

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

Reinaldo Pimentel Loyola Meireles

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA MALHA FERROVIÁRIA
EM CIRCUITO FECHADO DA ESTRADA DE FERRO
VITÓRIA A MINAS**

Dissertação de Mestrado de Engenharia Civil (Transportes)

VITÓRIA – ES

2010

REINALDO PIMENTEL LOYOLA MEIRELES

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DA MALHA
FERROVIÁRIA EM CIRCUITO FECHADO DA ESTRADA
DE FERRO VITÓRIA A MINAS**

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil – Área de Concentração em Transporte.

Orientadora: Prof^a Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz.

Co-orientador: Prof^o Ubiratan de Souza Passos

VITÓRIA

2010

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

M514m Meireles, Reinaldo Pimentel Loyola, 1959-
Modelagem e simulação de malha ferroviária em circuito
fechado da Estrada de Ferro Vitória a Minas / Reinaldo Pimentel
Loyola Meireles. – 2010.
220 f. : il.

Orientadora: Marta Monteiro da Costa Cruz.
Coorientador: Ubiratan de Souza Passos.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade
Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Estrada de Ferro Vitória a Minas. 2. Transporte ferroviário.
3. Transporte ferroviário - Planejamento. I. Cruz, Marta Monteiro
da Costa. II. Passos, Ubiratan de Souza. III. Universidade
Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. IV. Título.

CDU: 624

**SIMULADOR DE MALHA FERROVIÁRIA
EM CIRCUITO FECHADO DA ESTRADA DE FERRO
VITÓRIA A MINAS**

REINALDO PIMENTEL LOYOLA MEIRELES

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em Engenharia Civil do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil – Área Concentração em Transportes.

Aprovada em 17/12/2010 por:

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof^a Dra. Marta Monteiro da Costa Cruz.
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora

Prof^a Ubiratan de Souza Passos.
Universidade Federal do Espírito Santo
Co-orientador

Prof^o Dr. Rodrigo de Alvarenga Rosa
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof^o Dr. Marco Antônio Farah Caldas
Universidade Federal Fluminense

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

Vitória, - ES, Dezembro de 2010

Dedico este trabalho a Deus e a minha família.

AGRADECIMENTOS

Expresso meus sinceros agradecimentos:

À minha orientadora professora Marta Monteiro da Costa Cruz, por acreditar em mim, pelo incentivo e pela oportunidade oferecida,

Ao meu co-orientador Ubiratan Passos, que com seus 33 anos de experiência na área de Planejamento da Estrada de Ferro Vitória a Minas, deu valiosas contribuições ao trabalho.

Aos professores membros da banca examinadora, Marco Antônio Farah Caldas e Rodrigo de Alvarenga Rosa, pela disponibilidade em avaliar este trabalho e pelas críticas construtivas apresentadas.

Aos amigos Fabiano Burns, Adilson Nico e Juliano Borges, cujo apoio viabilizou meu ingresso neste programa de Pós-Graduação.

Aos colegas de trabalho Virgílio Coutinho, Anderson Pereira, Rodrigo Pirola, Andressa Barros, Luciano Bandeira, Julio Correa, Daniel Dutra, pelas contribuições que ampliaram a compreensão da ferrovia estudada, direcionando a modelagem e avaliação dos resultados.

Ao meu pai e a minha mãe, Álvaro Pimentel Meireles e Glicia Loyola Meireles, que sempre serão o meu modelo de esforço e determinação, que com muito amor tiveram suas vidas dedicadas à formação educacional e superior de seus três filhos.

À minha esposa Flávia Lúcia Schwartz Meireles, pela compreensão, paciência e apoio. Aos meus filhos Guilherme e Isadora, que deram força para concluir este trabalho.

RESUMO

Esta dissertação busca preencher a falta de ferramenta que responda de forma confiável e precisa as várias questões que surgem no dia a dia da área de Planejamento da cadeia logística do minério de ferro do Sistema Sudeste da Vale. Hoje, estas áreas utilizam com mais frequência a modelagem analítica ou matemática, e para os projetos mais críticos a abordagem local por simulação, isto é, só é modelado o novo projeto, sem avaliar o impacto sobre o restante da cadeia (abordagem global). A modelagem analítica ou matemática é inadequada para estes sistemas complexos, sendo a modelagem por simulação a melhor alternativa. Desta forma as áreas de Planejamento terão maior suporte para medirem os efeitos da adição de novos projetos, podendo responder as várias questões do aumento de capacidade e também para atender as várias questões táticas que aparecem na operação no curto e médio prazo. Portanto, a proposta desta dissertação é desenvolver um modelo de simulação em circuito fechado que represente a cadeia logística do transporte do minério de ferro no Sistema Sudeste. Esta cadeia é um processo cíclico que abrange os processos de carregamento, a circulação de trens carregados, a descarga para o Mercado Externo ou Interno, e o retorno dos trens vazios que são distribuídos para novos carregamentos. Nesta ferrovia o transporte de minério de ferro representa 80 % do volume transportado, na carga geral as principais cargas são o carvão, grãos, produtos siderúrgicos, insumos para a siderurgia e outros. Os modelos de simulação para circulação em circuito fechado estão sujeitas a diversas interferências. Estas interferências são representadas pela circulação de outros trens, pelas filas que são formadas na circulação, pelas manutenções preventivas e corretivas no material rodante, na via permanente ou nos equipamentos de carga e descarga, que alteram a programação inicialmente elaborada. Outra característica dos trens de minério são os direcionamentos dos lotes vazios para os pontos de carregamento, buscando o cumprimento do programas diários, a minimização das filas e a maximização da ocupação nos pontos de carregamento e de descarga.

Palavras-chaves: Estrada de Ferro Vitória a Minas, Transporte ferroviário, Transporte ferroviário - Planejamento.

ABSTRACT

This thesis seeks to fill the lack of tools to respond reliably and accurately the various issues that arise in everyday life in the area of logistics chain planning iron ore System Southeast Valley. Today, these areas use more often the analytical or mathematical modeling, and most critical projects for the local approach by simulation, that is only modeled the new design, without assessing the impact on the rest of the chain (holistic). The analytical or mathematical modeling is inadequate for these complex systems, modeling and simulation for the best alternative. Thus the areas of Planning will have greater support to measure the effects of adding new projects and can answer several questions to increase capacity and also to meet various tactical issues that appear in operation in the short and medium term. So the purpose of this dissertation is to develop a simulation model representing the closed loop supply chain of transportation of iron ore in the Southern System. This chain is a cyclic process that includes the processes of loading, the movement of trains to carry the discharge into the External or Internal Market, and the return of empty trains that are distributed to new shipments. In railroad transportation of iron ore accounts for 80% of the volume transported in the main general cargo loads are coal, grain, steel products, raw materials for steel and others. Simulation models for closed circuit circulation are subject to various interferences. These interferences are represented by the movement of other trains, which are formed by lines in the circulation, the preventive and corrective maintenance on the undercarriage, the permanent road or equipment for loading and unloading, which alter the schedule originally drafted. Another characteristic of the ore trains are the directions of the empty lots for loading points, seeking the fulfillment of daily programs, minimizing and maximizing the queue occupancy at the points of loading and unloading.

Keywords: Vitória-Minas Railroad, Railroad Transport, Railroad Transport – Planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Investimentos no modal ferroviário de 1983 a 2007	18
Figura 2: Metodologia de Banks et al (2000).....	29
Figura 3: Esquemático da metodologia de Pater e Teunisse (1997)	30
Figura 4: Linha singela e linha dupla.....	39
Figura 5: Pátio ferroviário.....	39
Figura 6: Pátio de cruzamento	39
Figura 7: Seções de bloqueio	41
Figura 8: Representação de segmentos de malha	41
Figura 9: Entroncamento da malha ferroviária	42
Figura 10: Trechos da malha ferroviária.....	42
Figura 11: Trem de Ciclo.....	44
Figura 12: Trem de Grade.....	45
Figura 13: A cadeia de suprimento do minério de ferro no Sistema Sudeste	51
Figura 14: Esquemático da Estrada de Ferro Vitória a Minas	53
Figura 15: Esquemático do transporte de minério de ferro na EFVM	56
Figura 16: Representação Esquemática da EFVM – Vale (2010)	58
Figura 17: Esquemático do transporte de minério de ferro e carvão na EFVM.....	59
Figura 18: Estrutura do modelo conceitual para o Trem de Grade	60
Figura 19: Pátio de Tubarão	67
Figura 20: Setores de pátio da Chegada e Recepção.....	68
Figura 21: Setores de pátio da Descarga e Classificação	69
Figura 22: Modelagem das locações trechos duplos.....	84
Figura 23: Exemplo de trens circulando em trecho com linhas duplas	85
Figura 24: Exemplo de trens circulando em trecho com linhas singelas.....	85
Figura 25: Modelagem das locações trechos singelos.....	86
Figura 26: Manutenção programada na via permanente.....	123
Figura 27: Modelo Conceitual - Nível 0	136
Figura 28: Modelo Conceitual - Nível 1 (Pátio de Tubarão).....	136
Figura 29: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 1	137
Figura 30: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 2.....	137
Figura 31: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 3.....	138
Figura 32: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 4.....	138
Figura 33: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 5.....	139
Figura 34: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 6.....	139
Figura 35: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 7	140

Figura 36: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 8.....	140
Figura 37: Modelo Conceitual - Nível 2 (Pátio de Intendente Câmara).....	141
Figura 38: Modelo Conceitual - Nível 2 (Pátio de Ouro Branco).....	141
Figura 39: Interface com o Simulador de malha da EFVM	143
Figura 40: Nível 0 (zero) do modelo de simulação da EFVM	144
Figura 41: <i>Template</i> da seção de bloqueio da linha tronco	145
Figura 42: <i>Template</i> da entrada e saída de pátio à esquerda	146
Figura 43: <i>Template</i> da entrada e saída de pátio à direita	147
Figura 44: Interface do usuário em <i>Microsoft excel</i>	150
Figura 45: Dados básicos – Pátio de carregamento e Tempo de carregamento	152
Figura 46: Programa de carregamento do mercado externo	153
Figura 47: Manutenção preventiva do VV01 do pátio de Tubarão.....	153
Figura 48: Simulação com animação	154
Figura 49: Simulação sem animação	155
Figura 50: Resumo mensal do transporte	156
Figura 51: Resumo o atendimento dos carregamentos.....	157
Figura 52: Indicadores dos equipamentos de carga e descarga	157
Figura 53: Esquemático trem subindo saindo de pátio.....	175
Figura 54: Algoritmo trem subindo na saída de pátios pela Linha 1	176
Figura 55: Algoritmo trem subindo na saída de pátios pela Linha 2	177
Figura 56: Esquemático trem subindo seção de bloqueio SB1C -SB2C.....	178
Figura 57: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB1C-SB2C Linha 1	179
Figura 58: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB1C-SB2C Linha 2	180
Figura 59: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2C-SB2B Linha 1.....	182
Figura 60: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2C -SB2B Linha 2.....	183
Figura 61: Esquemático trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B	184
Figura 62: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 1.....	185
Figura 63: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 2.....	186
Figura 64: Esquemático trem subindo seção de bloqueio SB1B-SB1C.....	187
Figura 65: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 1.....	188
Figura 66: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 2.....	190
Figura 67: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B- SB1B Linha 2 (continuação)	191
Figura 68: Esquemático trem subindo seção de bloqueio SB1C -SB2C.....	192
Figura 69: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 1.....	193
Figura 70: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 2.....	194
Figura 71: Esquemático trem subindo para entrada de pátio	195

Figura 72: Algoritmo trem subindo para entrada de pátio pela Linha 1.....	196
Figura 73: Algoritmo trem subindo para entrada de pátio pela Linha 2.....	197
Figura 74: Esquemático trem descendo saindo de pátio.....	198
Figura 75: Algoritmo trem descendo na saída de pátios pela Linha 2	199
Figura 76: Algoritmo trem descendo na saída de pátios pela Linha 1	200
Figura 77: Esquemático trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB2B.....	201
Figura 78: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB2B Linha 2.....	202
Figura 79: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB1B-SB2B Linha 1.....	203
Figura 80: Esquemático trem descendo seção de bloqueio SB2B-SB2C.....	204
Figura 81: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB2B-SB2C Linha 2.....	205
Figura 82: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB2B-SB2C Linha 1.....	206
Figura 83: Esquemático trem descendo seção de bloqueio SB2C-SB1C.....	207
Figura 84: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB2C-SB1C Linha 2.....	208
Figura 85: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB2C-SB1C Linha 1.....	209
Figura 86: Esquemático trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB1C.....	210
Figura 87: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1C-SB1B Linha 2.....	211
Figura 88: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1C-SB1B Linha 1.....	213
Figura 89: Esquemático trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB2B.....	215
Figura 90: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB2B Linha 2.....	216
Figura 91: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB2B Linha 1.....	217
Figura 92: Esquemático trem descendo para entrada de pátio	218
Figura 93: Algoritmo trem descendo para entrada de pátio pela Linha 2.....	219
Figura 94: Algoritmo trem descendo para entrada de pátio pela Linha 1.....	220

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Arquivo da configuração das linhas do pátio de Tubarão	71
Tabela 2: Arquivo da configuração das linhas pátio Intendente Câmara	76
Tabela 3 Arquivo da configuração das linhas do pátio de Ouro Branco	78
Tabela 4: Arquivo da configuração das linhas dos pátios carregamento	80
Tabela 5: Arquivo da configuração das linhas dos pátios intermediários.....	83
Tabela 6: Arquivo de configuração dos vagões trens de ciclo.....	87
Tabela 7: Arquivo com os Transit-time trens de ciclo nas seções de bloqueio.....	99
Tabela 8: Arquivo com os <i>Transit-time</i> trens de ciclo por rede.....	101
Tabela 9: Arquivo configuração tempos dos eventos pátio de Tubarão	103
Tabela 10: Arquivo configuração tempos dos eventos pátio Câmara.....	108
Tabela 11: Arquivo configuração tempos dos eventos pátio Ouro Branco	111
Tabela 12: Arquivo configuração tempos eventos nos pátios de carregamento.....	114
Tabela 13: Arquivo configuração tempos eventos nos pátios intermediários.....	116
Tabela 14: Arquivo programa carregamento minério de ferro Mercado Externo	118
Tabela 15: Arquivo programa carregamento minério de ferro para Usiminas.....	119
Tabela 16: Arquivo programa carregamento minério de ferro para AMT	119
Tabela 17: Arquivo programa carregamento minério de ferro para Açominas.....	120
Tabela 18: Arquivo programa carregamento de carvão mineral	121
Tabela 19: Arquivo pesos médios por pátio de carregamento e cliente.....	122
Tabela 20: Arquivo manutenções programadas na via permanente.....	124
Tabela 21: Arquivo manutenções programadas equipamentos carga e descarga	127
Tabela 22: Arquivo probabilidade falhas equipamentos de carga e descarga.....	132
Tabela 23: Arquivo tempos falhas corretivas equipamentos carga e descarga	134
Tabela 24: Resultados da rodada de simulação para o Cenário 1	160
Tabela 25: Aderência ao atendimento para o Cenário 1	161
Tabela 26: Resultados da rodada de simulação para o Cenário 2	164
Tabela 27: Aderência ao atendimento para o Cenário 2	165

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. OBJETIVOS	19
1.1.1. Objetivos gerais.....	19
1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1. MODELOS DESCRITIVOS	23
2.2. MODELOS DE SIMULAÇÃO.....	23
2.3. MODELOS OTIMIZANTES	24
2.4. METODOLOGIA A SER UTILIZADA NA MODELAGEM E SIMULAÇÃO	25
2.5. TRABALHOS MAIS RELEVANTES.....	32
3. PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DO TRANSPORTE.....	38
3.1. ELEMENTOS DO SISTEMA FERROVIÁRIO	38
3.1.1. Infra-estrutura.....	38
3.1.2. Equipamentos em circulação.....	43
3.1.3. Ocorrências ferroviárias.....	46
3.2. DINÂMICA DOS TRENS DE CICLO	47
3.2.1. Interferências nos Trens de Ciclo	48
3.2.2. Decisões de direcionamento nos trens de ciclo	49
3.3. A CADEIA DE SUPRIMENTO DO MINÉRIO DE FERRO	49
3.4. ESTRADA DE FERRO VITÓRIA A MINAS	52
3.5. O TRANSPORTE DE MINÉRIO DE FERRO E DE CARVÃO MINERAL	55
3.6. O TRANSPORTE DE CARGA GERAL.....	59
3.7. O TRANSPORTE DE PASSAGEIROS.....	60
4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO.....	61
4.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	61
4.2. DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS E PLANEJAMENTO DO PROJETO.....	62
4.2.1. Objetivos do Projeto	62
4.2.2. Planejamento do Projeto	62
4.3. MODELAGEM CONCEITUAL	63
4.3.1. Representação da malha.....	66
4.3.2. Representação dos vagões.....	87
4.3.3. Representação dos trens de grade.....	88
4.3.4. Representação dos trens de ciclo.....	89
4.3.5. Representação dos programas de carregamento.....	118

4.3.6.	Representação do transporte ferroviário de minério de ferro na EFVM	135
4.3.7.	Algoritmo para a circulação de trens em linha dupla.....	142
4.3.8.	Algoritmo para a circulação de trens em linha singela	142
4.4.	LEVANTAMENTO DOS DADOS	142
4.5.	CODIFICAÇÃO	143
4.5.1.	Diagrama nível 0 (zero) do modelo de simulação.....	144
4.5.2.	Diagrama nível 1 do modelo de simulação	148
4.5.3.	Diagrama nível 2 do modelo de simulação	150
4.5.4.	Dinâmica de funcionamento do modelo de simulação	150
4.6.	VERIFICAÇÃO.....	158
4.7.	VALIDAÇÃO DO MODELO	158
4.8.	PROJETO EXPERIMENTAL	162
4.9.	EXECUÇÃO EM PRODUÇÃO E ANÁLISE	162
4.10.	NOVAS EXECUÇÕES	165
4.11.	DOCUMENTAÇÃO.....	166
4.12.	IMPLEMENTAÇÃO	166
5.	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	167
5.1.	CONCLUSÕES	167
5.2.	RECOMENDAÇÕES.....	169
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	172
	ANEXO A – Fluxogramas da lógica de circulação na linha dupla.....	175

1. INTRODUÇÃO

Atualmente, é incontestável a importância da logística para as empresas e para o país. Sua relevância vem crescendo nos últimos anos, períodos que as companhias adotam inúmeras técnicas para aperfeiçoar suas plantas físicas, recentemente percebem que os próximos passos estão fora das empresas, juntos aos canais logísticos no recebimento de insumos e despacho de produtos manufaturados, onde existe um grande potencial de melhorias.

Diante deste cenário em que rápido atendimento, com qualidade e baixo custo, deixam de ser vantagens competitivas e tornam-se regras, há o surgimento de vários operadores logísticos. Neste contexto, todos os modos de transporte, começam a atrair a comunidade empresarial, e este fato traz um incremento significativo nos estudos, projetos e investimentos para o setor.

Acompanhando a história do transporte ferroviário no Brasil, é possível constatar que, após a implantação da primeira ferrovia em 1854, a Estrada de Ferro Mauá, que ligava o Rio de Janeiro a Petrópolis, houve um grande crescimento deste modal, impulsionado principalmente pela economia cafeeira. Nos anos que se seguiram, os investimentos na malha ferroviária brasileira foram sendo reduzidos, em movimento contrário aos países mais desenvolvidos, e os investimentos no modal ferroviário atingiram níveis tão baixos, principalmente durante o período pré-concessão, trazendo um grande sucateamento das ferrovias existentes. Este cenário pré-concessão do setor dos anos 80 até meados de 90 representou o menor nível de desempenho operacional do setor em toda a sua história, resultante de um longo período de baixos investimentos e de pouca conservação do parque instalado.

A situação começou a mudar com a concessão do setor em meados dos anos 90, quando se observa uma lenta, mas firme retomada dos investimentos, como pode ser constatada na Figura 1.

Nos anos 2000, o setor novamente começa a ter a relevância dentro do cenário nacional, com programas de investimento do governo federal e gestão profissional de concessionárias extremamente eficientes.

A Logística da Vale investiu 5,5 bilhões de dólares nos últimos cinco anos, e para o próximo quinquênio a previsão é de 11,48 bilhões de dólares (Revista Valor Econômico, 2009). Todos estes investimentos significam alta demanda de projetos para a área de planejamento de longo prazo, que enfrenta dificuldades de atendimento, principalmente por falta de ferramentas que possam ser utilizadas para o desenvolvimento de estudos e projetos com confiabilidade e precisão. Estas áreas utilizam com mais frequência modelos matemáticos ou analíticos para os dimensionamentos nos projetos. E também em menor escala utilizam *softwares* de simulação para a modelagem dos projetos mais críticos, mas com abordagem local, isto é, não vendo o efeito global em toda a cadeia logística daquela adição do novo projeto.

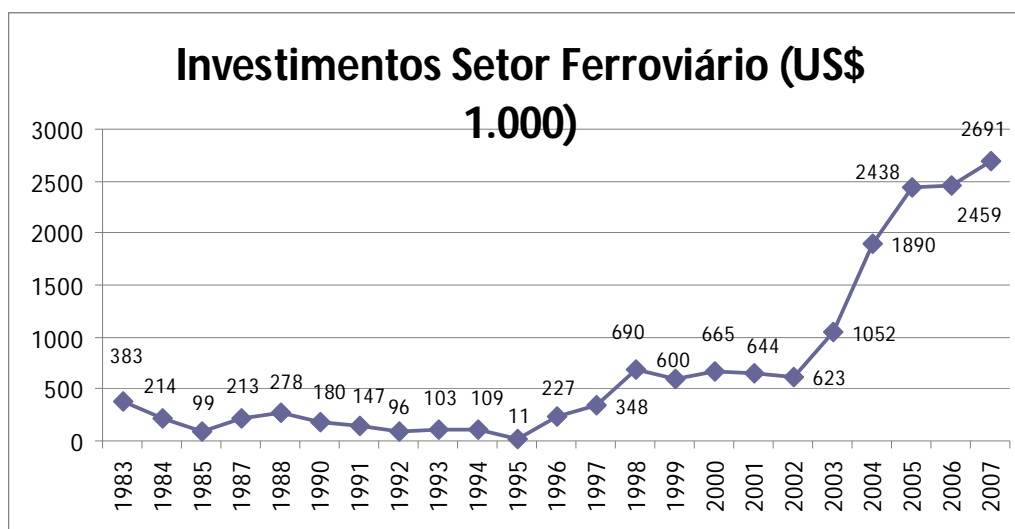


Figura 1: Investimentos no modal ferroviário de 1983 a 2007
(CNT, 2002) e (ANTT, 1999 a 2007)

A área de planejamento de curto prazo, que cuida do dimensionamento num horizonte de três meses, também carece de ferramentas que possam responder algumas questões, que hoje são respondidas por planilhas eletrônicas ou por modelos matemáticos ou analíticos.

Neste sentido, esta dissertação de mestrado busca por meio de uma revisão bibliográfica do tema “Modelagem e simulação da malha ferroviária em circuito fechado da Estrada de Ferro Vitória a Minas”, o desenvolvimento de modelo de simulação, que represente o circuito do minério de ferro. Desta forma as áreas de Planejamento terão maior suporte para medirem os efeitos da adição de novos projetos, podendo responder as várias questões do aumento de capacidade e também para atender as várias questões táticas que aparecem na operação no curto e médio prazo.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivos gerais

O objetivo desta dissertação é desenvolver uma ferramenta de simulação a eventos discretos pelo método de Monte Carlo, utilizando o *software* Arena versão 12, para a malha da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM). Este simulador será utilizado, para o horizonte de planejamento de longo e curto prazo, que suporte a tomada de decisões táticas e estratégicas, que permita:

- Identificar o comportamento dos principais indicadores desta ferrovia frente ao impacto do aumento ou redução do volume. Os principais indicadores de uma ferrovia são: Ciclo de vagões, quantidade de vagões necessários, quantidade de locomotivas necessárias, TKU (tonelada quilometro útil gerada), peso médio, Volume em toneladas gerado na descarga por cliente, Volume em tonelada gerado nos pontos de carregamento, etc.;
- Dar suporte a análise de cenários para auxílio à tomada de decisão;
- Responder as perguntas clássicas do tipo *What if ?* (o que ocorre se), que os cálculos apenas analíticos não conseguem respondê-las: O que ocorre se é mudado o tamanho dos trens de minério; o que ocorre se for

diminuído os trens de carga geral da malha; o que ocorre se é aumentado o peso médio dos vagões; o que ocorre se for incluído um novo ponto de carregamento (novos projetos); o que ocorre se for limitado o horário de funcionamento de um ponto de carregamento, etc.

1.2. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está dividido em seis capítulos.

No segundo capítulo é apresentada uma revisão de literatura sobre a modelagem para simulação de malhas ferroviárias, buscando conhecimento nos transportes em circuito fechado, verificando a sua adaptabilidade aos aspectos específicos abordados ao problema aqui tratado.

No terceiro capítulo, a descrição do problema é feita no contexto da aplicação à ferrovia considerada. Desta forma é discutida a cadeia de suprimento do minério de ferro, o modelo de planejamento e operacional do transporte de minério de ferro e do carvão na ferrovia, a infra-estrutura ferroviária, as ocorrências ferroviárias, a dinâmica e as decisões de direcionamentos dos trens vazios.

O quarto capítulo é dedicado ao desenvolvimento do modelo de simulação para a ferrovia, levando em conta o embasamento teórico discutido no capítulo dois, aplicado ao contexto do capítulo três. Portanto, neste capítulo são tratados a modelagem conceitual, o levantamento dos dados, a codificação do modelo, a verificação, a validação do modelo, projeto experimental, execução em produção e análise, documentação e implementação.

Por fim, as conclusões e recomendações são apresentadas no capítulo cinco.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para Shain (1999), as principais técnicas usadas para tratar os problemas de cálculo da capacidade de ferrovia estão categorizadas em três grupos: simulação, programação matemática e sistemas especializados.

Segundo Crainic e Laport (1997), um estudo estratégico, ou de longo prazo, engloba toda a empresa e normalmente envolve o mais alto nível da administração. As decisões estratégicas determinam o desenvolvimento geral da empresa e norteiam os planejamentos mais operacionais. Os autores apresentam exemplos importantes deste tipo de planejamento em uma empresa ferroviária:

- Planejamento de implementação, expansão ou redimensionamento de malha física;
- Localização de instalações, como pátios ferroviários, terminais intermodais, etc;
- Aquisição de equipamentos, como locomotivas;
- Definição do frete a ser cobrado.

Neste mesmo estudo, os autores definem planejamento tático, ou de médio prazo, como aquele em que se distribui ou aplica mais racionalmente os recursos já disponíveis na empresa. O planejamento operacional, ou de curto prazo, é descrito como sendo aquele realizado pelos administradores locais no dia a dia de cada instalação em um ambiente extremamente dinâmico e onde o tempo é um fator de grande peso nas decisões.

Segundo Campos (2009) as decisões do dia a dia (curto prazo) são suportadas por um planejamento tático (de médio prazo), o qual freqüentemente utiliza informações em um nível mais agregado e possui alcance sobre toda a

ferrovia. Este planejamento define, por exemplo, a escolha dos trens a serem operados (tamanho, trajeto e frequência), a definição do roteiro das cargas, a seqüência de trens e operações a serem realizados nos terminais desde a origem até o destino da carga.

Segundo Barros (2010), pode ser aplicada à distribuição dos trens para carregamento, técnica de pesquisa operacional, baseado na modelagem em redes. Desta forma são obtidos resultados para diferentes cenários de distribuição, permitindo que o analista operacional possa escolher aquele cenário que melhor se aplica às condições operacionais da via. A escolha deste melhor cenário pode levar a uma redução do tempo parado do ativo e assim aumentar sua produtividade, além de agilizar e tornar padrão o procedimento hoje adotado pelos programadores.

Na definição de Homer et al (1999), um estudo de nível estratégico é aquele que trata de problemas que ultrapassam os limites entre departamentos da empresa e as variáveis em análise têm um alto nível de agregação, ou seja, são vistas de forma global, diferentemente de estudos mais operacionais onde o foco é a melhoria do processo de determinado trem ou certo trecho da malha ferroviária.

A busca realizada mostrou que existem poucos trabalhos publicados na área ferroviária brasileira, provavelmente reflexo do período pré-concessão onde as ferrovias brasileiras sofreram um forte sucateamento, mas em contrapartida existem muitos trabalhos publicados internacionalmente. Os estudos encontrados foram classificados segundo o proposto por Petersen e Talyon (1982), que classificam modelos de análise de linhas ferroviárias em três categorias: descritivos (analíticos), simulação e otimização.

2.1. MODELOS DESCRITIVOS

Segundo Chwif e Medina (2007), os modelos descritivos ou analíticos podem ser vistos como um conjunto de fórmulas matemáticas, como por exemplo, os modelos de programação linear ou os modelos analíticos da teoria das filas. Estes modelos têm como vantagem o fato de não exigirem grandes recursos técnicos ou computacionais, e a desvantagem de não possuírem soluções analíticas para sistemas complexos, devendo-se utilizar hipóteses simplificadoras que poderão comprometer a confiabilidade dos resultados.

Outra forma de abordar o problema de capacidade de linha férrea é por meio da Teoria das Filas, método estudado por Guimarães (2005). Este estudo apresenta uma análise de capacidade de uma malha ferroviária utilizando o modelo da Teoria das Filas em trechos singelos.

2.2. MODELOS DE SIMULAÇÃO

Para Banks et al (2001), a simulação é a representação de um processo do mundo real. Ela envolve a geração de um sistema artificial e, por meio da observação deste sistema, são retiradas conclusões a respeito das características de operação do sistema real.

Para Prado (1999), simulação é a técnica de solução de um problema pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital.

Segundo Banks et al (1996), os modelos de simulação tornaram-se mais difundidos e bem aceitos no ramo da pesquisa operacional devido à disponibilidade de linguagens computacionais especializadas em estudos de simulação, o crescimento na capacidade computacional e nos avanços na metodologia de simulação. Ainda segundo estes autores, a simulação é a ferramenta adequada quando se necessita estudar e fazer experimentações

com as interações entre elementos de um sistema complexo, experimentar novas políticas de operação antes de sua implementação, ou mesmo para verificar e confirmar o resultado de um estudo analítico. Chwif e Medina (2007) afirmam que os sistemas reais, geralmente, apresentam uma maior complexidade, devido principalmente, a sua natureza dinâmica (que muda o seu estado ao longo do tempo) e a sua natureza aleatória (que é regida por variáveis aleatórias). O modelo de simulação consegue capturar com fidelidade essas características, procurando repetir em um computador o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno.

