : Taxa de atendimentos.

4.2.1.4 Notação Kendall

Um modelo de filas pode ser descrito pela notação A/B/D/K/Z onde segundo Prado (2006) significa as principais características de um sistema.

A: Descreve a distribuição dos intervalos de chegada;

B: Descreve a distribuição do tempo de atendimento;

D: Quantidade de servidores;

K: Capacidade máxima do sistema;

Z: Disciplina da fila.

⁸ *Last in – first out*. No Brasil é conhecido como UEPS (Último a entrar, primeiro a sair).

⁹ *Priority service*. Prioridade do serviço.

¹⁰ *Service in random order*. Serviço em ordem aleatória.

Ainda segundo o autor, quando forem omitidos os dois últimos termos desta notação (K e Z) significa que o sistema possui capacidade infinita e a disciplina de atendimento é FIFO.

Freitas Filho (2008) cita que esta notação recebe tal nome, devido a seu criador David Kendall. Os valores para A e B dependem do tipo de distribuição encontrado no sistema.

Segundo Gomes (1982), os processos de chegada e atendimento de unidades em sistemas de filas podem ser regidos por distribuições de probabilidade teóricas. Dentre as mais empregadas destacam-se a de Poisson e a Geométrica, para variáveis discretas e a Exponencial, a Erlang, a Normal e a Beta, para variáveis contínuas. Além dessas distribuições outros autores mencionam a Lognormal, Gamma, Triangular, Uniforme e Weibull.

4.2.1.5 A teoria de filas aplicada ao transporte ferroviário

Na prática, a teoria de filas aplicada ao transporte ferroviário de carga não é muito disseminado no Brasil, devido à alta complexidade das operações ferroviárias que dificultam a análise através desse modelo. Em virtude de tal dificuldade, sua análise por meio do uso da simulação pode ser uma melhor opção.

A simulação probabilística de sistemas ferroviários pode utilizar a teoria de filas como ferramenta básica. Portanto foram descritos alguns conceitos nos itens anteriores que auxiliam o entendimento da modelagem proposta na presente dissertação na aplicação da simulação probabilística.

4.2.2 Simulação

A simulação é uma técnica eficiente quando pretende avaliar ou analisar o desempenho operacional de sistemas complexos. O uso dos modelos para emprego de simulação probabilística em transportes é enfatizado por especialistas no assunto, que concordam entre si com os conceitos envolvidos na técnica de simulação.

Segundo Saliby (1999), a simulação consiste no processo de construção de um modelo que replica o funcionamento de um sistema real ou idealizado. No caso de experimentos

computacionais, são testadas diferentes alternativas para operação do modelo para que possam ser propostas melhores formas de operá-lo.

Ainda segundo o autor, a simulação é indicada para sistemas onde as conseqüências das relações entre seus diversos componentes não são conhecidas a priori e são dificilmente traduzidas de maneira analítica. A simulação também pode identificar problemas específicos dentro de um sistema em particular, tais como limitações de capacidade e recursos ociosos.

Para Datz (2004), a simulação fornece parâmetros que permitem fazer uma análise operacional detalhada e possibilitam a criação de alternativas de solução, cujos resultados orientarão os gestores na tomada de decisão.

De acordo com Shannon (1975), a simulação é o processo de projetar um modelo operacional de um sistema real, fazendo experimentos, com o intuito de entender o seu comportamento, ou avaliar algumas estratégias operacionais, dentro de limites impostos por determinados critérios.

Prado (2004) reforça que a simulação é uma técnica que permite reproduzir o funcionamento de um sistema real. Cita que nos programas de computador atuais é possível construir modelos e visualizar na tela o funcionamento do sistema como um filme. A figura 8 mostra as formas de estudo dos sistemas de simulação.

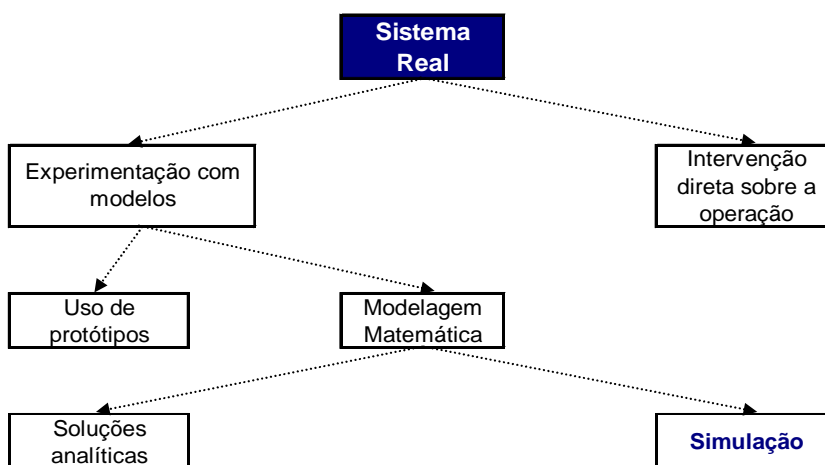


Figura 8 – Formas de estudos de sistemas
Fonte: Law e Kelton (2000) *apud* Oliveira (2006)

De acordo com Shimizu (1975) *apud* Rocha (1989), a simulação é basicamente um trabalho de analogias. Isto é, é um processo de reproduzir a realidade através de modelos, os quais podem conservar, ou não, as características físicas e lógicas do sistema reproduzido. Mesmo não conservando tais características, os modelos podem ser reproduzidos.

Por outro lado, Wren (1971) *apud* Rocha (1989) divide os modelos de simulação em determinísticos e probabilísticos.

Os modelos determinísticos se referem aos casos em que todas as variáveis do modelo assumem valores pré-determinados, em função apenas do estado¹¹ do sistema. Já os probabilísticos se referem aos casos em que as variáveis assumem valores dependentes, como das distribuições de probabilidades associadas às suas variáveis. Para o autor, o termo simulação refere-se somente à simulação probabilística.

4.2.2.1 Etapas na criação de um modelo de simulação

Como pode ser observado na figura 9, segue um roteiro resumido das principais etapas numa aplicação prática de simulação segundo Freitas Filho (2008).

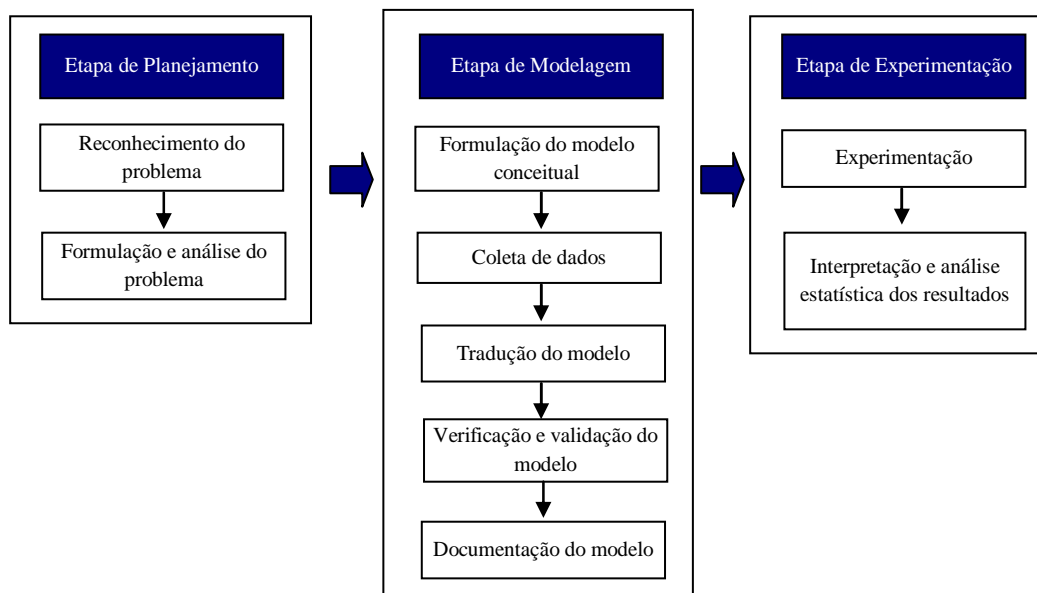


Figura 9 – Etapas na criação de um modelo de simulação

Fonte: Adaptação de Freitas Filho (2008)

¹¹ O que se conhece sobre o passado do sistema que pode determinar como será o seu futuro.

4.2.2.1.1 Reconhecimento do problema

O primeiro passo é identificar que um problema existe e que pode ser solucionado com a ajuda de técnicas de simulação. Neste momento devem ser levantados todos os aspectos que se pretende considerar na formulação do problema.

4.2.2.1.2 Formulação e análise do problema

O segundo passo é identificar as características do problema e definir o objetivo do estudo. É preciso definir o seu escopo, os parâmetros de análise e as restrições.

4.2.2.1.3 Formulação do modelo conceitual

Nessa etapa deve-se definir o tipo de simulação e os recursos a serem utilizados, podendo ser iniciado com um simples esboço do sistema e evoluir até o nível de detalhe necessário para atingir o objetivo do estudo.

4.2.2.1.4 Coleta de dados

Após a formulação do modelo conceitual é preciso definir os dados necessários para realizar a simulação. Estes devem ser coletados e trabalhados estatisticamente para que possam, depois, ser utilizados na alimentação do modelo.

4.2.2.1.5 Tradução do modelo

O modelo é traduzido para relações lógicas e matemáticas numa linguagem de programação adequada. Com os *softwares* de simulação disponíveis no mercado, esta etapa torna-se mais simples.

4.2.2.1.6 Verificação e validação do modelo

Nesta etapa é verificada a existência de inconsistências na lógica de programação do modelo assim como a resposta em diferentes situações. Será validado o modelo que for capaz de replicar um número suficiente de situações reais.

4.2.2.1.7 Documentação do modelo

Permite às pessoas que não participaram do projeto de criação do modelo, analisar, utilizar e a fazer mudanças futuras. São considerados na documentação os objetivos e

suposições levantadas; a lógica de programação computacional adotada; os detalhes do modelo conceitual; as ferramentas utilizadas; as informações sobre a amostra de dados e a análise dos resultados obtidos.

4.2.2.1.8 Experimentação

Construído o modelo computacional e devidamente validado, a fase experimental permite que as diversas alternativas consideradas sejam testadas, priorizando as melhores e sugerindo alterações caso seja necessário.

4.2.2.1.9 Interpretação e análise estatística dos resultados

Significa fazer inferências em cima dos resultados gerados pela simulação. Caso não seja possível chegar a nenhuma conclusão com a confiabilidade estatística desejada, pode ser realizada mudança na sistemática de simulação, alterando, por exemplo, a quantidade de replicações, o tempo de período simulado, entre outras mudanças.

4.2.2.2 Vantagens e Desvantagens da Simulação

4.2.2.2.1 Vantagens

Segundo Prado (2004), os modelos de simulação permitem analisar diversas alterações no cenário virtual, sem o custo e o risco de atuar no cenário real.

De acordo com Turnquist e Daskin (1982), o computador pode simular uma seqüência de decisões humanas muito mais rápido que o próprio homem, permitindo testar diversos experimentos em curtos períodos de tempo.

Freitas Filho (2008) acrescenta que os programas de simulação (*softwares*) contribuem para que os sistemas complexos¹² possam ser modelados sem a necessidade de experiência em programação computacional, proporcionando a disseminação da técnica para os mais diversos campos de aplicação.

Ainda segundo o autor a simulação possibilita a realização de ajustes em modelos já criados facilmente e permite representar adequadamente o sistema real, mostrando como este realmente opera.

¹² É um sistema cujo caráter da organização comporta um certo número de níveis e elementos solidários, porém, irredutíveis entre si.

4.2.2.2.2 Desvantagens

Freitas Filho (2008) cita que a simulação pode não dar resultados exatos com as distribuições estatísticas de má qualidade, independente da qualidade do modelo, os dados têm que ser bem trabalhados para que o analista possa obter resultados plausíveis. Caso contrário poderá ocorrer o insucesso do projeto de simulação.

O autor cita que a simulação não gera respostas simples para problemas complexos. É possível fazer simplificações com o propósito de desenvolver um modelo adequado num espaço de tempo razoável. Mas, se os elementos críticos do sistema forem ignorados, os resultados obtidos não serão satisfatórios.

A simulação não resolve problemas. Ela fornece ao tomador de decisão, soluções potenciais para o problema. Segundo Freitas Filho (2008) cabe ao analista avaliar e consolidar as mudanças que são propostas. Por esta razão, é importante manter os *stakeholders*¹³ envolvidos com o projeto.

4.2.2.3 A simulação aplicada ao transporte ferroviário no Brasil

A maior parte dos estudos de simulação aplicada ao transporte ferroviário encontrados nesta revisão bibliográfica se dedica a terminais e não abordam o sistema como um todo. Logo, a presente dissertação se destaca como uma contribuição ao tema. Os estudos de simulação que se aplicam ao transporte ferroviário de carga podem-se citar alguns a seguir.

Gomes (1982) elaborou um modelo de simulação probabilístico com o objetivo de analisar a capacidade operacional de pátios ferroviários e auxiliar na tomada de decisões quanto às melhorias da operação. O modelo simula, a partir dos dados de entrada, a atual situação operacional do pátio permitindo, também, a avaliação de outras situações hipotéticas relacionadas a futuras mudanças físicas ou operacionais.

Dexheimer (1997) desenvolveu um modelo de simulação que fornece situações alternativas, baseadas nos tempos de atendimento das operações realizadas nos terminais intermodais de carga visando reduzir as interferências no fluxo de transporte.

¹³ São os indivíduos ou organizações que estão ativamente envolvidos no projeto ou cujos interesses possam ser positiva ou negativamente afetados pelo projeto ou pelos produtos do projeto.

O modelo possibilitou a adoção de políticas gerenciais com diminuição dos tempos de permanência das cargas, chegando a reduções de até 33%.

No que se refere a um terminal ferroviário de contêineres, encontra-se o estudo de Rocha (1989). O modelo em questão foi empregado através da técnica da simulação, utilizando um *software* no setor de transbordo do pátio do porto de Santos. Foi realizada uma avaliação da capacidade prática de movimentação, atingindo patamares satisfatórios no transbordo da variação de alguns parâmetros operacionais.

Paganotti Neto (1986) realizou uma pesquisa com a técnica de simulação para calcular a capacidade dos terminais ferroviários face às necessidades militares. Para atingir o objetivo de estabelecer uma rotina para as atividades usuais, como exemplo, o planejamento do transporte de tropas, as viaturas e suprimentos via ferrovia foram analisadas separadamente cada uma das atividades, calculando suas capacidades, de forma a comparar uma com as outras, possibilitando assim, a determinação da atividade crítica.

Outro estudo que segue a mesma linha é o de Alves (1987). O autor teve como objetivo avaliar o impacto da mobilização na capacidade de pátios ferroviários, no planejamento racional dos transportes militares. Para isso, foi feita a comparação dos valores de certos parâmetros entre o comportamento na operação de um pátio em situação normal e de mobilização, mediante a simulação probabilística. Os resultados obtidos foram considerados satisfatórios com o modelo proposto.

Oliveira (2006) modela um pátio e terminais ferroviários por meio de simulação. O autor teve como objetivo reduzir o problema de filas devido a possíveis falhas nos processos de planejamento e programação de transporte. Por meio do *software* Arena, os resultados obtidos foram coerentes, podendo ser aplicados em outros sistemas geradores de filas.

Os estudos pesquisados nos parágrafos anteriores consideraram a simulação como a ferramenta de aplicação aos pátios e/ou terminais ferroviários. Destes, chama atenção o estudo realizado por Oliveira (2006) que abordou a simulação baseado nos conceitos da teoria de filas de uma forma simples e objetiva. De uma forma semelhante, nesta

dissertação foi escolhida a simulação por ser uma ferramenta adequada a sistemas com certo nível de complexidade. Neste caso, a simulação permite reproduzir o sistema com melhor aderência à realidade, o que no caso da teoria de filas implicaria em formulação excessivamente complexa.

5 ESTUDO DE CASO: MRS LOGÍSTICA

5.1 DESCRIÇÃO DA EMPRESA

As informações citadas nos próximos parágrafos foram coletadas através do *site* institucional da (MRS, 2008).

A empresa MRS Logística foi constituída em 20 de setembro de 1996 por um grupo de empresas (Gerdau, Usiminas, MBR, CVRD, CSN e outros). Recebeu uma concessão por 30 anos, prorrogáveis por mais 30 para operar uma malha ferroviária com aproximadamente 1.700 km de extensão interligando os estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo.

A MRS hoje é uma concessionária do setor ferroviário que controla, opera e monitora a Malha Sudeste da Rede Ferroviária Federal (antiga Superintendência Regional 3 – SR3 Juíz de Fora - MG e a antiga Superintendência Regional 4 – SR4 São Paulo - SP). A figura 10 representa a malha citada.

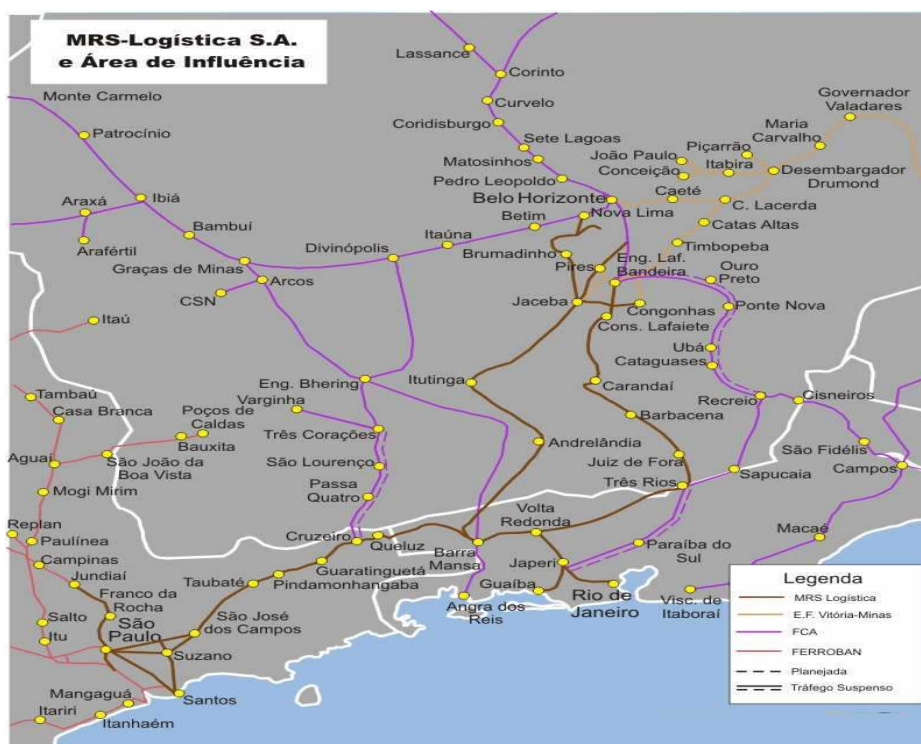


Figura 10 – Traçado da malha ferroviária da MRS Logística e ferrovias co-existent na região
Fonte: Ministério dos Transportes (2009)

A região é considerada estratégica por concentrar aproximadamente 65% do produto interno bruto do Brasil, onde estão instalados os maiores complexos industriais do país. Pela malha da MRS também é possível alcançar os portos de Itaguaí e de Santos (o mais importante da América Latina).

Embora possua uma carteira de clientes diversificada e abrangente, os grandes volumes de produção da empresa estão concentrados no transporte de produtos para seus acionistas como apresenta a figura 11. A composição acionária atual da MRS é a seguinte:

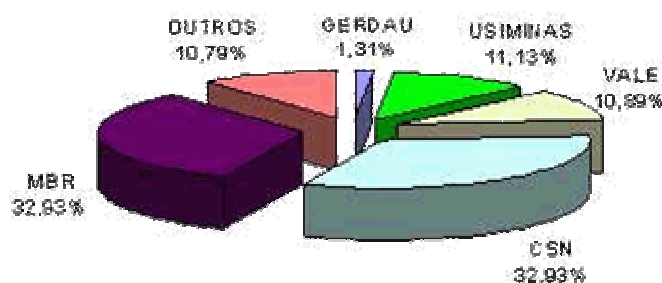


Figura 11 – Relação dos acionistas em capital social

Fonte: MRS (2006)

Logo, sua produção é fortemente impulsionada pelo transporte de cargas denominadas *heavy haul*¹⁴ que gira em torno de 75% de sua produção, isto é, minério de ferro, bauxita, produtos agrícolas e coque verde.

Apesar disso, a empresa vem aumentando seu volume de transporte de carga geral, tidos como, *commodities*, produtos siderúrgicos acabados, cimento, e contêineres. A produção da companhia em 2007 foi de aproximadamente 126.325 milhões de toneladas, um crescimento aproximado de 11,4% em relação a 2006 (MRS, 2007). A figura 12 mostra o crescimento contínuo da produção da ferrovia a partir do ano 2002.

¹⁴ Segundo Ratton Neto e Castello Branco (2005), o termo trata do transporte de carga pesada (considera-se que uma ferrovia seja do tipo *heavy haul* quando: i) a carga por eixo for igual ou superior a 25 tf / eixo; e ii) a demanda transportada ultrapasse 20 milhões de toneladas brutas anuais ou a lotação dos trens, individualmente, supere 5.000 toneladas brutas).

Fontana Neto (2005) reforça que a MRS também vem crescendo na movimentação de cargas containerizadas nos últimos anos, e que em 2007 foi operado aproximadamente 126 mil TEU's.

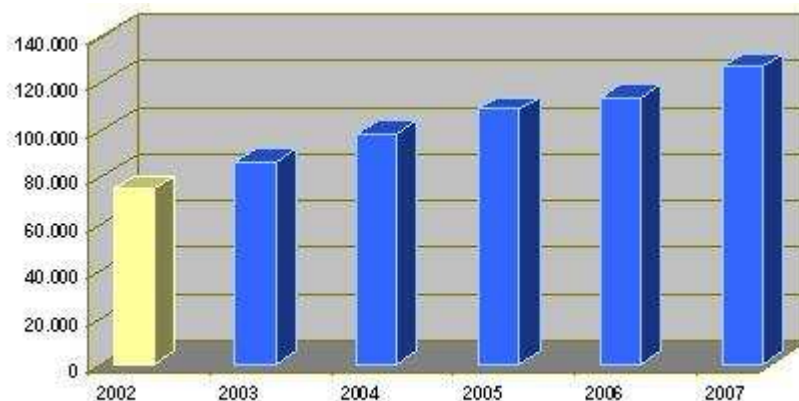


Figura 12 – Produção anual em milhares de toneladas
Fonte: MRS (2007)

Referente à conquista de novos clientes, Fontana Neto (2005) cita que o investimento em máquinas é primordial para o futuro dos negócios. Exemplifica que no primeiro semestre de 2006, foram adquiridos mais de 300 vagões pela ferrovia, para atender a um contrato recém-firmado com a CSN, uma de suas acionistas. O acordo previa, inicialmente, o transporte de 4 mil toneladas de minério de ferro por ano desde sua usina, situada no quadrilátero ferrífero, em Minas Gerais, até o terminal próprio da Usina no Porto de Itaguaí (RJ).

Quanto à tecnologia, a MRS trabalha com equipamentos modernos de GPS (localização via satélite com posicionamento de trens em tempo real), sinalização defensiva, detecção de problemas nas vias com apoio de raios-X e ultra-som para detectar fraturas ou fissuras nos trilhos.

Também possui simulador de operação de trens, para treinamento de maquinistas e auxiliares; rede de fibra ótica em toda a malha; sistema de rastreamento e licenciamento de trens via satélite; instalação de registradores de eventos a bordo (caixa preta); novos sistemas de informações operacionais; rastreamento eletrônico via internet; tração distribuída; ultra-som; sistema de aceleração independente; carro controle (*track star*); e trem esmerilhador.

Vale citar a política de sustentabilidade criada com metas bem definidas sobre preservação do meio ambiente. A empresa possui programas de cunho ambiental como: a recuperação de áreas degradadas com emprego de revestimentos vegetais, gerenciamento de resíduos e adoção de medidas preventivas para eliminação de processos poluidores.

A responsabilidade social também merece destaque nas ações da MRS. A empresa implanta uma série de medidas sobre procedimentos operacionais, capacitação de recursos humanos, conscientização e emprego de tecnologias, para garantir o transporte eficiente e seguro não só de suas cargas, mas também de seus funcionários.

5.1.2 Características operacionais

5.1.2.1 Cargas

A MRS está focada no transporte de carga de diversos segmentos de mercado. Tais como a mineração, a siderurgia, a metalurgia, os aços longos, a construção civil, as cargas dos setores químico e o petroquímico, o papel e a celulose, as *commodities* agrícolas, os componentes automotivos e as cargas containerizadas.

Tabela 8 – Produção por tipo de carga em milhares de toneladas a partir de Janeiro

CARGA	até Agosto / 08	até Agosto / 07
Açúcar	1.707,90	1.088,80
Areia	970,9	929,5
Bauxita	1.597,30	974,4
Carvão / Coque	2.312,90	2.403,60
Celulose	522,3	542,7
Cimento	1.230,60	1.126,20
Container	992,1	792,7
Enxofre	559	543,5
Escoria Alto Forno	170,7	307,9
Fosfatos	690,3	799,6
Gusa e Sucata	1.598,50	1.110,70
Madeira	175,2	126
Min. Ferro Int.Ext.	67.112,50	60.669,70
Prod.Sid. Int.Exp.	4.217,80	4.529,60
Produtos Químicos	228,2	268,1
Sal	110,3	107,4
Soja/Farelo de Soja/Milho	6.245,70	3.668,40
Tubos	127,3	140,1
Outros	802,1	16,9
TOTAL GERAL	91.371,80	80.145,80

Fonte: MRS (2008)

5.1.2.2 Malha ferroviária

Algumas dessas cargas são transportadas no trajeto importação e exportação através dos Portos do Rio de Janeiro, Itaguaí, Guaíba e Santos conforme a figura 13 e 14.



Figura 13 – Acesso aos Portos do Rio de Janeiro, Itaguaí e Guaíba
Fonte: MRS (2007)

A MRS constitui a melhor opção ferroviária para uma ligação eficiente entre o porto do Rio de Janeiro e os mercados de São Paulo e Minas Gerais. Faz uso de seus terminais intermodais de carga (dentro do Pátio do Arará), situado às portas do porto do Rio de Janeiro, para operar principalmente cargas destinadas à exportação/importação, produtos siderúrgicos, minérios e contêineres.

A MRS tem acesso exclusivo aos terminais do Porto de Itaguaí, entre eles o Sepetiba Tecon (Contêineres), CSN Tecar (Granéis) e CVRD (Exportação Minério de Ferro) MRS (2007). Localizado na ilha de Guaíba, situado na Baía de Sepetiba, no Estado do Rio de Janeiro e operado pela MBR, este terminal portuário tem seu único acesso através da MRS.



Figura 14 – Acesso ao Porto de Santos
 Fonte: MRS (2007)

A MRS tem acesso direto ao Porto de Santos através das cidades de Santos à esquerda e Guarujá à direita. A figura 14 representa o trecho da ferrovia dentro do estado de São Paulo.

5.1.2.3 Material rodante

A ferrovia tem investido em modernas locomotivas e vagões. Conta, atualmente, com cerca de 90 locomotivas próprias, com 232 locomotivas arrendadas, diversificadas entre os modelos da GE¹⁵ e GM¹⁶. Em sua frota, a MRS possui entre próprios e de terceiros 1.308 vagões fechados, 5.086 unidades tipo gôndola, 2.062 tipo *hopper*¹⁷, 2.039 tipo plataforma e 366 vagões-tanques (MRS, 2007).

5.1.2.4 Tecnologias

As informações das principais tecnologias foram disponibilizadas segundo os dados divulgados pela MRS (2008).

¹⁵ General Eletric

¹⁶ General Motors

¹⁷ Segundo Rattón Neto e Castello Branco, é vagão de autodescarga (vagão, com teto aberto ou fechado, com o piso inclinado a partir das laterais e da traseira, e que descarrega seu conteúdo por gravidade através de portas no fundo).

5.1.2.4.1 *Sislog*

Segundo a MRS (2008) o *sislog* é o Sistema Logístico da MRS que concentra e operacionaliza as várias atividades do Planejamento e Controle da Produção. Abrange desde o planejamento e distribuição da demanda mensal de transporte até a parte operacional propriamente dita, contemplando toda a operação de transporte a partir da criação de um trem até a sua chegada na estação de destino.

Possui também interações com diversas áreas da empresa como comercial, faturamento, mecânica, pátios e terminais, suprimentos, além de possibilitar aos clientes a consulta ao Sistema de Posicionamento de Trens através da Internet.

5.1.2.4.2 *Centro de controle operacional*

O Centro de Controle Operacional (CCO) existe para controlar o tráfego da ferrovia e visualizar tudo o que acontece no campo de operação da empresa segundo a MRS (2008).

O CCO fica em Juiz de Fora, onde está a sede operacional da MRS. O CCO possui painéis mímicos que representam a configuração da ferrovia. Ao longo da linha, existem dispositivos que são acionados com a passagem do trem e esta informação é direcionada para o CCO. Surgem então luzes verdes e vermelhas representando a posição em que se encontram os trens.

É do CCO que os operadores controlam cada trecho, abrindo ou fechando uma chave de mudança de via, movimentando cancelas e passando informações para os maquinistas via rádio. Desta forma, os trens são direcionados pelo CCO, mantendo todo o transporte na melhor e maior ordem possível.

O CCO funciona 24 horas por dia e os funcionários que ali trabalham devem ter o máximo de atenção para que não ocorram acidentes. O CCO possui um Sistema de Falhas Seguras, que não permite a abertura de duas rotas ao mesmo tempo para duas composições.

O CCO também aciona equipes de manutenção de sinais, de via permanente e de socorro. Emite relatórios e trabalha diretamente com os gestores de frotas, que repassam toda a programação diária de transportes para que tudo ande conforme os contratos e atenda as necessidades da MRS. A figura 15 representa uma sala do CCO.



Figura 15 – Centro de Controle Operacional
Fonte: MRS (2008)

5.1.2.4.3 Simuladores de Trens

A MRS dispõe dos simuladores um dos mais modernos na área de treinamento e aperfeiçoamento de maquinistas. Estes equipamentos começaram a operar na empresa em outubro de 1998 e foi investido R\$ 3,6 milhões (MRS, 2007).

Com a compra dos equipamentos, que foram desenvolvidos pelo *ITT Research Institute*, da Universidade americana de Illinois, a MRS deu início ao maior e mais moderno programa de treinamento de maquinistas do Brasil.

O Simulador TS-2 é o maior deles e está instalado em uma cabine exatamente como a de uma locomotiva e imita fielmente as condições de operação de um trem. Através de um telão, o maquinista visualiza uma imagem como a real. Até mesmo os sons da operação são reproduzidos. A figura 16 representa o modelo de simulador TS-2.



Figura 16 – Simulador de condução de trens TS-2
Fonte: MRS (2008)

Depois de operar o simulador, o maquinista tem suas ações avaliadas por um computador e, a partir dos resultados, são realizados cursos de aperfeiçoamento para sanar os possíveis problemas. Este trabalho visa à melhoria na condução dos trens, o que reflete na redução de consumo de combustível, do número de acidentes, de defeitos e desgastes nos trilhos.

Também fazem parte do Centro de Treinamento da MRS três simuladores TS-1, um modelo mais simples, que funciona em um monitor de computador, mas tem o mesmo princípio do TS-2. Nas telas, os maquinistas vislumbram 90 km de trechos da malha da MRS, incluindo os mais críticos. A figura 17 mostra o modelo TS-1.



Figura 17 – Simulador de condução de trens TS-1
Fonte: MRS (2008)

Depois de cinco anos, todos os maquinistas da MRS já passaram pelas máquinas e receberam treinamento. As turmas, geralmente, reúnem 16 pessoas, que ficam metade em sala de aula, metade nos simuladores.

5.1.2.5 Terminais

A MRS conta com terminais que são responsáveis por grande parte da movimentação de cargas conforme a tabela 9.

Tabela 9 – Terminais estratégicos

REGIÃO	MUNICÍPIO	UF	TIPO DE CARGA
Grande BH	Belo Horizonte	MG	Siderúrgicos
Grande BH	Sarzedo	MG	Gusa/Contêineres/Granéis (Minério)
Conselheiro Lafaiete	Conselheiro Lafaiete	MG	Gusa/Contêineres
Grande Rio	Rio de Janeiro	RJ	Gusa/Siderúrgicos/Contêineres/Cimento
Sul Fluminense	Volta Redonda	RJ	Siderúrgicos
Sul Fluminense	Resende	RJ	Siderúrgicos
Vale do Paraíba	São José dos Campos	SP	Contêineres
Vale do Paraíba	Caçapava	SP	Contêineres
Campinas	Sumaré	SP	Contêineres
São Paulo	Mooca	SP	Contêineres
São Paulo	Ipiranga	SP	Siderúrgicos
São Paulo	Água Branca	SP	Siderúrgicos/Madeira
Grande São Paulo	Itaquaquecetuba	SP	Siderúrgicos
Grande São Paulo	Mogi das Cruzes	SP	Gusa/Siderúrgicos/Contêineres/Granéis (Minério)
Grande São Paulo	Suzano	SP	Contêineres
Baixada Santista	Cubatão	SP	Fertilizantes/Siderúrgicos/Granéis
Baixada Santista	Santos/Guarujá	SP	Contêineres/Granéis/Papel e Celulose

Fonte: MRS (2008)

5.1.2.6 Pátios

Na operação dos trens, as partidas originam-se no Estado de Minas Gerais e seguem em direção ao Rio de Janeiro. Para atingir o objetivo de chegar ao pátio do Arará (FAR) localizado no Rio de Janeiro, os trens param em diversos outros pátios até chegar ao destino final. Nesse percurso percorrem dois tipos de trens; o trem unitário, que transporta minérios e o trem misto, que transporta carga geral.

Os trens são formados a partir dos pátios de Joaquim Murinho (FDM) (minério), Barreiro (FBO) (carga geral) ou Sarzedo Novo (FZN) (carga geral) em direção ao Arará. A tabela 10 mostrará a lista de pátios pelos quais os trens irão transitar até a chegada ao Arará.

Tabela 10 – Pátios da MRS Logística

SIGLAS	PÁTIOS
FBO	BARREIRO
FZN	SARZEDO NOVO
FDM	JOAQUIM MURTINHO
FJC	P.17
FOJ	BOM JARDIM
FBB	BARBARÁ
FPU	PULVERIZAÇÃO
FVR	VOLTA REDONDA
FBP	BARRA DO PIRAI
FQS	JAPERÍ
HRS	ROCHA SOBRINHO
FAR	ARARÁ

Fonte: Elaboração do autor baseado nos dados da MRS (2008)

Chiaini (2008) ao ser entrevistado explicou que para um trem ingressar no pátio ocorre o seguinte procedimento: caso haja disponibilidade de espaço nas linhas de manobra no Arará, o trem entra no pátio pela linha 2 (figura 18). Não havendo espaço físico no pátio para o recebimento do trem, ele fica aguardando em fila no pátio de Rocha Sobrinho (HRS) até que possa ser recebido. Este pátio é o mais próximo do pátio do Arará, cerca de 1h e 30 min de distância de trem. Após ingressar no pátio de destino, os vagões são manobrados nas suas linhas e levados aos respectivos terminais.

Caso o terminal não possa receber a carga, o vagão fica aguardando em uma das linhas do pátio, reduzindo sua capacidade de manobra (fato que contribui para a formação de filas). Após o vagão ser entregue ao terminal, a MRS aguarda que ele seja carregado ou descarregado para então realizar a manobra de busca do vagão, e formar o trem de retorno para sair do pátio pela linha 3.