2.3. MODELOS OTIMIZANTES

Quanto aos modelos de otimização, Chwif e Medina (2007) afirmam que a simulação computacional apresenta uma série de vantagens, mas ainda possui algumas limitações: a simulação é uma ferramenta que responde a perguntas do tipo “O que ocorre se?” (*What-if questions*), neste sentido a simulação é uma ferramenta avaliadora de soluções, e, não geradora de soluções. Uma nova abordagem que faz com que esta condição comece a ser mudada é a utilização de técnicas de otimização na simulação computacional.

Chwif e Medina (2007) afirmam que tipicamente um problema de otimização pode ser formulado por meio de uma função objetivo (ou medida de desempenho), onde se deseja maximizar ou minimizar, sujeito a um conjunto de restrições – equações que delimitarão os valores que as variáveis podem assumir. Um problema de otimização pode conter muitas variáveis, sejam estas inteiras, reais, binárias, etc. Resolver o problema de otimização se resume a determinar os valores ótimos destas variáveis (que minimizam ou maximizam uma função objetivo).

Ainda segundo estes autores, de acordo com a formulação e as variáveis envolvidas, podem se utilizar diversos métodos de solução. Por exemplo, se a

função objetivo e as restrições forem constituídas por combinações lineares das variáveis, pode ser resolvido o problema de otimização por meio da programação linear. Caso a formulação tenha variáveis inteiras, podem ser aplicadas técnicas derivadas de busca em árvore (*Branch and Bound*, *Bema Search*, etc), esta técnica foi aplicada nos trabalhos de Campos (2009) e Barros (2010). Caso a formulação seja não-linear, podem ser aplicadas técnicas de busca heurística. Em muitos casos as técnicas utilizadas não garantem o ótimo e, portanto são chamadas de técnicas “sub-otimizantes”. As novas técnicas de busca, ou Meta-heurística, como o *Genetic Algorithm*, o *Simulated Annealing* e o *Tabu Search*, são considerados técnicas sub-otimizantes. A utilização da otimização pode implicar em alguns inconvenientes. O primeiro é a limitação na modelagem de sistemas complexos. Ao introduzir aspectos dinâmicos e muitas variáveis, o modelo de otimização fica difícil de ser construído, podendo se tornar extremamente complexo. Por outro lado se é conseguido elaborar um modelo simples de otimização, pode não encontrar uma técnica de solução apropriada, impedindo a resolução do problema de otimização. O grande desafio é como juntar simulação e otimização de modo que possa minimizar as desvantagens de cada uma delas.

2.4. METODOLOGIA A SER UTILIZADA NA MODELAGEM E SIMULAÇÃO

Banks et al (2000) apresenta os conceitos e exemplos de simulação, discute as vantagens e desvantagens da simulação e define a metodologia que deve ser utilizada para os estudos de simulação.

A metodologia de Banks et al (2000) segue doze passos apresentados na Figura 2. Estes mesmos passos também são encontrados nos artigos de Pedgen, Shannon e Sadowski (1995) e Law e Kelton (2000):

- **Formulação do Problema (Passo 1)** - Cada estudo começa com uma definição do problema. Se for o cliente que fornece a definição do problema, o analista de simulação deve ter um extremo cuidado para se assegurar de que o problema é claramente compreendido. Se a definição do problema é fornecida pelo analista de simulação, é importante que o cliente compreenda e concorde com esta definição. Sugere-se que um conjunto de premissas seja preparado pelo analista e que seja da concordância do cliente. Mesmo com todas essas precauções, é possível que o problema tenha que ser reformulado com o avanço do estudo da simulação;
- **Definição dos objetivos e planejamento do projeto (Passo 2)** - Uma forma de abordar esta etapa é “preparar uma proposta.” Esta proposta deve ser elaborada em conjunto (analista e cliente), como também pode ser feita por um consultor externo ou interno. Os objetivos devem indicar as perguntas que devem ser respondidas pelo estudo da simulação. O planejamento do projeto deve incluir todos os cenários que serão investigados e também deve ter um cronograma detalhado, informando os recursos necessários no desenvolvimento, do hardware e software, a participação dos clientes nas fases de definição e validação, os produtos de cada estágio e os custos do estudo;
- **Modelo Conceitual (Passo 3)** - O sistema do mundo real sob investigação é abstraído por um modelo conceitual, que é representado por uma série de relações matemáticas e lógicas dos componentes e das capacidades do sistema. Recomenda-se que a modelagem comece de forma simples e que o modelo cresça até atingir um modelo de complexidade apropriada. Por exemplo, considere o modelo de um sistema de Manufatura, que é formado com as chegadas e as filas, então, são adicionadas as programações e as falhas. Em seguida e posteriormente as capacidades de produção. Finalmente, são adicionadas as características especiais do sistema de manufatura. Quando são construídos modelos complexos, custos e tempo são adicionados, sem aumentar a qualidade das saídas. A qualidade e a confiança do modelo resultante aumentarão significativamente, se os clientes estiverem envolvidos full-time em todas as fases da modelagem;

- **Levantamento dos dados (Passo 4)** - Depois que a proposta “é aceita” pelo cliente, o analista de simulação deve preparar um planejamento para que o cliente possa fazer o levantamento dos dados. Na melhor das circunstâncias, o cliente faz o levantamento dos dados necessários no formato solicitado em meio eletrônico. Mais na maior parte das vezes, o cliente informa apenas a localização dos dados solicitados. Entretanto, é muito comum na entrega dos dados pelos clientes, a constatação que os dados são completamente diferentes dos que foram solicitados inicialmente. Por exemplo, na simulação de um sistema de reserva aérea, o analista recebeu a informação inicial: “nós temos todos os dados solicitados dos últimos cinco anos.” Mas na entrega dos dados, estes eram a média das reservas de cada ano, mas o que foi requisitado eram os registros individuais e não os consolidados. A construção do modelo e o levantamento dos dados como mostrado na Figura 2, podem ser feitos em paralelo, portanto a construção do modelo pode ser feito enquanto o levantamento dos dados está em andamento;
- **Codificação (Passo 5)** - O modelo conceitual construído no passo três é codificado em um computador de forma que seja conhecido por um modelo operacional de simulação;
- **Verifique? (Passo 6)** - A verificação se preocupa se o modelo operacional está sendo executado corretamente. Mesmo para modelos pequenos, é possível ter dificuldades de verificação. É altamente recomendável que a verificação seja um processo contínuo. O analista de simulação não deve esperar que o modelo fique completo, para iniciar o processo de verificação. Além disso, a utilização de um controlador interativo, ou depurador, é muito recomendado para auxiliar o processo de verificação;
- **O Modelo está Validado? (Passo 7)** - A validação é a determinação de que o modelo conceitual é a representação precisa do sistema real, isto é, o modelo pode substituir o sistema real para fins de experimentação. Caso exista um sistema real, poderá ser chamado de sistema básico e, em seguida, uma maneira ideal para validar o modelo é comparar produção do

modelo simulado com a do sistema básico. Infelizmente, nem sempre existe um sistema básico, mas felizmente existem muitos métodos para a realização de validação;

- **Projeto experimental (Passo 8)** - Para cada um dos cenários que está sendo simulados, as decisões devem estar focadas no tamanho da rodada da simulação, no número de rodadas (também chamados de replicações), e no modo de inicialização da simulação (*warm-up*);
- **Execução em produção e análise (Passo 9)** - A execução do modelo em produção, e a sua posterior análise, são usadas para calcular as medidas de desempenho para os cenários que estão sendo simulados;
- **Mais execuções? (Passo 10)** Com base na análise das execuções que foram concluídas, o analista de simulação determina se serão necessárias execuções adicionais ou se é necessário adicionar novos cenários a serem simulados;
- **Documentação e relatórios (Passo 11)** - A documentação é necessária por vários motivos. Se o modelo de simulação for utilizado por outros analistas, será necessário compreender a forma de operação do modelo. Esta facilidade de compreensão por outros analistas permitirá a confiança na simulação do modelo, fazendo com que o cliente possa tomar decisões baseadas em análise. Além disso, se o modelo tiver que ser modificado, será bastante facilitado se tiver a documentação adequada. Os resultados de todas as análises devem ser documentados de forma clara e concisa. Isso permitirá que o cliente possa rever a sua formulação final, as alternativas que foram abordadas, os critérios pelo quais os cenários alternativos foram comparados, os resultados dos experimentos, e as recomendações, se for o caso;
- **Implementação (Passo 12)** - O relatório elaborado no passo 11 sustenta o trabalho do analista de simulação e dará todas as informações necessárias

para a tomada de decisão por parte do cliente. Caso o cliente esteve envolvido em todas as fases do projeto e se o analista de simulação seguiu todos os passos desta metodologia, se terá um aumento na probabilidade de uma implementação bem sucedida.

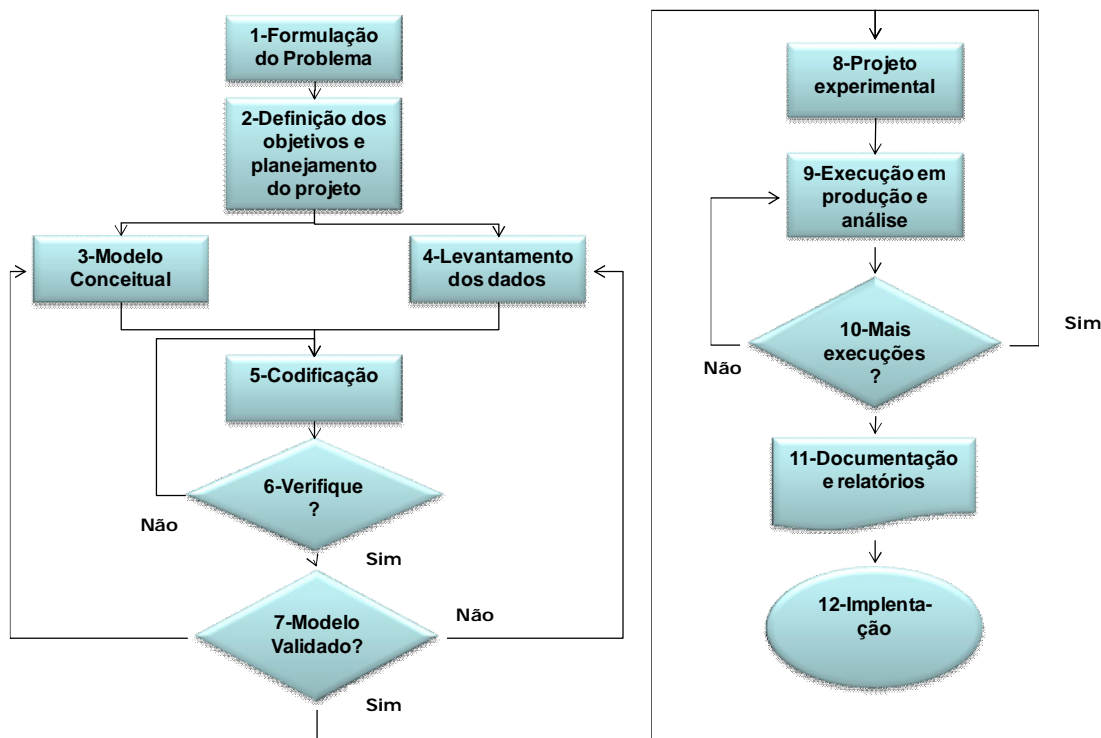


Figura 2: Metodologia de Banks et al (2000)

Segundo Pater e Teunisse (1997), em um estudo de casos de simulação grande e complexo, o fator de sucesso mais importante é a forma com que o analista de simulação modela a realidade, seguido da escolha do nível adequado de abstração. Estes autores trazem uma metodologia estruturada em 5 fases: método de planejamento, abordagem gerencial, abordagem da modelagem, método de trabalho e método de suporte. Esta estruturação é apresentada na Figura 3.

- **Método de Planejamento** - As limitações neste estudo de caso resultaram nas seguintes conclusões depois de um estudo inicial:

- O Resultado do projeto é melhor com um mínimo esforço de modelagem;
 - O nível de abstração que é escolhido para o estudo de simulação está diretamente relacionado ao tempo e esforço necessário na criação do modelo;
 - Quando não existem informações detalhadas, é necessário criar hipóteses e este projeto de simulação só será válido quando as hipóteses definidas são válidas;
 - Se estas hipóteses levarem a uma satisfação nos resultados, mostrando aderência à realidade, elas podem, portanto se constituir na base sobre a qual o cliente tomará as suas decisões;
- **Método de Trabalho** – Nesta etapa também é utilizado um alto nível de abstração, fazendo uma abordagem *top-down*, onde são definidos os processos que deverão ser modelados. O esforço e o tempo gastos nesta fase ainda são pequenos e alguns resultados preliminares podem ser validados com os clientes;

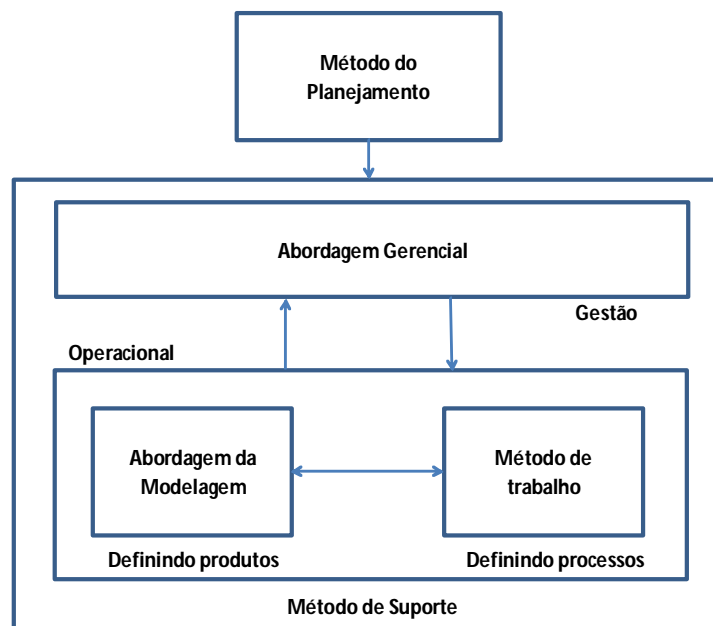


Figura 3: Esquemático da metodologia de Pater e Teunisse (1997)

- **Abordagem da modelagem** – Nesta etapa são modelados os processos, os produtos que serão entregues e os objetos de alto nível que podem ser modelados como *template*;
- **Método de suporte** – Nesta fase os objetos de alto nível são transformados em *template*, para isto o *software* de simulação a ser utilizado, tem que suportar este desenvolvimento. Estes objetos são construídos na ferramenta de simulação, por uma analista de simulação e ficam armazenadas em bibliotecas específicas, onde serão utilizados no momento do desenvolvimento do modelo completo. A *template* é uma coleção de definições por parte dos usuários, que é reutilizável, que são modelados em blocos e compostos por lógica, interface, animação e indicadores de desempenho. As principais vantagens do uso da *template* são: a velocidade de utilização das *template* no modelo completo, as *template* podem ser testadas mais facilmente fora do modelo completo; uma vez construído e testado estas *template* escondem a sua complexidade, ficando o analista de simulação mais focado nas funcionalidades principais do modelo ao invés de se preocupar com problemas técnicos; permite que várias pessoas do projeto manipulem as *template* criadas, sem ser necessário um extenso treinamento e o uso de *template* reduz o risco de se construir um modelo completo com muitos detalhes, porque estes detalhes ficam ocultos nas funcionalidades das *template*;
- **Abordagem gerencial** – Nesta fase é composta de métodos e técnicas de controle e gerenciamento de projeto. O método de trabalho será mais bem sucedido quando integrados em um ambiente controlado e com processos interativos entre os clientes e os analistas de simulação. Nesta fase é importante a separação do projeto em subprojetos que são validados dentro do ciclo de desenvolvimento do modelo completo, onde os clientes têm a oportunidade de validar e apresentar opinião durante a evolução do projeto. Caso alguma hipótese ou resultado não seja validado é necessário o ajuste do modelo, pois esta abordagem traz um vínculo muito forte, trazendo um alto nível de comprometimento com os clientes.

Dos trabalhos pesquisados na construção de simuladores para a Estrada de Ferro Vitória a Minas destacam-se dois trabalhos:

- A construção, junto a uma consultoria, de um simulador de trens para a EFVM em 2002. O contrato para elaboração deste projeto foi encerrado antes de ser finalizado, e o produto que foi entregue apresentou algumas inconsistências nos inputs de dados e algumas simplificações que não deixaram o modelo operacional;
- O estudo feito por Fioroni (2008), que é a tese de doutorado “Simulação em Ciclo Fechados de Malhas Ferroviárias e suas Aplicações no Brasil: Avaliação de Alternativas para o Direcionamento de Composições”. A modelagem de Fioroni (2008) propõe uma solução de simulador aderente a qualquer ferrovia para ferrovia com trem de cargas unitárias.

2.5. TRABALHOS MAIS RELEVANTES

Analisando as definições dos autores quanto à modelagem descritiva (analítica), por simulação e por otimização, a melhor alternativa para a modelagem de sistema complexo, regido por muitas variáveis aleatórias é a modelagem por simulação.

Portanto, para capacitar as áreas planejamento de longo e curto prazo de ferramental para agilizar seus processos, com confiabilidade e precisão é necessário um modelo que represente o modo ferroviário de transporte da cadeia logística do minério de ferro do Sistema Sudeste da Vale e esta dissertação propõe o desenvolvimento deste modelo de simulação.

Quanto a metodologia será empregado a abordagem de Banks et al (2000) que é constituída de 12 passos, vide Figura 2, e também por se tratar de um modelo grande e complexo será utilizado os conceitos de *template* definidos na metodologia de Pater e Teunisse (1997), vide Figura 3.

A modelagem desenvolvida neste trabalho irá focar nos processos do transporte ferroviário do minério de ferro e no transporte de retorno do carvão mineral. Estes processos são: o carregamento, circulação de trens e descarga nos portos para o Mercado Externo e clientes do mercado interno. Portanto, os processos de produção do minério, produção de pelotas, embarque de navios não serão abordados. Os trens de carga geral e de passageiros também serão modelados, devido aos impactos que geram nos trens do circuito do minério.

Uma das dificuldades desta pesquisa é a busca por um modelo de simulação que consiga representar da melhor maneira possível o sistema real da EFVM.

As limitações do tema estão relacionadas ao modelo de simulação em trechos duplos, que poderá exigir um esforço computacional que dependendo do nível de detalhamento e complexidade poderá tornar inviável esta modelagem. Chwif e Medina (2007) citam que há um consenso na comunidade de simulação de que um modelo simples é sempre preferível a um modelo complexo. Um modelo, tanto para o projetista que o criou, quanto para o seu usuário final deve ser simples, pois um modelo simples é mais fácil de compreender, modificar, implementar e analisar. Alguns autores afirmam que “a simplificação é a essência para a simulação”.

O grande desafio nestes estudos é a correta representação do comportamento do trem na malha, e as decisões humanas envolvidas na resolução dos conflitos que ocorrem. A modelagem do processo de decisão humano em ferramentas computacionais é sempre uma tarefa desafiadora. A maneira mais comum de abordar o problema é encontrar as regras mais comuns que regem o processo, ou adotar regras ainda mais simples. Por exemplo, em várias simulações de movimento de trens em malhas ferroviárias, o desenvolvedor escolhe não modelar os conflitos de trens em grande detalhe, aplicando um acréscimo de tempo de movimento para representar estas situações. Isto torna o trabalho de modelagem mais simples, mas ao custo de perda de precisão nos resultados. Alguns estudos não podem ser realizados com modelos que adotam tais simplificações, como o estudo de expansão de linhas ou pátios de cruzamento. Portanto, nas malhas onde circulam estes trens, não é possível

realizar estudos de simulação que representem seu correto comportamento sem atuar neste nível de detalhe, e o modelo deve ser capaz de validar frente ao sistema real, caso contrário, seus resultados perdem credibilidade.

No projeto desenvolvido para a EFVM por uma empresa de consultoria em simulação no ano de 2002 os principais problemas encontrados na modelagem quanto à simplificação do modelo e alguma inconsistência são:

- Considerado no modelo uma mesma linha singela a partir do pátio de cruzamento Laboriau com destino aos pátios de carregamento de João Paulo e Conceição: Na malha estes trechos são uma linha singela para cada destino (João Paulo e Conceição). Esta simplificação não é adequada, pois este trecho representa aproximadamente 50% da frequência diária de trens, gerando impacto de aumento do ciclo e menor utilização da capacidade das minas;
- Período da simulação compreende apenas 30 dias: Esta restrição se agrava devido a não existência de período de *warm-up*, que o período necessário para o aquecimento do modelo no início da simulação. O aumento do período de simulação eliminaria o impacto desta simplificação;
- Não está modelada a ultrapassagem de trens: Já que no modelo existem trens de velocidades e prioridades diferenciadas, esta é uma premissa importante, pois, gera impacto no ciclo dos trens e conseqüentemente no ciclo médio do período simulado;
- Não é considerada contingência de via na linha singela: Na linha singela não existe parametrização para representar os eventos corretivos relativos à via permanente e trens;
- Não está incluso no modelo, a estatística de paradas não programadas nos equipamentos de carga e descarga;

- A descarga de minério de ferro da siderúrgica Usiminas no pátio de Intendente Câmara no município de Ipatinga-MG, que está situado à 407 quilômetros do pátio de Tubarão, nesta modelagem foi localizado no pátio de Tubarão. Esta simplificação gera impacto de aumento de ciclo (trecho Intendente Câmara até Tubarão), além de afetar o tempo de ciclo dos outros trens com destino ao pátio de Tubarão, que competem pelo mesmo recurso de via;
- Tempo de *transit-time* dos trens de três lotes igual ao dos trens de dois lotes, isto na prática é diferente, pois estes trens têm configuração diferente de locomotivas e pesos transportados.

Na tese de doutorado “Simulação em Ciclo Fechados de Malhas Ferroviárias e suas Aplicações no Brasil: Avaliação de Alternativas para o Direcionamento de Composições”, estudada por Fioroni (2008) é fundamentada principalmente na ferrovia brasileira MRS. O trem de ciclo fechado é uma terminologia para representar um trem que realiza movimentos cíclicos de carga, circulação descarga.

Avaliando este estudo, serão necessárias algumas revisões para que suas premissas fiquem aderentes a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM):

- Na tese de Fioroni (2008) a unidade de carregamento é o trem, enquanto para a EFVM a unidade de carregamento é o lote de vagões: um trem na EFVM pode transportar um, dois ou três lotes. Esta definição do Fioroni (2008) facilita em muito os algoritmos do simulador, visto que o trem é indivisível, seus vagões andam sempre juntos, mas esta definição não se aplica a EFVM, que tem três pontos onde o trem é desfeito, para ser refeito mais adiante. Portanto, este conceito gera para a EFVM a necessidade de desmembramento e formação de trens em pátios intermediários, visto que existem pontos de carregamento, que só conseguem carregar apenas um lote por vez;

- O pátio da descarga no modelo do simulador da MRS não apresenta pátio para recebimento dos trens para a descarga. Qualquer problema de manutenções programadas ou corretivas no sistema de descarga provoca uma fila de trens ainda em circulação, o que não acontece na ferrovia EFVM, sendo possível o desvio de 14 lotes, por exemplo, no pátio de Tubarão;
- Foi mudada a terminologia “Trem direto” para “Trem de grade”, por ser mais adequado inclusive para o modelo operacional da MRS. Os trens de grade que tem como característica principal o fato de entrar na malha, parar em estações intermediárias para cumprir programa de atividades (por exemplo, anexar ou desanexar vagões);
- É necessário modelar os trens de passageiros, pois o trem de passageiro alterna seu movimento entre as linhas nos trechos duplos e singelos da malha ferroviária devido à posição das plataformas de embarque e desembarque de passageiro. Este movimento e com prioridade traz grande perturbação para a circulação dos trens de minério de ferro;
- A modelagem de Fioroni (2008) permite o controle de mais de um trem de ciclo, sendo que para a EFVM só será tratado nesta dissertação o trem de ciclo, que é o trem que transporta o minério de ferro e carvão mineral;
- A modelagem na tese de Fioroni (2008) propôs um modelo genérico que se adequasse a qualquer ferrovia, só que analisando no detalhe o código fonte deste modelo, foram encontrados muitos tratamentos de exceção específicos da ferrovia MRS. Portanto, para que este modelo da MRS se adapte a qualquer ferrovia, será demandado um esforço muito grande de modelagem, pois geralmente ferrovias são ambientes complexos, fazendo com que a probabilidade de reaproveitamento de solução seja muito baixa, visto que cada ferrovia tem as suas

particularidades. A busca de um modelo genérico traz um esforço de modelagem muito maior, do que se fosse feito com objetivo de atender a apenas uma ferrovia. Desta forma a estratégia de desenvolvimento não buscará desenvolver um modelo genérico, e sim um modelo particular para atender a Estrada de Ferro Vitória a Minas.

3. PLANEJAMENTO E OPERAÇÃO DO TRANSPORTE

3.1. ELEMENTOS DO SISTEMA FERROVIÁRIO

3.1.1. Infra-estrutura

A infra-estrutura da malha é constituída dos seguintes elementos:

- Linha Singela: linha férrea que permite a circulação de trens em um único sentido por vez. A Figura 4 ilustra esta definição;
- Linha Dupla: linha férrea duplicada, que permite a circulação de trens nos dois sentidos simultaneamente ou a ultrapassagem de trens no mesmo sentido com velocidades diferentes. A Figura 4 ilustra esta definição;
- Pátios Ferroviários: São os locais da malha ferroviária onde se localizam as linhas de cruzamento, linhas de carga / descarga e linhas de atividade, onde o trem pode sair da linha de tráfego. Nestas linhas de atividades podem ser realizadas atividades de desmembramento de trens, formação de trens, troca de equipagem (maquinistas), abastecimento, manutenções preventivas em vagões e locomotivas ou aguardar em fila para carga ou descarga deste mesmo pátio ou em outro pátio. Portanto, os pátios ferroviários podem ser pátios de cruzamento, pátios de carga / descarga ou pátio de manobras. A Figura 5 ilustra esta definição;
- Pátio de cruzamento: Trechos de linha com duas ou mais linhas de tamanho fixo, permitindo que, em linhas singelas, os trens estacionem em uma das linhas, liberando a passagem para trens que estão circulando em sentido contrário. Para este caso o comprimento do trem tem ser menor que o tamanho do pátio. A Figura 6 apresenta o funcionamento do pátio de cruzamento;

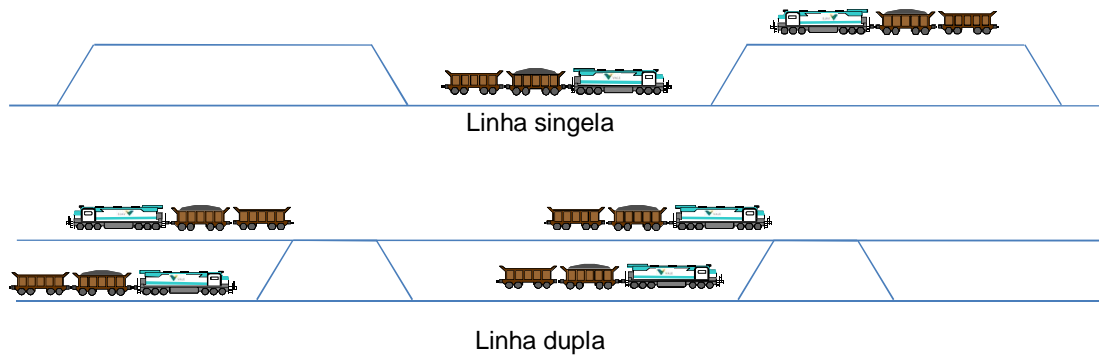


Figura 4: Linha singela e linha dupla

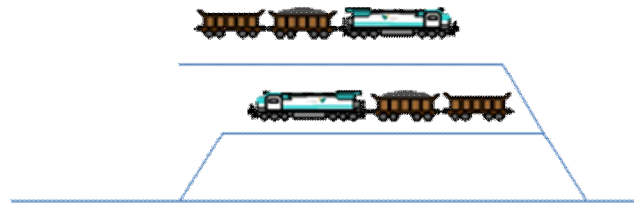


Figura 5: Pátio ferroviário

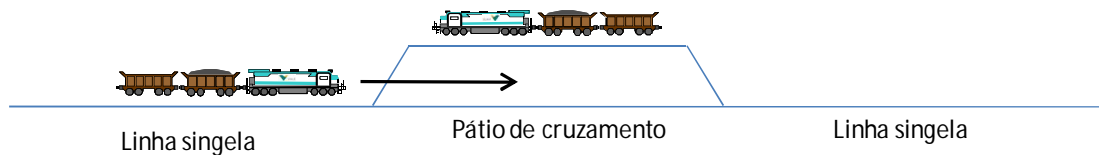


Figura 6: Pátio de cruzamento

- Pátios de carregamento / descarga: Pátios onde estão disponíveis linhas adicionais de carga ou descarga, onde o trem interrompe o seu movimento para realizar a operação. Estas atividades são feitas fora das linhas de trânsito, ou seja, os outros trens que circulam pela linha não sofrem a interferência desta atividade. Caso se tenha vários trens destinados para o mesmo pátio nas proximidades do ponto de carregamento, será formada uma fila aguardando que ficará aguardando a liberação para carregamento. Os pátios de carga e descarga podem

também ter o formato de pêra ferroviária. Neste caso particular o trem entra, roda a pêra e sai sem alterar a ordem dos vagões e locomotivas da composição, reduzindo manobras de inversão de locomotivas necessárias para o retorno após o carregamento nos casos de pontos de carregamento sem pêra;

- **Pátios de atividade:** Pátios que possuem linhas adicionais de estacionamento, onde o trem pára com o objetivo de realizar troca de equipagem (maquinistas), abastecimento, inspeção de rotina, desmembramento e formação de trens. Tem característica semelhante à dos pátios de carga / descarga, ou seja, o trem realiza a atividade sem interferir no movimento dos outros trens. Neste caso pode ter a exceção de um trem fazer uma atividade na linha sinalizada interferindo na circulação dos trens em sua proximidade;
- **Setor de pátio:** É formada por um subconjunto de um pátio ferroviário, onde as linhas ferroviárias pertencentes a este setor têm determinada função no pátio ferroviário. No pátio ferroviário de Tubarão, existem os setores de pátio: Recepção, Descarga Porto e Arcelor Mittal, Estacionamento, Classificação, Limpeza de vagões, Carregamento de carvão e Formação;
- **Seções de Bloqueio (linhas sinalizadas):** Equipamentos que utilizam sensores ou fazem a localização por satélite, permitindo que a Sala de Controle de Tráfego, tenha os posicionamentos reais dos trens na malha. Em cada seção de bloqueio só pode existir um trem. Uma linha singela pode ter mais de uma seção de bloqueio, permitindo, por exemplo, que entre dois pátios de cruzamento sejam colocados mais de um trem no mesmo sentido em fila com segurança, este caso é mostrado na Figura 7;
- **Linhas não sinalizadas:** Trecho entre pátios de cruzamento sem qualquer controle eletrônico sobre o posicionamento do trem. O tráfego nestes trechos é feito mediante autorização da sala de controle, e apenas um trem pode circular de cada vez;

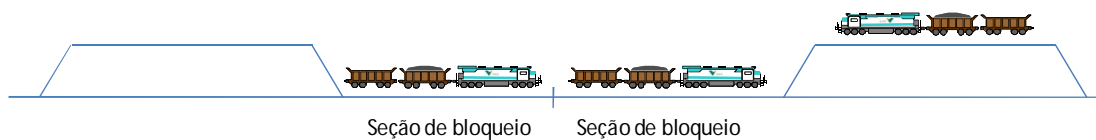


Figura 7: Seções de bloqueio

- **Segmento:** São linhas ferroviárias triplas, duplas ou singelas que fazem a ligação entre pátios. Os segmentos podem ser sinalizados ou não. Se o segmento é sinalizado permite que um ou mais trens possam circular entre pátios de cruzamento, senão é sinalizado apenas um trem pode circular entre pátios de cruzamento quando em linha singela, conforme conceito de sinalização da EFVM. A Figura 8 representa segmentos de uma malha ferroviária;

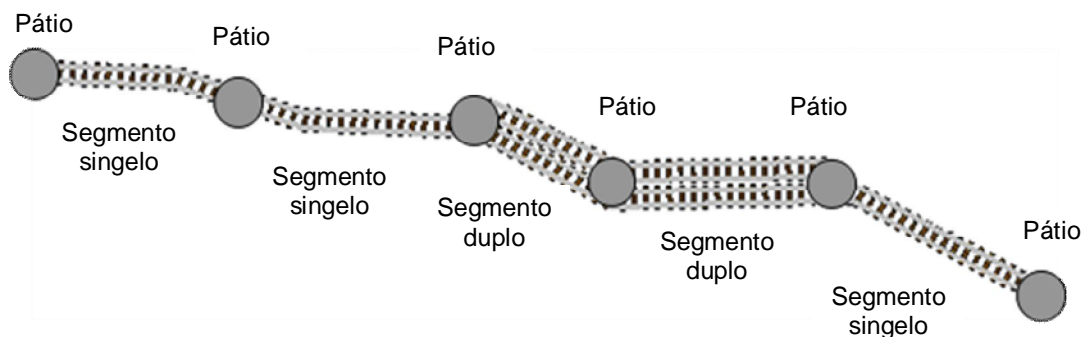


Figura 8: Representação de segmentos de malha

- **Entroncamentos:** Convergência de três ou mais linhas da malha. A Figura 9 representa os entroncamentos de uma malha ferroviária;
- **Trechos:** São os conjuntos de pátios e segmentos consecutivos, localizados entre dois entroncamentos. A Figura 10 representa os trechos de uma malha ferroviária.