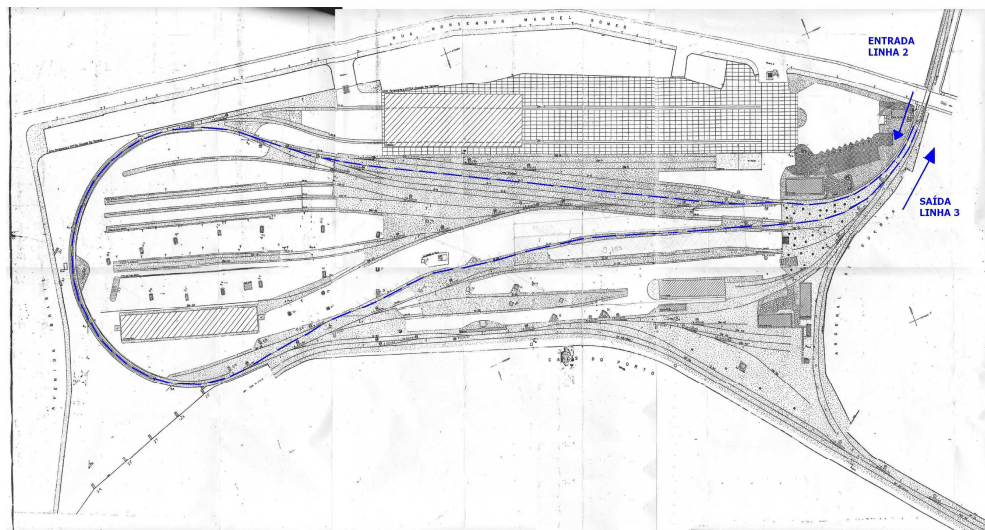


Figura 18 – Desenho esquemático do pátio de Arará

Fonte: MRS *apud* Oliveira (2006)

5.1.2.7 Problemas enfrentados nos pátios

A MRS Logística vem enfrentando ao longo dos anos alguns desafios operacionais. Com o aumento da demanda no transporte de cargas gerais e unitárias em função do crescimento das importações e exportações, os pátios sofrem com esses desequilíbrios entre a demanda e a sua capacidade de produção. A restrição da capacidade ocorre pela insuficiência de sua estrutura e de pessoal.

Segundo Chiaini (2008), os entraves responsáveis pelas filas no sistema são:

- ✓ Falta de equipagem na origem;
- ✓ Excesso de trem na via;
- ✓ Prioridade na passagem do trem de minério (unitário) nos cruzamentos confrontados pelos trens de carga geral;
- ✓ Problemas de rotina na via permanente;
- ✓ Defeito de locomotivas ou de vagões;
- ✓ Fenômenos da natureza inviabilizando a circulação;
- ✓ Congestionamentos;
- ✓ Atraso nos carregamentos e descarregamentos.

Além disso, há problemas de invasão pelas comunidades locais na faixa de domínio da ferrovia nas regiões onde o trem circula em direção ao porto do Rio de Janeiro restringindo a velocidade do trem. As composições reduzem a velocidade para até 5 km por hora para não ameaçar a segurança de populações que vivem às margens das linhas. Essa redução aumenta de forma significativa o tempo de viagem desde a saída do vagão do ponto de carregamento até o seu destino, causando um desequilíbrio na programação realizada pela companhia, formando filas no atendimento das composições em alguns pátios. A figura 19 exemplifica a situação na área citada anteriormente.



Figura 19 – Invasão da faixa de domínio da MRS

Fonte: Oliveira (2006)

Outro problema são os cruzamentos com os trens de passageiros da Supervia¹⁸ que têm a prioridade de circulação sobre os trens de carga garantida por legislação.

¹⁸ Supervia Concessionária de Transporte Ferroviário S.A é o nome da empresa criada pelo consórcio vencedor da licitação que ganhou a concessão por 25 anos renováveis por mais 25 anos para a operação comercial e manutenção da malha ferroviária urbana de passageiros da região metropolitana do Rio de Janeiro.

5.2 APOIO À GESTÃO DA OPERAÇÃO NA FERROVIA

Este estudo tem como objetivo exemplificar, por meio de uma aplicação prática, como a ferramenta de simulação probabilística permite auxiliar a gestão operacional ferroviária. Para isso, foi desenvolvido um modelo que procura refletir em parte a situação atual da operação de um trecho da rede na MRS e que será utilizado para demonstrar como, por meio da simulação probabilística, se pode apoiar o gerenciamento das suas operações futuras. Esta seção descreve as etapas seguidas no desenvolvimento deste modelo e os resultados encontrados. Estas etapas foram elaboradas com base na figura 9.

5.2.1 Etapas da pesquisa

A MRS Logística foi escolhida para ser avaliada em função do grande potencial de crescimento do transporte ferroviário de carga na região sudeste, a maior região industrial do país.

Diante disso, foi iniciada nesta dissertação uma busca de dados secundários que permitissem situar a empresa objeto do estudo num contexto econômico. Foram acessadas bases de órgãos governamentais, associações, empresas privadas, periódicos, e órgãos internacionais (a lista completa encontra-se na seção de bibliografia).

Nesse capítulo do estudo de caso foi realizada uma visita técnica ao pátio de Arará (RJ), onde foram entrevistados o Coordenador Operacional do Pátio e o Supervisor de Logística, e a sede da empresa, localizada em Juiz de Fora (MG), onde foi entrevistado o Especialista de Engenharia de Operações. Tais visitas tiveram o intuito de tornar conhecido os desafios e oportunidades da organização em questão.

As etapas do trabalho consistiram em analisar os dados obtidos, procurando responder ao objetivo desta dissertação. Nesta fase foi adotada a seguinte metodologia:

- ✓ Entendimento do fluxo dos trens ao longo do trecho da rede - partidas dos terminais de origem, tráfego na linha e paradas nos terminais intermediários e final;
- ✓ Entendimento dos tipos de cargas que circulam na ferrovia;
- ✓ Definição das variáveis do modelo;
- ✓ Elaboração da lógica do modelo;

- ✓ Coleta dos dados necessários;
- ✓ Criação do modelo no *software* Arena e;
- ✓ Verificação do modelo e análise dos resultados obtidos.

5.2.2 Fluxo das atividades e tipos de cargas

Durante a pesquisa serão analisados 5 trens que transitam na via da MRS em direção ao pátio do Arará. Esses trens são originados (partida) de pátios distintos. Os trens FCR01 (trem de minério de ferro) e o KCR11 (trem de carga geral) partem do pátio de Joaquim Murtinho (FDM). Os trens FER01 (trem de minério de ferro) e KER11 (trem de carga geral) têm origem no pátio de Sarzedo Novo (FZN). E por último, o trem KER01 (trem de carga geral) é o único que parte de Barreiro (FBO).

Vale lembrar que dos 5 trens que circulam durante um mês, 4 operam diariamente. Pois os trens FCR01 e FER01 alternam os dias de tráfego na via embora partam de origens diferentes. O percurso é o mesmo para ambos e eles nunca partem no mesmo dia.

A tabela 11 exemplifica a programação da rota que cada trem deve seguir durante um mês. A análise foi baseada no mês de agosto de 2008 em função de ter sido um mês crítico segundo a MRS. Adicionalmente, de março a outubro o volume das cargas aumenta de forma acentuada, diminuindo consideravelmente de novembro a fevereiro, pois o tipo de carga transportada é sazonal.

Tabela 11 – Rotas dos trens

Trens	ROTAS PERCORRIDAS									
FCR01	FDM		FJC	FOJ			FBP			FAR
FER01		FZN	FJC	FOJ			FBP			FAR
KER01	FBO	FZN	FJC	FOJ	FBB	FVR	FBP	FQS	HRS	FAR
KER11		FZN	FJC	FOJ	FPU		FBP	FQS	HRS	FAR
KCR11	FDM		FJC	FOJ	FBB	FPU	FBP	FQS	HRS	FAR

Fonte: Elaboração do autor baseado nos dados da MRS (2008)

As filas também surgem devido aos cruzamentos de trens em alguns pátios em função dos trens FCR01 e o FER01, que têm a prioridade nas passagens por se tratarem de trens unitários. Com isso, os demais trens devem aguardar até eles partam ou até mesmo ceder à vez de atendimento para que aqueles ultrapassem.

Outros fatores causadores de filas no pátio podem ocorrer durante o atendimento dos trens, tais como, a indisponibilidade de linhas para manobras, falta de equipamentos para atendimento dos trens e falta de recursos humanos para a execução dos serviços.

Os trens param por um período de tempo nos pátios porque a programação de transportes previu alguma operação a ser realizada. Estas operações são normalmente as seguintes:

- ✓ Abastecimento das locomotivas;
- ✓ Revista do trem (locomotivas e/ou vagões);
- ✓ Troca de equipagem (maquinista e auxiliar);
- ✓ Troca de locomotivas;
- ✓ Recebimento ou retirada de locomotivas de auxílio;
- ✓ Manobras.

As manobras podem ser resultantes da própria revista do trem no caso de constatar-se algum veículo avariado que deve ser retirado da composição para reparação ou ainda, resultante da anexação de outros veículos ao trem. Após o atendimento dos trens nos respectivos pátios eles seguem viagem em direção ao próximo pátio seguindo a programação até a chegada no Arará (destino final).

Pode-se afirmar que a eficiência dos pátios é o reflexo da estrutura física das decisões operacionais e da tecnologia dos equipamentos disponíveis para se efetuar o transporte.

5.2.3 Definição das variáveis do modelo

Para iniciar a pesquisa, são identificadas as variáveis principais que podem influenciar no processo gerador de filas. Cada atividade possui uma série de variáveis envolvidas que devem ser consideradas para a análise do seu desempenho através de ferramentas analíticas e de simulação. O fluxo das atividades com as respectivas variáveis envolvidas está representado na figura 20 a seguir.

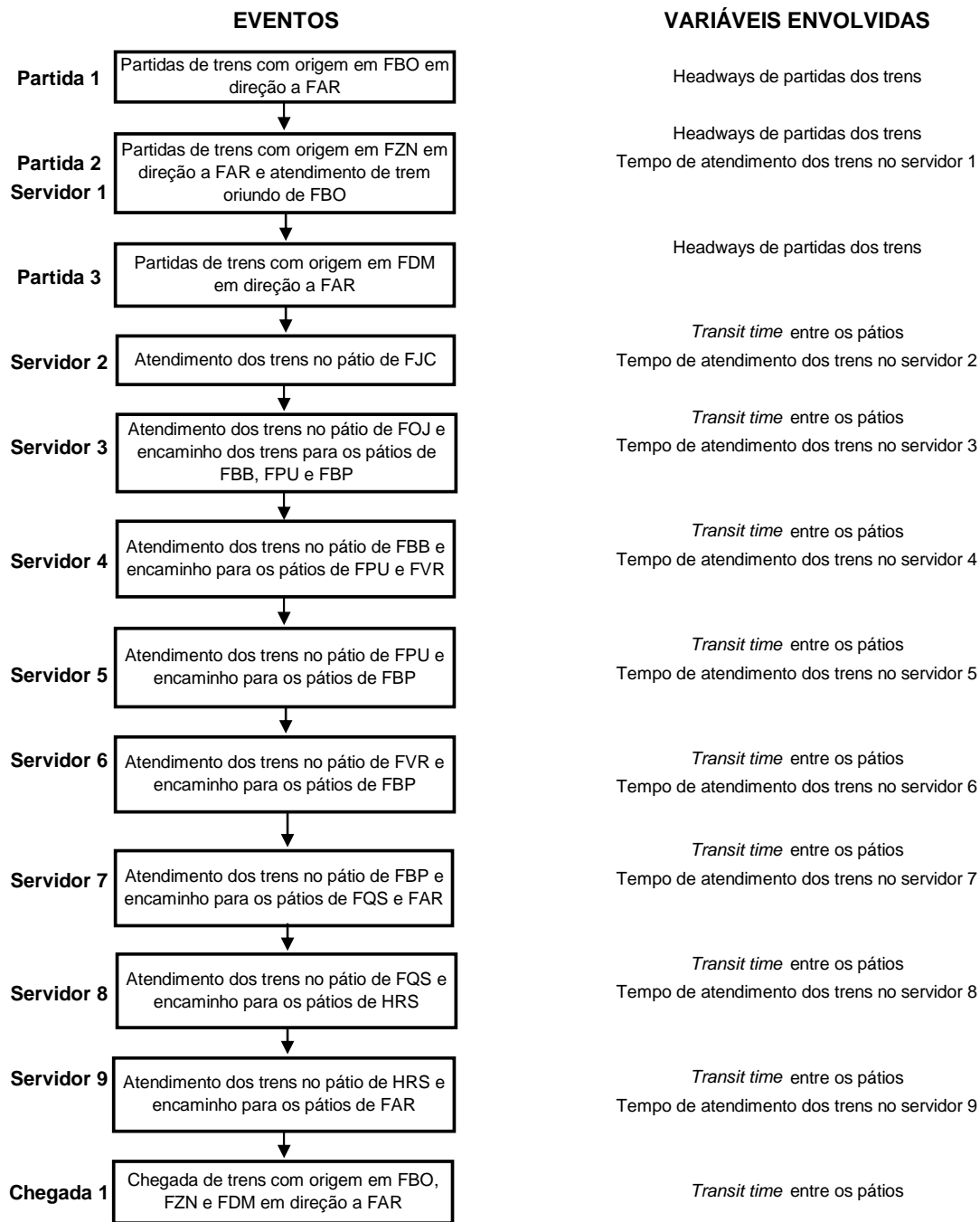


Figura 20 – Fluxo das atividades com as variáveis envolvidas

Fonte: Elaboração do autor baseado nos dados MRS (2008)

O sistema possui quatro tipos de variáveis. A primeira é o *headway*¹⁹ de partida dos trens. A segunda é o *transit time*²⁰ entre os pátios. A terceira é a taxa de chegada dos trens em cada pátio. E a quarta é o tempo de atendimento dos trens em cada pátio. A quantidade dessas variáveis está relacionada com a quantidade de pátios ao longo do

¹⁹ Intervalo de tempo entre dois veículos consecutivos numa mesma via. (RATTON NETO e CASTELLO BRANCO, 2005)

²⁰ Tempo de viagem. (RATTON NETO e CASTELLO BRANCO, 2005)

trecho de linha. O sistema possui nove servidores em série, que são os próprios pátios (intermediários) e os trens devem parar em cada um deles até chegarem ao pátio (terminal) final.

Este sistema é complexo, e a avaliação do seu desempenho operacional, conforme preconizado por Santos (1989), pode envolver o tempo médio de espera para atendimento (tempo de espera na fila), número médio de trens na fila e taxa média de atendimento. Como o processamento dos trens é realizado em série por vários servidores, variações na taxa de atendimento de um servidor podem impactar o sistema como um todo. Devido a este grau de complexidade, sugere-se a utilização da simulação para a análise do seu desempenho operacional.

5.2.4 Criação lógica do modelo

A lógica do modelo representa o fluxo de operação nos pátios. Os trens de carga destinados ao pátio de Arará são formados nos pátios de origem e agrupados por terminal de destino. As composições partem a uma taxa λ_{ci} , com $i: 1..3$ (intervalo de tempo entre os trens - *headways*) e são deslocados com um *transit time* λ_{tj} , com $j: 1..15$ (tempo de percurso entre os pátios) e ao chegar ao pátio de destino são atendidos a uma taxa μ_{mk} , $k: 1..9$ (tempo de atendimento em cada pátio). A figura 21 ilustra o processo descrito.

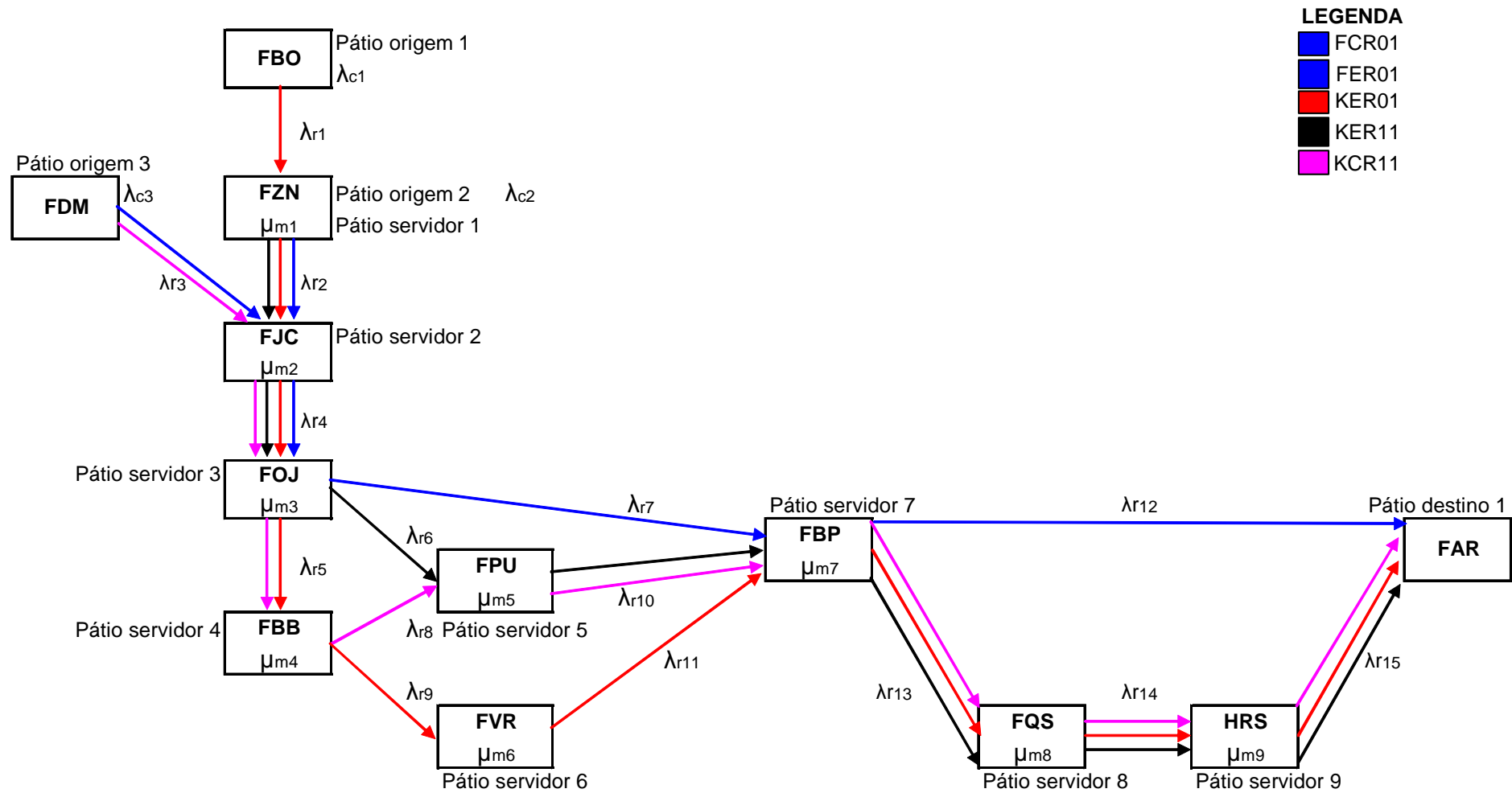


Figura 21 – Modelo da operação na malha da MRS

Fonte: Elaboração do autor

5.2.5 Coleta dos dados

Foram coletados através de pesquisa de campo na MRS os dados necessários para a realização desta dissertação. A empresa forneceu os horários de partidas e chegadas de cada trem nos respectivos pátios, os horários do *transit time* entre os pátios percorridos, e a tabela dos *headways* entre os trens com as suas datas e horas de partidas.

Com os dados reais em mãos, a etapa seguinte foi descobrir as distribuições de probabilidade mais apropriadas para determinar os padrões de partida dos trens, o *transit time* entre os pátios e os tempos de atendimentos nos servidores. Essas distribuições usadas no modelo foram fornecidas através do *Input Analyzer*²¹ do Arena.

As distribuições fornecidas pelo *Input Analyzer* irão alimentar os *templates* no modelo do Arena. Ao término da modelagem será emitido um relatório com as análises da situação real, posteriormente, sendo proposto o desenvolvimento de ajustes no modelo que poderá permitir alterações na programação e/ou prevenção de problemas em futuras operações.

Os dados foram coletados diretamente das bases de dados do Sislog, conforme explicitado no item 5.1.2.4.1. A seguir o resumo dos resultados fornecidos pelo o Arena.

Tabela 12 – Distribuição dos *headways* dos trens

Trens	Pátios	Distribuição	Expressão	Erro Quadrado
KER01	FBO	Normal	$0.67 + \text{LOGN}(0.383, 0.202)$	0.006836
FER01	FZN	Gamma	$0.39 + \text{GAMM}(0.753, 2.42)$	0.009692
KER11	FZN	Exponential	$0.1 + \text{EXPO}(1.71)$	0.032346
FCR01	FDM	Beta	$0.74 + 2.47 * \text{BETA}(0.688, 0.986)$	0.052314
KCR11	FDM	Normal	$\text{NORM}(0.998, 0.104)$	0.050039

Fonte: Elaboração do autor baseado nos dados fornecidos pelo o Arena (2008)

²¹ É uma ferramenta que fica situada dentro do Arena. Melhores informações no anexo I.

Tabela 13 – Distribuição dos tempos de atendimento dos trens nos pátios

Pátios	Distribuição	Expressão	Erro Quadrado
FZN	Exponential	-0.001 + EXPO(0.0307)	0.010214
FJC	Weibull	WEIB(0.0665, 2.16)	0.004501
FOJ	Beta	BETA(0.611, 4.74989)	0.00761
FBB	Weibull	-0.001 + WEIB(0.0722, 1.6)	0.004982
FPU	Beta	-0.001 + 0.141 * BETA(0.579, 1.32)	0.006421
FBP	Lognormal	-0.001 + LOGN(0.0219, 0.0345)	0.010702
FVR	Beta	-0.001 + 0.041 * BETA(1.06, 4.18)	0.001605
FQS	Exponential	-0.001 + EXPO(0.00566)	0.000371
HRS	Exponential	EXPO(0.056)	0.003379

Fonte: Elaboração do autor baseado nos dados fornecidos pelo o Arena (2008)

Tabela 14 – Distribuição do *transit time* entre os pátios

Pátios	Distribuição	Expressão	Erro Quadrado
FBO - FZN	Beta	0.01 + 0.3 * BETA(1.38, 4.29)	0.00662
FDM - FJC(2)	Beta	0.03 + 0.29 * BETA(1.05, 2.48)	0.010482
FZN - FJC(3)	Beta	0.15 + 0.36 * BETA(1.06, 1.15)	0.032601
FDM - FJC(4)	Beta	BETA(1.57, 3.87847)	0.005219
FZN - FJC(5)	Exponential	0.14 + EXPO(0.205)	0.00744
FJC - FOJ	Lognormal	0.18 + LOGN(0.1, 0.0463)	0.012551
FOJ - FBB	Erlang	0.06 + ERLA(0.0593, 3)	0.002699
FOJ - FPU	Lognormal	0.16 + LOGN(0.0599, 0.0484)	0.013476
FOJ - FBP	Gamma	0.13 + GAMM(0.0158, 5.16)	0.002022
FBB - FPU	Lognormal	0.04 + LOGN(0.0489, 0.0348)	0.0444
FBB - FVR	Lognormal	LOGN(0.0229, 0.0142)	0.023449
FPU - FBP	Lognormal	LOGN(0.0156, 0.0139)	0.002451
FVR - FBP	Lognormal	LOGN(0.0692, 0.029)	0.028583
FBP - FAR	Weibull	0.14 + WEIB(0.11, 2.26)	0.006231
FBP - FQS	Lognormal	0.04 + LOGN(0.0498, 0.0241)	0.003549
FQS - HRS	Exponential	EXPO(0.0826)	0.010041
HRS - FAR	Lognormal	LOGN(0.0581, 0.0216)	0.015927

Fonte: Elaboração do autor baseado nos dados fornecidos pelo o Arena (2008)

As distribuições apresentadas nas tabelas 12, 13 e 14, foram semelhantes às apresentadas por Gomes (1982). Pode-se notar também que todas as distribuições de probabilidades sugeridas pelo *Input Analyzer*²² apresentam o erro quadrado baixo indicando que as expressões possuem alto grau de confiabilidade para a representação da amostra.

²² (2) Refere-se ao trem FCR01

(3) Refere-se ao trem FER01

(4) Refere-se ao trem KCR11

(5) Refere-se ao trem KER11

5.2.6 Criação do modelo no Arena

Depois ter sido criada a lógica do modelo e coletados os dados fornecidos pela MRS foi possível montar o modelo no Arena. As características operacionais do processo de partidas (origens dos trens), dos *transit times* e dos atendimentos dos vagões nos pátios foram representadas no software de acordo com o modelo da figura 22. Este modelo possui cinco grandes processos que serão apresentados detalhadamente a seguir.

5.2.6.1 Partida dos trens

Este processo é responsável por gerar a partida das entidades (trens) de acordo com as distribuições de probabilidade e caracterizá-los no sistema. A caixa “FBO”, como exemplo, gera trens com destino ao pátio 1 (FZN) de acordo com a sua distribuição de intervalo dos *headways* dos trens dada na tabela 12. As demais caixas marcadas por retângulos (figura 23), trabalham de forma análoga para os outros terminais.

5.2.6.2 Deslocamentos e Atendimento dos trens

Após o ingresso dos trens no sistema, também são geradas outras distribuições de probabilidade referentes aos *transit times*.

O próximo processo é chamado de “pátio servidor” onde os trens podem sofrer algum tipo de atendimento conforme o item 5.2.2. Ao mesmo tempo, o modelo verifica a capacidade do pátio em receber outro trem de acordo com a sua capacidade estática. Caso não haja disponibilidade, é gerada uma fila de trens para o ingresso no pátio. Havendo disponibilidade, o modelo recebe efetivamente os trens conforme a figura 24.

5.2.6.3 Porcentagens de trens desviados

Após o atendimento nos pátios em Bom Jardim (FOJ), Bárbara (FBB) e Barra do Piraí (FBP), cada trem segue um roteiro de viagem distinto. Segundo os dados fornecidos pela MRS, foi possível calcular os percentuais dos trens que seguem até o pátio seguinte. A tabela 15 mostra as porcentagens de trens que trafegam de cada trecho.

Tabela 15 – Porcentagens de trens desviados pelas rotas

PORCENTAGENS	
FOJ - FAR	25%
FOJ - FPU	25%
FOJ - FBB	50%
FBB - FPU	50%
FBB - FVR	50%
FBP - FAR	25%
FBP - FQS	75%

Fonte: Elaboração do autor baseado nos dados fornecidos pela MRS (2008)

No modelo do Arena esse módulo de decisão é chamado, como exemplo, “Escolher FPU_FVR” conforme marcado na figura 25.

5.2.6.4 Chegada dos trens

O último grande processo do modelo é a chegada dos trens ao destino final no pátio do Arará (FAR). A coleta das informações processadas em cada módulo é fundamental para analisar estatisticamente os resultados gerados no modelo. Após passar por este último processo, a entidade sai do sistema conforme a figura 26.

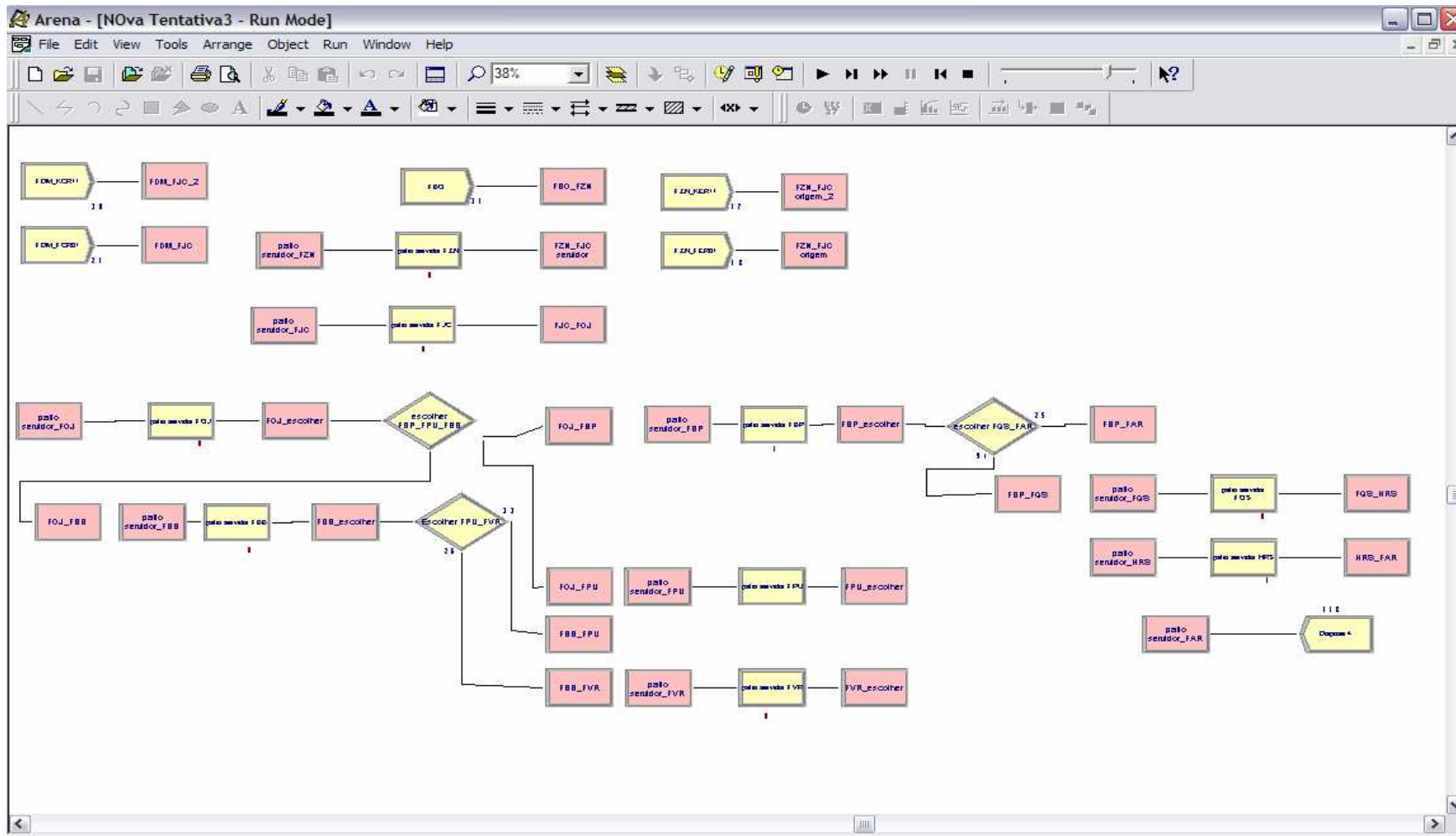


Figura 22 – Estrutura do modelo no Arena
 Fonte: Elaboração do autor

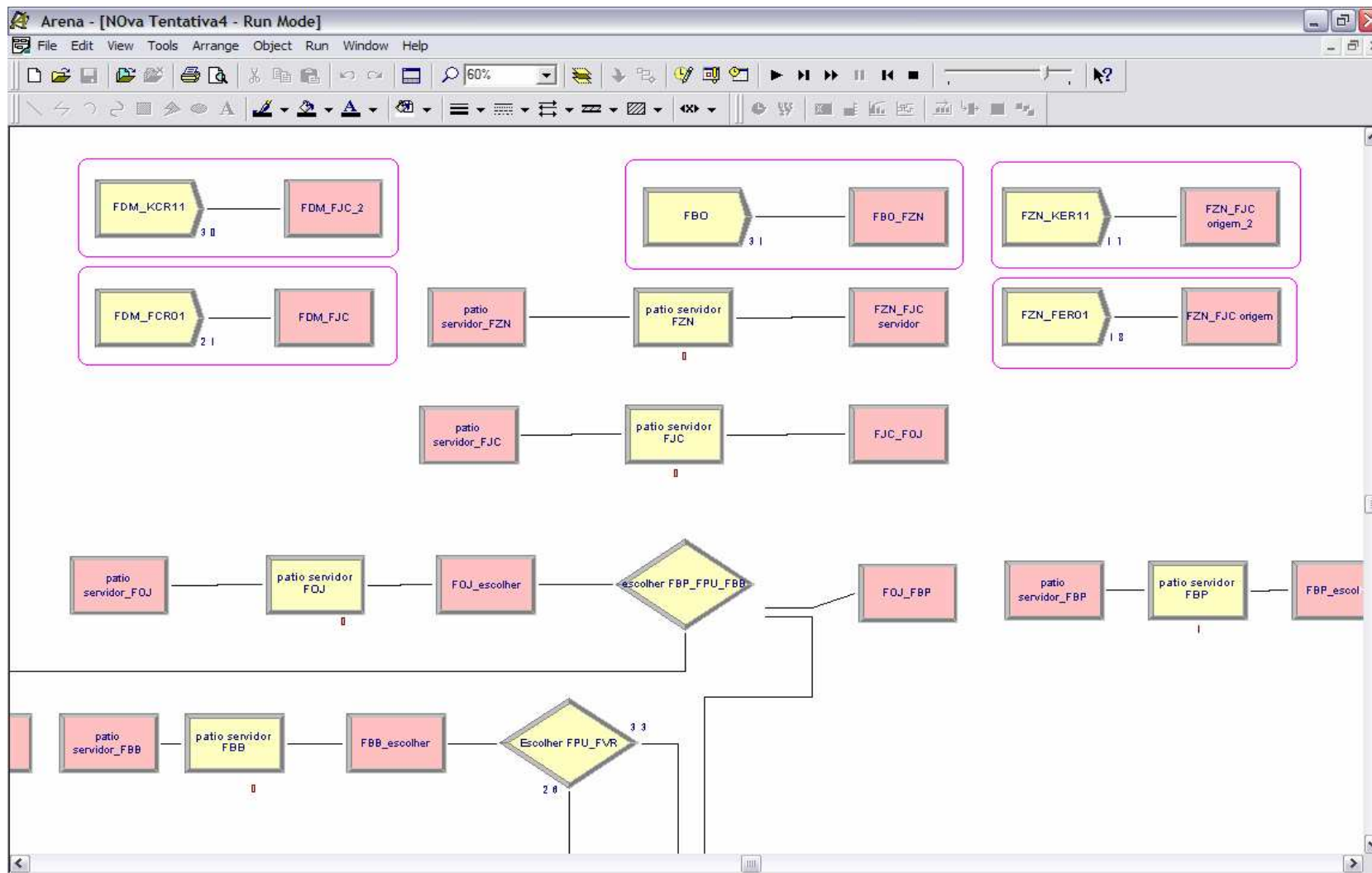


Figura 23 – Processo no modelo responsável por gerar a partida dos trens nas origens