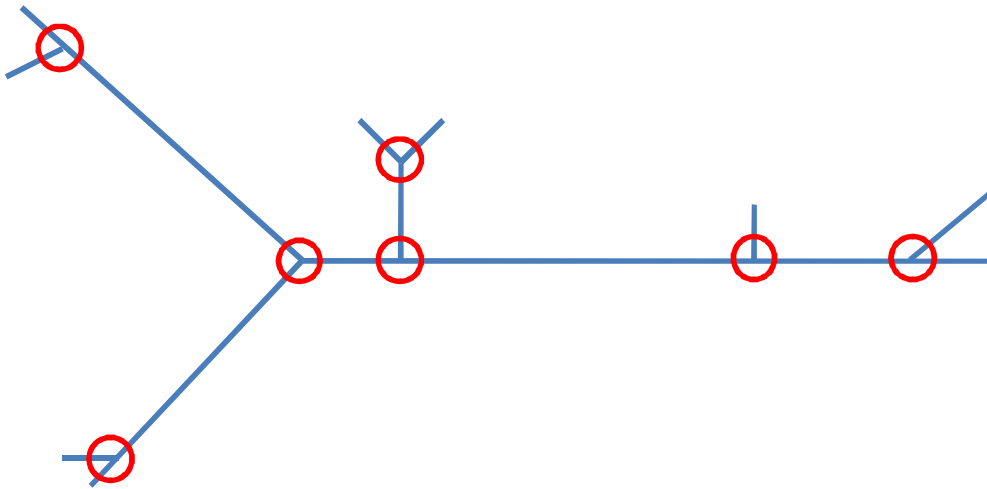


Figura 9: Entroncamento da malha ferroviária

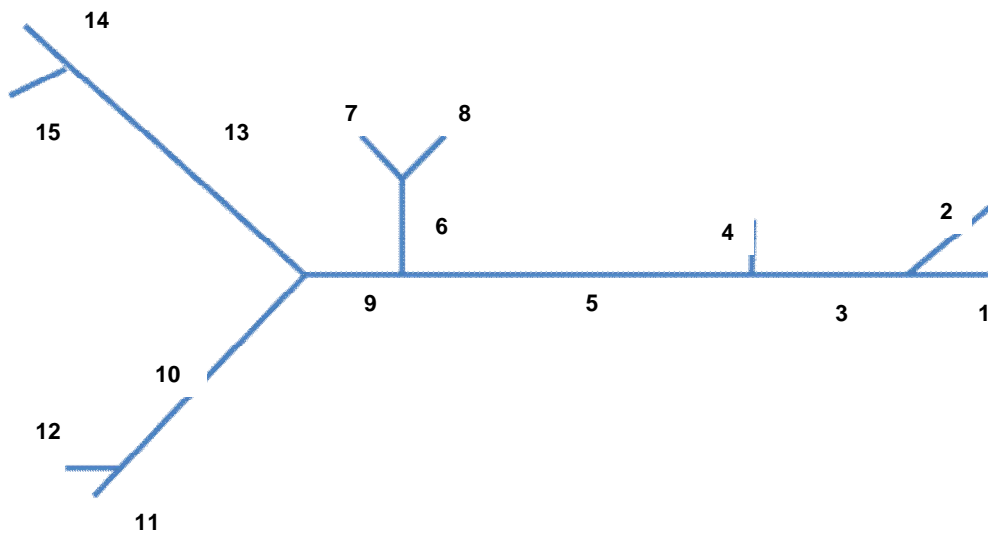


Figura 10: Trechos da malha ferroviária

3.1.2. Equipamentos em circulação

Os trens que circulam pela malha podem ser de diversos tipos, dependendo de sua finalidade ou tipo de serviço a realizar. Segundo Fioroni (2008) os trens podem ser de dois tipos: direto e de ciclos. Neste ponto será feito uma revisão de conceitos, pois para ficar adequado ao invés de utilizar o nome “trem direto” será utilizado o nome “trem de grade”. O trem de grade tem como característica principal o fato de entrar na malha, parar em estações intermediárias para cumprir o programa de atividades (por exemplo, anexar ou desanexar vagões).

3.1.2.1. Trem de ciclo

Para Fioroni (2008), o trem de ciclo é o trem de carga dedicado ao transporte de cargas unitárias em grandes volumes. No caso da Estrada de Ferro Vitória às Minas, o trem de ciclo é o que transporta minério de ferro e carvão mineral.

O minério de ferro é a principal carga deste tipo de trem e o carvão mineral é o transporte de retorno aproveitando parte dos vagões vazios que retornam para novo carregamento de minério de ferro.

Este tipo de trem conduz lotes de vagões que tem a característica de ter pequena variação no seu comprimento (quantidade de vagões) e geralmente seguem um ciclo fechado dos pátios de carregamento até os pátios de descarga, depois retornam para os pátios de carregamento, repetindo continuamente este ciclo.

Cada conjunto de 84 vagões da série GDE, que são descarregados em virador de vagões, forma um lote de vagões. O trem de ciclo de minério pode levar um, dois ou três lotes nas configurações praticadas hoje na Estrada de Ferro Vitória a Minas. O transporte de minério de ferro é feito a partir de onze pontos de carregamentos distribuídos ao longo da EFVM no estado de Minas Gerais com destino ao mercado externo e interno.

Para o mercado externo, o destino é o pátio do Porto de Tubarão na cidade de Vitória, atendendo aos embarques de minério de ferro para exportação, e as Usinas de Pelotização. Em Tubarão o minério de ferro é transformado em produto de maior valor agregado que é a pelota, sendo também embarcada no Porto de Tubarão para exportação.

Para o mercado interno existem três destinos: a Arcelor Mittal no pátio de Tubarão, a Usiminas atendida pelo pátio de Intendente Câmara na cidade de Ipatinga (MG) e Açominas atendida pelo pátio de Ouro Branco, na cidade de mesmo nome, Ouro Branco (MG).

O transporte de carvão mineral (transporte de retorno) atende aos clientes Usiminas e Açominas. Os lotes de vagões GDE's com carvão mineral são carregados no pátio de Tubarão e descarregados respectivamente na cidade de Ipatinga (MG) para a Usiminas e Ouro Branco (MG) para a Açominas. Após a descarga os lotes vazios seguem para os pátios de carregamento de minério de ferro. A Figura 11 representa o Trem de Ciclo.

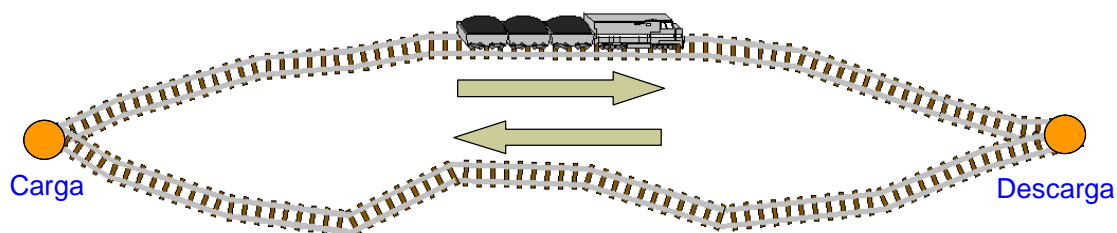


Figura 11: Trem de Ciclo

3.1.2.2. Trem de grade

Este tipo de trem em circulação pode ter dois subtipos: Trem de carga geral e Trem de passageiro.

O trem de Carga geral é o trem que transporta soja, farelo de soja, produtos siderúrgicos, celulose, escória, ferro silício e outros. Este trem geralmente é formado em um pátio de origem, entra na linha em um horário pré-determinado e segue um caminho fixo pela malha até chegar ao terminal de destino. Em sua rota este tipo de trem pode desanexar vagões e / ou anexar vagões em clientes diversos, deixar locomotivas e / ou pegar locomotivas, trocar equipagem, fazer abastecimento, etc. No final do percurso do trem de grade, este é encerrado, e os recursos de locomotiva, vagões e equipe são disponibilizados.

O trem de Passageiro possui característica semelhante aos trens de grade, que é formado periodicamente em um pátio de origem, parte para a linha em um horário pré-determinado e segue um caminho fixo pela malha até chegar ao terminal de destino. Geralmente tem velocidade média admissível (VMA) superior aos outros tipos de trem, na sua rota este tipo de trem pode embarcar e/ou desembarcar passageiros e é um trem prioritário sobre todos os outros tipos. A Figura 12 representa o Trem de Grade.

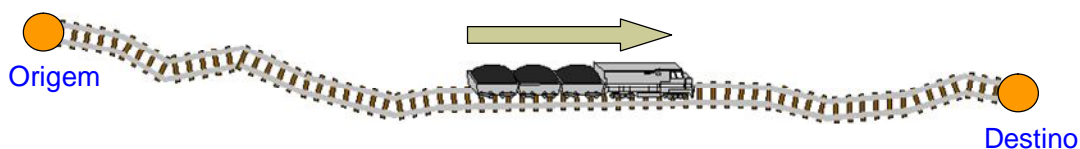


Figura 12: Trem de Grade

3.1.2.3. Locomotivas *helper*

As locomotivas *helper* são as que ficam posicionadas em alguns pontos específicos da ferrovia onde o aclive é muito acentuado. O objetivo do *helper* é ajudar os trens mais pesados que precisem vencer o aclive. Estas locomotivas *helper* são posicionadas na cauda dos trens. Uma vez percorrido o trecho em aclive, a locomotiva é retirada deste trem, e retorna escoteira até o pátio inicial. Dependendo da intensidade de circulação no trecho e de sua extensão, pode

haver várias locomotivas de *helper*, e o seu retorno pode ser feito em comboio (várias locomotivas helpers juntas).

3.1.2.4. Locomotivas escoteiras

O termo “escoteira” é usado para denominar uma locomotiva circulando sem vagões. Este movimento ocorre quando um trem é desmembrado em um pátio e suas locomotivas são necessárias em outro, onde será formado um novo trem. O termo locomotiva escoteira também é utilizada no retorno da locomotiva help, conforme a seção 3.1.2.4.

3.1.2.5. Outros trens e equipamentos ferroviários

Existem outros trens que podem circular pela malha para realização de testes na linha férrea ou reparos, para o transporte de equipes de manutenção, para manutenção mecanizada da via, etc. Geralmente estes movimentos ocorrem nos intervalos de passagem de outros trens evitando provocar interferência.

Esta dissertação irá modelar os trens principais da malha que são os Trens de Ciclo e os Trens de Grade (Carga Geral e Passageiros).

3.1.3. Ocorrências ferroviárias

Na circulação, podem ocorrer eventos que interferem no caminho dos trens. Estes eventos são:

- Interrupção de via: Problema físico com a linha e a sinalização podem impedir a passagem dos trens. Nestes casos, o trem interrompe o seu movimento e aguarda até que o reparo seja realizado, continuando o percurso em seguida;

- Defeito no trem na circulação: Durante o percurso, o trem pode sofrer falha mecânica ou eletrônica em locomotivas ou vagões. Também nestes casos, o trem interrompe o seu movimento e aguarda até que o reparo mecânico/eletrônico seja realizado, continuando o percurso em seguida;
- Defeito do trem no pátio: O trem pode sofrer problemas mecânicos ou eletrônicos durante o seu movimento, que não requerem parada imediata. Nestes casos, a parada é realizada no próximo pátio de cruzamento e o trem fica aguardando a equipe de manutenção.

3.2. DINÂMICA DOS TRENS DE CICLO

O transporte ferroviário de grandes volumes de granéis por grandes extensões faz uso freqüente de composições de tamanho fixo e operação constante. Onde os trens carregam em um ponto de origem da carga (geralmente uma mina), se deslocando a seguir para um ponto de descarga (geralmente um porto ou cliente ao longo da linha (mercado interno), retornado vazio ao ponto de carga.

Este movimento caracteriza um ciclo carrega, movimenta, descarrega e movimenta. A presença de diversas composições semelhantes realizando operações nos mesmos pontos de carga e descarga caracteriza uma operação cíclica que pode sofrer interferências diversas do sistema. Por exemplo, se houver atraso no carregamento de uma composição, haverá a formação de uma fila neste ponto de carregamento, e num segundo momento devido a esta concentração de carregamento em um mesmo ponto poderá gerar uma fila no ponto de descarga, ou seja, as interferências se propagam dentro do ciclo.

Dentre os tipos de trens em circulação na malha, os denominados trens de ciclo receberão maior atenção neste estudo. Estes trens permanecem com a mesma formação por um período maior (da origem até próximo ao ponto de

carga) do que os trens de grade que se formam na origem e vão se modificando ao longo do tempo, para finalizarem no destino.

O trem de ciclo opera com poucos produtos, no caso da EFVM, o minério de ferro ou carvão. O minério de ferro é transportado a partir de onze pontos de carga para três pontos de descarga, caracterizando assim um ciclo de movimentação que se repete. O carvão é transportado a partir de um ponto de carga (Pátio de Tubarão) para dois destinos (Usiminas no pátio de Intendente Câmara ou Açominas no pátio de Ouro Branco).

Este tipo de operação traz muitas vantagens para o desempenho do sistema, como padronização dos equipamentos de carga e descarga, das manobras de desmembramento, formação, carregamentos e de posicionamento na descarga.

3.2.1. Interferências nos Trens de Ciclo

Apesar das vantagens, a operação cíclica torna o sistema sensível a interferências, uma vez que problemas ocorridos em alguma parte do ciclo afetam o ciclo inteiro.

O estudo deste comportamento requer uma ferramenta capaz de representar a formação de filas e medir o seu impacto no restante do sistema. Estudos que desconsiderem esse efeito podem incorrer em grandes imprecisões.

A complexidade do problema aumenta quando estes trens de ciclo circulam em uma malha onde há circulação de outros tipos de trens, por exemplo, com os trens de carga geral e de passageiros, provocando interferências entre si e alterando significativamente seu comportamento.

3.2.2. Decisões de direcionamento nos trens de ciclo

Durante a movimentação dos trens vazios, os operadores da ferrovia e da mina vão definindo para cada trem, o destino de cada lote para os pontos de carregamento. Este processo visa o cumprimento do programa de carregamento diário, e também à ocupação regular dos pontos de carregamento mais demandados. Este processo hoje é totalmente manual e apesar de contar com profissionais experientes, são identificadas algumas perdas diárias que são resultantes de decisões que no primeiro momento pareciam mais acertadas, mas na continuidade do processo, se mostram erradas e trazem conseqüências em perdas no carregamento e na descarga. Esta dissertação irá modelar um algoritmo interno simplificado, que terá como objetivo modelar a realidade, mas sem otimizar, trazendo a lógica de tomada de decisão humana para a modelagem.

3.3. A CADEIA DE SUPRIMENTO DO MINÉRIO DE FERRO

A Estrada de Ferro Vitória a Minas em estudo é um dos elos da cadeia de suprimentos do minério de ferro e pertence à empresa mineradora brasileira Vale, na qual conta com quatro sistemas distribuídos geograficamente para produção e escoamento do minério de ferro. Cada sistema é constituído por três elementos-chave: minas, ferrovia e porto, estes elementos em conjunto são denominados Sistema, no caso da Estrada de Ferro Vitória à Minas esta ferrovia faz parte do Sistema Integrado Sudeste.

O planejamento e o controle da produção estão presentes em cada elemento-chave do sistema considerado. Dado o elevado nível de interdependência entre as partes do sistema, o gerenciamento procura a maior integração possível Mina-Ferrovia-Porto.

Segundo Nóbrega (1996), decisões de longo prazo são tomadas a partir de previsões sobre o mercado de minério de ferro, tendo como conseqüência a

realocação, venda ou aquisição de ativos para adequação ao nível de demanda. O médio prazo leva em conta os níveis de produção, transporte e embarque de minério ao longo dos meses do ano, considerando possíveis variações sazonais de volume. A visão de curto prazo desdobra um programa mensal ou bimestral em um detalhamento diário. O nível de curtíssimo prazo fica limitado ao seqüenciamento das operações dos equipamentos dentro de cada dia.

Considerando um horizonte de três a doze meses, o processo para atendimento da demanda por minério de ferro para embarque no porto tem início com a programação de uma seqüência de navios que deverão ser atendidos. A demanda e o prazo de atendimento são negociados pela área comercial junto aos clientes e leva em conta a oferta disponível nas minas (cada mina produz diferentes tipos de minérios, com variações nas características físico- químicas). Os atendimentos a serem feitos indicam os tipos e quantidades de minério a serem fornecidos, e são traduzidos em demandas específicas para cada mina no intervalo de tempo considerado.

No curto prazo, o planejamento estabelece a seqüência de quantidades e tipos de minérios que deverão ser entregues diariamente no porto, sendo parte da demanda entregue a clientes do mercado interno ao longo da ferrovia. Isto é feito levando-se em conta os prazos de atendimento e especificações de cada cliente.

Na Figura 13 os elementos principais da cadeia de suprimentos do minério de ferro deste estudo são apresentados. No esquema os elementos da cadeia foram numerados:

- A instalação de número (1) representa a mineração que abrange a extração do minério, além de sua movimentação, beneficiamento, estocagem e expedição para a ferrovia. A conexão com a ferrovia EFVM utiliza onze pontos de carregamento distribuídos na malha ferroviária e localizados próximos às produções da minas;

- A instalação de número (2) representa o terminal de carregamento do minério de ferro, estes terminais de maior capacidade são atendidos por silos de carregamento e os outros terminais utilizam pá-mecânica para fazer os carregamentos nos vagões;

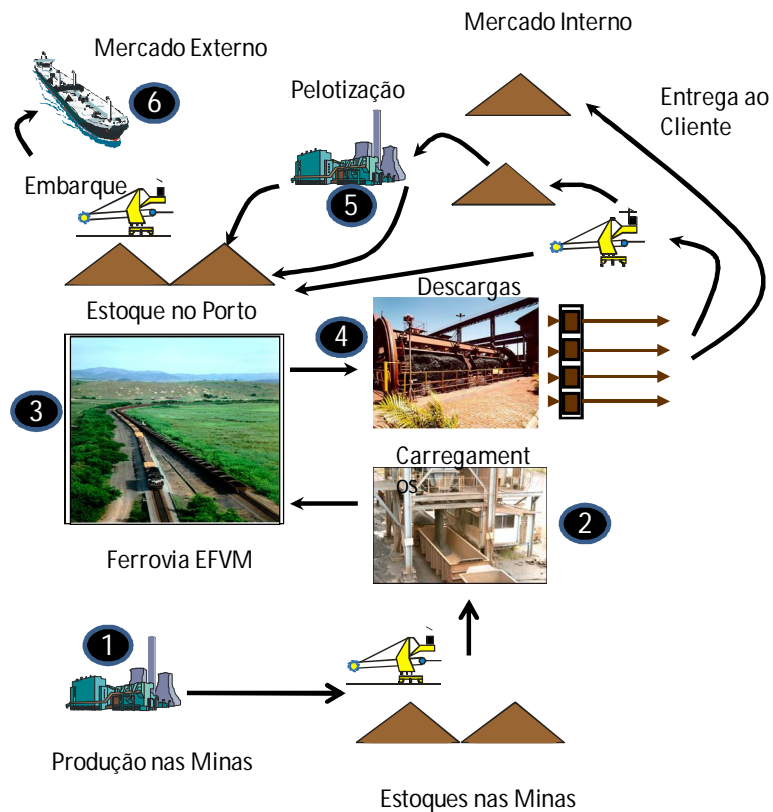


Figura 13: A cadeia de suprimento do minério de ferro no Sistema Sudeste

- A instalação de número (3) representa a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM), que é o escopo deste estudo. A ferrovia transporta o minério de ferro carregado nas instalações de número (2) e transportam com destino no mercado externo e interno (4). A ferrovia também retorna com os vagões vazios para novos carregamentos de minério de ferro ou quando no pátio de Tubarão, parte dos vagões vazios é destacado para carregar carvão, que é uma carga de retorno para as siderúrgicas Usiminas e Açominas. Após a descarga do carvão nestes clientes, os vagões retornam vazios para novos carregamentos de minério de ferro.
- A instalação de número (4) são os viradores de vagões, que são

equipamentos utilizados para a descarga dos vagões que transportam o minério de ferro. Nestes equipamentos o minério cai em uma correia transportadora, onde no caso do Porto de Tubarão pode ir para o estoque do Porto, para estoque das usinas de pelotização ou também direto para bordo de um navio. No caso do mercado interno, vai direto para o estoque do cliente, para posterior consumo pela siderúrgica. Após descarga no porto, o minério é estocado e misturado em pilhas antes de ser finalmente embarcado. O processo de mistura combina minérios com diferentes características visando atender às especificações mínimas exigidas pelos clientes.

- A instalação de número (5) são as Usinas de Pelotização, que são fábricas que a partir do minério fino produzem pelotas, produto de maior valor agregado em relação ao minério de ferro.
- A instalação de número (6) são os píers para carregamento de navios, onde o minério de ferro ou a pelota são transportados dos estoques do Porto e das Usinas de Pelotização através de um sistema de correias transportadoras e são embarcadas em navios para os seus clientes finais.

3.4. ESTRADA DE FERRO VITÓRIA A MINAS

Criada em 1904, a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) está entre as principais ferrovias do mundo, com alguns dos melhores índices de produtividade. Localizada na região Sudeste a EFVM é considerada uma das mais modernas e produtivas ferrovias brasileiras.

Com 905 quilômetros de extensão, a Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) transporta cerca de 40% da carga ferroviária brasileira, com um tráfego diário de aproximadamente 70 trens.

São mais de 135 milhões de toneladas de carga transportada por ano. Desse total, 80% são formados de minério de ferro e os outros 20% por mais de 60 diferentes tipos de produtos, como aço, carvão, calcário, granito, contêineres, ferro-gusa, produtos agrícolas, madeira, celulose, entre outros.

Interligada à Ferrovia Centro Atlântica, a EFVM tem como principal destino de suas cargas o Porto de Tubarão.

Pelos trilhos da EFVM também passa o único Trem de Passageiros de longa distância que circula diariamente no Brasil, transportando cerca de três mil pessoas entre Vitória (ES) e Belo Horizonte (MG). Durante os feriados, quando o movimento aumenta, este número sobe para cerca de 4.500 pessoas por dia.

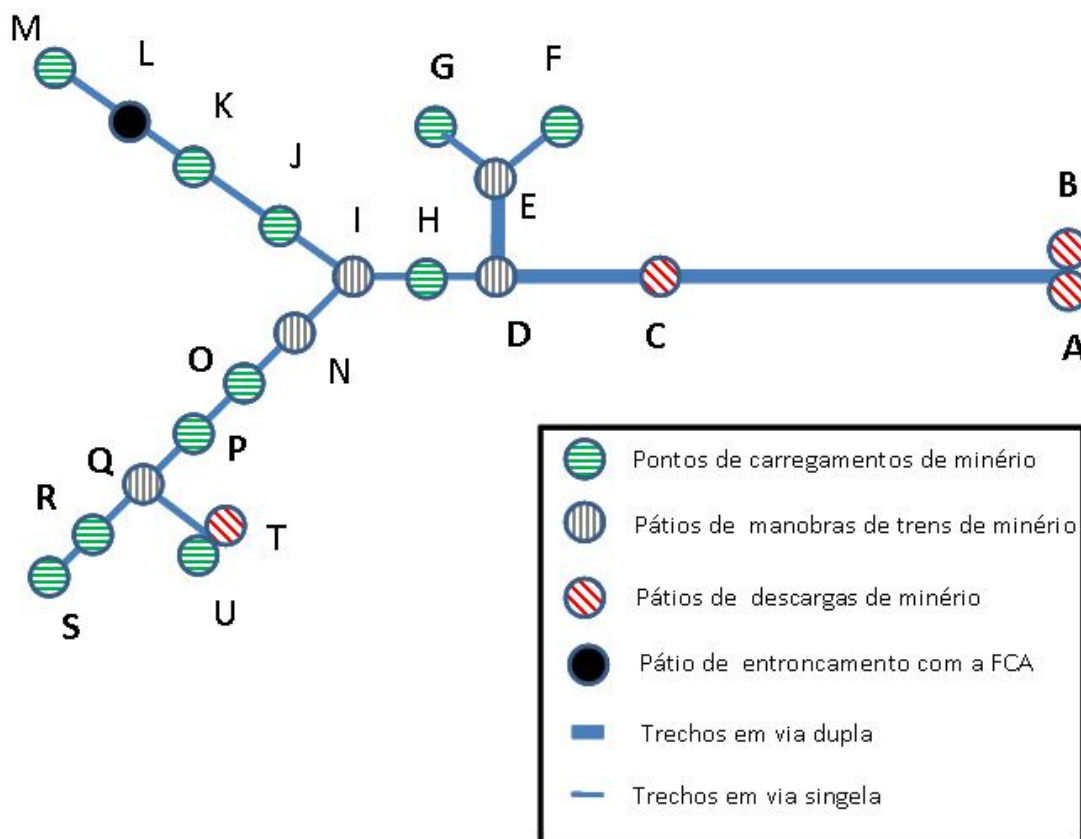


Figura 14: Esquemático da Estrada de Ferro Vitória a Minas

A ferrovia tem 11 pontos de carregamento, apresentados na Figura 14 pelas letras F (João Paulo), G (Conceição), H (Bicas), J (Brucutu), K (Gongo Soco), M (Azurita), O (Alegria), P (Timbopeba), R (Fábrica Muro), S (Fábrica) e U (Patrag). O ponto M que é o terminal de Azurita se encontra em outra ferrovia, a Ferrovia Centro-Atlântica (FCA). O ponto L é o entroncamento entre a EFVM e FCA. Existem também 3 pontos de formação e desmembramento de trens que são os pontos D (Drumond), E (Laboriau) e N (Fazendão).

Abaixo são detalhados os 905 km da ferrovia EFVM:

- O trecho A-D-E tem 540 km de extensão, possui via dupla e é denominado de Linha tronco. Este trecho é o mais antigo da ferrovia e o mais demandado nos fluxos de transportes;
- O trecho D-I-Q-S tem 170 km de extensão, e é denominado ramal de Fábrica, possui trecho duplo apenas entre D-I, sendo o restante é em linha singela;
- O trecho I-L tem 90 km de extensão, e é denominado ramal de Belo Horizonte, possui um pequeno trecho duplo entre I-J, sendo que o restante é em linha singela;
- O trecho L-M tem 105 km de extensão, e esta localizada em outra ferrovia que é a FCA. O ponto M é o pátio de Azurita, que um importante pátio para o escoamento de minério de compra de outras mineradoras, sendo este minério de ferro escoado pelo Porto de Tubarão ou em atendimento ao mercado interno. Esta modelagem não irá abranger a ferrovia FCA, portanto este trecho não terá a via permanente e a sinalização modelada nesta dissertação, sendo este trecho tratado como rede;
- O trecho Q-T tem apenas 13 km de extensão, denominado ramal de Ouro Branco, e é em trecho singelo.

Nos trechos duplicados, que são o A-D, D-E, D-I e I-J, a cada 7,5 km existem um par de travessões que permite aos trens em qualquer sentido de deslocamento, mudar de uma via para a outra, mediante comandos do Centro de Controle de Tráfego Operacional. Neste trecho as seções de bloqueios têm aproximadamente 1,88 km. Este trabalho já considera o investimento no aumento da capacidade que está sendo implantado nesta ferrovia, com a divisão desta seção de bloqueio em duas, diminuindo a distância entre os trens circulando.