Fonte: Elaboração do autor

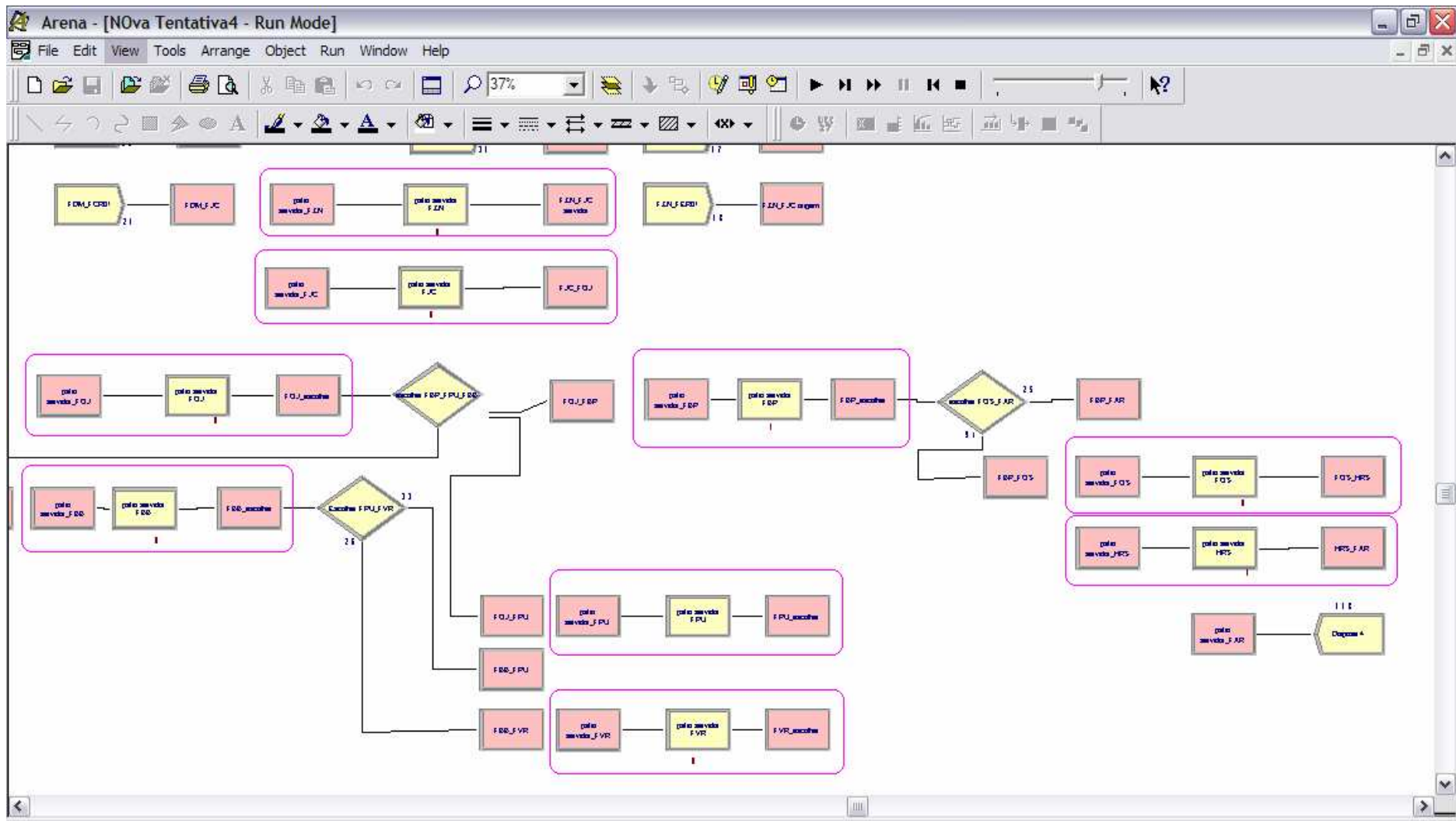


Figura 24 – Processo responsável por atender os trens nos pátios

Fonte: Elaboração do autor

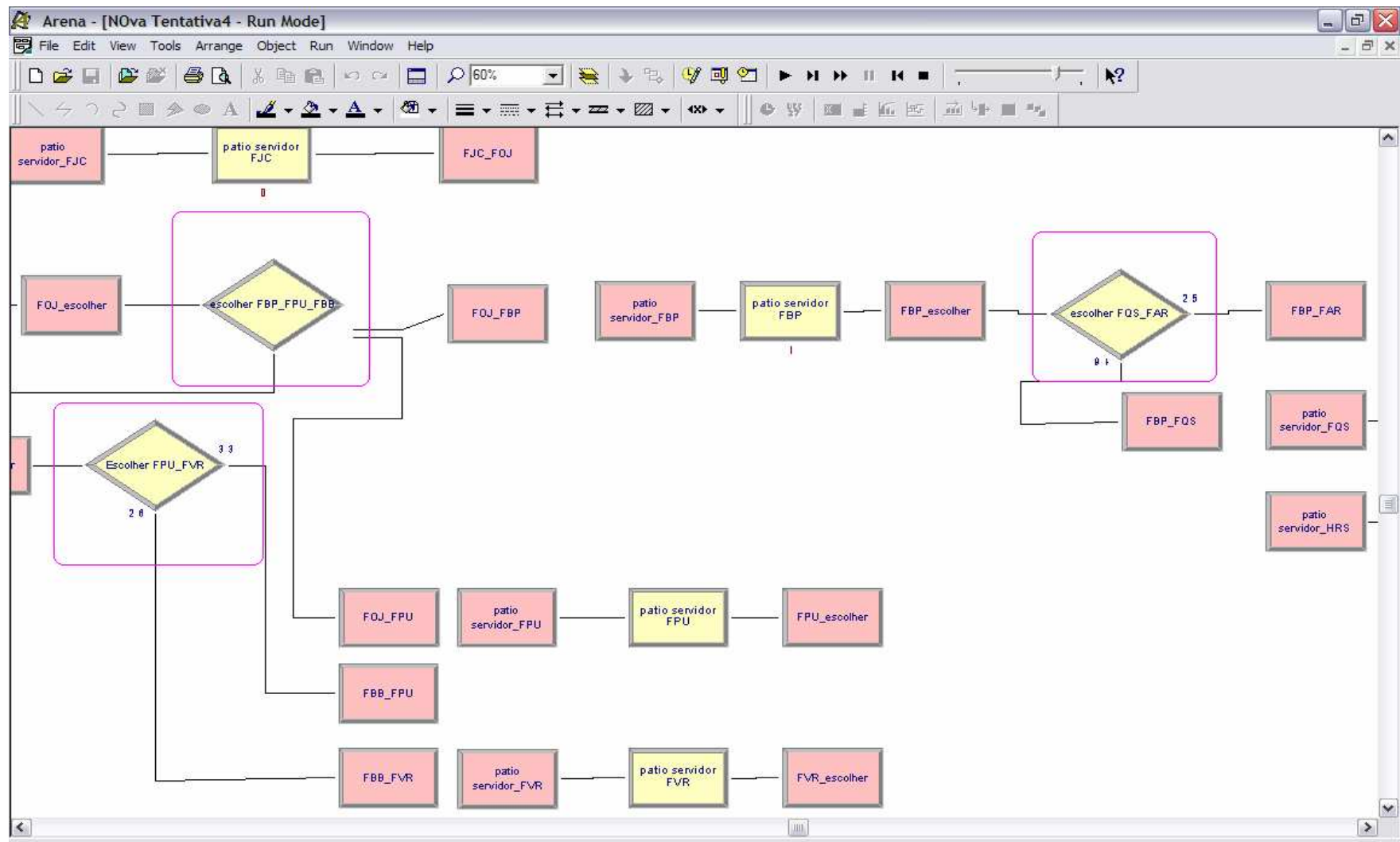


Figura 25 - Processo responsável pelos percentuais de trens que seguem por rotas específicas
 Fonte: Elaboração do autor

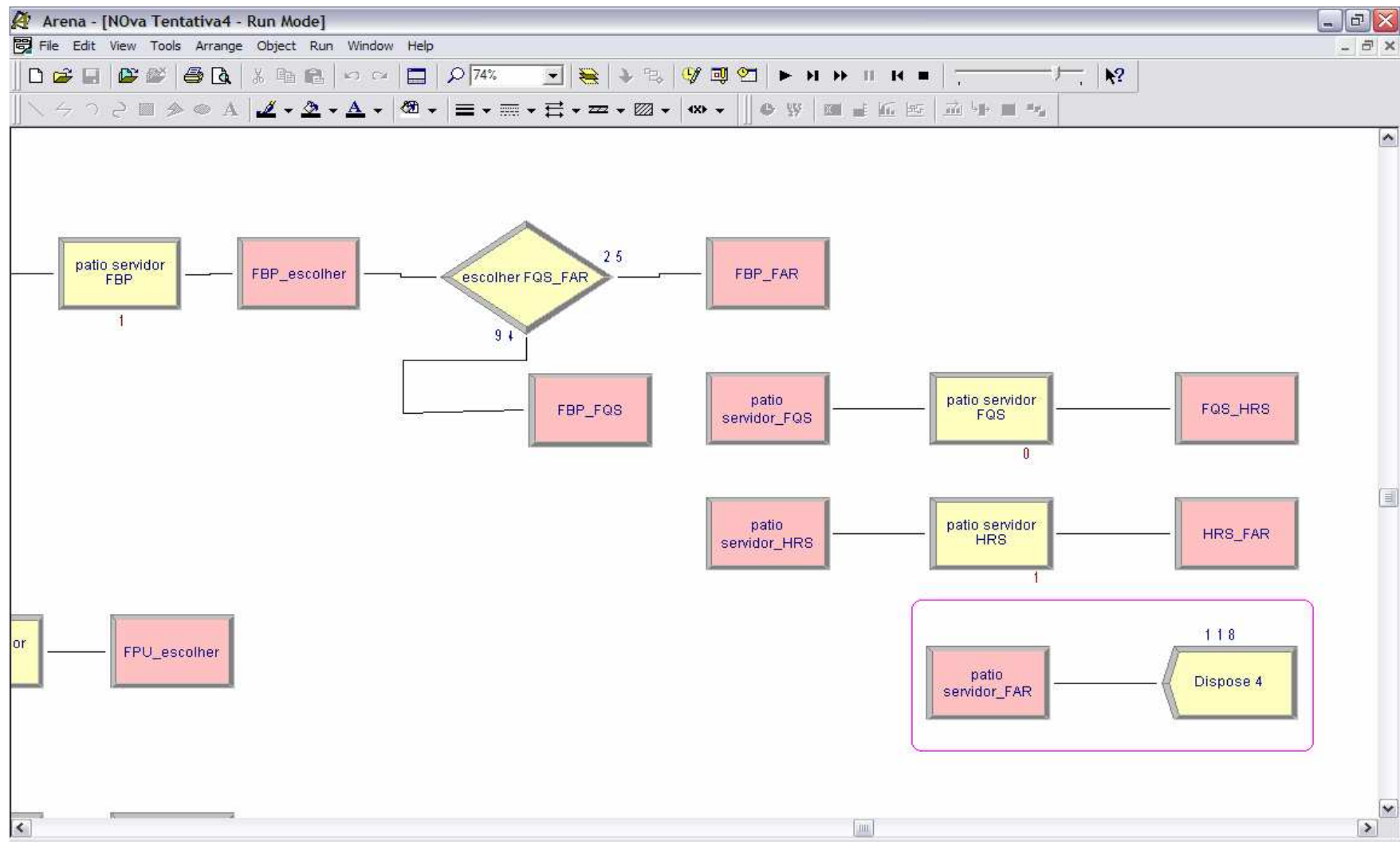


Figura 26 – Processo responsável pela saída dos trens do sistema

Fonte: Elaboração do autor

5.2.7 Verificação do modelo por meio da comparação dos dados reais e simulados

Depois da criação do modelo de simulação no Arena e com todos os parâmetros, foi possível simular o sistema por um período equivalente a 31 dias de operação. A amostra de 31 dias disponibilizados pela MRS refere-se ao mês de agosto de 2008 por ter sido um mês crítico segundo especialistas da empresa.

A partir dos resultados da simulação e dos dados obtidos em campo, foram elaborados gráficos para que pudessem ser comparados os dados simulados com os dados reais.

5.2.7.1 Número total de trens gerados em cada servidor

Pode ser notado que há coerência entre os números de trens atendidos durante os 31 dias reais e os 31 dias simulados nos pátios de Sarzedo Novo (FZN), P.17 (FJC), Bom Jardim (FOJ), Barreiro (FBB) e Volta Redonda (FVR). Para todos os pátios citados os dados respeitam uma variação, atingindo um mínimo de 90,68% em FJC, próximo do real realizado conforme pode ser visto na figura 27.

Já os pátios de Pulverização (FPU), Barra do Pirai (FBP), Japeri (FQS) e Rocha Sobrinho (HRS) não serão analisados por não estarem coerentes com os dados reais, devido à parcialidade de alguns trens. Isto é, foi observado que 12 trens não chegaram ao destino final, isto é, são trens parciais que entregam vagões durante o percurso a outros pátios e não completam o ciclo de viagem até ao Arará. O modelo simulado não entende assim, para ele todos os trens originados na partida chegam ao destino final, podendo ser considerado um modelo conservador pela superioridade de carga que a realidade. Além disso, esses pátios não interferem na operação real da MRS.

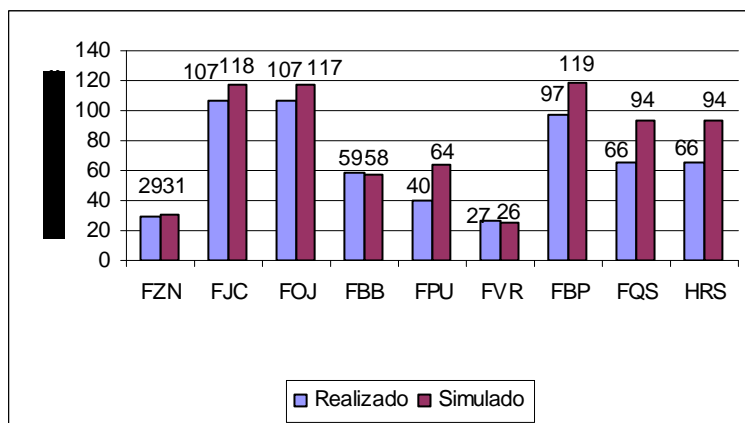


Figura 27 – Comparação entre os dados reais x dados simulados (trens gerados nos pátios)

Fonte: Elaboração do autor

5.2.7.2 Número total de trens que passaram no sistema

O resultado da simulação para o número total de trens que passaram no sistema também apresentou coerência com o valor obtido na realidade. A variação percentual neste caso foi de +6,3%, conforme pode ser visto na figura 28.

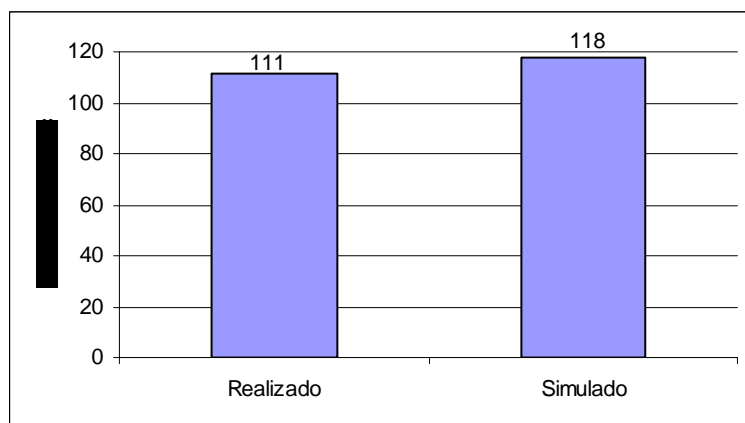


Figura 28 – Comparação entre os dados reais e simulados (trens que passaram no sistema)

Fonte: Elaboração do autor

5.2.7.3 Número total de trens que chegaram ao destino final

Do total de trens que partem (111), foi constatado que somente 96 trens (dados reais) chegaram ao destino final (pátio de Arará) devido à existência de trens parciais²³. Como o modelo simulado não faz tal consideração, aplicou-se um critério de proporcionalidade para estimar a proporção esperada de trens que chegariam ao pátio de

²³ Trens parciais são trens que não completam todo o itinerário previsto para eles, pois não possuem carga para ser entregue além de pátios que se localizam num segmento parcial do itinerário (MRS, 2008).

Arará se a simulação considerasse a existência de trens parciais. O valor estimado foi de 102. A figura 29 apresenta a comparação real x simulado e verifica-se que se obteve um erro de +9,3%.

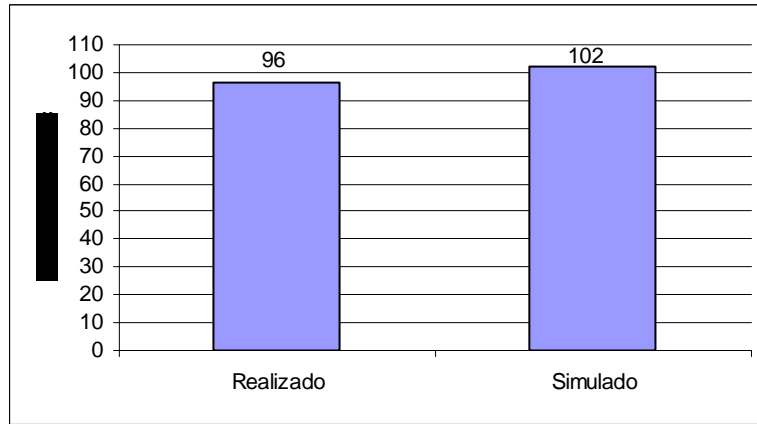


Figura 29 – Comparação entre os dados reais e simulados (trens que chegaram ao destino final)
 Fonte: Elaboração do autor

5.2.7.4 Número total de trens gerados em cada pátio de partida

Também há coerência entre os números de trens gerados em cada pátio de origem. Os erros percentuais foram: FBO +10,34%; FDM(FCR01) +5,26%, FDM(KCR11) +7,40%, FZN(FER01) 0% e FZN(KER11) +5,55%. Os dados absolutos podem ser vistos na figura 30.

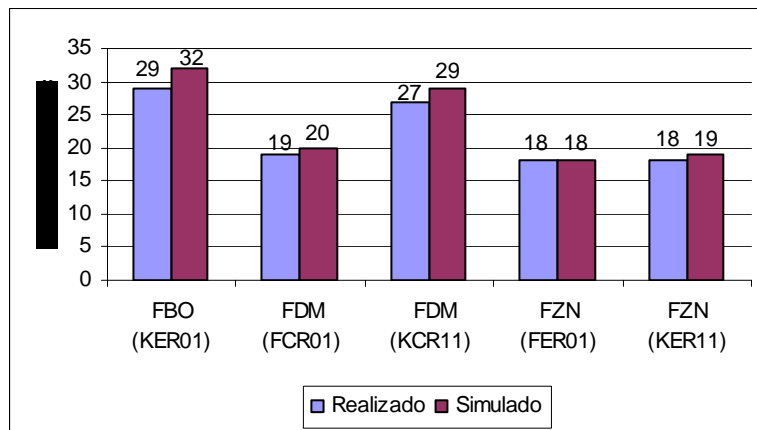


Figura 30 – Comparação entre os dados reais e simulados (trens gerados nos pátios de origem)
 Fonte: Elaboração do autor

5.2.8 Comparativo entre os tempos de rodadas simuladas

Adicionalmente à verificação dos dados simulados para 31 dias, também foi realizada a comparação destes com os resultados da simulação para outros períodos. Conforme o anexo III pode ser observado que o modelo ficou mais preciso quando foram simulados 6 meses e 1 ano. Os valores médios das variáveis simuladas melhoram à medida em que se aumenta o período de simulação, pois o tamanho da amostra aumenta.

Os valores do tempo médio de ocupação dos pátios nas origens ficaram próximos dos obtidos para a simulação de um período de 31 dias. Porém, mais precisos, já que a amostra aumentou, pois o período de tempo de simulação aumentou (de 31 dias, passou para 180 e 360 dias). A variação foi entre 0,38% e 10,91%, como apresenta a figura 31. Os valores foram calculados considerando-se a amplitude do intervalo do tempo médio em que o pátio esteve ocupado (horas) obtido para 1 mês, 6 meses e 1 ano, dividido pela média dos valores absolutos.

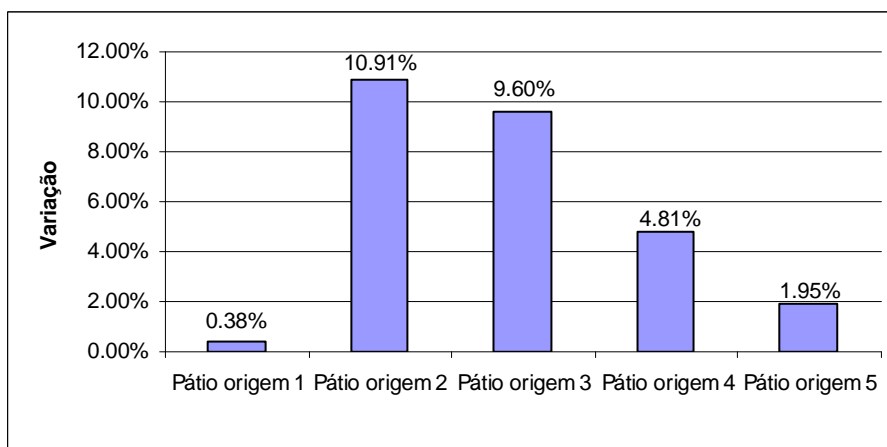


Figura 31 – Variação média da ocupação dos pátios de origens

Fonte: Elaboração do autor

Para o modelo, pode ser visto que o número médio de partidas de trens é proporcional ao período de tempo simulado. À medida que se aumenta o período simulado (1 mês, 6 meses e 1 ano) aumenta, proporcionalmente o número de partidas, como mostra a figura 32.

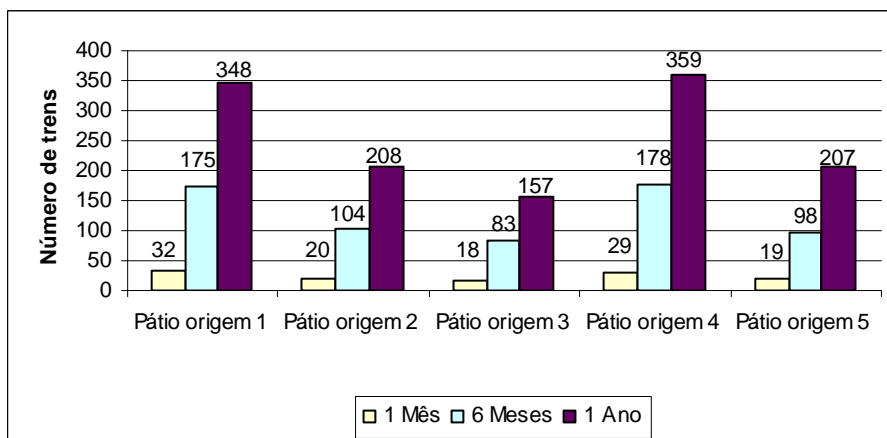


Figura 32 – Número médio das partidas dos trens em cada origem
 Fonte: Elaboração do autor

Também pôde ser analisado o tempo médio nas filas no acesso aos pátios. Os tempos médios diminuíram em 37,89% se comparados os resultados da simulação de 1 mês e 6 meses e em 40% se comparados à simulação de 1 mês e 1 ano. A figura 33 apresenta o valor absoluto destes tempos.

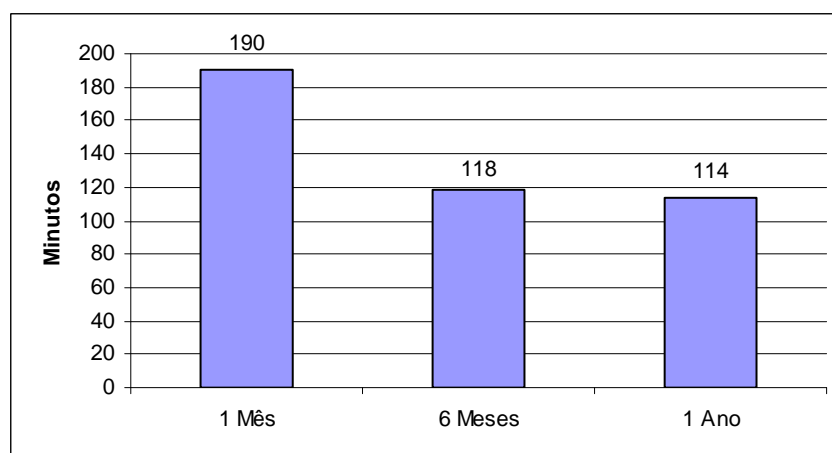


Figura 33 – Tempo médio na fila em minutos
 Fonte: Elaboração do autor

Para a taxa de ocupação média em cada servidor aconteceu um fato curioso em relação ao aumento do período de simulação. Os pátios servidores simulados (31 - 180 dias) tiveram variações superiores a (180 - 360 dias). Isto é, significa dizer que o modelo a partir de 6 meses tem uma tendência a ser mais preciso do que 1 mês. As figuras 34 e 35 representam essa comparação.

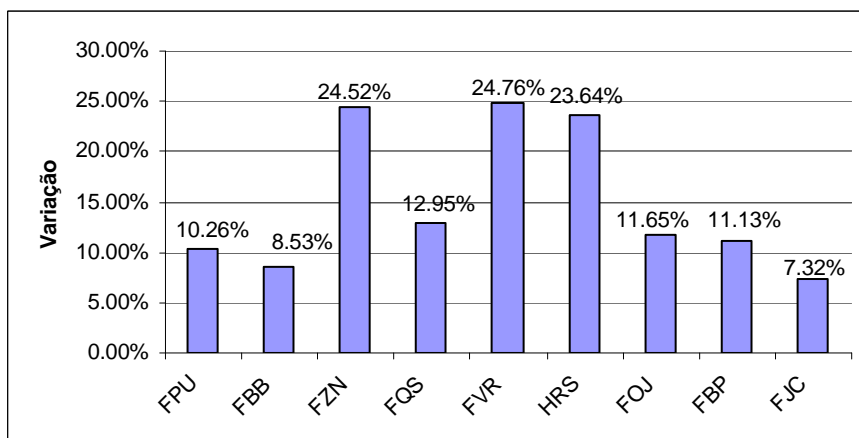


Figura 34 – Variação média da ocupação de cada servidor de 1 mês para 6 meses
 Fonte: Elaboração do autor

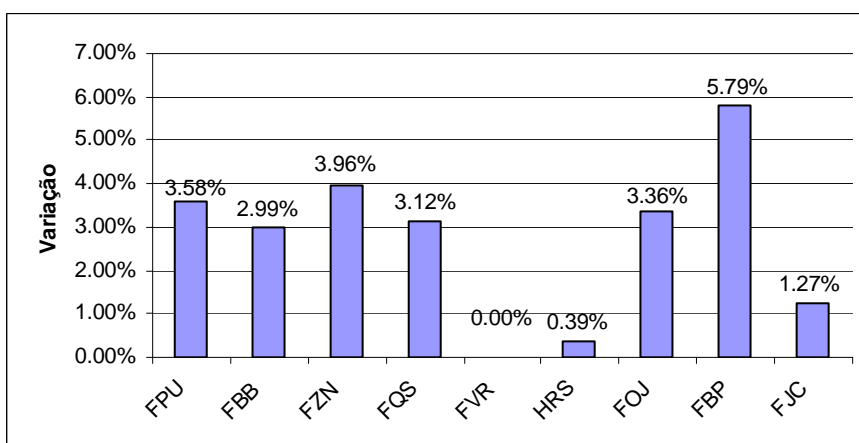


Figura 35 – Variação média da ocupação de cada servidor de 6 meses para 1 ano
 Fonte: Elaboração do autor

O mesmo ocorreu com o número médio de trens nas filas para todos os pátios do sistema. Na comparação (31 - 180 dias) houve uma variação de 51,09% no número total de trens na fila e uma variação de apenas 3,92% na comparação (180 - 360 dias). Também significa que o modelo a partir de 6 meses tem uma tendência a ser mais preciso do que 1 mês. A figura 36 representa essa comparação.

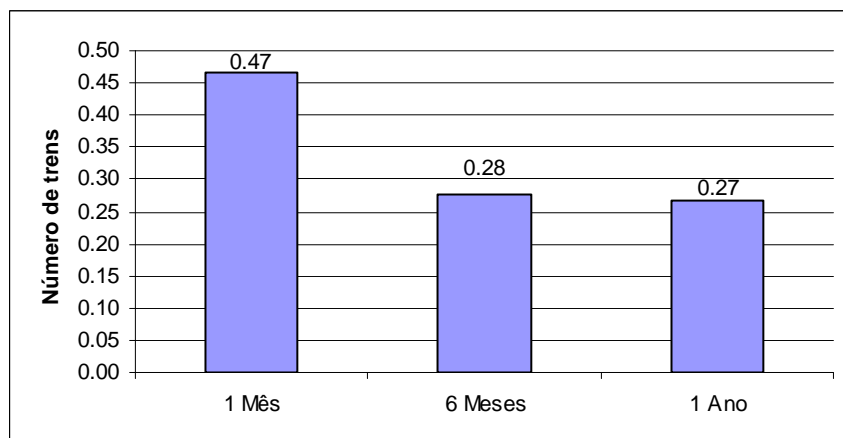


Figura 36 – Número médio de trens nas filas

Fonte: Elaboração do autor

A variação do número médio de trens que passaram em cada servidor com o aumento do período de simulação está coerente, com aumentos progressivos em torno de 6 e 12 vezes, respectivamente para comparação de 1 mês e 6 meses e 1 mês e 1 ano, conforme apresentado na figura 37.

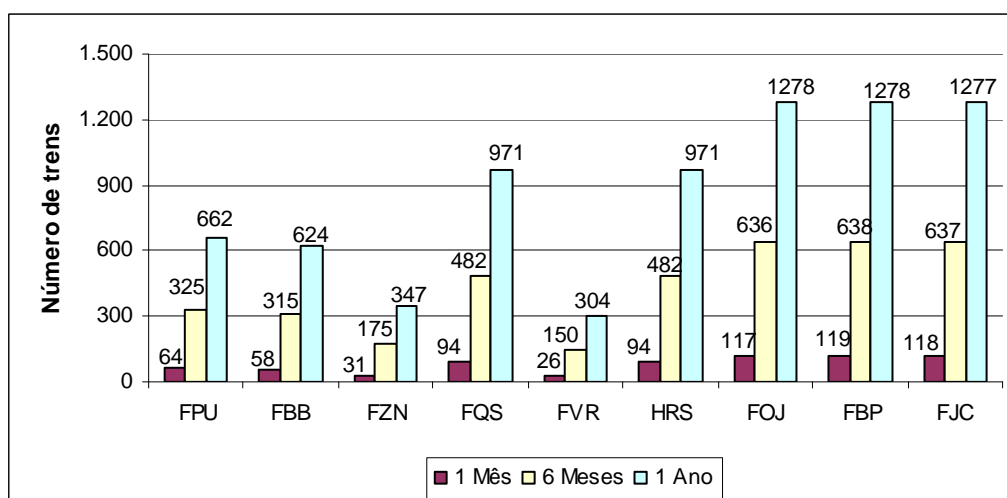


Figura 37 – Número médio de trens que passaram em cada servidor

Fonte: Elaboração do autor

5.2.9 Análise dos resultados

Analisando os principais indicadores de desempenho do sistema decorrentes da simulação, pode ser verificado que os trens estão ficando em média 190 minutos nas filas aguardando para ingressar nos pátios considerando o período de simulação de 31 dias. Esse tempo corresponde ao tempo médio de espera nas filas e não agrega valor ao serviço de transporte prestado na operação do sistema ferroviário. Verifica-se ainda que

o número médio de trens nas filas na simulação para um período de 31 dias foi de 0,47 trens.

Para exemplificar como a simulação probabilística pode auxiliar na gestão do sistema ferroviário em questão, deu-se prioridade nesta dissertação para a análise dos pátios de P.17 (FJC) e Barbará (FBB) por se tratarem de pátios com limitações operacionais segundo informação da MRS, conforme será descrito. A taxa de ocupação média de cada um destes pátios pode ser considerada baixa de 8,35% e 19,63%. Porém, espera-se que, a operação destes pátios impacte no desempenho operacional de todo o sistema (tráfego de trens e operação dos demais pátios). Outro fato a ser considerado é que o pátio FJC possui uma limitação física de espaço por concentrar trens oriundos de Minas Gerais e São Paulo com direção ao Rio de Janeiro.

Primeiramente foi realizado um plano de testes para o pátio FJC e a partir dos resultados fornecidos puderam ser feitas as análises. Para tentar reduzir o tempo de espera nas filas dos pátios foi aumentada a taxa de atendimento deste servidor em 10%, 20% e 30%.

Pode ser observado que o aumento em 10% na taxa de atendimento dos trens no pátio FJC é a melhor opção entre as testadas por reduzir em 49,47% o tempo de espera nas filas durante um período de simulação de 31 dias. O tempo médio de espera na fila passa de 190 minutos para 96 minutos. Isto se reflete no número de trens a espera de ser atendidos, que passa de uma média de 0,47 trens na fila para 0,25. As figuras 38 e 39 apresentam os valores dos tempos médios de espera na fila para essas situações.

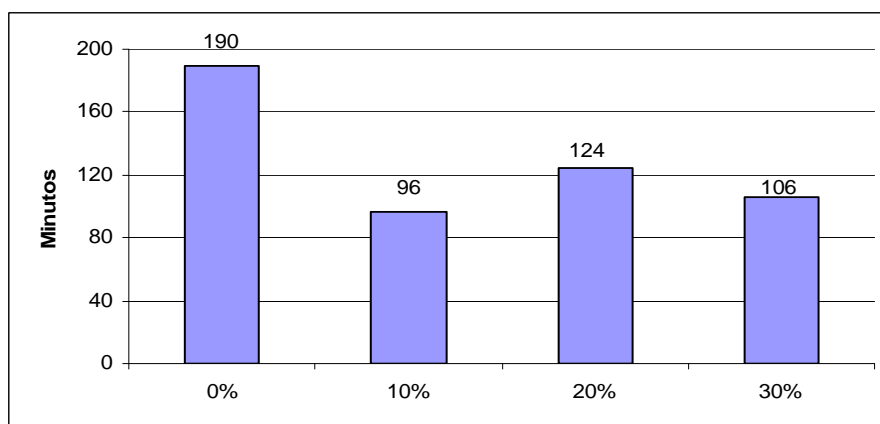


Figura 38 – Comparação entre o tempo médio na fila no sistema (FJC)

Fonte: Elaboração do autor

O aumento de 10% na taxa de atendimento no pátio FJC afeta o sistema como um todo. A MRS pode fazer esse ajuste melhorando os processos de gestão da operação, a produtividade da mão-de-obra e dos equipamentos e, num caso extremo, contratando mão-de-obra ou adquirindo novos equipamentos.

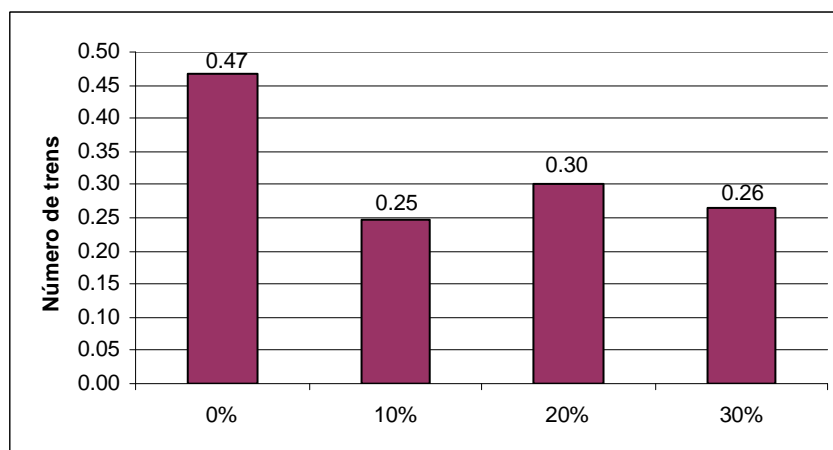


Figura 39 – Comparação entre o número médio de trens nas filas do sistema (FJC)

Fonte: Elaboração do autor

A segunda parte das análises diz respeito ao pátio FBB. Esse pátio também tem sua limitação, pois seu tamanho físico não é igual ao dos demais pátios. Para tentar reduzir o tempo de espera nas filas, a taxa de atendimento do pátio FBB também sofreu aumentos gradativos de 10%, 20% e 30%.