Ao final de 2009, a frota para o atendimento a logística do minério de ferro era composta de 109 locomotivas de maior potência e de 12.162 vagões GDE, conforme relatório ANTT (1999 a 2007)..

3.5 O TRANSPORTE DE MINÉRIO DE FERRO E DE CARVÃO MINERAL

A ferrovia anualmente, entre julho e agosto, faz o orçamento do transporte para o ano seguinte, este orçamento é de periodicidade mensal, quanto ao transporte de minério de ferro, ele é feito de forma integrada entre Comercial do Minério de Ferro, Mina, Ferrovia e Porto. Quanto ao transporte de carga geral, ele é feito em conjunto com a Comercial da Carga Geral. Nos dois dimensionamentos são analisadas as demandas, as capacidade, a entrada de novos projetos de aumento de capacidade e o programa das grandes manutenções.

A ferrovia mensalmente, por volta do dia 25 de cada mês, faz o programa para o mês seguinte. Este programa também é feito de forma integrada com todas as interfaces necessárias, e na definição do programa utiliza o orçamento, as capacidades atuais das interfaces e o programa de manutenção. Este programa dimensiona os ativos necessários de vagões e locomotiva, e também define a quantidade de maquinistas necessárias ao atendimento.

A ferrovia diariamente faz o programa para o dia seguinte, este considera o programa mensal, as manutenções e as capacidades atuais instaladas nas interfaces.

A Figura 15 mostrar a dinâmica do transporte de minério de ferro.



Figura 15: Esquemático do transporte de minério de ferro na EFVM

Fonte: Barros (2010)

O minério de ferro e o carvão mineral são transportados em trens de ciclo, sendo que parte dos trens vazios após a descarga no pátio de Tubarão, são destinados ao carregamento de carvão com destino os pátios de Intendente Câmara (Usiminas) ou Ouro Branco (Açominas). Após a descarga do carvão nestes pátios, os lotes vazios seguem para a estação de carregamento. Outra parte dos lotes que saem da descarga do pátio de Tubarão é destinada como lotes vazios para os pontos de carregamento em Minas Gerais. O ritmo da entrada destes trens na malha depende do programa da descarga por cliente.

Durante a ida dos trens vazios no sentido importação, o centro de controle em função da circulação e da programação, faz o direcionamento de cada lote do trem para os pontos de carregamento.

Caso todos os lotes estejam destinados para um mesmo destino, não é necessário fazer a atividade de desmembramento, e este trem vai direto para o ponto de carregamento. Caso os destinos sejam diferentes, deverá sofrer um processo de desmembramento em pátios intermediários. Uma vez desmembrados, estes trens menores, seguem para os pontos de carregamento.

Os trens de ciclo podem transportar um, dois ou três lotes. Nos casos dos trens com mais de dois lotes é necessária a utilização de tração distribuída, isto é, as locomotivas são posicionadas no meio do trem ou na cauda, de tal forma a distribuir os esforços nos trens longos. A locomotiva comandante é posicionada na frente do trem, controlando as locomotivas remotas. A tração distribuída permite a formação de trens mais longos, que não seriam possíveis para o caso da tração convencional. Para o caso de dois lotes o trem pode ser configurado com tração convencional, que são as locomotivas na frente dos vagões.

Hoje apenas a mina de Brucutu na EFVM tem a possibilidade de receber um trem de ciclo com até três lotes. Os pontos de carregamento de Timbopeba, Alegria, Bicas e Fábrica recebem até dois lotes, e os de João Paulo, Conceição, Fábrica Muro, Patrag e Azurita apenas um lote.

A Figura 16 representa esquematicamente os principais pátios do circuito do minério de ferro da Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM).

Os trens de ciclo em Tubarão podem também sair carregados com carvão mineral, que é uma carga de retorno dos vagões vazios no transporte de minério para Tubarão. A configuração deste trem pode ser com um lote de carvão mais um lote vazio, ou com dois lotes de carvão. Nestes casos os destinos podem ser para o cliente Usiminas, situado no pátio de Intendente Câmara ou para a Açominas, situado no pátio de Ouro Branco. Na Usiminas após a descarga, o lote vazio é anexado a um trem que deixa naquele pátio um lote carregado com carvão, promovendo uma troca entre lotes carregados e vazios. O trem resultante, apenas com lotes vazios prossegue viagem até um pátio de carregamento. Na Açominas após a descarga o lote é destinado para

carregamento no Patrag, Fábrica, Fábrica Muro ou Timbopeba. A Figura 17 mostra o esquemático do transporte de minério de ferro e carvão apresentando um detalhamento do circuito do minério de ferro e do transporte de carvão.

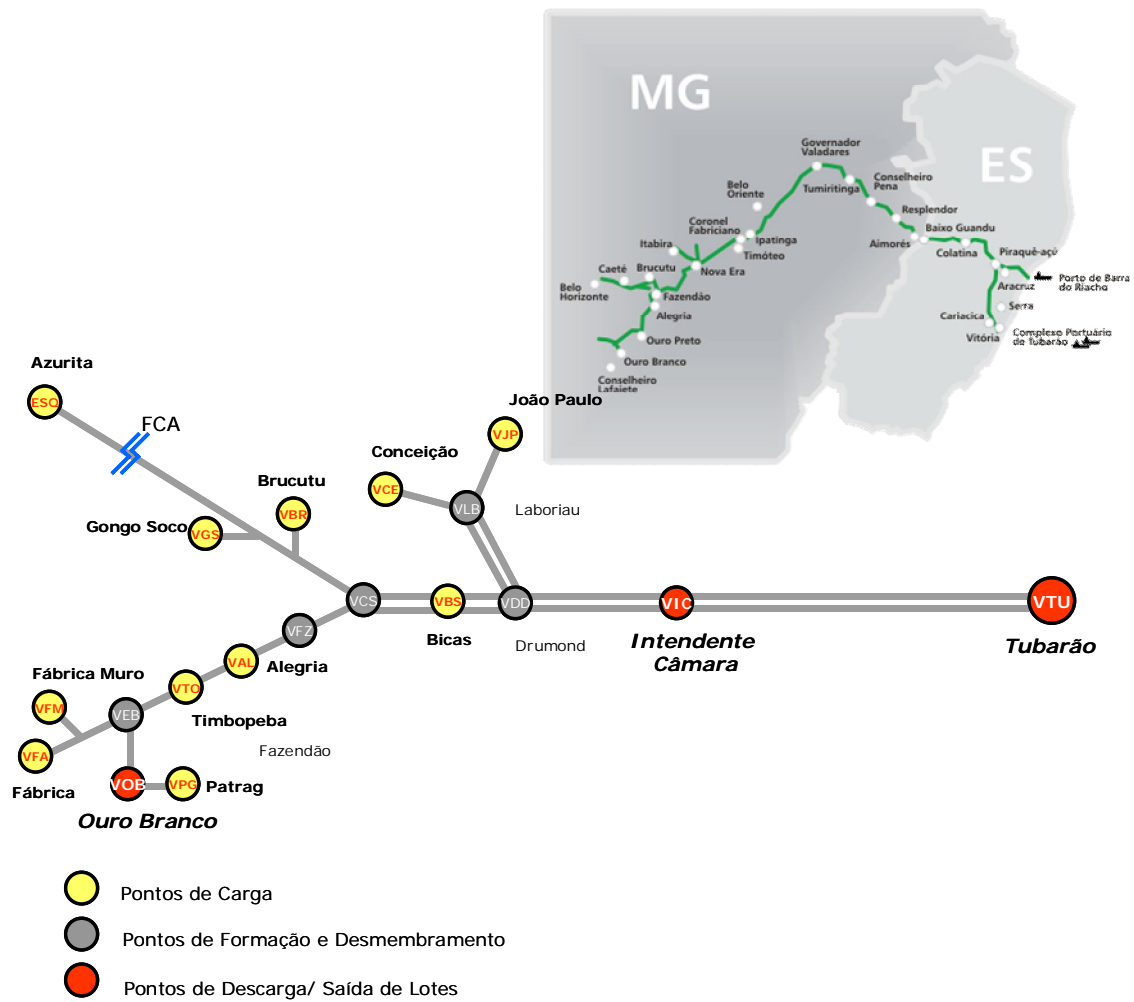


Figura 16: Representação Esquemática da EFVM – Vale (2010)

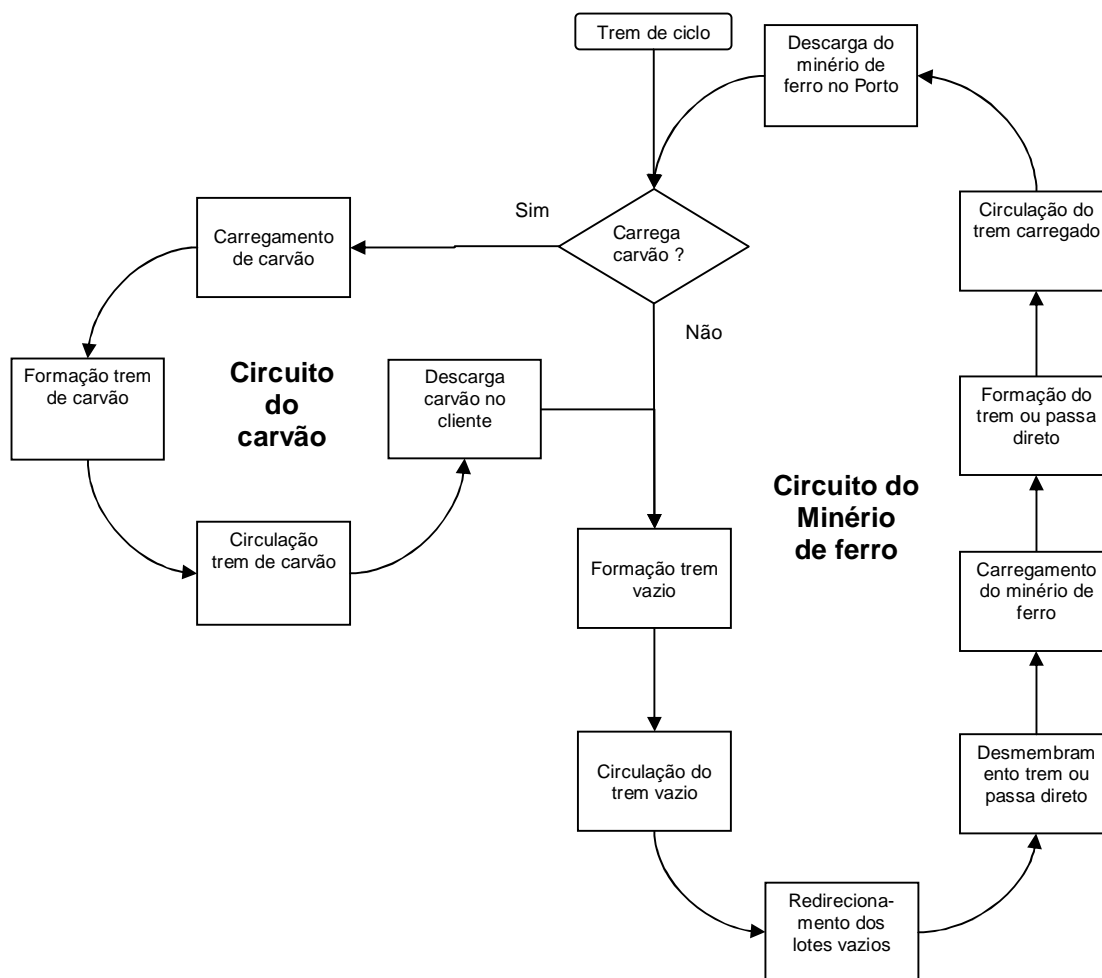


Figura 17: Esquemático do transporte de minério de ferro e carvão na EFVM

3.6 O TRANSPORTE DE CARGA GERAL

O transporte de carga geral utiliza os trens de grade, sendo que estes entram na malha semanalmente em um horário pré-determinado. Estes trens percorrem a malha até a estação de destino, cumpre um programa de atividades, onde as atividades principais são anexação, desanexação de vagões e locomotivas, troca de equipe e abastecimento e saem do modelo. Após uma semana, estes trens são criados novamente e repetem o percurso. A Figura 18 representa este trem de grade.

3.7 O TRANSPORTE DE PASSAGEIROS

O Trem de passageiro também é um trem de grade, que além de transportar pessoas, circula com maior prioridade na malha, seguindo uma seqüência de pátios, onde a linha nos trechos duplos e singelos na qual trafega é importante, devido ao posicionamento das plataformas de embarque e desembarque de passageiros. Outra particularidade na circulação nestes trens é nos cruzamentos com os trens de minério e de carga, estes últimos precisam reduzir a velocidade, com objetivo de aumentar a segurança no trem de passageiro. A Figura 18 também representa este trem de grade.

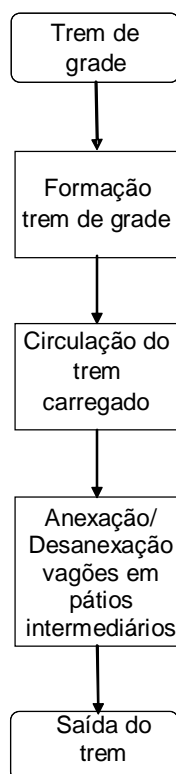


Figura 18: Estrutura do modelo conceitual para o Trem de Grade

4. DESENVOLVIMENTO DO MODELO

Para desenvolvimento do modelo serão utilizados:

- A metodologia de Banks et al (2000), que é constituída de 12 passos: formulação do Problema, definição dos objetivos e planejamento do projeto, modelo conceitual, levantamento dos dados, codificação, verificação, validação do modelo, projeto experimental, execução em produção e análise, avaliação para mais execuções, documentação e implementação;
- A abordagem da construção de abstração e de *template* utilizada por Pater e Teunisse (1997);
- O simulador de capacidade da EFVM feito por uma empresa de consultoria em simulação em 1992;
- Conceitos do Fioroni (2008) que foram empregados no desenvolvimento de um simulador de malha ferroviária genérica.

Os dozes passos da metodologia de Banks et al (2000) são descritas nas seções 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12.

4.1. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Esta dissertação busca preencher a falta de ferramenta na Estrada de Ferro Vitória a Minas, que responda de forma confiável e com mais precisão, as várias questões estratégicas da área de planejamento de longo prazo relativas à adição de projetos de aumento de capacidade de transporte. Busca-se também dar suporte as questões táticas das áreas de planejamento de curto prazo (até três meses), relativas às perguntas do tipo “o que ocorre se” (*what if* ?), como por exemplo: Quantos vagões adicionais serão necessários no dimensionamento de transporte em um mês, se os pátios de carregamento de

Fábrica Muro e Patrag, que hoje funcionam nas vinte e quatro horas, mudarem horário de carregamento para sete às dezoito horas.

4.2. DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS E PLANEJAMENTO DO PROJETO

4.2.1. Objetivos do Projeto

Os objetivos gerais deste projeto estão descritos na seção 1.1.1.

4.2.2. Planejamento do Projeto

O projeto de modelagem e simulação da Estrada de Ferro Vitória a Minas tem como escopo para esta dissertação a modelagem dos seguintes elementos utilizados no transporte do minério de ferro e do carvão mineral:

- Representação da malha ferroviária;
- Representação dos vagões;
- Representação dos trens de ciclo;
- Representação dos trens de grade;
- Representação das atividades em pátio;
- Representação dos programas de carregamento;
- Representação dos programas de manutenção;
- Representação dos eventos corretivos;

- Algoritmo de inserção de trens na malha;
- Algoritmo de movimentação;
- Algoritmo das atividades em pátios;
- Algoritmo das paradas de trens na circulação;
- Medição de indicadores de desempenho.

Na fase de codificação não estará no escopo desta dissertação à modelagem do algoritmo de movimentação nos trechos singelos dos ramais de Fábrica, Belo Horizonte e Ouro Branco, sendo estes trechos modelados por rede.

4.3. MODELAGEM CONCEITUAL

A modelagem conceitual é um dos passos da metodologia de Banks et al (2000), para Fioroni (2008) a baixa flexibilidade no tráfego dos trens sobre a malha ferroviária impõe situações de decisões bastante complexas no sistema real, e que necessitam ser consideradas nos modelos de simulação para estudos sobre o sistema.

No sistema real, a ocorrência de erros operacionais, quando não provocam acidentes, gera grande impacto na operação da malha como um todo. Por exemplo, se dois trens entrarem em uma mesma linha singela em sentidos opostos (sem causarem acidente), os dois trens devem ser parados, e um deles deverá recuar até o pátio anterior. Esta operação irá prejudicar não só os trens envolvidos, mas como todos os anteriores prejudicando toda a circulação naquela região da malha ferroviária.

As empresas ferroviárias para evitar situações como estas montam uma grande estrutura de controle de tráfego centralizada, onde equipes de funcionários são destacadas para controlar:

- A circulação dos trens por trechos;
- As frotas de vagões e locomotivas;
- As equipagens (maquinistas);
- Equipes de manutenção.

A estrutura empregada pelas ferrovias sinaliza o alto grau de complexidade envolvido na movimentação dos trens em sua malha. As equipes de operadores tomam muitas decisões e às vezes muitas destas não são padronizadas, por exemplo, um funcionário de um turno pode tomar uma decisão para um problema e outro funcionário em outro turno pode tomar outra decisão. Desta forma é muito importante modelar os principais procedimentos de operação da ferrovia, buscando a padronização na tomada de decisão, e para os procedimentos mais simples deve-se abstrair ou adotar simplificações.

Segundo Pidd (1998), um modelo não deve ser necessariamente tão complicado quanto à realidade que está sendo representada, pois ela faz parte de um sistema usuário-modelo. Os modelos não carregam sozinho toda a responsabilidade em gerar resultados corretos para análise do sistema. Grande parte desta responsabilidade é papel do usuário, que deve usar o modelo adequadamente. Este conceito resumido por este autor com a frase “Modele Simples, Pense Complicado”.

O modelo inicia com a entrada dos trens na malha, que basicamente são de dois tipos: Grade e de Ciclo. A Figura 17 apresenta um diagrama de blocos de funcionamento geral do modelo de simulação para o Trem de Grade e a Figura 18 apresenta o do Trem de Ciclo.

O funcionamento do modelo é descentralizado, ou seja, não se adota nenhuma técnica de planejamento de despacho. Os trens partirão nos horários previamente estabelecidos (no caso de trens de grade), ou partirão imediatamente depois de encerrada a sua atividade no pátio em que se encontra no caso de trens cíclicos. A partir daí, cada trem seguirá seu caminho e resolverá seus próprios conflitos de tráfego, reproduzindo o que acontece no sistema real, onde a equipe no Centro de Controle Operacional atua o tempo todo na orientação dos maquinistas.

Segundo Fioroni (2008), ao entrar na malha no pátio de origem, o trem tem o objetivo principal, que é alcançar o pátio de destino seguindo a rota (seqüência de pátios) especificada para o seu movimento. Esse objetivo principal é segmentado em objetivos secundários que consistem em "micro-movimentos" que, juntos, formarão o caminho completo. Por "micro-movimentos", define-se como sendo o percurso do trem do pátio atual até o próximo pátio do roteiro em que este tenha a possibilidade de parar devido a situações de trânsito.

As situações em que o trem não pode parar em um pátio são as seguintes:

- Inclinação excessiva do terreno: neste caso se uma composição pára no pátio, ela não é capaz de se movimentar novamente, a não ser se tiver uma tração adicional de uma ou mais locomotivas;
- Pátio de cruzamento muito curto: Neste caso, o pátio não comporta todo o comprimento do trem, isto é, o trem ocupa todo o seu espaço e ainda sobra para linha de trânsito. Portanto, para este caso, não é possível cruzar com outro trem neste pátio.

Para Fioroni (2008) o algoritmo de movimentação, que é a espinha dorsal do modelo, descreve o processo de decisão do trem para realizar estes micro-movimentos. Ele possui outros algoritmos auxiliares (parada de manutenção, atividades dos trens, etc.) que atuam em situações de movimentação específicas.

Os outros algoritmos se dedicam aos eventos que acontecem com o trem fora da malha, como carga, descarga, formação e desmembramento.

4.3.1. Representação da malha

Para representar a malha ferroviária é necessário:

- Modelar as linhas ferroviárias no Pátio do Tubarão: Nas as atividades da descarga dos trens carregados com minério de ferro para o Porto e para a siderúrgica Arcelor Mittal Tubarão (Chegada, Desmembramento, Recepção, Manobra para a descarga e Descarga); dos trens vazios (Retirada de vazios, Estacionamento, Classificação e Formação de trens vazios de retorno) e dos trens que retornam carregados com carvão (Limpeza e Carregamento);
- Modelar as linhas ferroviárias no Pátio de Intendente Câmara onde está a Siderúrgica Usiminas para as atividades de descarga de carvão mineral e de minério de ferro;
- Modelar as linhas ferroviárias no Pátio de Ouro Branco onde está a Siderúrgica Açominas para as atividades de descarga de carvão mineral e de minério de ferro;
- Modelar as linhas ferroviárias dos onze pátios de carregamento (João Paulo, Conceição, Bicas, Alegria, Timbopeba, Fábrica, Fábrica Muro, Patrag, Brucutu, Gongo Soco e Azurita).
- Modelar as linhas ferroviárias nos pátios de desmembramento e formação de trens de Drumond, Laboriau, Fazendão e Engenheiro Bandeira;

- Modelar as linhas de circulação (trânsito) duplas e singelas: Os segmentos e pátios de cruzamentos, que fazem parte das linhas de trânsito (circulação);

4.3.1.1. Pátios de descarga de vagões de minério de ferro

Os pátios de descarga de vagões GDE que serão modelados são: Tubarão, Intendente Câmara e Ouro Branco

4.3.1.1.1. Pátios de Tubarão

O Pátio de Tubarão é o principal pátio da Estrada de Ferro Vitória a Minas, e é mostrado na Figura 19. Neste pátio existem mais de 180 km de linhas ferroviárias. Este pátio recebe vagões com minério de ferro, vagões com carga geral e vagões vazios de carga geral para carregamento. São aproximadamente 5.000 vagões movimentados diariamente neste terminal na descarga de minério de ferro para exportação e para as Usinas de Pelotização, grãos para exportação, blocos de pedras, fertilizantes, escória, combustível e outros.



Figura 19: Pátio de Tubarão

Para esta dissertação serão modeladas apenas as linhas ferroviárias utilizadas no circuito do minério de ferro e no carregamento do carvão (carga de retorno), portanto do Pátio de Tubarão, serão modelados os setores de pátio: Chegada, Recepção, Descarga Porto e siderúrgica Arcelor Mittal Tubarão, Estacionamento, Classificação, Limpeza de vagões, Carregamento de carvão e Formação:

- Setor de Pátio Chegada: A primeira atividade do trem carregado com minério é a chegada no pátio ferroviário desocupando a linhas de circulação. Este setor é mostrado na Figura 20;
- Setor de Pátio Recepção: Após a chegada os trens circulam do Setor de pátio Chegada para o setor de pátio Recepção. Neste setor são realizadas as atividades de Desmembramento dos trens em lotes de 84 vagões. Os lotes são deixados em fila para a descarga e manobras são feitas posteriormente para posicionamento dos lotes nos viradores do Porto e da siderúrgica Arcelor Mittal Tubarão. As manobras de posicionamento nos viradores são feitas com locomotivas de manobra. Este setor também é mostrado na Figura 20;

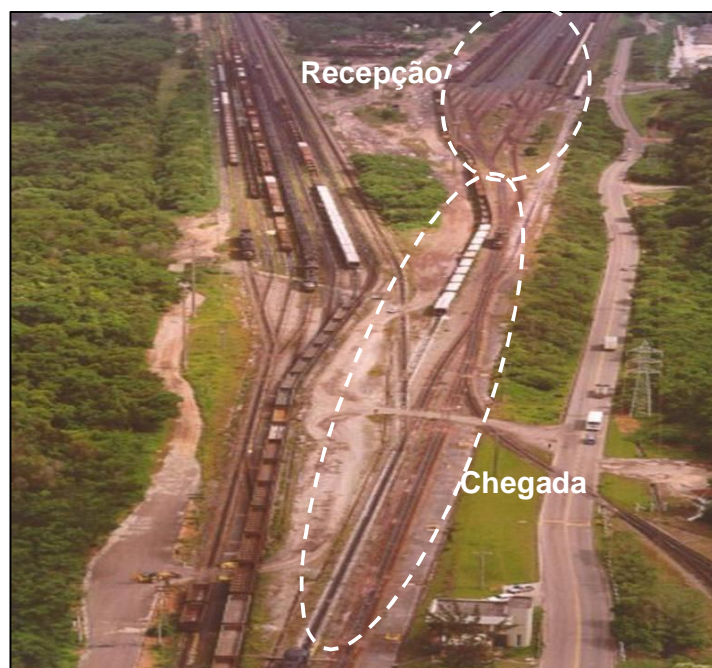


Figura 20: Setores de pátio da Chegada e Recepção

- Setor de Pátio Descarga: Onde os lotes de 84 vagões são descarregados por viradores de vagões, que são equipamentos projetados para a descarga do vagão GDE, utilizado no transporte do minério de ferro. O Porto atualmente possui cinco viradores duplos de vagões GDE e a siderúrgica Arcelor Mittal Tubarão possui um virador simples. Na operação de descarga o lote de vagões é movimentado por meio de um braço mecânico que vai posicionando os vagões para a descarga. A carga descarregada corre por meio de correias transportadoras e são empilhadas em pátios portuários para futuros embarque ou para serem consumidos pelas Usinas de Pelotização. Este setor é mostrado na Figura 21;
- Setor de Pátio Estacionamento: Após a finalização da descarga é necessário retirar o lote de vagões vazios do virador, para que novo lote possa ser posicionado. Os lotes ficam estacionados aguardando a nova fase do processo que é a classificação dos vagões vazios;



Figura 21: Setores de pátio da Descarga e Classificação

- Setor de Pátio Classificação: A Classificação dos vagões vazios é feito, por meio de um conjunto de equipamentos, denominado *Hump-yard*. Na fase de descarga é feito à inspeção de todos os vagões vazios descarregados, onde o inspetor da mecânica informa por meio de um coletor de dados ligado ao *Hump-yard* a condição de cada vagão

descarregado por bloco. Esta classificação pode definir que os vagões estão bons para viagem, ou devem ter alguma intervenção (manutenção preventiva, manutenção corretiva, recheio de material que sobrou na descarga e troca de sapatas de freios). Quando este lote de vagões é empurrado para a rampa do *Hump-yard*, automaticamente, os vagões são classificados de acordo com a inspeção realizada após a descarga. Este equipamento simplifica e otimiza a formação de novos lotes vazios para novas atividades, pois na falta deste equipamento seria necessário fazer uma série de manobras planas para a separação dos vagões, gastando um tempo muito grande nesta operação. Caso o lote a ser classificado esteja todo normal, ele é denominado “zero reparo”, não sendo necessária a passagem do lote pelo *Hump-yard*, existem duas linhas onde estes lotes podem circular direto, sem ser necessária a classificação (linhas de by-pass). Os lotes de vagões são classificados e quando na linha acumulada 84 vagões, este lote fica na situação aguardando programação. Onde poderão ser destinados vazios para novos carregamentos de minério em Minas, ou poderão carregar carvão no pátio de Tubarão. Este setor também é mostrado na Figura 21;

- Setor de Pátio Limpeza: Após a classificação os lotes vazios podem ser destinados para o setor de pátio formação para retornar para o carregamento de minério, ou podem ser utilizados no carregamento de carvão (carga de retorno). Antes de fazer o carregamento, é necessário fazer a limpeza do lote vazio de restos de minério de ferro proveniente da descarga;
- Setor de Pátio Carregamento de carvão: Os lotes de vagões são manobrados do Setor de pátio da limpeza para o setor de pátio de carregamento de carvão, onde são carregados por meio de um silo de carregamento;
- Setor de Pátio Formação: Neste setor são formados os trens com lotes vazios para serem destinados para os pontos de carregamento na região de Minas Gerais, ou podem ser formados trens de carvão para a

Usiminas e Açominas. Nesta formação com carvão, os trens podem sair com um lote de carvão e mais um vazio, ou com dois lotes de carvão (misto).

Portanto, para representar as linhas ferroviárias destes setores de pátio no modelo será utilizada a Tabela 1.

Tabela 1: Arquivo da configuração das linhas do pátio de Tubarão

Parâmetro	Valor
Quantidade linhas chegada	2
Quantidade linhas recepção	16
Indicador de linha VV01 ativa (0=Inativa e 1=Ativa)	1
Indicador de linha VV02 ativa (0=Inativa e 1=Ativa)	1
Indicador de linha VV03 ativa (0=Inativa e 1=Ativa)	1
Indicador de linha VV04 ativa (0=Inativa e 1=Ativa)	1
Indicador de linha VV05 ativa (0=Inativa e 1=Ativa)	0
Indicador de linha da siderúrgica Arcelor Mittal ativa (0=Inativa e 1=Ativa)	1
Quantidade linhas estacionamento	8
Indicador de linha do <i>Hump-yard</i> ativa (0=Inativa e 1=Ativa)	1
Percentual de lotes que passam no <i>hump-yard</i>	100%
Indicador de linha do by-pass1 do <i>Hump-yard</i> ativa (0=Inativa e 1=Ativa)	0
Percentual de lotes que passam no <i>by pass 1 hump-yard</i>	0%
Indicador de linha do by-pass2 do <i>Hump-yard</i> ativa (0=Inativa e 1=Ativa)	0
Percentual de lotes que passam no <i>by pass 2 hump-yard</i>	0%
Quantidade linhas aguardando programação	8
Quantidade linhas limpeza vagões	3
Indicador linha carregamento carvão (0=Inativa e 1=Ativa)	1
Quantidade lotes na formação	6
Quantidade linhas formação	2
Quantidade linhas partida	2

Os parâmetros do Pátio de Tubarão da Tabela 1 estão descritos abaixo:

- Quantidade linhas de chegada Tubarão: Quantidade de linhas de chegada de trens de ciclo no pátio de Tubarão;

- Quantidade linhas de recepção de lotes com vagões de ciclo (GDE) no pátio de Tubarão;
- Indicador de linha virador VV01 ativa (0=Inativo e 1=Ativo): Indicador que informa se a linhas do virador VV01 do Porto está operacional ou não;
- Indicador de linha virador VV02 ativa (0=Inativo e 1=Ativo): Indicador que informa se a linhas do virador VV02 do Porto está operacional ou não;
- Indicador de linha virador VV03 ativa (0=Inativo e 1=Ativo): Indicador que informa se a linhas do virador VV03 do Porto está operacional ou não;
- Indicador de linha virador VV04 ativa (0=Inativo e 1=Ativo): Indicador que informa se a linhas do virador VV04 do Porto está operacional ou não;
- Indicador de linha virador VV05 ativa (0=Inativo e 1=Ativo): Indicador que informa se a linhas do virador VV05 do Porto está operacional ou não;
- Indicador de linha virador da siderúrgica Arcelor Mittal Tubarão ativa (0=Inativo e 1=Ativo): Indicador que informa se a linhas do virador da siderúrgica Arcelor Mittal Tubarão está operacional ou não;
- Quantidade linhas de estacionamento: Quantidade de linhas para retirar os lotes vazios após a descarga do virador VV01, VV02, VV03, VV04, VV05 e da siderúrgica Arcelor Mittal Tubarão;
- Indicador linha do *Hump-yard* ativa (0=Inativa e 1=Ativa): Indicado que informa se a linha do *Hump-yard* está operacional ou não. Esta linha é utilizada para a classificação automática de vagões vazios;
- Percentual de lotes que passam no *Hump-yard*: Em função da periodicidade da manutenção preventiva e da criticidade da inspeção poderá gerar um percentual maior ou menor de lotes que são necessários

classificarem. Quando o lote está totalmente bom para a viagem, ele é denominado Zero reparo, neste caso para reduzir o tempo de formação de um novo lote, ele deve passar pelas linhas de *by pass* do *hump-yard*;

- Indicador linha *by pass 1 Hump-yard* ativa (0=Inativa e 1=Ativa): Indicado que informa se a linha do by-pass 1 está operacional ou não. Esta linha é utilizada para a passagem de lotes de vagões 100 % bons para viagem;
- Percentual de lotes que passam no *by pass 1* do *Hump-yard*: Percentual de lotes Zero reparo que passam por esta linha;
- Indicador linha *by pass 2 Hump-yard* ativa (0=Inativa e 1=Ativa): Indicado que informa se a linha do by-pass 2 está operacional ou não. Esta linha é utilizada para a passagem de lotes de vagões 100 % bons para viagem.
- Quantidade linhas aguardando programação: Quantidades de linhas que são utilizadas para receber os lotes de vagões, que passaram pela classificação ou pelo by-pass. Estas linhas vão sendo completadas pelo processo de classificação, quando atinge a quantidade do tamanho do lote de vagões padrão, de 84 vagões, automaticamente é sinalizado que no pátio de formação, existem lotes completos para serem formados para viagem ou carregamento de carvão;
- Quantidade linhas limpeza de carvão: Quantidade de linhas que são utilizadas para a limpeza dos resíduos de minério que restarem após a descarga nos viradores. Esta limpeza é feita pelo processo manual;
- Indicador linha carregamento carvão ativa (0=Inativa e 1=Ativa): Este campo é utilizado para informar se no cenário a ser simulado, se a linha para carregamento de carvão está ativa ou inativa durante toda a simulação;

- Quantidade lotes na formação: Quantidade máxima de lotes a serem estacionados no setor de pátio formação;
- Quantidade linhas de formação: Quantidade de linhas utilizadas para formar trens para viagem, que pode ser com lotes de vagões vazios ou carregados com carvão, ou carregados com carvão e vazio;
- Quantidade linhas de partida de trens: Quantidade de linhas para a partida de trens de ciclo.

4.3.1.1.2. Pátio de Intendente Câmara

A siderúrgica Usiminas está instalada no pátio de Intendente Câmara, por este pátio a siderúrgica recebe insumos para a produção de aço, como minério de ferro, carvão, coque, antracito, calcário e outros. Praticamente toda a produção de produtos siderúrgicos é escoada pela EFVM para o Mercado Interno e Exportação.

Para esta dissertação serão modeladas apenas as linhas ferroviárias utilizadas no circuito da descarga do carvão e do minério de ferro. Portanto, do Pátio de Câmara, serão modelados os setores de pátio: Chegada, Recepção, Descarga Carvão, Descarga Minério, Estacionamento e Formação.

- Setor de Pátio Chegada: A primeira atividade do trem carregado com carvão ou com minério é a chegada no pátio ferroviário desocupando a linhas de circulação;
- Setor de Pátio Recepção do carvão e vazios: Após a chegada os trens circulam do Setor de pátio Chegada para o setor de pátio Recepção do carvão onde são realizadas as atividades de desanexação do lote de carvão em fila para a descarga e manobra posterior para posicionamento dos lotes nos viradores da Usiminas de carvão. As

manobras de posicionamento nos viradores são feitas com locomotivas de manobra. Quando o lote vazio está pronto para retornar para o carregamento de minério este fica também estacionado nestas linhas;

- Setor de Pátio Recepção do minério de ferro: Após a chegada os trens circulam do Setor de pátio Chegada para o setor de pátio Recepção do minério de ferro onde são realizadas as atividades de desanexação do lote de carvão em fila para a descarga e manobra posterior para posicionamento dos lotes nos viradores da Usiminas de minério. As manobras de posicionamento nos viradores são feitas com locomotivas de manobra;
- Setor de Pátio Descarga Carvão: Onde os lotes de 84 vagões são descarregados por viradores de vagões. A Usiminas atualmente possui dois viradores simples de vagões GDE para o carvão mineral. Na operação de descarga o lote de vagões é movimentado por meio de queda livre da linha em direção ao virador que vai posicionando os vagões para a descarga. A carga descarregada corre por meio de correias transportadoras e são empilhadas em pátios internos da Usiminas para futuros consumo no processo siderúrgico;
- Setor de Pátio Descarga Minério: Muito similar as operações do setor de pátio de descarga do carvão, neste circuito a Usiminas possui dois viradores simples de vagões GDE para o minério de ferro;
- Setor de Pátio Estacionamento: Após a finalização da descarga do carvão e do minério os vagões vazios são estacionados aguardando serem manobrados para o pátio de recepção do carvão e dos vazios;
- Setor de Pátio Formação: Na mesma operação do trem para a desanexação do lote carregado com carvão destinado para a Usiminas, o trem faz a anexação do lote de vagões vazios, recompondo o trem

novamente em dois lotes de 84 vagões vazios para carregamento. Os trens de minério chegam à Usiminas com apenas um lote de 84 vagões;

Portanto, para representar as linhas ferroviárias destes setores de pátio no modelo será utilizada a Tabela 2.

Tabela 2: Arquivo da configuração das linhas pátio Intendente Câmara

Parâmetro	Valor
Quantidade Linhas Chegada Formação	2
Quantidade Linhas recepção	3
Quantidade linha recepção minério	2
Quantidade linhas Descarga carvão	2
Quantidade linhas Virador descarga carvão	2
Quantidade linhas Descarga minério	2
Quantidade linhas Virador descarga minério	2
Quantidade linhas devolução vazios	3
Quantidade linhas partida trem	1

Os parâmetros do Pátio de Intendente Câmara da Tabela 2 estão descritos abaixo:

- Quantidade de linhas chegada formação: Quantidade de linhas para o recebimento dos trens com carvão e minério, e para formação do trem vazio;
- Quantidade linhas recepção carvão ou vazios: Quantidade de linhas para o estacionamento dos lotes carregados com carvão ou vazios;
- Quantidade linhas recepção minério: Quantidade de linhas para o estacionamento dos lotes carregados com minério de ferro;
- Quantidade linhas descarga carvão: Quantidade de linhas para a descarga de vagões de carvão mineral;

- Quantidade linhas virador descarga carvão: Quantidade de linhas para o virador de vagões de carvão mineral;
- Quantidade linhas descarga minério: Quantidade de linhas para a descarga de vagões de minério de ferro;
- Quantidade linhas virador descarga minério: Quantidade de linhas para o virador de vagões de minério de ferro;
- Linha devolução de vazios: Quantidade de linhas para o estacionamento de vagões vazios após a descarga;
- Linha partida do trem: Quantidade de linhas para a partida do trem vazio.

4.3.1.1.3. Pátio de Ouro Branco

A siderúrgica Açominas está instalada no pátio de Ouro Branco, por este pátio a siderúrgica recebe insumos para a produção de aço, como minério de ferro, carvão, coque, antracito, calcário e outros. Praticamente toda a produção de produtos siderúrgicos é escoada pela EFVM e pela MRS para o Mercado Interno e Exportação.

A modelagem deste pátio é similar ao Pátio de Intendente Câmara, apresentado na seção anterior, onde para esta dissertação serão modeladas apenas as linhas ferroviárias utilizadas no circuito da descarga do carvão e do minério de ferro. Portanto, do Pátio de Ouro Branco, serão modelados os setores de pátio: Chegada, Recepção, Descarga Carvão, Descarga Minério, Estacionamento e Formação.

A única diferença representativa deste pátio em relação ao de Intendente Câmara, e o Setor de Formação, onde os lotes vazios saem em um trem de apenas um lote, ou de 84 vagões.

Portanto, para representar as linhas ferroviárias destes setores de pátio no modelo será utilizada a Tabela 3.

Tabela 3 Arquivo da configuração das linhas do pátio de Ouro Branco

Parâmetro	Valor
Quantidade Linhas Chegada Formação	2
Quantidade Linhas recepção	3
Quantidade linhas Descarga carvão	1
Quantidade linhas Virador descarga carvão	1
Quantidade linhas Descarga minério	1
Quantidade linhas Virador descarga minério	1
Quantidade linhas devolução vazios	3
Quantidade linhas partida trem	1

Os parâmetros do Pátio de Ouro Branco da Tabela 3 estão descritos abaixo:

- Quantidade de linhas chegada formação: Quantidade de linhas para o recebimento dos trens com carvão e minério, e para formação do trem vazio;
- Quantidade linhas recepção carvão ou vazios: Quantidade de linhas para o estacionamento dos lotes carregados com carvão ou vazios;
- Quantidade linhas recepção minério: Quantidade de linhas para o estacionamento dos lotes carregados com minério de ferro;
- Quantidade linhas descarga carvão: Quantidade de linhas para a descarga de vagões de carvão mineral;
- Quantidade linhas virador descarga carvão: Quantidade de linhas para o virador de vagões de carvão mineral;

- Quantidade linhas descarga minério: Quantidade de linhas para a descarga de vagões de minério de ferro;
- Quantidade linhas virador descarga minério: Quantidade de linhas para o virador de vagões de minério de ferro;
- Linha devolução de vazios: Quantidade de linhas para o estacionamento de vagões vazios após a descarga;
- Linha partida do trem: Quantidade de linhas para a partida do trem vazio.

4.3.1.2. Pátios de Carregamento de vagões de minério de ferro

Dos onze pátios de carregamento de minério de ferro, a EFVM tem cinco pátios possuem silo para carregamento e em seis pátios o carregamento é feito por pás-mecânicas. Os silos de carregamento conferem maior agilidade e produtividade nos carregamentos nestes pátios.

- Pátio para carregamento com silo: João Paulo, Conceição, Brucutu, Timbopeba e Fábrica;
- Pátios para carregamento em pá-mecânica: Bicas, Gongo Soco, Azurita, Alegria, Fábrica Muro e Patrag.

Portanto, para representar as linhas ferroviárias destes pontos de carregamento será utilizada a Tabela 4.

Os parâmetros dos Pátios de carregamento da Tabela 4 estão descritos abaixo:

- Quantidade de linhas pátio VJP: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de João Paulo. Este pátio

permite o carregamento simultâneo de dois lotes de 84 vagões em dois silos em paralelo;

Tabela 4: Arquivo da configuração das linhas dos pátios carregamento

Parâmetro	Equipamento de carregamento	Valor
Quantidade Linhas pátio VJP	Silo	2
Quantidade Linhas pátio VCE	Silo	2
Quantidade Linhas pátio VBS	Pá-mecânica	1
Quantidade Linhas pátio VAL	Pá-mecânica	1
Quantidade Linhas pátio VTO	Silo	2
Quantidade Linhas pátio VFM	Pá-mecânica	1
Quantidade Linhas pátio VFA	Silo	1
Quantidade Linhas pátio VPG	Pá-mecânica	1
Quantidade Linhas pátio VBR	Silo	2
Quantidade Linhas pátio VGS	Pá-mecânica	1
Quantidade Linhas pátio ESQ	Pá-mecânica	1

- Quantidade de linhas pátio VCE: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de Conceição. Este pátio permite o carregamento simultâneo de dois lotes de 84 vagões em dois silos em paralelo;
- Quantidade de linhas pátio VBS: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de Bicas. Este pátio permite o carregamento com pás-mecânicas de dois lotes de 84 vagões simultaneamente em série;
- Quantidade de linhas pátio VAL: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de Alegria. Este pátio permite o carregamento com pás-mecânicas de dois lotes de 84 vagões simultaneamente em série;

- Quantidade de linhas pátio VTO: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de Timbopeba. Este pátio permite o carregamento simultâneo de dois lotes de 84 vagões em dois silos em paralelo;
- Quantidade de linhas pátio VFA: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de Fábrica. Este pátio permite o carregamento simultâneo de dois lotes de 84 vagões em dois silos em série e também o carregamento de um lote de 84 vagões com pás-mecânica;
- Quantidade de linhas pátio VFM: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de Fábrica Muro. Este pátio permite o carregamento com pás-mecânicas de um lote de 84 vagões;
- Quantidade de linhas pátio VPG: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de Patrag. Este pátio permite o carregamento com pás-mecânicas de um lote de 84 vagões;
- Quantidade de linhas pátio VGS: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de Gongo Soco. Este pátio permite o carregamento com pás-mecânicas de dois lotes de 84 vagões simultaneamente em série;
- Quantidade de linhas pátio ESQ: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de Azurita. Este pátio permite o carregamento com pás-mecânicas de um lote de 84 vagões;
- Quantidade de linhas pátio VBR: Quantidade de linhas para o carregamento de minério de ferro no pátio de Brucutu. Este é o pátio de maior produtividade de carregamento na EFVM, este pátio permite o carregamento simultâneo de 168 vagões (dois lotes de vagões) em dois silos em paralelo.

4.3.1.3. Pátios de Desmembramento e Formação de trens de minério de ferro

Os layouts atuais dos pontos de carregamentos de minério de ferro da EFVM, não suportam o carregamento do trem inteiro. Além da variação do tamanho do trem de uma a três lotes, existem pontos que carregam dois lotes em linha, como os pátios de Bicas, Alegria, Fábrica, Brucutu e Gongo Soco. Outros pátios carregam apenas um lote por vez em cada linha de carregamento, como os pátios de João Paulo, Conceição, Timbopeba, Fábrica Muro, Patrag e Azurita. Os pátios de João Paulo, Conceição e Timbopeba, carregam dois lotes de 84 vagões em paralelo, pois estes pátios possuem dois silos. Apenas o pátio de Brucutu está preparado para receber o trem inteiro de até três lotes.

Neste cenário, é necessária a operação de desmembramentos e formação em pátios intermediários ao carregamento, que são construídos para este objetivo. Portanto, se um trem com dois lotes de 84 vagões é destinado para pátios que carregam apenas um lote por vez, ou dois em paralelo é necessário que este trem seja desmembrado antes destes pátios. Na volta com os lotes carregados, estes são recompostos, isto é, são formados trens com dois lotes carregados.

A EFVM tem três pátios que são utilizados para as operações de desmembramento e formação de trens, que são Drumond, Laboriau e Fazendão.

Portanto, para representar as linhas ferroviárias destes pontos de desmembramento e formação será utilizada a Tabela 5.

Os parâmetros dos Pátios intermediários, responsáveis pelas atividades de desmembramento e formação de trens da Tabela 5 estão descritos abaixo:

- Quantidade linhas desmembramento e formação em DD: Quantidade de linhas para as manobras de formação e desmembramento no pátio de Drumond;

Tabela 5: Arquivo da configuração das linhas dos pátios intermediários

Parâmetro	Valor
Quantidade linhas desmembr e formação em DD	5
Quantidade linhas desmembr e formação em LB	3
Quantidade linhas desmembr e formação em FZ	3

- Quantidade linhas desmembramento e formação em LB: Quantidade de linhas para as manobras de formação e desmembramento no pátio de Laboriau;
- Quantidade linhas desmembramento e formação em FZ: Quantidade de linhas para as manobras de formação e desmembramento no pátio de Fazendão.

4.3.1.4. Linhas de trânsito (Circulação)

As linhas de circulação da EFVM são formadas de trechos que podem ser singelos ou duplos. Dos trechos singelos existentes, um deles está localizado fora da EFVM, que pátio de Azurita na ferrovia FCA, que por carregar minério destinado a EFVM, também é alvo deste estudo. A Figura 14 mostra esta configuração.

4.3.1.4.1. Linhas duplas

As linhas duplas representadas pela Figura 22 são compostas de oito seções de bloqueio, com dois travessões. Este conjunto é chamado de locação trecho duplo. Cada locação tem aproximadamente 7,5 quilômetros, portanto cada seção de bloqueio tem aproximadamente 1,88 quilômetros. Em cada seção de bloqueio só é possível alocar um trem por vez, portanto nesta locação é possível alocar oito trens. Esta estrutura permite que um trem que estiver

circulando no sentido subindo, por exemplo, na seção de bloqueio linha 1, continue nesta mesma linha para a seção SB1C, ou caso esta esteja ocupada, é possível ajustar o travessão para que o trem circule para a mesma seção na linha 2. Para os casos que o trem esteja circulando no sentido subindo na seção SB2C linha 1, ele só poderá circular para a SB1B linha 1, portanto as únicas condições que o trem pode mudar de linha, utilizando o travessão, são:

- Sentido Subindo – Estar na SB1B linha 1 ou linha 2;
- Sentido Descendo – Estar na SB1C linha 1 ou linha 2.

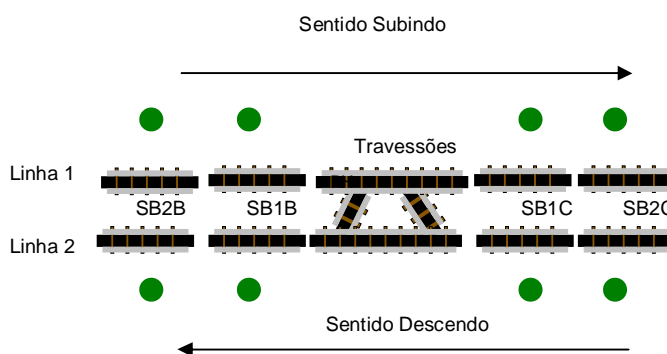


Figura 22: Modelagem das locações trechos duplos

Esta locação dupla é suportada por um sistema de sinalização e a lógica deste sistema, garante a circulação segura dos trens (*fail-safe*). A sinalização de campo é conectada com um equipamento que vai a bordo às locomotivas, que é o ATC (*Automatic train control*). Este equipamento monitora a operação dos maquinistas não o deixando circular acima da velocidade permitida, e impede também do maquinista de invadir seções de bloqueio ocupadas por trens na sua rota. Caso o maquinista tenha um mal súbito, ele deixará de operar o painel de comando da locomotiva, desta forma, em alguns segundos automaticamente o trem é parado pelo sistema. Portanto, toda esta segurança garante que um trem não seja colocado em rota de colisão com outro em sentido contrário, e também garante que um trem não entre em rota de colisão com a cauda de outro trem em mesmo sentido.

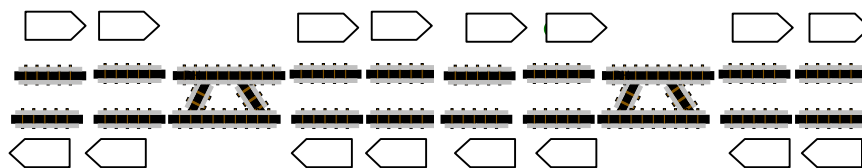


Figura 23: Exemplo de trens circulando em trecho com linhas duplas

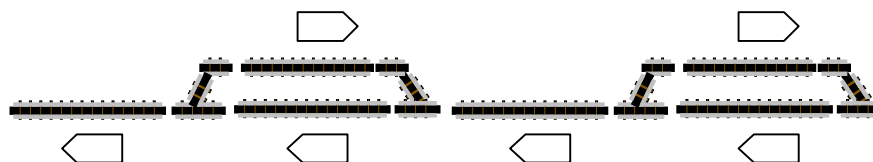


Figura 24: Exemplo de trens circulando em trecho com linhas singelas

Os trechos em linhas duplas têm uma capacidade muito maior na circulação de trens do que um trecho singelo. A Figura 23 exemplifica um trecho com linhas duplas, onde é possível circular no máximo 16 trens simultâneos em duas locações circulando (oito trens subindo e oito descendo). A Figura 24 exemplifica um trecho com linhas singelas onde só é possível circular com no máximo seis trens (quatro descendo e dois subindo).

Na Estrada de Ferro Vitória a Minas existem 85 locações duplas, que por serem estruturas repetitivas com o mesmo *lay-out* e com as mesmas funções na sinalização, serão modelados utilizando a técnica de *template* utilizadas por Pater e Teunisse (1997). As estruturas de *template* são suportadas pelo *software* que será utilizado para a codificação que será o Rockwell Arena Professional versão 12, comercializado pela Paragon (2010).

No trecho Costa Lacerda à Brucutu, existem duas locações duplas que não serão modeladas por *template*, para o escopo deste projeto este trecho será representado por rede, sem modelar a sinalização e a via permanente.

4.3.1.4.2. Linhas singelas

As linhas singelas representadas pela Figura 25 são compostas de três seções de bloqueio, com duas chaves automáticas de mudança de via. Este conjunto é chamado de locação trecho singelo. Cada locação varia de tamanho, mas geralmente no trecho que tem as duas linhas em paralelo mede aproximadamente 3,0 quilômetros. Em cada seção de bloqueio só é possível alocar um trem por vez, portanto nesta locação é possível alocar no máximo três trens. Esta estrutura permite que um trem que estiver circulando no sentido subindo, por exemplo, na seção de bloqueio linha 1, continue nesta mesma linha para a seção de bloqueio SB1C, ou caso esta seção de bloqueio SB1C linha 1 esteja ocupada, é possível ajustar a chave de mudança de via. Portanto, as únicas condições que o trem pode mudar de linha, utilizando as chaves de mudança de via são:

- Sentido Subindo ou descendo – Estar na SB1B linha 1.

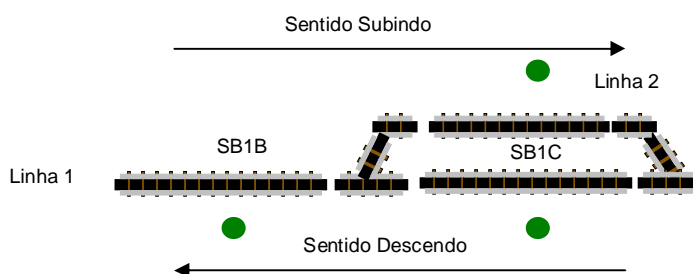


Figura 25: Modelagem das locações trechos singelos

Esta locação singela também é suportada por um sistema de sinalização e a lógica deste sistema, garante a circulação segura dos trens (*fail-safe*). A sinalização de campo é conectada com um equipamento que vai a bordo às locomotivas, que é o ATC (*Automatic train control*). Portanto, estes equipamentos garantem a circulação segura dos trens pela via.

Nesta dissertação não faz parte do escopo a modelagem da sinalização e da via permanente nas linhas singelas do ramal de Fábrica, Figura 14 trecho D-I-S e de Belo Horizonte, trecho I-L. Nestes trechos existem 15 locações, que por

serem estruturas repetitivas com o mesmo *lay-out* e com as mesmas funções na sinalização, podem ser modelados também por *template*, mas para o escopo deste trabalho estes trechos singelos serão representados por rede, sem modelar a sinalização e a via permanente.

4.3.2. Representação dos vagões

Para representar os vagões no modelo é necessário informar a quantidade totais de vagões GDE's que serão utilizados e a sua indisponibilidade (manutenção), desta forma é calculada a quantidade total de vagões GDE's disponíveis para a simulação. Os vagões GDE's no modelo trabalham agrupados em lotes de vagões padronizados, desta forma também é necessário informar o tamanho do lotes padrão expresso em quantidade de vagões. Hoje a EFVM trabalha com o lote padrão de 84 vagões, no modelo desenvolvido este parâmetro deve ser configurável.

Portanto, para representar os vagões será utilizada a Tabela 6.

Tabela 6: Arquivo de configuração dos vagões trens de ciclo

Parâmetro	Valor
Série vagão	GDE
Quantidades totais de vagões GDE	8.949
Indisponibilidade para manutenção (%)	2,40%
Quantidades totais de vagões disponíveis	8.734
Tamanho do lote padrão	84

Os parâmetros dos vagões da Tabela 6 estão descritos abaixo:

- **Série Vagão:** Código que representa o modelo do vagão, para a EFVM os vagões dos trens de ciclo são os vagões GDE;
- **Quantidade de vagões total:** Quantidade de vagões dos trens de ciclo da série GDE operacionais na EFVM;

- Disponibilidade dos vagões: Percentual que representa os vagões de trens de ciclo disponibilizados pela manutenção mecânica dos vagões para a operação;
- Tamanho do lote padrão: Tamanho do lote padrão de vagões para os trens de ciclo.

4.3.3. Representação dos trens de grade

Os trens de grade são os trens de carga geral e de passageiros, que tem as seguintes características:

- Tamanho do trem, em metros: Esta informação é usada para determinar em quais pátios o trem pode parar. Os trens não param em pátios mais curtos que a composição;
- Local de origem: Pátio onde é inicialmente formado;
- Dias da semana que o trem circula: Neste campo será previsto espaço de segunda-feira a domingo (sete dias);
- Horário de origem: Horário marcado para a partida do trem no dia;
- Local de destino: Pátio para onde o trem deve se deslocar;
- Horário de chegada: Horário previsto para a sua chegada no destino. No modelo, este horário é utilizado para medir a pontualidade do trem frente às interferências encontradas no percurso;
- Percentual de supressão: Probabilidade que determinado trem de grade é suprimido, isto é, a programação de circulação é cancelada. Este fato se deve a várias razões, como atrasos da entrega dos vagões pelo cliente,

quantidade de vagões nomeados para este trem é insuficiente para garantir a partida, etc;

- Atividades: Relação de pátios e tempos de atividade. Estes pátios deverão estar nos trechos do roteiro do trem. Quando o trem alcança um destes pátios, executa o tempo de atividade informado (troca de equipagem, abastecimento, inspeção, anexar / desanexar vagões e/ou locomotivas, etc).

4.3.4. Representação dos trens de ciclo

Quando se inicia a simulação é necessário incluir os vagões no modelo, a entrada destes é feita no setor de pátio de classificação no pátio do Tubarão, e os vagões são agrupados em lotes de tamanho padrão com 84 vagões. Cada lote incluído no modelo poderá atender ao programa de carregamento de carvão ou subir vazio para atender o carregamento de minério, vide Figura 17. Caso o lote vá carregar carvão ele entra no circuito do carvão, para depois entrar na formação do trem de carvão. Caso o lote vá sair vazio, ele vai direto para a formação do trem vazio. Após a entrada de todos os vagões no modelo, eles ficam rodando em ciclo até finalizar a simulação. Para que o sistema possa diluir na malha os trens, eliminando a concentração no sentido Tubarão aos pontos de carregamento, pela carga inicial dos vagões é necessário um período de *warm-up*, que garanta a distribuição destes trens na malha.

4.3.4.1. Partida de trens do Pátio de Tubarão

Após a descarga, os lotes vazios podem carregar carvão mineral, caso exista um programa de carregamento ou podem retornar vazios para o ponto de carregamento de minério.

A formação de trens partindo de Tubarão pode ter as seguintes configurações de lotes:

- Dois lotes de vagões vazios;
- Um lote de vagões com carvão da Usiminas e um lote de vagões vazios;
- Um lote de vagões com carvão da Açominas e um lote de vagões vazios;
- Um lote de vagões com carvão da Usiminas e um lote com carvão da Açominas;
- Três lotes de vagões vazios.

4.3.4.2. Partida de trens do Pátio de Câmara

Após a descarga do carvão e do minério de ferro, os lotes vazios são devolvidos pela Usiminas para a Vale, estes lotes vazios ficam estacionados aguardando a chegada de outro trem de carvão que desanexará o lote carregado e pegará o lote vazio entregue pela Usiminas.

A formação de trens partindo de Câmara pode ter as seguintes configurações de lotes:

- Dois lotes de vagões vazios, podendo ser distribuído para qualquer pátio de carregamento da EFVM;
- Um lote de vagões vazios (que não precisa aguardar o trem de carvão chegar para ser formado). Neste caso geralmente este lote solteiro vai para o carregamento no pátio de Azurita.

4.3.4.3. Partida de trens do Pátio de Ouro Branco

Após a descarga os lotes vazios são devolvidos pela Açominas para a Vale.

A formação de trens partindo de Ouro Branco pode ter a seguinte configuração de lotes:

- Um lote de vagões vazios, que pode ser distribuído para carregamento no pátio do Patrag, Fábrica Muro, Fábrica ou Timbopeba.

4.3.4.4. Direcionamento de lotes vazios

Todos os lotes vazios que saem dos pátios de Tubarão e Intendente Câmara saem por padrão, com o destino inicial o pátio de Drumond, e os que saem do pátio de Ouro Branco têm destino inicial o pátio do Patrag.

Durante a circulação os lotes do trem de ciclo são direcionados para o ponto de carregamento. Este processo considera a programação diária, os lotes já alocados anteriormente, desempenho e disponibilidade do ponto de carregamento.

Este processo de direcionamento de lotes vazios é feito de forma manual pelo Centro de Controle Operacional (CCO) em conjunto com a área de Programação das Minas. Mesmo após esta definição em função de ocorrências posteriores, estes direcionamentos poderão sofrer alterações. Existem fisicamente alguns pontos limites que uma vez ultrapassados inviabilizam novos redirecionados, por exemplo, se já existe um trem seguindo para Itabira já circulando no trecho Drumond à Laboriau, não é possível fazer alteração do direcionamento para pátios do ramal de Fábrica ou de Belo Horizonte.