Pode ser visto que o aumento em 10% na taxa de atendimento dos trens no pátio FBB também é a melhor opção para reduzir o tempo de espera nas filas em 85,26% para um período de simulação de 31 dias. De 190 minutos, este tempo passou para 28 minutos. Isto reflete no número de trens a espera para ser atendido, que passa de 0,47 trens na fila para 0,06. As figuras 40 e 41 apresentam os valores dos tempos médios de espera na fila para essas situações.

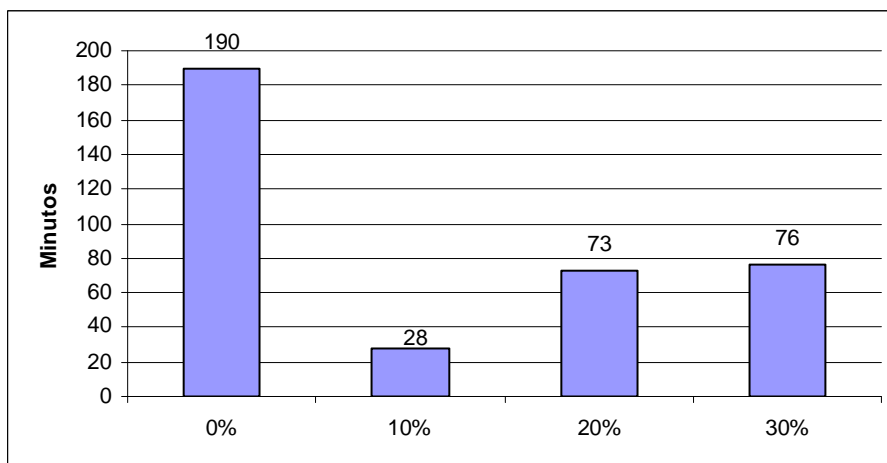


Figura 40 – Comparação entre o tempo médio na fila no sistema (FBB)

Fonte: Elaboração do autor

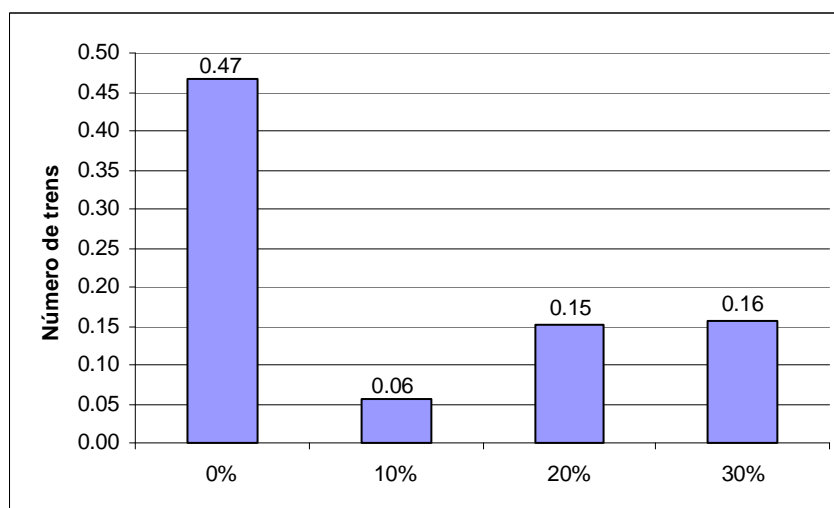


Figura 41 – Comparação entre o número médio de trens nas filas do sistema (FBB)

Fonte: Elaboração do autor

Comparando os testes realizados para os dois pátios sugere-se que o aumento da capacidade de atendimento seja feito no pátio FBB; pois os resultados para o tempo médio nas filas e o número de trens nas filas diminuem de forma superior ao caso em que o ajuste é feito no pátio FJC.

Verificou-se por meio de um exemplo como a simulação probabilística pode auxiliar na gestão de sistemas de transporte ferroviário. A atuação orientada sobre um indicador de desempenho preconizado pelas referências bibliográficas pesquisadas (Santos, 1989), (taxa média de atendimento nos servidores (pátios)) permitiu que se observasse como variam outros dois indicadores de desempenho - tempo de espera na fila e número

médio de trens na fila. Com isso é possível auxiliar na tomada de decisão quanto a gestão operacional da ferrovia.

Por se tratar de um sistema complexo, verificou-se que o aumento na taxa média de atendimento em um servidor não reduz proporcionalmente o tempo médio de espera na fila e o número médio de trens na fila para o sistema como um todo, pois aumentando a rapidez em um servidor sobrecarrega os demais servidores ao longo da rede. Assim, um aumento na taxa média de atendimento em 10% é melhor que um aumento de 30%.

A situação acima, decorrente do comportamento sistêmico, só seria identificada com dificuldade pelos métodos analíticos, porém, uma vez que o modelo tenha sido elaborado, a simulação probabilística é capaz de proporcionar este resultado com certa facilidade.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS, LIMITAÇÕES E SUGESTÕES

6.1 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As empresas de transporte ferroviário e a MRS Logística em particular, por ser a empresa estudada nesta dissertação, vem enfrentando ao longo dos anos alguns desafios operacionais. Com o aumento da demanda por transporte de cargas gerais em função do crescimento das importações e exportações, os pátios sofrem com o desequilíbrio entre o aumento da demanda e capacidade de produção disponível.

A partir do conteúdo apresentado no Capítulo 5, entende-se que o objetivo traçado nesta pesquisa, que era exemplificar, por meio de uma aplicação prática, como a ferramenta de simulação probabilística permite auxiliar a gestão operacional ferroviária foi atingido. Verifica-se que o processo de operação do segmento de linha estudado da MRS pode ser melhorado por meio da avaliação de desempenho empregada na gestão de sistemas de transporte ferroviário com o uso de simulação probabilística, neste caso uma ferramenta particularmente indicada em função da complexidade do sistema.

Os objetivos secundários desta dissertação que eram: (1) assimilar os conceitos teóricos da gestão ferroviária; (2) aprender e compreender a técnica de simulação probabilística destacando suas aplicações e restrições de uso e (3) aprender a utilizar e aplicar um *software* comercial de simulação probabilística de sistemas no estudo de caso também foram atingidos pelo que se considerou nos capítulos 3, 4 e 5, respectivamente.

A execução do modelo de simulação utilizando o Arena gerou resultados parcialmente coerentes comparados com a realidade a respeito do funcionamento operacional do sistema, permitindo apoio ao planejamento e às decisões futuras da operação.

Havia expectativa de que com o uso da ferramenta de simulação, pudessem ser feitos ajustes aumentando o tempo médio do atendimento, conseqüentemente, diminuindo o tempo de trem aguardando nas filas para descarga. Isto pôde ser observado, e com isso aumentou a produtividade dos ativos da MRS através de ganho de tempo nas viagens.

No início desta dissertação, surgiu a idéia de utilizar as técnicas da teoria de filas para analisar o sistema e utilizar a modelagem matemática como base para uma ferramenta de apoio as atividades operacionais. Entretanto, durante as pesquisas bibliográficas foram verificadas que nesses tipos de sistemas complexos ferroviários, a simulação é a ferramenta mais adequada.

6.2 LIMITAÇÕES E SUGESTÕES DE PESQUISAS FUTURAS

Uma dificuldade importante durante o estudo foi o número escasso de pessoas disponíveis com o conhecimento pleno da ferramenta de simulação utilizada na pesquisa (Arena). Infelizmente é um *software* pouco divulgado em universidades, tornando-se não muito popular. Somente um seleto grupo possui tal conhecimento para ensinar e ajudar a tirar possíveis dúvidas da ferramenta e do modelo simulado, o que pode representar um problema se houver necessidade de sua aplicação num curto espaço de tempo.

O estudo se limitou à simulação, não tendo como a pretensão de avaliar a viabilidade dos investimentos na ferrovia nem sua rentabilidade futura.

Por ter como foco a gestão operacional de ferrovias em especial o caso da MRS Logística, não foi analisada a malha ferroviária que não faz parte da área de influência desta ferrovia.

A definição da área analisada exerceu grande influência nos resultados encontrados. A inclusão de outros segmentos da malha ferroviária da MRS poderia ter conduzido a diferentes resultados.

Os resultados apresentados neste estudo não levaram em conta a possibilidade de outros tipos de trens, tais como os parciais, aqueles que não chegam necessariamente ao destino final.

Quanto às sugestões de pesquisas futuras é possível citar:

- ✓ Considerar outros tipos de testes para a análise deste estudo como a própria redução da média dos tempos de atendimentos para ver o limite das filas no sistema;
- ✓ Considerar o aumento e a redução da média dos *headways* e dos *transit times* para ver como as filas se comportam no sistema;
- ✓ Ampliação dos dados comparativos desta pesquisa através do aumento do período de amostragem real podendo ser trimestral, semestral ou anual;
- ✓ Utilizar outros *softwares* de simulação probabilística (Pro Model, por exemplo).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, W. F. **O impacto da mobilização na capacidade de pátios ferroviários.** 1987. Dissertação (Mestrado) – IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

ANTF. **Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários.** Disponível em: < <http://www.antf.org.br> > Acesso em: 10 set. 2007.

ANTT. **Agência Nacional de Transportes Terrestres.** Disponível em: < <http://www.antt.gov.br> > Acesso em: 14 set. 2007.

ANUÁRIO DO TRANSPORTE DE CARGA. **Drible à barreira em nome da eficiência.** Nº 11. Novembro. Anuário 2006.

ANUÁRIO NTC & LOGÍSTICA. Nº 2. 2005 – 2006.

BARAT, J. **Estudo da competitividade da indústria brasileira – Serviços de infraestrutura em transportes e competitividade.** Ministério da Ciência e Tecnologia. FINEP. Programa de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico. Campinas, 1993.

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos:** Planejamento e logística empresarial. São Paulo: Bookman, 2001 Cap. 6: Fundamentos do transporte. p. 273-293.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial:** O processo de integração da cadeia de suprimento. São Paulo: Atlas, 2001. Cap. 10: Infra-estrutura de transporte. p. 278-302.

BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. **Gestão logística de cadeias de suprimentos.** Porto Alegre: Bookman, 2006. Cap. 11: Infra-estrutura e regulamentação dos transportes. p. 273-293.

BRUNS, R. **Adequabilidade de terminais rodo-ferroviário para o sistema roadrailer.** 2002. Dissertação (Mestrado) – IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

CHIAINI, G. **Entrevista pessoal com o coordenador de pátio ferroviário.** 2008. Rio de Janeiro, RJ.

CNT/CEL/COPPEAD/UFRJ. **Transporte de carga no Brasil – Ameaças e oportunidades para o desenvolvimento do país.** Rio de Janeiro: CNT/CEL/COPPEAD/UFRJ, 2002.

COELI, C. C. M. **Análise da demanda por transporte ferroviário:** O caso do transporte de grãos e farelo de soja na Ferronorte. 2004. Dissertação (Mestrado) – COPPEAD, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CORRÊA, H. L.; CORRÊA, C. A. **Administração de produção e operações:** Manufatura e serviços. Uma abordagem estratégica. São Paulo: Atlas, 2006.

COYLE, J. J.; BARDI, E. J.; NOVACK, R. A. **Railroads**. Transportation. 4 ed. St. Paul, Minneapolis: West Publishing, 1994. cap. 6, p.167-183.

DATZ, D. **Contribuição ao estudo dos custos operacionais em terminais intermodais de contêineres**. 2004. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DAVID, E. G. **O transporte intermodal rodo-ferroviário**: Contribuição para estudo do tema no caso brasileiro, especificamente na ligação Rio-São Paulo. 1996. Dissertação (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

DEXHEIMER, L. **Sistema para o gerenciamento operacional em terminais intermodais de carga**. 1997. Dissertação (Mestrado) – IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

FALAVINHA, L. A. B. **Pátios e terminais**. RFFSA, Rio de Janeiro, 1979.

FERNANDES, M. G. **Desempenho operacional de terminais intermodais de contêineres**. 2006. Dissertação (Mestrado) – IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações em arena**. Florianópolis: Visual Books, 2008, 2ªEd. 372 p.

FLEURY, P. F. **A infra-estrutura e os Desafios Logísticos das Exportações brasileiras**. 2002. Disponível em: < <http://www.centrodelogistica.com.br> >. Acesso em: 20 mai. 2005.

FLEURY, P. F. **Economia brasileira na encruzilhada – coletânea**. Rio de Janeiro: FGV, 2006 Cap. 10: Os gargalos da infra-estrutura logística no Brasil. p.227.

FLEURY, P. F. **Ferrovia pode perder oportunidades de crescimento**. Revista Ferroviária. Outubro. 2006.

FOGLIATTI, M. C.; MATTOS, N. M. C. **Teoria de filas**. Rio de Janeiro: Interciência, 2007, Cap. 1: Introdução. Cap. 2: Sistemas com fila. p. 1-20.

FONTANA NETO, J. **Pronta para o Futuro**. Maiores & Melhores do Transporte & Logística. Novembro. 2005.

GOMES, C. M. N. **Análise do desempenho operacional de pátios ferroviários**. 1982. Tese (Doutorado) – IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

MORLOCK, E. D. **Introduction to transportation engineering and planning**. Tokio: McGraw Hill Kogakucha, LTD, 1978.

NOVAES, A. G. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição**. Estratégia, operação e avaliação. Rio de Janeiro: Campus, 2006, 2ªEd, Cap. 5: Distribuição Física: Conceitos e Condicionantes. p. 145-151.

NOVAES, A. G. **Pesquisa operacional e transportes: Modelos probabilísticos.** São Paulo: McGraw-Hill, 1975, Cap. 2: Principais distribuições e sua ajustagem. p. 6-20.

OLIVEIRA, G. D. **Planejamento operacional baseado em teoria de filas e simulação de eventos discretos.** 2006. Monografia (Especialização) – IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

PAGANOTTI NETO, A. **Procedimento para avaliação de terminais ferroviários em face as necessidades militares.** 1986. Dissertação (Mestrado) – IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.

PEREIRA, L. F. **Oferta de serviços por ferrovias brasileiras no transporte de Cargas: Um estudo de casos.** 2003. Dissertação (Mestrado) – COPPEAD, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

PIRES, F. B. **Os avanços do transporte ferroviário de carga no Brasil após as privatizações.** Revista Tecnológica. Maio. 2002.

PORTO, T. G. **Transporte ferroviário e transporte aéreo.** 2007. Notas de aulas – USP, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PRADO, D. **Teoria das filas e da simulação.** Belo Horizonte: Indg, 2006, 3ªEd, Cap. 2: Filas: Conceitos básicos (I). Cap. 5: Modelos de filas. p. 23-63.

PRADO, D. **Usando o arena em simulação.** Belo Horizonte: Indg, 2004, 2ªEd, Cap. 1: Simulação. Cap. 2: Usando o arena em simulação. p. 19-35.

RATTON NETO, H. X. **Fundamentos de operação ferroviária.** 2006. Notas de aulas (Mestrado) – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

RATTON NETO, H. X; CASTELLO BRANCO, J. E. S. **Dicionário inglês-português do transporte intermodal.** Rio de Janeiro: Reflexus, 2005.

REVISTA CNT. **Convivência Pacífica.** Nº 142. 2006

REVISTA CNT TRANSPORTE ATUAL. **Entrave ao crescimento.** Ano XI. Nº 123.

REVISTA FERROVIÁRIA. **Melhorias no acesso ferroviário ao Porto do Rio.** Ano 67. Outubro. 2006.

REVISTA FERROVIÁRIA. **Todos os terminais em 2006.** Novembro. 2006.

REVISTA MAIORES & MELHORES DO TRANSPORTE & LOGÍSTICA. **Iniciativa privada ameniza o caos.** Novembro. 2005.

REVISTA NTC & LOGÍSTICA. **De volta aos trilhos da eficiência.** Anuário 2005 - 2006. Nº 2. Novembro. 2006.

REVISTA TECNOLÓGICA. **Ferrovias.** Nº 72. 2001

- REVISTA TRANSPORTE MODERNO. **A vez da iniciativa privada**. Nº417. Ano 43.
- RIVES, F. O.; MENDEZ, M. R; PUENTE, M. M. **Tratado de ferrocarriles II** – Ingeniería civil e instalaciones. Madrid: Rueda, 1980.
- ROBINSON, G. L. **Sistema de controle e gerenciamento de contêineres em terminais marítimos**. 1986. Dissertação (Mestrado) – IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- ROCHA, M. A. S. **Avaliação da capacidade do setor de transbordo de um terminal ferroviário de contêineres por simulação**. 1989. Dissertação (Mestrado) – IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- SALIBY, P. F. **Tecnologia de informação: Uso da simulação para obtenção de melhorias em operações logísticas**. 1999. Disponível em: < <http://www.centrodelogistica.com.br> >. Acesso em: 20 nov. 2007.
- SANTOS, S. **A via permanente da ferrovia**. 2008. Disponível em: < <http://www.portogente.com.br> >. Acesso em: 06 fev. 2009.
- SANTOS, S. **A sinalização ferroviária**. 2008. Disponível em: < <http://www.portogente.com.br> >. Acesso em: 06 fev. 2009.
- SANTOS, V. M. **Procedimento para o dimensionamento de pátios ferroviários de classificação por gravidade**. 1989. Dissertação (Mestrado) – IME, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro.
- SHANNON, R. E. **System simulation: The art and science**. New Jersey: Prentice-Hall, 1975.
- SHIMIZU, T. **Simulação em computador digital**. São Paulo: Edgar Blucher, 1975.
- STEINBRUCH, B. **O país precisa ser rasgado por ferrovias**. Revista Ferroviária. Fevereiro. 2007.
- TURNQUIST, M. A.; DASKIN, M. S. **Queueing models of classification and connection delay in railyards**. Transportation Science, Maio. 1982.
- VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 1997, Cap. 4: Começando a definir a metodologia. p. 44-47.
- VILAÇA, R. **Não faltam propostas nem soluções**. Revista Ferroviária. Ano 67. Setembro. 2006.
- WREN, A. **Computers in transport planning and operation**. Londres: Ian Allan, 1971.

RESUMO DOS SITES PESQUISADOS

- ✓ ANTF – Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários
<http://www.antf.org.br>
- ✓ ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
<http://www.antt.gov.br>
- ✓ Anuário Estatístico Geipot
<http://www.geipot.gov.br>
- ✓ CEL – Centro de Estudos em Logística
<http://www.centrodelogistica.com.br>
- ✓ CIA – The World Factbook
<http://www.cia.gov.br>
- ✓ CNT – Confederação Nacional do Transporte
<http://www.cnt.org.br>
- ✓ IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
<http://www.ipea.gov.br>
- ✓ Ministério dos Transportes
<http://www.transportes.gov.br>
- ✓ MRS – MRS Logística
<http://www.mrs.com.br>
- ✓ Paragon – Consulting Solutions
<http://www.paragon.com.br>
- ✓ Revista Ferroviária
<http://www.revistaferroviaria.com.br>
- ✓ Revista Tecnológica
<http://www.tecnologica.com.br>
- ✓ Wikipedia
<http://pt.wikipedia.org>

ANEXO I

Software Arena® para simulações

O modelo de simulação desta dissertação foi aplicado no *software* Arena devido a sua interatividade e a sua facilidade de resposta fornecida.

De acordo com a Paragon (2007) – empresa representante do Arena no Brasil – o Arena foi lançado em 1993 pela *Systems Modeling* (EUA), utilizando a linguagem de programação da *Microsoft Visual Basic*, que permite acessar ou ser acessada por todos os aplicativos do *Microsoft Office*. É um dos *softwares* mais utilizados em todo o mundo, tanto por empresas como por universidades para resolver problemas de filas. No Brasil ele é o mais popular.

O Arena é um ambiente gráfico integrado de simulação, que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados.

Segundo Prado (2004), o Arena usa uma interface gráfica para o usuário (ou GUI, *Graphical User Interface*), automatizando o processo, pois o *mouse* é a ferramenta utilizada. Além de permitir a construção de modelos de simulação, o Arena possui o analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*) e o analisador de resultados (*Output Analyzer*).

O *Input Analyzer*, permite analisar dados reais do funcionamento do processo e escolher a melhor distribuição estatística que se aplica a eles. Esta distribuição pode ser incorporada diretamente ao modelo. Já o *Output Analyzer*, é uma ferramenta com diversos recursos que permite analisar os dados coletados durante a simulação, sendo que esta análise pode ser gráfica, e possui recursos para efetuar comparações estatísticas.

A Paragon (2007) informa que, geralmente, os passos de uma simulação no Arena se aplicam da seguinte forma:

- ✓ Realizar um estudo sobre o comportamento do sistema a ser simulado, coletando as informações de tempo necessárias;
- ✓ Construir o modelo no Arena e alimentar com os tempos coletados na etapa anterior;
- ✓ Acionar o Arena para fazer funcionar o modelo e gerar resultados sobre o seu comportamento;
- ✓ Analisar os resultados e, baseado nas conclusões, fazer novas mudanças no modelo para aperfeiçoar o processo.
- ✓ Neste ponto, retorna-se para a terceira etapa, gerando novos resultados. Este ciclo se repete até que o modelo se comporte de forma satisfatória. Como se trata de uma réplica fiel do sistema original, os resultados obtidos pelo modelo serão válidos também para a situação real.

ANEXO II

Pátio de Arará (FAR)

O pátio de Arará (sigla FAR) é responsável pelo acesso ferroviário em bitola larga (1,60 m) ao Porto do Rio de Janeiro (figura 42). Este pátio pertence à concessão da MRS Logística e faz conexão com importantes terminais de carga e descarga viabilizando a importação e exportação de diversos produtos via ferrovia. Vale lembrar que a MRS opera apenas carga geral no pátio citado.



Figura 42 – Foto satélite do pátio do Arará

Fonte: Google Earth *apud* Oliveira (2006)

Segundo Oliveira (2006), podem ser destacadas as atribuições do pátio:

- ✓ Recebimento dos trens e separação dos blocos de vagões de acordo com o terminal de destino;
- ✓ Posicionamento de blocos de vagões nos terminais e entrega das notas fiscais;
- ✓ Fechamento com os terminais da quantidade de vagões para descarga e carga;
- ✓ Recebimento dos vagões devolvidos pelos terminais e manobras para formação dos trens originados do pátio e faturamento das mercadorias;

- ✓ Registro no sistema de informações operacionais da MRS (Sislog) de todas as informações da operação.

A MRS conta atualmente com 5 terminais responsáveis por grande parte da movimentação de cargas localizadas no Arará. Dentre os terminais atendidos pela ferrovia, podem-se destacar como os principais operadores de carga:

- ✓ Operador: Triunfo Operadora Portuária

Principais produtos: Carvão, Coque, Produtos Siderúrgicos e Ferro Gusa.

- ✓ Operador: Multi-Rio Terminal

Principais produtos: Contêineres.

- ✓ Operador: Cimento Tupi

Principais produtos: Cimento

- ✓ Operador: Wilson Sons

Principais produtos: Produtos Siderúrgicos e Contêineres.

- ✓ Operador: Lafarge

Principais produtos: Cimento

ANEXO III

Comparativo entre os tempos de rodadas no Arena

TALLY VARIABLES

Identifier	1 Mês Média	6 Meses Média	1 Ano Média	Observações
patio origem 1.TotalTime	38.544	38.437	38.396	Tempo médio em que o pátio está sendo ocupado (Origens)
patio origem 2.TotalTime	34.704	31.695	31.155	
patio origem 3.TotalTime	39.639	36.664	36.043	
patio origem 4.TotalTime	36.111	34.425	34.694	
patio origem 5.TotalTime	34.770	34.724	35.405	
patio servidor FPU.Queue.WaitingTime	8 Min	4 Min	4 Min	Tempo medio na fila
patio servidor FBB.Queue.WaitingTime	9 Min	7 Min	6 Min	
patio servidor FZN.Queue.WaitingTime	0	0	0	
patio servidor FQS.Queue.WaitingTime	0	0	0	
patio servidor FVR.Queue.WaitingTime	0	0	0	
patio servidor HRS.Queue.WaitingTime	25 Min	10 Min	9 Min	
patio servidor FOJ.Queue.WaitingTime	2h e 8 Min	1h e 25 Min	1h e 23 Min	
patio servidor FBP.Queue.WaitingTime	8 Min	4 Min	3 Min	
patio servidor FJC.Queue.WaitingTime	12 Min	8 Min	9 Min	
Total	190 Min	118 Min	114 Min	

Unidade de medida: Horas

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

Identifier	1 Mês Média	6 Meses Média	1 Ano Média	Observações
Servidor FVR.NumberBusy	0.46%	0.59%	0.59%	Taxa de Ocupação média de cada servidor
Servidor HRS.NumberBusy	19.63%	15.48%	15.42%	
Servidor FJC.NumberBusy	22.80%	21.19%	21.46%	
Servidor FZN.NumberBusy	3.48%	2.72%	2.83%	
Servidor FOJ.NumberBusy	46.60%	41.47%	40.10%	
Servidor FPU.NumberBusy	8.81%	7.95%	8.24%	
Servidor FBB.NumberBusy	12.96%	11.90%	11.55%	
Servidor FQS.NumberBusy	1.48%	1.30%	1.26%	
Servidor FBP.NumberBusy	8.35%	7.47%	7.05%	
patio servidor FPU.NumberInQueue	0.01259	0.00565	0.00547	Numero de trens na fila
patio servidor FBB.NumberInQueue	0.01185	0.00843	0.00733	
patio servidor FZN.NumberInQueue	0	0	0	
patio servidor FQS.NumberInQueue	0.000317	0.000358	0.000235	
patio servidor FVR.NumberInQueue	0	0	0	
patio servidor HRS.NumberInQueue	0.05348	0.01973	0.01755	
patio servidor FOJ.NumberInQueue	0.33704	0.21143	0.2057	
patio servidor FBP.NumberInQueue	0.02001	0.01105	0.00774	
patio servidor FJC.NumberInQueue	0.032	0.02049	0.02246	
Total	0.47	0.28	0.27	

Unidade de medida: Quantidade

OUTPUTS

Identifíer	1 Mês Valor	6 Meses Valor	1 Ano Valor	Observações
patio origem 1.Numberout	32	175	348	Número médio das partidas dos trens em cada origem
patio origem 2.Numberout	20	104	208	
patio origem 3.Numberout	18	83	157	
patio origem 4.Numberout	29	178	359	
patio origem 5.Numberout	19	98	207	
Servidor FVR.NumberSeized	26	150	304	Número médio de trens que passaram por cada servidor
Servidor HRS.NumberSeized	94	482	971	
Servidor FJC.NumberSeized	118	637	1277	
Servidor FZN.NumberSeized	31	175	347	
Servidor FOJ.NumberSeized	117	636	1278	
Servidor FPU.NumberSeized	64	325	662	
Servidor FBB.NumberSeized	58	315	624	
Servidor FQS.NumberSeized	94	482	971	
Servidor FBP.NumberSeized	119	638	1278	

Unidade de medida: Quantidade

ANEXO IV

Comparativo entre os aumentos da capacidade de atendimento do servidor FJC no Arena

FJC	Mês	TALLY VARIABLES				Observações
		0% Valor	10% Valor	20% Valor	30% Valor	
Identifier						
patio origem 1.TotalTime		38.544	36.688	38.971	39.139	Tempo médio em que o pátio está sendo ocupado (Origens)
patio origem 2.TotalTime		34.704	29.689	33.721	29.173	
patio origem 3.TotalTime		39.639	37.042	35.671	37.677	
patio origem 4.TotalTime		36.111	35.036	32.832	34.977	
patio origem 5.TotalTime		34.770	36.630	37.632	33.401	
patio servidor FPU.Queue.WaitingTime		8 Min	3 Min	7 Min	2 Min	Tempo medio na fila
patio servidor FBB.Queue.WaitingTime		9 Min	7 Min	3 Min	3 Min	
patio servidor FZN.Queue.WaitingTime		0	0	0	0	
patio servidor FQS.Queue.WaitingTime		0	0	0	0	
patio servidor FVR.Queue.WaitingTime		0	0	0	0	
patio servidor HRS.Queue.WaitingTime		25 Min	8 Min	0	7 Min	
patio servidor FOJ.Queue.WaitingTime		2h e 8 Min	1h e 7 Min	1h e 42 Min	1h e 12 Min	
patio servidor FBP.Queue.WaitingTime		8 Min	1 Min	0	5 Min	
patio servidor FJC.Queue.WaitingTime		12 Min	10 Min	12 Min	17 Min	
Total		190 Min	96 Min	124 Min	106 Min	

Unidade de medida: Horas

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

FJC Mês

Identifíer	0% Valor	10% Valor	20% Valor	30% Valor	Observações
Servidor FVR.NumberBusy	0.46%	0.90%	0.42%	0.64%	Taxa de Ocupação média de cada servidor
Servidor HRS.NumberBusy	19.63%	14.99%	16.21%	11.94%	
Servidor FJC.NumberBusy	22.80%	26.43%	24.49%	29.05%	
Servidor FZN.NumberBusy	3.48%	2.34%	3.10%	2.94%	
Servidor FOJ.NumberBusy	46.60%	45.66%	39.22%	38.07%	
Servidor FPU.NumberBusy	8.81%	9.95%	7.10%	8.56%	
Servidor FBB.NumberBusy	12.96%	15.95%	12.80%	10.07%	
Servidor FQS.NumberBusy	1.48%	1.74%	1.00%	1.38%	
Servidor FBP.NumberBusy	8.35%	6.98%	6.49%	8.03%	
patio servidor FPU.NumberInQueue	0.01259	0.00443	0.00915	0.00303	Numero de trens na fila
patio servidor FBB.NumberInQueue	0.01185	0.01301	0.00354	0.0042	
patio servidor FZN.NumberInQueue	0	0	0	0	
patio servidor FQS.NumberInQueue	0.00031656	0	0	0.00023561	
patio servidor FVR.NumberInQueue	0	0	0	0	
patio servidor HRS.NumberInQueue	0.05348	0.01806	0.01254	0.01461	
patio servidor FOJ.NumberInQueue	0.33704	0.17813	0.24537	0.18462	
patio servidor FBP.NumberInQueue	0.02001	0.00414	0.00169	0.01362	
patio servidor FJC.NumberInQueue	0.032	0.02808	0.03002	0.04435	
Total	0.47	0.25	0.30	0.26	

Unidade de medida: Quantidade

FJC	Mês	OUTPUTS				Observações
		0% Valor	10% Valor	20% Valor	30% Valor	
Identifíer						
patio origem 1.Numberout		32	28	29	30	Número médio das partidas dos trens em cada origem
patio origem 2.Numberout		20	21	16	17	
patio origem 3.Numberout		18	18	13	13	
patio origem 4.Numberout		29	29	30	31	
patio origem 5.Numberout		19	20	23	19	
Servidor FVR.NumberSeized		26	33	20	26	Número médio de trens que passaram por cada servidor
Servidor HRS.NumberSeized		94	91	85	84	
Servidor FJC.NumberSeized		118	117	111	114	
Servidor FZN.NumberSeized		31	28	30	29	
Servidor FOJ.NumberSeized		117	118	113	114	
Servidor FPU.NumberSeized		64	67	61	55	
Servidor FBB.NumberSeized		58	74	57	48	
Servidor FQS.NumberSeized		94	92	85	84	
Servidor FBP.NumberSeized		119	117	111	111	

Unidade de medida: Quantidade

ANEXO V

Comparativo entre os aumentos da capacidade de atendimento do servidor FBB no Arena

FBB	Mês	TALLY VARIABLES				Observações
		0% Valor	10% Valor	20% Valor	30% Valor	
Identifier						
patio origem 1.TotalTime		38.544	36.483	37.923	36.434	Tempo médio em que o pátio está sendo ocupado (Origens)
patio origem 2.TotalTime		34.704	28.661	28.946	29.192	
patio origem 3.TotalTime		39.639	35.263	36.341	36.835	
patio origem 4.TotalTime		36.111	32.839	32.602	32.237	
patio origem 5.TotalTime		34.770	33.051	33.337	33.555	
patio servidor FPU.Queue.WaitingTime		8 Min	5 Min	2 Min	0	Tempo medio na fila
patio servidor FBB.Queue.WaitingTime		9 Min	3 Min	8 Min	21 Min	
patio servidor FZN.Queue.WaitingTime		0	0	0	0	
patio servidor FQS.Queue.WaitingTime		0	0	0	0	
patio servidor FVR.Queue.WaitingTime		0	0	0	0	
patio servidor HRS.Queue.WaitingTime		25 Min	1 Min	12 Min	5 Min	
patio servidor FOJ.Queue.WaitingTime		2h e 8 Min	8 Min	12 Min	14 Min	
patio servidor FBP.Queue.WaitingTime		8 Min	1 Min	6 Min	4 Min	
patio servidor FJC.Queue.WaitingTime		12 Min	10 Min	33 Min	32 Min	
Total		190 Min	28 Min	73 Min	76 Min	

Unidade de medida: Horas

DISCRETE-CHANGE VARIABLES

FBB Mês

Identifíer	0% Valor	10% Valor	20% Valor	30% Valor	Observações
Servidor FVR.NumberBusy	0.46%	0.58%	0.84%	0.51%	Taxa de Ocupação média de cada servidor
Servidor HRS.NumberBusy	19.63%	13.59%	16.58%	12.47%	
Servidor FJC.NumberBusy	22.80%	29.72%	31.06%	29.55%	
Servidor FZN.NumberBusy	3.48%	2.47%	1.52%	3.04%	
Servidor FOJ.NumberBusy	46.60%	23.55%	23.01%	25.29%	
Servidor FPU.NumberBusy	8.81%	6.75%	9.18%	7.12%	
Servidor FBB.NumberBusy	12.96%	11.33%	14.29%	13.71%	
Servidor FQS.NumberBusy	1.48%	1.19%	1.17%	1.41%	
Servidor FBP.NumberBusy	8.35%	9.52%	7.25%	5.76%	
patio servidor FPU.NumberInQueue	0.01259	0.00561	0.00312	0.000013353	Numero de trens na fila
patio servidor FBB.NumberInQueue	0.01185	0.00235	0.01073	0.02429	
patio servidor FZN.NumberInQueue	0	0	0	0	
patio servidor FQS.NumberInQueue	0.00031656	0.0001733	0	0	
patio servidor FVR.NumberInQueue	0	0	0	0	
patio servidor HRS.NumberInQueue	0.05348	0.00214	0.02159	0.00995	
patio servidor FOJ.NumberInQueue	0.33704	0.01933	0.02745	0.03466	
patio servidor FBP.NumberInQueue	0.02001	0.00242	0.01196	0.01117	
patio servidor FJC.NumberInQueue	0.032	0.02519	0.0754	0.0756	
Total	0.47	0.06	0.15	0.16	

Unidade de medida: Quantidade

		OUTPUTS				
FBB	Mês					
Identifíer		0% Valor	10% Valor	20% Valor	30% Valor	Observações
patio origem 1.Numberout		32	29	28	30	Número médio das partidas dos trens em cada origem
patio origem 2.Numberout		20	20	15	19	
patio origem 3.Numberout		18	15	10	10	
patio origem 4.Numberout		29	30	31	30	
patio origem 5.Numberout		19	13	16	18	
Servidor FVR.NumberSeized		26	28	31	29	Número médio de trens que passaram por cada servidor
Servidor HRS.NumberSeized		94	74	78	82	
Servidor FJC.NumberSeized		118	107	102	105	
Servidor FZN.NumberSeized		31	28	29	31	
Servidor FOJ.NumberSeized		117	106	103	107	
Servidor FPU.NumberSeized		64	44	51	47	
Servidor FBB.NumberSeized		58	50	57	50	
Servidor FQS.NumberSeized		94	75	80	82	
Servidor FBP.NumberSeized		119	107	105	107	

Unidade de medida: Quantidade