Para fazer os direcionamentos dos lotes vazios para os pontos de carregamentos, será montado um algoritmo, que utiliza os seguintes passos:

Passo 1: Os Pontos de carregamento fazem os pedidos para os carregamentos de minério de ferro para o Mercado Externo e Interno (Usiminas, Arcelor Mittal e Açominas);

Passo 2: Um algoritmo de decisão faz a análise da distribuição por seis avaliações em seqüência de prioridade:

- **Avaliação 1 – Distribuição no ramal** – Os 11 pontos de carregamento são distribuídos em 4 trechos de carregamento que serão denominados de ramal de Itabira, de Bicas, de Fábrica e de Belo Horizonte. O algoritmo avalia qual dos quatro ramais está mais atrasado percentualmente no cumprimento do programa e faz a distribuição buscando equilibrar o percentual de atendimento;
- **Avaliação 2 – Quantidade máxima alocadas por trecho de carregamento** – O algoritmo avalia a quantidade máxima de lotes que cada ramal pode receber;
- **Avaliação 3 – Filas máximas por ponto de carregamento** – O algoritmo avalia também a quantidade máxima de lotes vazios que podem ser alocados para determinado ponto de carregamento;
- **Avaliação 4 – Manutenções preventivas e corretivas** – As manutenções preventivas e corretivas limitam o recebimento de lotes vazios nos ramais nas avaliações 2 e 3;
- **Avaliação 5 – Define o Ponto de Carregamento** - Distribui em função do percentual de atendimento do ponto de carregamento que está mais atrasado (somando o Mercado Externo e Interno);
- **Avaliação 6 – Define se carrega para a Usiminas, Arcelor Mittal Tubarão, Açominas e Mercado Externo no Ponto de**

Carregamento - Distribui em função do percentual de atendimento no ponto de carregamento priorizando quem está mais atrasado, e em caso de empate a prioridade é o Mercado Interno na seguinte ordem: Primeiro a Usiminas, em segundo a Arcelor Mittal Tubarão, em terceiro a Açominas e em quarto lugar o Mercado Externo.

4.3.4.5. Informações dos trens de ciclo vazio ou com carvão

O trem de ciclo subindo vazio ou transportando o carvão (carga de retorno) tem dois grupos de informações distintas, que são as características do trem e dos lotes que eles transportam:

As características deste trem são:

- Tamanho do trem, em metros: Esta informação é usada para determinar em quais pátios o trem pode parar. Os trens não para em pátios mais curtos que a composição;
- Quantidade de lotes;
- Origem do trem.

As características dos lotes são:

- Local de origem: Pátio onde é originado o lote;
- Cliente da carga;
- Quantidade de vagões do lote;

- Produto transportado: Carvão ou Vazio;
- Local de destino;
- Peso de carga por vagão;
- Informações dos trens de ciclo descendo carregado com minério de ferro.

O trem de ciclo descendo carregado com minério de ferro tem dois grupos de informações distintas, que são as características do trem e dos lotes que eles transportam:

As características deste trem são:

- Tamanho do trem, em metros: Esta informação é usada para determinar em quais pátios o trem pode parar. Os trens não param em pátios mais curtos que a composição;
- Quantidade de lotes;
- Origem do trem.

As características dos lotes são:

- Local de origem: Pátio onde é originado o lote;
- Cliente da carga: Cliente destino da carga. Mercado Externo: Porto ou Mercado Interno (Usiminas, Arcelor Mittal ou Açominas);
- Quantidade de vagões do lote;
- Produto transportado: Minério de ferro;

- Local de destino: Destino do carregamento – Mercado Externo: Pátio de Tubarão (Porto) ou Mercado Interno: Pátio de Intendente Câmara (Usiminas), Pátio de Tubarão (Arcelor Mittal) ou Pátio de Ouro Branco (Açominas);
- Peso de carga por vagão: Peso líquido transportado.

4.3.4.6. Representação dos tempos de percurso em trânsito e a probabilidade de defeitos no trem ou na via permanente

Nas locações em trechos duplos o tempo que o trem gasta para circular por uma seção de bloqueio depende da configuração do trem e do sentido do trem.

As seções de bloqueio são representadas por uma codificação que segue a seguinte regra:

- Seção de bloqueio SB2B da Locação RH XX – É representada por um código que representa a locação e o terceiro dígito é igual a 1, portanto o código é XX1;
- Seção de bloqueio SB1B da Locação RH XX – É representada por um código que representa a locação e o terceiro dígito é igual a 2, portanto o código é XX2;
- Seção de bloqueio SB1C da locação RH XX - É representada por um código que representa a locação e o terceiro dígito é igual a 3, portanto o código é XX3;
- Seção de bloqueio SB2C da locação RH XX - É representada por um código que representa a locação e o terceiro dígito é igual a 4, portanto o código é XX4;

Portanto, exemplificando a seção SB1C da locação RH 09 recebe o código 093, a seção SB2B da locação RH 25 recebe o código 251.

Os trens de ciclo que estão neste modelo terão as seguintes configurações:

- Trens no sentido Subindo: (Espírito Santo – Minas Gerais):
 - Tipo 10 – Trem de minério com dois lotes vazios;
 - Tipo 11 – Trem de minério com três lotes vazios;
 - Tipo 12 – Trem de minério com um lote carregado com carvão e um lote vazio;
 - Tipo 13 – Trem de carvão misto (com dois lotes de carvão, um para o cliente Usiminas e outro para o cliente Açominas);
 - Tipo 14 – Trem de minério com um lote vazio.

- Trens no sentido Descendo: (Minas Gerais - Espírito Santo):
 - Tipo 20 – Trem de minério com um lote carregado de minério de ferro;
 - Tipo 21 – Trem de minério com dois lotes carregados de minério de ferro;
 - Tipo 22 – Trem de minério com três lotes carregados de minério de ferro;

Em cada seção de bloqueio os trens circulando podem ter uma probabilidade de ocorrência de defeito devido à via permanente ou um defeito na composição

(locomotivas ou vagões). E em cada uma destas paradas por defeito, esta associada um tempo de atendimento para a normalização da ocorrência.

Portanto, a Tabela 7 representa os *transit-times* nas seções de bloqueios.

Os parâmetros dos *transit-times* nas seções de bloqueio da Tabela 7 estão descritos abaixo:

- Nome da SB – É o nome da seção de bloqueio;
- Código da SB – código da SB;
- Tempo de percurso do trem Tipo 10: Tempo de percurso do trem tipo 10;
- Tempo de percurso do trem Tipo 11: Tempo de percurso do trem tipo 11;
- Tempo de percurso do trem Tipo 12: Tempo de percurso do trem tipo 12;
- Tempo de percurso do trem Tipo 13: Tempo de percurso do trem tipo 13;
- Tempo de percurso do trem Tipo 20: Tempo de percurso do trem tipo 20;
- Tempo de percurso do trem Tipo 21: Tempo de percurso do trem tipo 20;
- Tempo de percurso do trem Tipo 22: Tempo de percurso do trem tipo 22;
- Disponibilidade dos trens na Seção de Bloqueio: Probabilidade do trem ter um defeito e parar, por defeito na via permanente ou na composição;
- Tempo de atendimento do defeito na via ou na composição na Seção de Bloqueio: Tempo de atendimento para o reparo da via ou da composição.

Todos os valores da Tabela 7 são em minutos.

Para representar os tempos de percursos dos trens de ciclo nas locações nos trechos singelos será utilizada a Tabela 8. Nesta modelagem para os trechos singelos, os trens circularão em rede, isto é, entre dois pontos (pátios), sem levar em conta a sinalização e o *lay-out* da via permanente.

Os *transit-times* na Tabela 7 e 8 estão sendo representados pela função probabilística triangular, que são adequadas para representar as movimentações dos trens pela malha.

Os parâmetros do *transit-time* entre os pátios de controle da EFVM (por rede) da Tabela 8 estão descritos abaixo:

- Parâmetro: *Transit-time* do trecho entre dois pátios;
- Sentido do trem: Sentido da circulação, que é subindo no sentido Espírito Santo – Minas Gerais e é descendo no sentido Minas Gerais – Espírito Santo;
- Tempo de percurso do trem: Tempo do percurso do trem entre dois pátios;

Todos os valores da Tabela 8 são em minutos.

Tabela 7: Arquivo com os Transit-time trens de ciclo nas seções de bloqueio

(continua)

Parâmetro	Código	SUBINDO				
		10	11	12	13	14
		Tipo 10 (Trem minério com 2 lotes vazios)	Tipo 11 (Trem minério com 3 lotes vazios)	Tipo 12 (Trem minério com 1 carvão e 1 vazio)	Tipo 13 (Trem minério com 2 carvão)	Tipo 14 (trem minério com 1 lote vazio)
TT 005SB2B	51	TRIA(1.5798,1.6588,1.7418)	TRIA(1.921,2.017,2.1179)	TRIA(1.6175,1.6984,1.7833)	TRIA(1.6175,1.6984,1.7833)	TRIA(0,0,0)
TT 005SB1B	52	TRIA(1.5798,1.6588,1.7418)	TRIA(1.921,2.017,2.1179)	TRIA(1.6175,1.6984,1.7833)	TRIA(1.6175,1.6984,1.7833)	TRIA(0,0,0)
TT 005SB1C	53	TRIA(2.73,2.8665,3.0098)	TRIA(2.6,2.73,2.8665)	TRIA(2.8,2.94,3.087)	TRIA(2.8,2.94,3.087)	TRIA(0,0,0)
TT 005SB2C	54	TRIA(2.73,2.8665,3.0098)	TRIA(2.6,2.73,2.8665)	TRIA(2.8,2.94,3.087)	TRIA(2.8,2.94,3.087)	TRIA(0,0,0)
TT 004SB2B	41	TRIA(2.1311,2.2377,2.3496)	TRIA(2.177,2.2859,2.4002)	TRIA(2.2157,2.3265,2.4428)	TRIA(2.2157,2.3265,2.4428)	TRIA(0,0,0)
TT 004SB1B	42	TRIA(2.1311,2.2377,2.3496)	TRIA(2.177,2.2859,2.4002)	TRIA(2.2157,2.3265,2.4428)	TRIA(2.2157,2.3265,2.4428)	TRIA(0,0,0)
TT 004SB1C	43	TRIA(1.785,1.8743,1.968)	TRIA(2.6,2.73,2.8665)	TRIA(1.89,1.9845,2.0837)	TRIA(1.89,1.9845,2.0837)	TRIA(0,0,0)
TT 004SB2C	44	TRIA(1.785,1.8743,1.968)	TRIA(2.6,2.73,2.8665)	TRIA(1.89,1.9845,2.0837)	TRIA(1.89,1.9845,2.0837)	TRIA(0,0,0)
TT 003SB2B	31	TRIA(1.1678,1.2262,1.2875)	TRIA(2.3,2.415,2.5358)	TRIA(2.25,2.3625,2.4806)	TRIA(2.25,2.3625,2.4806)	TRIA(0,0,0)
TT 003SB1B	32	TRIA(1.1678,1.2262,1.2875)	TRIA(2.3,2.415,2.5358)	TRIA(2.25,2.3625,2.4806)	TRIA(2.25,2.3625,2.4806)	TRIA(0,0,0)
TT 003SB1C	33	TRIA(1.1678,1.2262,1.2875)	TRIA(2.3,2.415,2.5358)	TRIA(0,0,0)	TRIA(0,0,0)	TRIA(0,0,0)
TT 003SB2C	34	TRIA(1.1678,1.2262,1.2875)	TRIA(2.3,2.415,2.5358)	TRIA(0,0,0)	TRIA(0,0,0)	TRIA(0,0,0)
TT 006SB2B	61	TRIA(1.6607,1.7437,1.8309)	TRIA(1.677,1.7609,1.8489)	TRIA(1.7589,1.8468,1.9392)	TRIA(1.7589,1.8468,1.9392)	TRIA(0,0,0)
TT 006SB1B	62	TRIA(1.6607,1.7437,1.8309)	TRIA(1.677,1.7609,1.8489)	TRIA(1.7589,1.8468,1.9392)	TRIA(1.7589,1.8468,1.9392)	TRIA(0,0,0)
TT 006SB1C	63	TRIA(0.7359,0.7726,0.8113)	TRIA(0.7333,0.77,0.8085)	TRIA(0.785,0.8243,0.8655)	TRIA(0.785,0.8243,0.8655)	TRIA(0,0,0)
TT 006SB2C	64	TRIA(0.7359,0.7726,0.8113)	TRIA(0.7333,0.77,0.8085)	TRIA(0.785,0.8243,0.8655)	TRIA(0.785,0.8243,0.8655)	TRIA(0,0,0)
TT 007SB2B	71	TRIA(0.9204,0.9664,1.0147)	TRIA(0.9115,0.9571,1.005)	TRIA(0.9548,1.0026,1.0527)	TRIA(0.9548,1.0026,1.0527)	TRIA(0,0,0)
TT 007SB1B	72	TRIA(0.9204,0.9664,1.0147)	TRIA(0.9115,0.9571,1.005)	TRIA(0.9548,1.0026,1.0527)	TRIA(0.9548,1.0026,1.0527)	TRIA(0,0,0)
TT 007SB1C	73	TRIA(1.7586,1.8465,1.9389)	TRIA(1.7354,1.8222,1.9133)	TRIA(1.837,1.9288,2.0253)	TRIA(1.837,1.9288,2.0253)	TRIA(0,0,0)
TT 007SB2C	74	TRIA(1.7586,1.8465,1.9389)	TRIA(1.7354,1.8222,1.9133)	TRIA(1.837,1.9288,2.0253)	TRIA(1.837,1.9288,2.0253)	TRIA(0,0,0)
TT 008SB2B	81	TRIA(1.8615,1.9546,2.0523)	TRIA(1.8073,1.8977,1.9926)	TRIA(1.9682,2.0666,2.1699)	TRIA(1.9682,2.0666,2.1699)	TRIA(0,0,0)
TT 008SB1B	82	TRIA(1.8615,1.9546,2.0523)	TRIA(1.8073,1.8977,1.9926)	TRIA(1.9682,2.0666,2.1699)	TRIA(1.9682,2.0666,2.1699)	TRIA(0,0,0)
TT 008SB1C	83	TRIA(2.2704,2.3839,2.5031)	TRIA(2.344,2.4612,2.5842)	TRIA(2.9169,3.0628,3.2159)	TRIA(2.9169,3.0628,3.2159)	TRIA(0,0,0)
TT 008SB2C	84	TRIA(2.2704,2.3839,2.5031)	TRIA(2.344,2.4612,2.5842)	TRIA(2.9169,3.0628,3.2159)	TRIA(2.9169,3.0628,3.2159)	TRIA(0,0,0)
TT 009SB2B	91	TRIA(1.8367,1.9286,2.025)	TRIA(2.1785,2.2874,2.4018)	TRIA(2.2976,2.4125,2.5331)	TRIA(2.2976,2.4125,2.5331)	TRIA(0,0,0)
TT 009SB1B	92	TRIA(1.8367,1.9286,2.025)	TRIA(2.1785,2.2874,2.4018)	TRIA(2.2976,2.4125,2.5331)	TRIA(2.2976,2.4125,2.5331)	TRIA(0,0,0)
TT 009SB1C	93	TRIA(1.5743,1.653,1.7357)	TRIA(1.629,1.7104,1.7959)	TRIA(1.6547,1.7375,1.8244)	TRIA(1.6547,1.7375,1.8244)	TRIA(0,0,0)
TT 009SB2C	94	TRIA(1.5743,1.653,1.7357)	TRIA(1.629,1.7104,1.7959)	TRIA(1.6547,1.7375,1.8244)	TRIA(1.6547,1.7375,1.8244)	TRIA(0,0,0)
TT 010SB2B	101	TRIA(1.6011,1.6811,1.7652)	TRIA(1.6221,1.7032,1.7884)	TRIA(1.695,1.7797,1.8687)	TRIA(1.695,1.7797,1.8687)	TRIA(0,0,0)
TT 010SB1B	102	TRIA(1.6011,1.6811,1.7652)	TRIA(1.6221,1.7032,1.7884)	TRIA(1.695,1.7797,1.8687)	TRIA(1.695,1.7797,1.8687)	TRIA(0,0,0)
TT 010SB1C	103	TRIA(1.4896,1.5641,1.6423)	TRIA(1.4666,1.54,1.617)	TRIA(1.5895,1.669,1.7524)	TRIA(1.5895,1.669,1.7524)	TRIA(0,0,0)
TT 010SB2C	104	TRIA(1.4896,1.5641,1.6423)	TRIA(1.4666,1.54,1.617)	TRIA(1.5895,1.669,1.7524)	TRIA(1.5895,1.669,1.7524)	TRIA(0,0,0)
TT 011SB2B	111	TRIA(1.6381,1.72,1.806)	TRIA(1.6553,1.738,1.8249)	TRIA(1.7615,1.8496,1.9421)	TRIA(1.7615,1.8496,1.9421)	TRIA(0,0,0)
TT 011SB1B	112	TRIA(1.6381,1.72,1.806)	TRIA(1.6553,1.738,1.8249)	TRIA(1.7615,1.8496,1.9421)	TRIA(1.7615,1.8496,1.9421)	TRIA(0,0,0)
TT 011SB1C	113	TRIA(1.7534,1.8411,1.9332)	TRIA(1.7448,1.832,1.9236)	TRIA(1.8446,1.9369,2.0337)	TRIA(1.8446,1.9369,2.0337)	TRIA(0,0,0)
TT 011SB2C	114	TRIA(1.7534,1.8411,1.9332)	TRIA(1.7448,1.832,1.9236)	TRIA(1.8446,1.9369,2.0337)	TRIA(1.8446,1.9369,2.0337)	TRIA(0,0,0)
TT 012SB2B	121	TRIA(1.9339,2.0306,2.1321)	TRIA(1.8058,1.8961,1.9909)	TRIA(2.1406,2.2476,2.36)	TRIA(2.1406,2.2476,2.36)	TRIA(0,0,0)
TT 012SB1B	122	TRIA(1.9339,2.0306,2.1321)	TRIA(1.8058,1.8961,1.9909)	TRIA(2.1406,2.2476,2.36)	TRIA(2.1406,2.2476,2.36)	TRIA(0,0,0)
TT 012SB1C	123	TRIA(1.7294,1.8159,1.9067)	TRIA(1.8881,1.9825,2.0816)	TRIA(1.8737,1.9674,2.0658)	TRIA(1.8737,1.9674,2.0658)	TRIA(0,0,0)
TT 012SB2C	124	TRIA(1.7294,1.8159,1.9067)	TRIA(1.8881,1.9825,2.0816)	TRIA(1.8737,1.9674,2.0658)	TRIA(1.8737,1.9674,2.0658)	TRIA(0,0,0)
TT 013SB2B	131	TRIA(1.7871,1.8764,1.9703)	TRIA(1.7791,1.8681,1.9615)	TRIA(1.9022,1.9973,2.0972)	TRIA(1.9022,1.9973,2.0972)	TRIA(0,0,0)
TT 013SB1B	132	TRIA(1.7871,1.8764,1.9703)	TRIA(1.7791,1.8681,1.9615)	TRIA(1.9022,1.9973,2.0972)	TRIA(1.9022,1.9973,2.0972)	TRIA(0,0,0)
TT 013SB1C	133	TRIA(1.594,1.6737,1.7574)	TRIA(1.6261,1.7074,1.7927)	TRIA(1.7274,1.8137,1.9044)	TRIA(1.7274,1.8137,1.9044)	TRIA(0,0,0)
TT 013SB2C	134	TRIA(1.594,1.6737,1.7574)	TRIA(1.6261,1.7074,1.7927)	TRIA(1.7274,1.8137,1.9044)	TRIA(1.7274,1.8137,1.9044)	TRIA(0,0,0)
TT 014SB2B	141	TRIA(2.09,2.1945,2.3043)	TRIA(2.1423,2.2495,2.3619)	TRIA(2.7086,2.844,2.9862)	TRIA(2.7086,2.844,2.9862)	TRIA(0,0,0)
TT 014SB1B	142	TRIA(2.09,2.1945,2.3043)	TRIA(2.1423,2.2495,2.3619)	TRIA(2.7086,2.844,2.9862)	TRIA(2.7086,2.844,2.9862)	TRIA(0,0,0)
TT 014SB1C	143	TRIA(1.568,1.6464,1.7287)	TRIA(1.7493,1.8368,1.9287)	TRIA(1.6816,1.7657,1.854)	TRIA(1.6816,1.7657,1.854)	TRIA(0,0,0)
TT 014SB2C	144	TRIA(1.568,1.6464,1.7287)	TRIA(1.7493,1.8368,1.9287)	TRIA(1.6816,1.7657,1.854)	TRIA(1.6816,1.7657,1.854)	TRIA(0,0,0)
TT 015SB2B	151	TRIA(1.7702,1.8587,1.9516)	TRIA(1.748,1.8354,1.9271)	TRIA(1.8863,1.9806,2.0796)	TRIA(1.8863,1.9806,2.0796)	TRIA(0,0,0)
TT 015SB1B	152	TRIA(1.7702,1.8587,1.9516)	TRIA(1.748,1.8354,1.9271)	TRIA(1.8863,1.9806,2.0796)	TRIA(1.8863,1.9806,2.0796)	TRIA(0,0,0)
TT 015SB1C	153	TRIA(1.6668,1.7502,1.8377)	TRIA(1.8857,1.98,2.079)	TRIA(1.8403,1.9323,2.029)	TRIA(1.8403,1.9323,2.029)	TRIA(0,0,0)
TT 015SB2C	154	TRIA(1.6668,1.7502,1.8377)	TRIA(1.8857,1.98,2.079)	TRIA(1.8403,1.9323,2.029)	TRIA(1.8403,1.9323,2.029)	TRIA(0,0,0)
TT 016SB2B	161	TRIA(1.6781,1.762,1.8501)	TRIA(1.9693,2.0678,2.1712)	TRIA(1.8369,1.9287,2.0252)	TRIA(1.8369,1.9287,2.0252)	TRIA(0,0,0)
TT 016SB1B	162	TRIA(1.6781,1.762,1.8501)	TRIA(1.9693,2.0678,2.1712)	TRIA(1.8369,1.9287,2.0252)	TRIA(1.8369,1.9287,2.0252)	TRIA(0,0,0)
TT 016SB1C	163	TRIA(1.5559,1.6336,1.7153)	TRIA(1.5967,1.6766,1.7604)	TRIA(1.6546,1.7374,1.8242)	TRIA(1.6546,1.7374,1.8242)	TRIA(0,0,0)
TT 016SB2C	164	TRIA(1.5559,1.6336,1.7153)	TRIA(1.5967,1.6766,1.7604)	TRIA(1.6546,1.7374,1.8242)	TRIA(1.6546,1.7374,1.8242)	TRIA(0,0,0)
TT 017SB2B	171	TRIA(1.7281,1.8145,1.9053)	TRIA(1.6764,1.7602,1.8482)	TRIA(1.8283,1.9197,2.0157)	TRIA(1.8283,1.9197,2.0157)	TRIA(0,0,0)
TT 017SB1B	172	TRIA(1.7281,1.8145,1.9053)	TRIA(1.6764,1.7602,1.8482)	TRIA(1.8283,1.9197,2.0157)	TRIA(1.8283,1.9197,2.0157)	TRIA(0,0,0)
TT 017SB1C	173	TRIA(1.4859,1.5680,1.6382)	TRIA(1.4994,1.5744,1.6531)	TRIA(1.5634,1.6416,1.7237)	TRIA(1.5634,1.6416,1.7237)	TRIA(0,0,0)
TT 017SB2C	174	TRIA(1.4859,1.5680,1.6382)	TRIA(1.4994,1.5744,1.6531)	TRIA(1.5634,1.6416,1.7237)	TRIA(1.5634,1.6416,1.7237)	TRIA(0,0,0)
TT 018SB2B	181	TRIA(1.6765,1.7604,1.8484)	TRIA(1.6867,1.7711,1.8596)	TRIA(1.7627,1.8508,1.9434)	TRIA(1.7627,1.8508,1.9434)	TRIA(0,0,0)
TT 018SB1B	182	TRIA(1.6765,1.7604,1.8484)	TRIA(1.6867,1.7711,1.8596)	TRIA(1.7627,1.8508,1.9434)	TRIA(1.7627,1.8508,1.9434)	TRIA(0,0,0)
TT 018SB1C	183	TRIA(1.6046,1.6848,1.769)	TRIA(1.6309,1.7124,1.798)	TRIA(1.7106,1.7962,1.886)	TRIA(1.7106,1.7962,1.886)	TRIA(0,0,0)
TT 018SB2C	184	TRIA(1.6046,1.6848,1.769)	TRIA(1.6309,1.7124,1.798)	TRIA(1.7106,1.7962,1.886)	TRIA(1.7106,1.7962,1.886)	TRIA(0,0,0)
TT 019SB2B	191	TRIA(1.7111,1.7967,1.8865)	TRIA(1.735,1.8218,1.9129)	TRIA(1.808,1.8984,1.9933)	TRIA(1.808,1.8984,1.9933)	TRIA(0,0,0)
TT 019SB1B	192	TRIA(1.7111,1.7967,1.8865)	TRIA(1.735,1.8218,1.9129)	TRIA(1.808,1.8984,1.9933)	TRIA(1.808,1.8984,1.9933)	TRIA(0,0,0)
TT 019SB1C	193	TRIA(1.714,1.7997,1.8897)	TRIA(1.7011,1.7862,1.8755)	TRIA(1.8042,1.8944,1.9891)	TRIA(1.8042,1.8944,1.9891)	TRIA(0,0,0)
TT 019SB2C	194	TRIA(1.714,1.7997,1.8897)	TRIA(1.7011,1.7862,1.8755)	TRIA(1.8042,1.8944,1.9891)	TRIA(1.8042,1.8944,1.9891)	TRIA(0,0,0)
TT 020SB2B	201	TRIA(1.8298,1.9213,2.0174)	TRIA(1.9024,1.9975,2.0974)	TRIA(1.9948,2.0946,2.1993)	TRIA(1.9948,2.0946,2.1993)	TRIA(0,0,0)
TT 020SB1B	202	TRIA(1.8298,1.9213,2.0174)	TRIA(1.9024,1.9975,2.0974)	TRIA(1.9948,2.0946,2.1993)	TRIA(1.9948,2.0946,2.1993)	TRIA(0,0,0)
TT 020SB1C	203	TRIA(1.5711,1.6497,1.7321)	TRIA(1.607,1.6874,1.7718)	TRIA(1.6825,1.7666,1.8549)	TRIA(1.6825,1.7666,1.8549)	TRIA(0,0,0)
TT 020SB2C	204	TRIA(1.5711,1.6497,1.7321)	TRIA(1.607,1.6874,1.7718)	TRIA(1.6825,1.7666,1.8549)	TRIA(1.6825,1.7666,1.8549)	TRIA(0,0,0)
TT 021SB2B	211	TRIA(1.8121,1.9027,1.9979)	TRIA(1.796,1.8858,1.9801)	TRIA(1.9484,2.0458,2.1481)	TRIA(1.9484,2.0458,2.1481)	TRIA(0,0,0)

(conclusão)

Parâmetro	Código	DESCENDO			Disponibilidade trens	Tempo falha trem
		20	21	22		
		Tipo 20 (Trem minério com 1 lote carregado)	Tipo 21 (Trem minério com lotes 2 carregados)	Tipo 22 (Trem minério com lotes 3 carregados)		
TT 005SB2B	51	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.85,1.9425,2.0396)	TRIA(1.9,2,2.1)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 005SB1B	52	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.85,1.9425,2.0396)	TRIA(1.9,2,2.1)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 005SB1C	53	TRIA(0,0,0)	TRIA(3.2248,3.386,3.5553)	TRIA(1.9,2,2.1)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 005SB2C	54	TRIA(0,0,0)	TRIA(3.2248,3.386,3.5553)	TRIA(1.9,2,2.1)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 004SB2B	41	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.4236,2.5448,2.672)	TRIA(2.526,2.659,2.7919)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 004SB1B	42	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.4236,2.5448,2.672)	TRIA(2.526,2.659,2.7919)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 004SB1C	43	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.3768,2.4956,2.6204)	TRIA(2.526,2.659,2.7919)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 004SB2C	44	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.3768,2.4956,2.6204)	TRIA(2.526,2.659,2.7919)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 003SB2B	31	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.335,2.4518,2.5743)	TRIA(2.66,2.8,2.94)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 003SB1B	32	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.335,2.4518,2.5743)	TRIA(2.66,2.8,2.94)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 003SB1C	33	TRIA(0,0,0)	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.66,2.8,2.94)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 003SB2C	34	TRIA(0,0,0)	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.66,2.8,2.94)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 006SB2B	61	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.845,1.9373,2.0341)	TRIA(1.9475,2.05,2.1525)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 006SB1B	62	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.845,1.9373,2.0341)	TRIA(1.9475,2.05,2.1525)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 006SB1C	63	TRIA(0,0,0)	TRIA(0.9259,0.9722,1.0208)	TRIA(1.9475,2.05,2.1525)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 006SB2C	64	TRIA(0,0,0)	TRIA(0.9259,0.9722,1.0208)	TRIA(1.9475,2.05,2.1525)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 007SB2B	71	TRIA(0,0,0)	TRIA(0.8629,0.906,0.9513)	TRIA(0.8974,0.9447,0.9919)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 007SB1B	72	TRIA(0,0,0)	TRIA(0.8629,0.906,0.9513)	TRIA(0.8974,0.9447,0.9919)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 007SB1C	73	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.9984,2.0983,2.2032)	TRIA(0.8974,0.9447,0.9919)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 007SB2C	74	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.9984,2.0983,2.2032)	TRIA(0.8974,0.9447,0.9919)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 008SB2B	81	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.8656,1.9589,2.0568)	TRIA(1.8664,1.9646,2.0628)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 008SB1B	82	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.8656,1.9589,2.0568)	TRIA(1.8664,1.9646,2.0628)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 008SB1C	83	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.5346,2.6613,2.7944)	TRIA(1.8664,1.9646,2.0628)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 008SB2C	84	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.5346,2.6613,2.7944)	TRIA(1.8664,1.9646,2.0628)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 009SB2B	91	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.306,2.4213,2.5424)	TRIA(3.1461,3.3117,3.4773)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 009SB1B	92	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.306,2.4213,2.5424)	TRIA(3.1461,3.3117,3.4773)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 009SB1C	93	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.5644,2.6926,2.8273)	TRIA(3.1461,3.3117,3.4773)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 009SB2C	94	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.5644,2.6926,2.8273)	TRIA(3.1461,3.3117,3.4773)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 010SB2B	101	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.7586,1.8466,1.9389)	TRIA(2.3451,2.4685,2.592)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 010SB1B	102	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.7586,1.8466,1.9389)	TRIA(2.3451,2.4685,2.592)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 010SB1C	103	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.0966,2.2014,2.3115)	TRIA(2.3451,2.4685,2.592)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 010SB2C	104	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.0966,2.2014,2.3115)	TRIA(2.3451,2.4685,2.592)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 011SB2B	111	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.76,1.848,1.9404)	TRIA(1.7967,1.8913,1.9858)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 011SB1B	112	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.76,1.848,1.9404)	TRIA(1.7967,1.8913,1.9858)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 011SB1C	113	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.0075,2.1078,2.2132)	TRIA(1.7967,1.8913,1.9858)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 011SB2C	114	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.0075,2.1078,2.2132)	TRIA(1.7967,1.8913,1.9858)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 012SB2B	121	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.515,2.6408,2.7728)	TRIA(3.4263,3.6066,3.7869)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 012SB1B	122	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.515,2.6408,2.7728)	TRIA(3.4263,3.6066,3.7869)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 012SB1C	123	TRIA(0,0,0)	TRIA(3.4143,3.585,3.7642)	TRIA(3.4263,3.6066,3.7869)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 012SB2C	124	TRIA(0,0,0)	TRIA(3.4143,3.585,3.7642)	TRIA(3.4263,3.6066,3.7869)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 013SB2B	131	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.3462,2.4635,2.5867)	TRIA(2.1771,2.2917,2.4063)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 013SB1B	132	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.3462,2.4635,2.5867)	TRIA(2.1771,2.2917,2.4063)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 013SB1C	133	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.8898,1.9843,2.0835)	TRIA(2.1771,2.2917,2.4063)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 013SB2C	134	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.8898,1.9843,2.0835)	TRIA(2.1771,2.2917,2.4063)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 014SB2B	141	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.5212,2.6473,2.7797)	TRIA(2.8814,3.0331,3.1847)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 014SB1B	142	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.5212,2.6473,2.7797)	TRIA(2.8814,3.0331,3.1847)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 014SB1C	143	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.8738,1.9675,2.0659)	TRIA(2.8814,3.0331,3.1847)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 014SB2C	144	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.8738,1.9675,2.0659)	TRIA(2.8814,3.0331,3.1847)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 015SB2B	151	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.0304,2.1319,2.2385)	TRIA(2.1633,2.2772,2.391)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 015SB1B	152	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.0304,2.1319,2.2385)	TRIA(2.1633,2.2772,2.391)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 015SB1C	153	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.9583,3.1062,3.2615)	TRIA(2.1633,2.2772,2.391)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 015SB2C	154	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.9583,3.1062,3.2615)	TRIA(2.1633,2.2772,2.391)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 016SB2B	161	TRIA(0,0,0)	TRIA(3.2276,3.3889,3.5584)	TRIA(3.557,3.7442,3.9314)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 016SB1B	162	TRIA(0,0,0)	TRIA(3.2276,3.3889,3.5584)	TRIA(3.557,3.7442,3.9314)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 016SB1C	163	TRIA(0,0,0)	TRIA(3.4344,3.6062,3.7865)	TRIA(3.557,3.7442,3.9314)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 016SB2C	164	TRIA(0,0,0)	TRIA(3.4344,3.6062,3.7865)	TRIA(3.557,3.7442,3.9314)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 017SB2B	171	TRIA(0,0,0)	TRIA(3.1324,3.2891,3.4535)	TRIA(3.3849,3.5631,3.7412)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 017SB1B	172	TRIA(0,0,0)	TRIA(3.1324,3.2891,3.4535)	TRIA(3.3849,3.5631,3.7412)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 017SB1C	173	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.4045,2.5248,2.651)	TRIA(3.3849,3.5631,3.7412)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 017SB2C	174	TRIA(0,0,0)	TRIA(2.4045,2.5248,2.651)	TRIA(3.3849,3.5631,3.7412)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 018SB2B	181	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.827,1.9184,2.0143)	TRIA(1.7906,1.8848,1.979)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 018SB1B	182	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.827,1.9184,2.0143)	TRIA(1.7906,1.8848,1.979)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 018SB1C	183	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.8346,1.9263,2.0226)	TRIA(1.7906,1.8848,1.979)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 018SB2C	184	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.8346,1.9263,2.0226)	TRIA(1.7906,1.8848,1.979)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 019SB2B	191	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.783,1.8722,1.9658)	TRIA(1.7962,1.8907,1.9853)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 019SB1B	192	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.783,1.8722,1.9658)	TRIA(1.7962,1.8907,1.9853)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 019SB1C	193	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.9738,2.0725,2.1761)	TRIA(1.7962,1.8907,1.9853)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 019SB2C	194	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.9738,2.0725,2.1761)	TRIA(1.7962,1.8907,1.9853)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 020SB2B	201	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.9589,2.0569,2.1597)	TRIA(1.9377,2.0397,2.1417)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 020SB1B	202	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.9589,2.0569,2.1597)	TRIA(1.9377,2.0397,2.1417)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 020SB1C	203	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.8388,1.9307,2.0273)	TRIA(1.9377,2.0397,2.1417)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 020SB2C	204	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.8388,1.9307,2.0273)	TRIA(1.9377,2.0397,2.1417)	99,899	TRIA(100,180,280)
TT 021SB2B	211	TRIA(0,0,0)	TRIA(1.7627,1.8508,1.9434)	TRIA(1.9128,2.0134,2.1141)	99,899	TRIA(100,180,280)

Tabela 8: Arquivo com os *Transit-time* trens de ciclo por rede

Parâmetro	Sentido	Valor
Transit time VLB VJP	Subindo	TRIA(0.42,0.48,0.54)
Transit time VLB VCE	Subindo	TRIA(0.54,0.60,0.66)
Transit time RH86 VGS	Subindo	TRIA(2.97,3.3,3.63)
Transit time RH86 VBR	Subindo	TRIA(0.48,0.52,0.56)
Transit time RH86 VFZ	Subindo	TRIA(0.75,0.83,0.92)
Transit time RH86 ESQ	Subindo	TRIA(18.00,19.00,20.00)
Transit time VFZ VAL	Subindo	TRIA(0.30,0.33,0.36)
Transit time VFZ VTO	Subindo	TRIA(0.75,0.83,0.92)
Transit time VFZ VFA	Subindo	TRIA(3.30,3.67,4.04)
Transit time VFZ VFM	Subindo	TRIA(3.15,3.5,3.85)
Transit time VFZ VEB	Subindo	TRIA(2.70,3.00,3.30)
Transit time VEB VFA	Subindo	TRIA(0.45,0.50,0.55)
Transit time VEB VFM	Descendo	TRIA(0.45,0.50,0.55)
Transit time VFZ VOB	Subindo	TRIA(3.15,3.50,3.85)
Transit time VOB VPG	Descendo	TRIA(0.45,0.50,0.55)
Transit time VOB VFM	Descendo	TRIA(0.94,1.04,1.14)
Transit time VOB VFA	Descendo	TRIA(0.99,1.10,1.21)
Transit time VOB VTO	Descendo	TRIA(2.07,2.30,2.53)
Transit time VJP VLB	Descendo	TRIA(0.61,0.67,0.73)
Transit time VCE VLB	Descendo	TRIA(0.61,0.67,0.73)
Transit time VAL VFZ	Descendo	TRIA(0.30,0.33,0.36)
Transit time VTO VFZ	Descendo	TRIA(0.99,1.1,1.21)
Transit time VFA VOB	Descendo	TRIA(1.80,2.00,2.20)
Transit time VFA VFZ	Descendo	TRIA(3.60,4.00,4.40)
Transit time VFM VFZ	Descendo	TRIA(3.06,3.40,3.74)
Transit time VPG VFZ	Descendo	TRIA(3.30,3.66,4.02)
Transit time VBR RH86	Descendo	TRIA(2.44,2.57,2.69)
Transit time VGS RH86	Descendo	TRIA(4.34,4.57,4.80)
Transit time VGS RH86	Descendo	TRIA(3.90,4.12,4.33)
Transit time ESQ RH86	Descendo	TRIA(14.83,15.62,16.40)
Transit time VFZ RH86	Descendo	TRIA(1.805,1.90,1.99)

4.3.4.7. Representação das atividades em pátios

4.3.4.7.1. Representação dos tempos das atividades no pátio de Tubarão

Para este modelo de simulação todos os arquivos com os tempos de eventos em pátios e terminais utilizarão os tempos praticados em Setembro de 2008, que foi um mês de alto volume de transporte na EFVM.

Para representar as atividades no pátio de Tubarão, será utilizada a Tabela 9.

Os parâmetros dos tempos dos eventos no pátio de Tubarão da Tabela 9 estão descritos abaixo:

- Tempo chegada Tubarão: Tempo de percurso dos trens de minério entre a sua chegada e o pátio de recepção, que o local que os lotes de vagões serão deixados para aguardar a descarga pelo Porto ou pela Arcelor Mittal;
- Tempo manobra desmembramento: Tempo gasto na manobra de desmembramento do trem de minério carregado com dois lotes de 84 vagões, sendo que os lotes de vagões ficam aguardando a descarga pelo Porto ou pela Arcelor Mittal no pátio de recepção do Tubarão. Neste evento, as locomotivas são retiradas do trem e recolhidas para a Oficina de Locomotivas e também os maquinistas são retirados da composição;
- Tempo mínimo na recepção: Tempo mínimo que os lotes de vagões carregados com minério de ferro ficam aguardando a descarga no pátio de recepção. Este tempo é mínimo, pois caso os viradores do Porto fiquem disponíveis, estes lotes são manobrados para posicionamento nos viradores do Porto ou da Arcelor Mittal;

Tabela 9: Arquivo configuração tempos dos eventos pátio de Tubarão

Parâmetro	Valor
Tempo Chegada Tubarão Lido	TRIA(9,10,11)
Tempo manobra desmembramento Lido	TRIA(18,20,25)
Tempo mínimo na recepção Lido	TRIA(18,20,25)
Tempo manobra porto Lido	TRIA(16,18,20)
Tempo manobra Arcelor Mittal Lido	TRIA(54,60,66)
Tempo descarga Porto Lido	TRIA(78,80,84)
Tempo descarga Arcelor Mittal Lido	TRIA(216,240,264)
Tempo retirada vazios Porto liberando virador Lido	TRIA(4.5,5,5.5)
Tempo retirada vazios Arcelor Mittal liberando virador Lido	TRIA(4.5,5,5.5)
Tempo manobra do VV Porto para estacionamento Lido	TRIA(4.5,5,5.5)
Tempo manobra do VV Arcelor Mittal para estacionamento Lido	TRIA(18,20,22)
Tempo estacionamento Lido	TRIA(27,30,33)
Tempo manobra para classificação e <i>by pass</i>	TRIA(9,10,11)
Tempo classificação hump yard Lido	TRIA(18,20,22)
Tempo <i>by pass</i> hump yard Lido	TRIA(9,10,11)
Tempo aguardando programação Lido	TRIA(27,30,33)
Tempo manobra para limpeza vagões Lido	TRIA(18,20,22)
Tempo limpeza vagões carvão lote padrão Lido	TRIA(78,80,88)
Tempo manobra para silo carvão Lido	TRIA(18,20,22)
Tempo carregamento carvão lote padrão Lido	TRIA(100,110,120)
Tempo manobra carvão para formação Lido	TRIA(16,20,22)
Tempo manobra vazio para a formação Lido	TRIA(25,30,35)
Tempo manobra formação trem 168 Lido	TRIA(55,60,65)
Tempo manobra formação trem 252 Lido	TRIA(85,90,95)
Tempo manobra partida Lido	TRIA(28,30,32)

- Tempo manobra porto: Tempo gasto na manobra de posicionamento dos lotes carregados entre o pátio de recepção e o virador de vagão do Porto de Tubarão;
- Tempo manobra na Arcelor Mittal: Tempo gasto na manobra de posicionamento dos lotes carregados entre o pátio de recepção e o virador de vagão da Siderúrgica Arcelor Mittal no Pátio de Tubarão;

- Tempo descarga Porto: Tempo gasto na descarga de um lote de 84 vagões carregados de minério de ferro no virador de vagões do Porto de Tubarão. Estes viradores viram simultaneamente dois vagões por vez;
- Tempo descarga Arcelor Mittal: Tempo gasto na descarga de um lote de 84 vagões carregados de minério de ferro no virador da Siderúrgica Arcelor Mittal no Pátio de Tubarão. Este virador vira apenas um vagão por vez;
- Tempo retirada vazios Porto liberando virador: Tempo gasto na manobra do lote vazio para a liberação do virador após a descarga do Porto;
- Tempo retirada vazios Arcelor Mittal liberando virador: Tempo gasto na manobra do lote vazio para a liberação do virador após a descarga da Arcelor Mittal;
- Tempo manobra do VV Porto para estacionamento: Tempo gasto na manobra após a liberação do virador até o pátio de estacionamento de lotes vazios após a descarga do Porto;
- Tempo manobra do VV Arcelor Mittal para estacionamento: Tempo gasto na manobra após a liberação do virador até o pátio de estacionamento de lotes vazios após a descarga do Arcelor Mittal;
- Tempo estacionamento: Tempo que os lotes de vazios ficam no pátio de estacionamento aguardando o processo de classificação;
- Tempo manobra para classificação e *by pass*: Tempo de manobra entre o pátio de estacionamento de vagões e a rampa de classificação (*Hump-yard*), ou caso os lotes de vazios não precisem de classificação até as linhas de *by pass* da classificação;

- Tempo classificação *hump-yard*: Tempo da manobra de classificação de vagões no *hump-yard*. O *hump-yard* é um equipamento bastante utilizado em ferrovias no mundo. Este equipamento elimina a necessidade de manobras ferroviárias convencionais. Após a descarga dos lotes nos viradores, existe uma inspeção mecânica onde os mecânicos identificam se os vagões estão OK para uma próxima viagem, ou se estes estão destacados para manutenções preventivas, se é necessário alguma corretiva, etc. Para cada lote é digitado no sistema do *hump-yard* o posicionamento e a quantidades de vagões OK, com preventiva vencida ou com alguma corretiva, desta forma quando o lote passar no *hump-yard*, este lote é classificado respeitando a ordem dada pelo mecânico;
- Tempo *by pass hump-yard*: Tempo da manobra entre o pátio de estacionamento e o pátio de vagões aguardando programação. Este *by-pass* é utilizado quando o lote é dito “zero reparo”, isto é, todos os vagões do lote estão OK para viagem, não havendo necessidade de passar no *hump-yard*;
- Tempo aguardando programação: Tempo que os lotes de vazios, que estão OK para viagem, aguardando a decisão do controle de pátio, que define se os lotes retornaram vazios para o carregamento de minério ou se serão utilizados para o carregamento de carvão no pátio de Tubarão;
- Tempo manobra para limpeza vagões: Tempo gasto na manobra entre o pátio aguardando programação e o pátio para a limpeza de vagões para carregamento de carvão;
- Tempo limpeza vagões: Tempo gasto no processo de limpeza dos resíduos de minério de ferro da descarga anterior. Este processo é totalmente manual, e apenas os lotes destacados para o carregamento de carvão é que irão sofrer este processo;

- Tempo manobra para silo carvão: Tempo de manobra gasto entre o pátio de limpeza e o silo de carvão;
- Tempo carregamento carvão: Tempo gasto para o carregamento no silo de carvão. Para os vagões de ciclo (GDE) os lotes são carregados para dois destinos, que são para o pátio de Intendente Câmara, onde está localizada a Siderúrgica Usiminas e para o pátio de Ouro Branco, onde está localizada a Siderúrgica Açominas;
- Tempo manobra carvão para formação: Tempo de manobra do lote carregado com carvão entre o Silo de Carvão e o pátio de formação de trens para a saída do pátio de Tubarão;
- Tempo manobra de vazios para a formação: Tempo de manobra do lote vazio entre o pátio aguardando programação e o pátio de formação de trens para a saída do pátio de Tubarão;
- Tempo manobra formação trem: Tempo de manobra para a formação dos trens com dois lotes de vagões. Esta formação consiste de montar a composição para viagem, que a colocação de locomotivas, equipe e vagões. Existem três configurações disponíveis nesta modelagem para a partida dos trens do Tubarão, a primeira são dois lotes vazios, a segunda um lote carregado com carvão para a Usiminas ou Açominas e um lote vazio e a terceira, dois lotes carregados de carvão para a Usiminas e Açominas;
- Tempo manobra formação trem: Tempo de manobra para a formação dos trens com dois lotes de vagões. Esta formação consiste de montar a composição para viagem, que a colocação de locomotivas, equipe e vagões. Existem três configurações disponíveis nesta modelagem para a partida dos trens do Tubarão, a primeira são dois lotes vazios, a segunda um lote carregado com carvão para a Usiminas ou Açominas e um lote

vazio e a terceira, dois lotes carregados de carvão para a Usiminas e Açominas;

- Tempo manobra partida: Tempo de manobra para a partida do trem pátio de Tubarão.
- Tempo partida trem: Tempo de percurso entre o pátio de formação e a saída do pátio de Tubarão

Todos os valores da Tabela 9 são em minutos.

Os tempos nas Tabelas 9, 10, 11, 12 e 13, estão sendo representado pela função probabilística triangular. Para o escopo deste trabalho não foi realizado análise estatística dos dados históricos para avaliar a melhor função probabilística para representá-los.

4.3.4.7.2. Representação dos tempos das atividades no pátio de Intendente Câmara

Para o pátio de Intendente Câmara, onde está localizada a Siderúrgica Usiminas, o modelo terá os seguintes parâmetros e valores para os tempos dos eventos no pátio, representados na Tabela 10.

Os parâmetros dos tempos dos eventos no pátio de Intendente Câmara da Tabela 9 estão descritos abaixo:

- Tempo manobra desmembramento carvão: Tempo gasto na manobra de desmembramento do trem de carvão, sendo que os lotes de vagões ficam aguardando a descarga pela Usiminas no pátio de recepção de Intendente Câmara. Neste evento existem duas situações, a primeira um dos lotes com carvão destinado para o pátio de Intendente Câmara será deixado neste local, e o lote vazio seguirá viagem após a anexação de

outro vazio, compondo novamente um trem com dois lotes para o ponto de carregamento. A outra situação é a existência de dois carregados com carvão, neste caso é deixado em Intendente Câmara e outro segue viagem para o Ouro Branco após a anexação de um lote de vazios;

Tabela 10: Arquivo configuração tempos dos eventos pátio Câmara

Parâmetro	Valor
Tempo manobra desmembramento carvão	TRIA(54,60,66)
Tempo manobra para recepção carvão	TRIA(27,30,33)
Tempo aguardando descarga carvão	TRIA(270,300,330)
Tempo manobra descarga carvão	TRIA(27,30,33)
Tempo descarga carvão	TRIA(370,380,420)
Tempo devolução vazio carvão	TRIA(27,30,33)
Tempo formação lote devolução vazios	TRIA(54,60,66)
Tempo manobra para recepção vazios	TRIA(27,30,33)
Tempo formação trem	TRIA(27,30,33)
Tempo partida trem	TRIA(27,30,33)
Tempo manobra chegada minério	TRIA(54,60,66)
Tempo manobra para recepção minério	TRIA(27,30,33)
Tempo manobra para formação	TRIA(27,30,33)
Tempo aguardando descarga minério	TRIA(270,300,330)
Tempo manobra descarga minério	TRIA(55,60,70)
Tempo descarga minério	TRIA(370,380,420)
Tempo devolução vazio minério	TRIA(27,30,33)

- Tempo manobra para recepção carvão: Tempo de manobra entre a linha de chegada e o pátio de recepção dos lotes de carvão;
- Tempo aguardando descarga carvão: Tempo que os lotes de vagões carregados com carvão ficam aguardando a descarga no pátio de recepção;
- Tempo manobra descarga carvão: Tempo gasto na manobra de posicionamento dos lotes carregados com carvão entre o pátio de recepção e o virador de vagão de carvão da Siderúrgica Usiminas;

- Tempo descarga carvão: Tempo gasto na descarga de um lote de 84 vagões carregados de carvão no virador de vagões da Siderúrgica Usiminas. Estes viradores viram simultaneamente um vagão por vez;
- Tempo devolução vazio carvão: Tempo gasto na manobra após a liberação do virador até o pátio de devolução de lotes vazios após a descarga do carvão da Siderúrgica Usiminas;
- Tempo formação lote devolução vazios: Tempo gasto para formação de lotes de 20 vagões vazios da descarga do carvão e do minério no pátio de devolução de vazios da Usiminas. Estas linhas são limitadas cabendo apenas 20 vagões por linha;
- Tempo manobra para recepção vazio: Tempo de manobra do pátio de devolução de vagões vazios da Usiminas e o pátio de recepção. O pátio de recepção é utilizado para estacionar os lotes carregados com carvão e para os lotes vazios após a descarga do carvão e do minério de ferro;
- Tempo formação trem: Tempo para alocar os recursos de locomotivas e equipe ao trem vazio ou com um lote de carvão para Açominas e outro lote vazio;
- Tempo partida trem: Tempo de percurso entre o pátio de formação e a saída do pátio de Intendente Câmara;
- Tempo manobra chegada minério: Tempo de manobra do trem minério na chegada ao pátio de Intendente Câmara;
- Tempo manobra para recepção minério: Tempo de manobra entre a linha de chegada e o pátio de recepção dos lotes de minério de ferro;
- Tempo manobra para formação: Tempo de manobra após o desmembramento do lote vazio ou com carvão da Usiminas que veio no

trem, com o lote vazio que está aguardando trem no pátio de recepção de Intendente Câmara;

- Tempo aguardando descarga minério: Tempo que os lotes de vagões carregados com minério de ferro ficam aguardando a descarga no pátio de recepção;
- Tempo manobra descarga minério: Tempo gasto na manobra de posicionamento dos lotes carregados com minério de ferro entre o pátio de recepção e o virador de vagão de minério de ferro da Siderúrgica Usiminas;
- Tempo descarga minério: Tempo gasto na descarga de um lote de 84 vagões carregados de minério de ferro no virador de vagões da Siderúrgica Usiminas. Estes viradores viram simultaneamente um vagão por vez;
- Tempo devolução de vagões vazios minério: Tempo gasto na manobra após a liberação do virador até o pátio de devolução de lotes vazios após a descarga do minério da Siderúrgica Usiminas;

Todos os valores da Tabela 10 são em minutos.

4.3.4.7.3. Representação dos tempos das atividades no pátio de Ouro Branco

Para o pátio de Ouro Branco, onde está localizada a Siderúrgica Açominas, o modelo terá os seguintes parâmetros valores para os tempos dos eventos no pátio, representados na Tabela 11.

Os parâmetros dos tempos dos eventos no pátio de Ouro Branco da Tabela 11 estão descritos abaixo:

- Tempo manobra desmembramento carvão: Tempo gasto na manobra de desmembramento do trem de carvão no pátio de Engenheiro Bandeira, sendo que os lotes de vagões ficam aguardando a descarga pela Açominas no pátio de recepção de Ouro Branco. Neste evento o primeiro lote com carvão destinado para o pátio de Ouro Branco será deixado neste pátio, e o lote vazio será alocado em um ponto de carregamento;

Tabela 11: Arquivo configuração tempos dos eventos pátio Ouro Branco

Parâmetro	Valor
Tempo manobra desmembramento carvão	TRIA(54,60,66)
Tempo manobra para recepção carvão	TRIA(27,30,33)
Tempo aguardando descarga carvão	TRIA(270,300,330)
Tempo manobra descarga carvão	TRIA(27,30,33)
Tempo descarga carvão	TRIA(370,380,420)
Tempo devolução vazio carvão	TRIA(27,30,33)
Tempo formação lote devolução vazios	TRIA(27,30,33)
Tempo manobra para recepção vazios	TRIA(27,30,33)
Tempo formação trem	TRIA(27,30,33)
Tempo partida trem	TRIA(27,30,33)
Tempo manobra desmembramento minério	TRIA(27,30,33)
Tempo manobra para recepção minério	TRIA(27,30,33)
Tempo manobra para formação	TRIA(27,30,33)
Tempo aguardando descarga minério	TRIA(27,30,33)
Tempo manobra descarga minério	TRIA(27,30,33)
Tempo descarga minério	TRIA(370,380,420)
Tempo devolução vazio minério	TRIA(27,30,33)

- Tempo manobra para recepção carvão: Tempo de manobra entre a linha de chegada e o pátio de recepção dos lotes de carvão;
- Tempo aguardando descarga carvão: Tempo que os lotes de vagões carregados com carvão ficam aguardando a descarga no pátio de recepção;

- Tempo manobra descarga carvão: Tempo gasto na manobra de posicionamento dos lotes carregados com carvão entre o pátio de recepção e o virador de vagão de carvão da Siderúrgica Açominas;
- Tempo descarga carvão: Tempo gasto na descarga de um lote de 84 vagões carregados de carvão no virador de vagões da Siderúrgica Açominas. Estes viradores viram simultaneamente um vagão por vez;
- Tempo devolução dos vazios do carvão: Tempo gasto na manobra após a liberação do virador até o pátio de devolução de lotes vazios após a descarga do carvão da Siderúrgica Açominas;
- Tempo formação lote devolução vazios: Tempo gasto para formação de lote de 80 vagões vazios da descarga do carvão e do minério no pátio de devolução de vazios da Açominas;
- Tempo manobra para recepção vazio: Tempo de manobra do pátio de devolução de vagões vazios da Açominas e o pátio de recepção. O pátio de recepção é utilizado para estacionar os lotes carregados com carvão e para os lotes vazios após a descarga do carvão e do minério de ferro;
- Tempo formação trem: Tempo para alocar os recursos de locomotivas e equipe ao trem vazio;
- Tempo partida trem: Tempo de percurso entre o pátio de formação e a saída do pátio de Ouro Branco;
- Tempo manobra chegada minério: Tempo de manobra do trem minério na chegada ao pátio de Ouro Branco;
- Tempo manobra para recepção minério: Tempo de manobra entre a linha de chegada e o pátio de recepção dos lotes de minério de ferro;

- Tempo manobra para formação: Tempo de manobra para formação do trem vazio;
- Tempo aguardando descarga minério: Tempo que os lotes de vagões carregados com minério de ferro ficam aguardando a descarga no pátio de recepção;
- Tempo manobra descarga minério: Tempo gasto na manobra de posicionamento dos lotes carregados com minério de ferro entre o pátio de recepção e o virador de vagão de minério de ferro da Siderúrgica Açominas;
- Tempo descarga minério: Tempo gasto na descarga de um lote de 84 vagões carregados de minério de ferro no virador de vagões da Siderúrgica Açominas. Estes viradores viram simultaneamente um vagão por vez;
- Tempo devolução lote vazio minério: Tempo gasto na manobra após a liberação do virador até o pátio de devolução de lotes vazios após a descarga do minério da Siderúrgica Açominas;

Todos os valores da Tabela 11 são em minutos.

4.3.4.7.4. Representação dos tempos das atividades no pátio de carregamento de minério de ferro

Para os pátios de carregamento de minério de ferro, o modelo terá os seguintes parâmetros e valores para o tempo de permanência no pátio, representados na Tabela 12.

Tabela 12: Arquivo configuração tempos eventos nos pátios de carregamento

Parâmetro	Valor
Tempo carregamento VJP	TRIA(190,200,210)
Tempo carregamento VCE	TRIA(195,205,215)
Tempo carregamento VBS	TRIA(444.6,453.0,457.8)
Tempo carregamento VAL	TRIA(350,355,358.0)
Tempo carregamento VTO	TRIA(160,170,180)
Tempo carregamento VFM	TRIA(245,250,260)
Tempo carregamento VFA	TRIA(240,250,260)
Tempo carregamento VPG	TRIA(540,550,560)
Tempo carregamento VBR	TRIA(330,340,360)
Tempo carregamento VGS	TRIA(370,378,380)
Tempo carregamento ESQ	TRIA(420,430,440)

Os parâmetros dos tempos dos eventos nos pátios de carregamento da Tabela 12 estão descritos abaixo:

- Tempo carregamento VJP: Tempo de permanência no pátio de João Paulo. Este pátio conta com dois silos de carregamento, permitindo que lotes de 84 vagões GDE carreguem em paralelo;
- Tempo carregamento VCE: Tempo de permanência no pátio de Conceição. Este pátio conta com dois silos de carregamento, permitindo que lotes de 84 vagões GDE carreguem em paralelo;
- Tempo carregamento VBS: Tempo de permanência no pátio de Bicas. Neste pátio o carregamento é feito por pás-mecânicas, permitindo o carregamento de 168 vagões GDE carreguem em série;
- Tempo carregamento VAL: Tempo de permanência no pátio de Alegria. Neste pátio o carregamento é feito por pás-mecânicas, permitindo o carregamento de 168 vagões GDE carreguem em série;

- Tempo carregamento VTO: Tempo de permanência no pátio de Timbopeba. Este pátio conta com dois silos de carregamento, permitindo que lotes de 84 vagões GDE carreguem em paralelo;
- Tempo carregamento VFM: Tempo de permanência no pátio de Fábrica Muro. Neste pátio o carregamento é feito por pás-mecânicas, permitindo o carregamento de apenas um lote de 84 vagões GDE;
- Tempo carregamento VFA: Tempo de permanência no pátio de Fábrica. Este pátio conta com um silo de carregamento, permitindo que dois lotes de 84 vagões GDE carreguem em série;
- Tempo carregamento VPG: Tempo de permanência no pátio de Patrag. Neste pátio o carregamento é feito por pás-mecânicas, permitindo o carregamento de apenas um lote de 84 vagões GDE;
- Tempo carregamento VBR: Tempo de permanência no pátio de Brucutu. Este pátio conta com dois silos de carregamento, permitindo que carregue dois trens de 168 vagões (dois lotes de 84 vagões) em paralelo;
- Tempo carregamento VGS: Tempo de permanência no pátio de Alegria. Neste pátio o carregamento é feito por pás-mecânicas, permitindo o carregamento de 168 vagões GDE carreguem em série;
- Tempo carregamento ESQ: Tempo de permanência no pátio de Azurita. Neste pátio o carregamento é feito por pás-mecânicas, permitindo o carregamento de apenas um lote de 84 vagões GDE.

Todos os valores da Tabela 12 são em minutos.

4.3.4.7.5. Representação dos tempos das atividades no pátio de desmembramento e formação de trens de minério de ferro (Drumond, Laboriau e Fazendão)

A manobra de desmembramento consiste em separar um trem de dois lotes ou de três lotes de 84 vagões, em dois trens ou três trens de 84 vagões. Esta manobra é necessária para os pátios de carregamento que não conseguem receber mais de um lote de 84 vagões, esta limitação é pelo tamanho da linha do carregamento. A manobra de formação é a recomposição dos trens com um lote de 84 vagões em trens com dois lotes ou três lotes de 84 vagões.

Portanto, para os pátios de desmembramento e formação de trens de minério de ferro, o modelo terá os seguintes parâmetros e valores para o tempo de permanência no pátio, representados na Tabela 13.

Tabela 13: Arquivo configuração tempos eventos nos pátios intermediários

Parâmetro	Valor
Tempo desmembramento em DD de 2 lotes	TRIA(76.8,79.8,82.8)
Tempo desmembramento em LB de 2 lotes	TRIA(67.2,70.8,73.2)
Tempo desmembramento em FZ de 2 lotes	TRIA(100,113,126)
Tempo formação em DD de 2 lotes	TRIA(76.8,79.8,82.8)
Tempo formação em LB de 2 lotes	TRIA(67.2,70.8,73.2)
Tempo formação em FZ de 2 lotes	TRIA(100.2,113.4,126.6)
Tempo desmembramento em DD de 3 lotes	TRIA(98,100,110)
Tempo desmembramento em LB de 3 lotes	TRIA(98,100,110)
Tempo desmembramento em FZ de 3 lotes	TRIA(145,150,160)
Tempo formação em DD de 3 lotes	TRIA(98,100,110)
Tempo formação em LB de 3 lotes	TRIA(98,100,110)
Tempo formação em FZ de 3 lotes	TRIA(145,150,160)

Os parâmetros dos tempos dos eventos nos pátios de desmembramento e carregamento da Tabela 13 estão descritos abaixo:

- Tempo desmembramento em DD de 2 lotes: Tempo da manobra de desmembramento com dois lotes no pátio de Drumond;
- Tempo desmembramento em LB de 2 lotes: Tempo da manobra de desmembramento de trens com dois lotes no pátio de Laboriau;
- Tempo desmembramento em FZ de 2 lotes: Tempo da manobra de desmembramento de trens com dois lotes no pátio de Fazendão;
- Tempo formação em DD de 2 lotes: Tempo da manobra de formação de trens com dois lotes no pátio de Drumond;
- Tempo formação em LB de 2 lotes: Tempo da manobra de formação de trens com dois lotes no pátio de Laboriau;
- Tempo formação em FZ de 2 lotes: Tempo da manobra de formação de trens com dois lotes no pátio de Fazendão;
- Tempo desmembramento em DD de 3 lotes: Tempo da manobra de desmembramento com três lotes no pátio de Drumond;
- Tempo desmembramento em LB de 3 lotes: Tempo da manobra de desmembramento de trens com três lotes no pátio de Laboriau;
- Tempo desmembramento em FZ de 3 lotes: Tempo da manobra de desmembramento de trens com três lotes no pátio de Fazendão;
- Tempo formação em DD de 3 lotes: Tempo da manobra de formação de trens com três lotes no pátio de Drumond;
- Tempo formação em LB de 3 lotes: Tempo da manobra de formação de trens com três lotes no pátio de Laboriau;

4.3.5.4. Representação dos programas de carregamento do minério de ferro para a Açominas (Mercado Interno Externo)

O programa de carregamento do minério de ferro para Açominas é parametrizado de forma muito semelhante ao programa de carregamento do mercado externo, para a Usiminas e Arcelor Mittal. A Tabela 17 representa este programa.

Tabela 17: Arquivo programa carregamento minério de ferro para Açominas

Período	Lotes em VFA
Mês 1	11,85
Mês 2	11,47
Mês 3	11,85
Mês 4	11,47
Mês 5	0,00
Mês 6	0,00

4.3.5.5. Representação dos programas de carregamento do carvão mineral

O programa de carregamento do carvão mineral da Usiminas e Açominas é parametrizado de forma semelhante ao programa de carregamento de minério de ferro. Portanto, o modelo terá os seguintes parâmetros e valores, representados na Tabela 18.

Os parâmetros com os dados do programa de carregamento do carvão da Tabela 18 estão descritos abaixo:

- Programa de carregamento carvão Usiminas mês n: Quantidade de lotes programados para o carregamento de carvão mineral da Siderúrgica Usiminas no mês n;

- Programa de carregamento carvão Açominas mês n: Quantidade de lotes programados para o carregamento de carvão mineral da Siderúrgica Açominas no mês “n”.
- Peso médio carvão Usiminas: Peso médio líquido por vagão carregado com carvão mineral. O valor na tabela é em toneladas por vagão;

Tabela 18: Arquivo programa carregamento de carvão mineral

Parâmetro	Valor
Programa carregamento carvão Usiminas em lotes mês 1	137,36
Programa carregamento carvão Açominas em lotes mês 1	80,12
Programa carregamento carvão Usiminas em lotes mês 2	132,92
Programa carregamento carvão Açominas em lotes mês 2	77,54
Programa carregamento carvão Usiminas em lotes mês 3	137,36
Programa carregamento carvão Açominas em lotes mês 3	80,12
Programa carregamento carvão Usiminas em lotes mês 4	132,92
Programa carregamento carvão Açominas em lotes mês 4	77,54
Programa carregamento carvão Usiminas em lotes mês 5	0
Programa carregamento carvão Açominas em lotes mês 5	0
Programa carregamento carvão Usiminas em lotes mês 6	0
Programa carregamento carvão Açominas em lotes mês 6	0
Peso médio carvão Usiminas	26,5
Peso médio carvão Açominas	26,5

4.3.5.6. Representação dos pesos médios por ponto de carregamento e cliente do minério de ferro

Praticamente em todos os pátios de carregamento de minério de ferro, existe próximo uma Produção de Mina, (exceção ao pátio de Azurita que recebe minério de compra de pequenos produtores da região). Estas unidades de produção de mina fazem a produção e o beneficiamento do minério de ferro, portanto o peso médio para cada pátio depende do mix de minério que será

produzido por demanda de mercado. Os produtos produzidos são geralmente granulados, *sinter-feed* e *pellet-feed*. Para cada complexo mineralógico, estes produtos podem apresentar de peso médio diferente em função das suas características físicas, portanto em função do planejamento anual de produção e carregamentos, são definidos para cada mina e pátio de carregamento os pesos médios anuais. Portanto, o modelo terá os seguintes parâmetros e valores, representados na Tabela 19. Os valores estão em toneladas por vagão.

Tabela 19: Arquivo pesos médios por pátio de carregamento e cliente

Parâmetro	Valor
Peso médio carregamento minério VJP Porto	79,00
Peso médio carregamento minério VJP Arcelor Mittal	79,00
Peso médio carregamento minério VJP Usiminas	79,00
Peso médio carregamento minério VCE Porto	81,00
Peso médio carregamento minério VCE Arcelor Mittal	81,00
Peso médio carregamento minério VCE Usiminas	81,00
Peso médio carregamento minério VBS Porto	72,00
Peso médio carregamento minério VAL Porto	0,00
Peso médio carregamento minério VAL Arcelor Mittal	0,00
Peso médio carregamento minério VAL Usiminas	70,00
Peso médio carregamento minério VTO Porto	70,00
Peso médio carregamento minério VTO Arcelor Mittal	77,00
Peso médio carregamento minério VTO Usiminas	74,00
Peso médio carregamento minério VFM Porto	74,00
Peso médio carregamento minério VFM Arcelor Mittal	0,00
Peso médio carregamento minério VFM Usiminas	71,00
Peso médio carregamento minério VFA Porto	71,00
Peso médio carregamento minério VFA Açominas	71,00
Peso médio carregamento minério VFA Usiminas	66,90
Peso médio carregamento minério VPG Porto	66,90
Peso médio carregamento minério VPG Usiminas	0,00
Peso médio carregamento minério VBR Porto	66,90
Peso médio carregamento minério VBR Arcelor Mittal	75,00
Peso médio carregamento minério VBR Usiminas	0,00
Peso médio carregamento minério VGS Porto	0,00
Peso médio carregamento minério ESQ Porto	76,00

4.3.5.7. Representação dos programas de manutenções preventivas da via permanente

O programa de manutenção programada da via permanente são as intervenções preventivas necessárias ao bom funcionamento da ferrovia. Estas intervenções podem ser na infra-estrutura (plataforma, cortes, aterros, bueiros, etc.) ou na superestrutura (trilho, fixação, dormentes, etc.) da via. Para representar esta atividade serão utilizados os seguintes parâmetros:

- local da via permanente;
- data da manutenção;
- tempo de atendimento.

Nas locações de trecho duplo a estratégia de manutenção é interditar a região dos travessões ou interditar entre uma locação e outra. O caso mais crítico é interditar a região dos travessões, pois para estes casos são interditas oito seções de bloqueio e para a manutenção entre uma locação e outra, interdita apenas quatro seções de bloqueio. A Figura 26 mostra as duas possibilidades de intervenção programada na via.

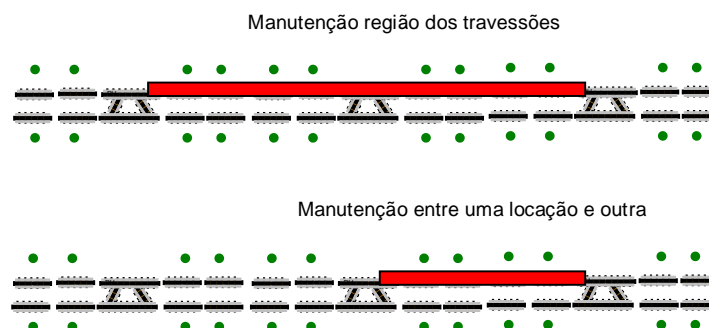


Figura 26: Manutenção programada na via permanente

Para as manutenções na VP será utilizada a Tabela 20.

Tabela 20: Arquivo manutenções programadas na via permanente

Data	Sequencial	ELEMENTO VP (OU XXX-XXX - Entre-housing ou - -XXX-- - Housing)	LINHA (formato string: XX)	Hora (formato string: XX)	Tempo manutenção (formato string: XXX)
1	1	016-017	02	07	008
1	2	--024--	01	09	007
1	3	023-024	01	09	007
1	4	031-032	02	08	010
1	5	044-045	01	08	008
1	6	054-055	02	08	008
1	7	061-062	02	08	014
1	8	064-065	02	08	009
1	9	069-070	01	07	010
1	10	079-080	01	07	010
1	11	079-080	02	17	005
1	12	084-085	02	08	008
2	1	064-065	02	08	009
2	1	081-082	02	08	008
4	1	014-015	01	09	004
4	2	014-015	02	13	004
4	3	--024--	02	08	009
4	4	023-024	02	08	008
4	5	--032--	01	08	008
4	6	031-032	01	08	008
4	7	041-042	01	08	008
4	8	048-049	01	08	008
4	9	055-056	02	08	014
4	10	067-068	02	00	006
4	11	067-068	02	06	011
4	12	--068--	02	10	004
4	13	067-068	02	14	010
4	14	079-080	01	07	008
4	15	079-080	01	17	005
4	16	048-049	01	08	008
4	17	079-080	01	08	007
5	1	--010--	02	08	008
5	2	010-011	02	08	008
5	3	009-010	02	08	008
5	4	008-009	01	08	009
5	5	014-015	01	09	004
5	6	014-015	02	13	004
5	7	023-024	02	08	008
5	8	--024--	02	08	009
5	9	--032--	01	08	008
5	10	032-033	01	08	008
5	11	--041--	02	08	007
5	12	041-042	02	08	007
5	13	048-049	01	08	008

Os parâmetros com os dados da manutenção programada na via permanente da Tabela 20 estão descritos abaixo:

Esta tabela tem mais de 1.000 linhas, pois toda a programação de um mês na via tem que ser incluída. Portanto, nesta tabela, para exemplificar só serão mostrados os dados da primeira página.

- Dia da simulação: Número que representa o dia da manutenção;
- Número seqüencial: Número que pode variar de 1 a 40, indica a identificação da manutenção em determinado dia;
- Elemento da VP: Trecho da via que sofrerá a manutenção. Caso a manutenção seja na locação será codificada com o formato “—XXX—”, onde XXX é o número da locação. Exemplo: “—010—”, representando manutenção programada na seção de chave da locação 10. Caso a manutenção seja entre uma locação e outra, será codificada com o formato “XXX-YYY”, onde XXX é a seção de bloqueio de início e YYY é a seção de bloqueio final da intervenção. Exemplo: “018-019”, representando que a manutenção é entre a seção de chave da locação 18 e a 19;
- Linha: se a manutenção for à linha 01 ou na linha 02;
- Hora: Hora de início da manutenção;
- Tempo da manutenção: Duração da manutenção em horas.

4.3.5.8. Representação dos programas de manutenções preventiva nos equipamentos de carregamento e descarga

O programa de manutenção programada nos equipamentos de carga e descarga define o equipamento que terá a manutenção programada, a data e o tempo necessário para que as equipes façam a manutenção preventiva,

portanto o modelo terá os seguintes parâmetros e valores apresentados na Tabela 21.

Os parâmetros com os dados da manutenção programada nos equipamentos de carga e descarga da Tabela 21 estão descritos abaixo:

- Equipamento: Equipamento que terá a manutenção programada;
- Descrição Equipamento: Descrição do equipamento;
- Pátio: Pátio que está instalado o equipamento;
- Carga/Descarga: Se o equipamento é utilizado na carga ou descarga;
- Data/Hora início manutenção: Data e hora do início da manutenção programada;
- Duração da manutenção programada: Tempo em minutos que o segmento sofrerá a manutenção.

Tabela 21: Arquivo manutenções programadas equipamentos carga e descarga (continua)

Equipamento	Descrição	Local	Operação	Parâmetros		
				Dia	Hora início	Duração
VV01	1 Virador de vagões VV01 do Porto de Tubarão, vira 2 vagões ao mesmo tempo	Tubarão	Descarga	10	0	48
				62	0	72
				114	12	48
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
VV02	Virador de vagões VV02 do Porto de Tubarão, vira 2 vagões ao mesmo tempo	Tubarão	Descarga	25	0	40
				77	0	48
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
VV03	Virador de vagões VV03 do Porto de Tubarão, vira 2 vagões ao mesmo tempo	Tubarão	Descarga	40	0	48
				92	0	48
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
VV04	Virador de vagões VV04 do Porto de Tubarão, vira 2 vagões ao mesmo tempo	Tubarão	Descarga	14	8	36
				18	8	24
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
VV05	Virador de vagões VV05 do Porto de Tubarão, vira 2 vagões ao mesmo tempo	Tubarão	Descarga	55	0	48
				107	0	48
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
VV AMT	Virador de vagões VV AMT do Porto de Tubarão, vira 1 vagão ao mesmo tempo	Tubarão	Descarga	33	0	18
				83	0	24
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0

Tabela 21: Arquivo manutenções programadas equipamentos carga e descarga
(continuação)

Equipam ento	Descrição	Local	Operação	Parâmetros		
				Dia	Hora início	Duração
Silo carvão Tubarão	Silo carvão do Porto de Tubarão, vira 1 vagão ao mesmo tempo	Tubarão	Carga	50	0	36
				115	0	18
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
VV carvão Usiminas	Virador carvão da Usiminas, vira 1 vagão ao mesmo tempo	Ipatinga	Descarga	30	0	24
				60	0	24
				90	12	24
				120	0	24
				0	0	0
				0	0	0
W minério Usiminas	Virador minério da Usiminas, vira 1 vagão ao mesmo tempo	Ipatinga	Descarga	35	0	24
				65	0	24
				95	12	24
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
VV carvão Açominas	Virador carvão da Usiminas, vira 1 vagão ao mesmo tempo	Ouro Branco	Descarga	30	0	8
				80	0	8
				100	12	8
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
W minério Açominas	Virador minério da Açominas, vira 1 vagão ao mesmo tempo	Ouro Branco	Descarga	75	0	8
				120	12	8
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0

Tabela 21: Arquivo manutenções programadas equipamentos carga e descarga
(continuação)

Equipame nto	Descrição	Local	Operação	Parâmetros		
				Dia	Hora início	Duração
Silo de minério João Paulo	2 Silo para carregamento de minério do pátio de João Paulo	João Paulo	Carga	6	4	16
				13	4	16
				20	4	16
				27	4	16
				34	4	16
				41	4	16
				48	4	16
				55	4	16
				62	4	16
				69	4	16
				76	4	16
				83	4	16
				90	4	16
				97	4	16
				104	4	16
111	4	16				
118	4	16				
Silo de minério Conceição	2 Silo para carregamento de minério do pátio de Conceição	Conceição	Carga	4	4	16
				11	4	16
				18	4	16
				25	4	16
				32	4	16
				39	4	16
				46	4	16
				53	4	16
				60	4	16
				67	4	16
				74	4	16
				81	4	16
				88	4	16
				95	4	16
				102	4	16
109	4	16				
116	4	16				

Tabela 21: Arquivo manutenções programadas equipamentos carga e descarga
(continuação)

Equipamento	Descrição	Local	Operação	Parâmetros		
				Dia	Hora início	Duração
Silo de minério Timbopeba	2 Silo para carregamento de minério do pátio de Timbopeba	Timbopeba	Carga	7	7	11
				14	7	11
				21	7	11
				28	7	11
				35	7	11
				42	7	11
				49	7	11
				56	7	11
				63	7	11
				70	7	11
				77	7	11
				84	7	11
				91	7	11
				98	7	11
				105	7	11
112	7	11				
119	7	11				
Silo de minério Fábrica	2 Silo para carregamento de minério do pátio de Fábrica	Fábrica	Carga	5	0	24
				12	0	24
				19	12	24
				26	0	24
				33	0	24
				40	0	18
				47	0	24
				54	0	24
				61	0	24
				68	0	24
				75	0	24
				82	0	24
				89	0	24
				96	0	24
				103	0	24
110	0	24				
117	0	24				

Tabela 21: Arquivo manutenções programadas equipamentos carga e descarga
(conclusão)

Equipame nto	Descrição	Local	Operação	Parâmetros		
				Dia	Hora início	Duração
Silo de minério Brucutu	2 Silo para carregamento de minério do pátio de Brucutu	Brucutu	Carga	3	8	8
				5	8	8
				10	8	8
				12	8	8
				17	8	8
				19	8	8
				24	8	8
				26	8	8
				31	8	8
				33	8	8
				38	8	8
				40	8	8
				45	8	8
				47	8	8
				52	8	8
				54	8	8
				59	8	8
				61	8	8
				66	8	8
				68	8	8
73	8	8				
75	8	8				
80	8	8				
82	8	8				
87	8	8				
89	8	8				
94	8	8				
96	8	8				
101	8	8				
103	8	8				
108	8	8				
110	8	8				
115	8	8				
117	8	8				

4.3.5.9. Representação da probabilidade de um evento corretivo ocorrer em um equipamento de carga e descarga

Os equipamentos de carga e descarga podem parar por defeito, neste caso o modelo é parametrizado para cada equipamento a probabilidade deste defeito no tempo, portanto o modelo terá os seguintes parâmetros e valores, representados na Tabela 22.

Tabela 22: Arquivo probabilidade falhas equipamentos de carga e descarga
(continua)

Período	VV01	VV02	VV03	VV04
Mês 1	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)
Mês 2	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)
Mês 3	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)
Mês 4	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)
Mês 5	0	0	0	0
Mês 6	0	0	0	0

(continuação)

Período	VV05	VV AMT	Silo carvão	VV carvão Usiminas
Mês 1	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(4320,432)
Mês 2	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(4320,432)
Mês 3	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(4320,432)
Mês 4	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(4320,432)
Mês 5	0	0	0	0
Mês 6	0	0	0	0

(continuação)

Período	VV minério Usiminas	VV carvão Acominas	VV minério Açominas	Silo VJP
Mês 1	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(8640,864)
Mês 2	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(8640,864)
Mês 3	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(8640,864)
Mês 4	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(11520,1152)	NORM(8640,864)
Mês 5	0	0	0	0
Mês 6	0	0	0	0

(conclusão)

Período	Silo VCE	Silo VTO	Silo VFA	Silo VBR
Mês 1	NORM(8640,864)	NORM(8640,864)	NORM(8640,864)	NORM(14400,1440)
Mês 2	NORM(8640,864)	NORM(8640,864)	NORM(8640,864)	NORM(14400,1440)
Mês 3	NORM(8640,864)	NORM(8640,864)	NORM(8640,864)	NORM(14400,1440)
Mês 4	NORM(8640,864)	NORM(8640,864)	NORM(8640,864)	NORM(14400,1440)
Mês 5	0	0	0	0
Mês 6	0	0	0	0

Todos os valores da Tabela 22 são em minutos.

A probabilidade de falhas em equipamento de carga e descarga da Tabela 22 está representada pela função probabilística normal. Para o escopo deste trabalho não foi realizado análise estatística dos dados históricos para avaliar a melhor função probabilística para representá-los.

4.3.5.10. Representação do tempo de uma falha corretiva em um equipamento de carga e descarga

Os equipamentos de carga e descarga após uma parada corretiva ficam um determinado tempo indisponível, em manutenção corretiva.

Portanto, cada equipamento poderá ter um tempo de reparo em um evento corretivo, portanto o modelo terá os seguintes parâmetros e valores, representados na Tabela 23.

Todos os valores da Tabela 23 são em minutos.

O tempo de falhas nos equipamento de carga e descarga da Tabela 23 está representado pela função probabilística normal. Para o escopo deste trabalho não foi realizado análise estatística dos dados históricos para avaliar a melhor função probabilística para representá-los.

Tabela 23: Arquivo tempos falhas corretivas equipamentos carga e descarga

(continua)

Período	VV01	VV02	VV03	VV04
Mês 1	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)
Mês 2	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)
Mês 3	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)
Mês 4	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)	TRIA(150,210,260)
Mês 5	0	0	0	0
Mês 6	0	0	0	0

(continuação)

Período	VV05	VV AMT	Silo carvão	VV carvão Usiminas
Mês 1	TRIA(150,210,260)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)
Mês 2	TRIA(150,210,260)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)
Mês 3	TRIA(150,210,260)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)
Mês 4	TRIA(150,210,260)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)
Mês 5	0	0	0	0
Mês 6	0	0	0	0

(continuação)

Período	VV minério Usiminas	VV carvão Acominas	VV minério Açominas	Silo VJP
Mês 1	TRIA(216,240,264)	TRIA(96,120,132)	TRIA(96,120,132)	TRIA(216,240,264)
Mês 2	TRIA(216,240,264)	TRIA(96,120,132)	TRIA(96,120,132)	TRIA(216,240,264)
Mês 3	TRIA(216,240,264)	TRIA(96,120,132)	TRIA(96,120,132)	TRIA(216,240,264)
Mês 4	TRIA(216,240,264)	TRIA(96,120,132)	TRIA(96,120,132)	TRIA(216,240,264)
Mês 5	0	0	0	0
Mês 6	0	0	0	0

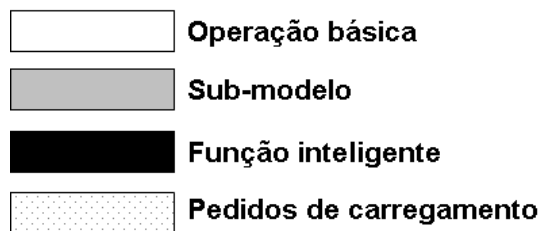
(conclusão)

Período	Silo VCE	Silo VTO	Silo VFA	Silo VBR
Mês 1	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)
Mês 2	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)
Mês 3	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)
Mês 4	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)	TRIA(216,240,264)
Mês 5	0	0	0	0
Mês 6	0	0	0	0

4.3.6. Representação do transporte ferroviário de minério de ferro na EFVM

Para representar o transporte ferroviário foi montado dentro do modelo conceitual um fluxograma para representar em três níveis (nível 0, 1 e 2) de abstração a regra de negócio do transporte de minério de ferro da Estrada de Ferro Vitória a Minas.

No fluxograma será representada a simbologia abaixo nas caixas de processos para as atividades a serem realizadas:



No nível 0 da abstração do modelo de simulação do transporte de minério de ferro da EFVM é representado pela Figura 27.

No nível 1 da abstração mostra as operações no pátio de Tubarão (Porto e Arcelor Mittal), representado pela Figura 28 e a circulação na ferrovia e os carregamentos, representados pelas Figuras 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 36.

No nível 2 da abstração mostra as operações nos pátios de Intendente Câmara (Usiminas) e Ouro Branco (Açominas), representados pelas Figuras 37 e 38.

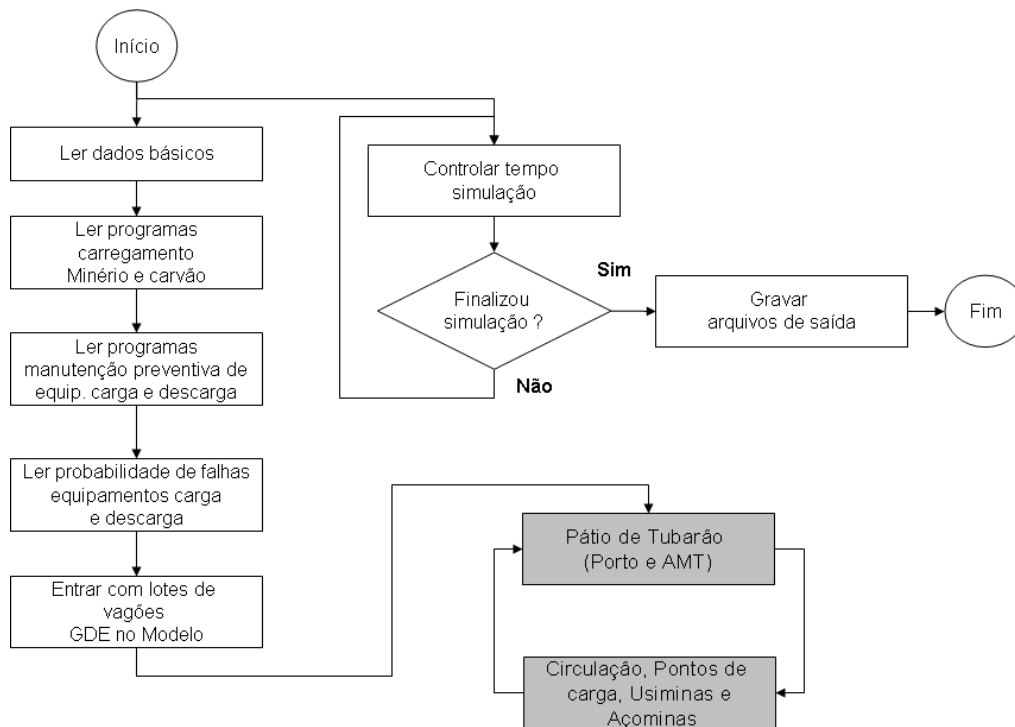


Figura 27: Modelo Conceitual - Nível 0

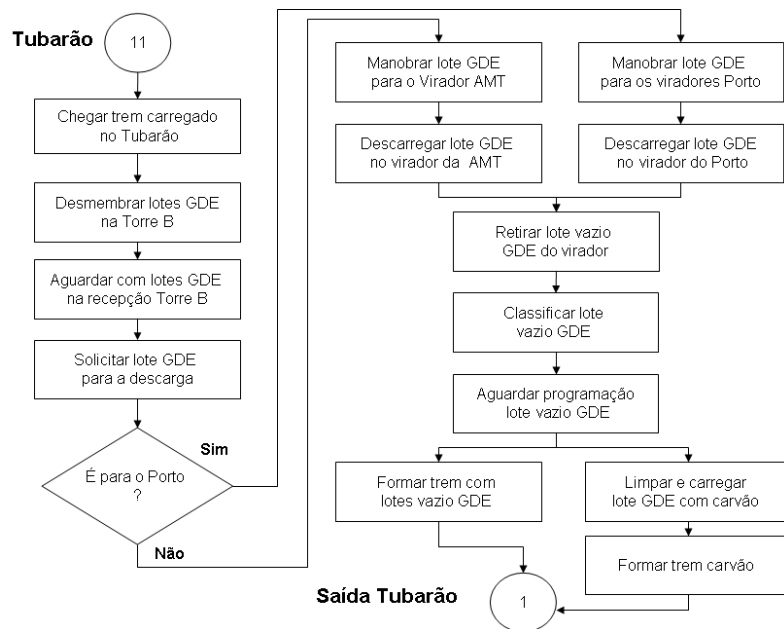


Figura 28: Modelo Conceitual - Nível 1 (Pátio de Tubarão)

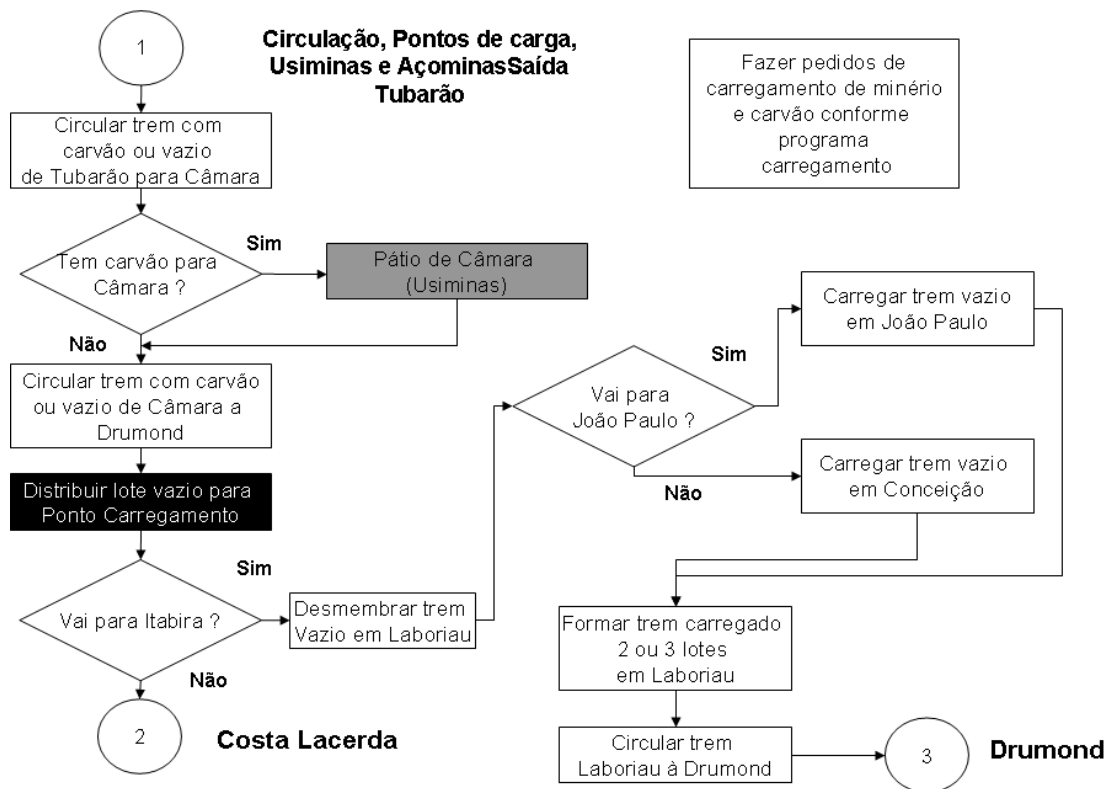


Figura 29: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 1

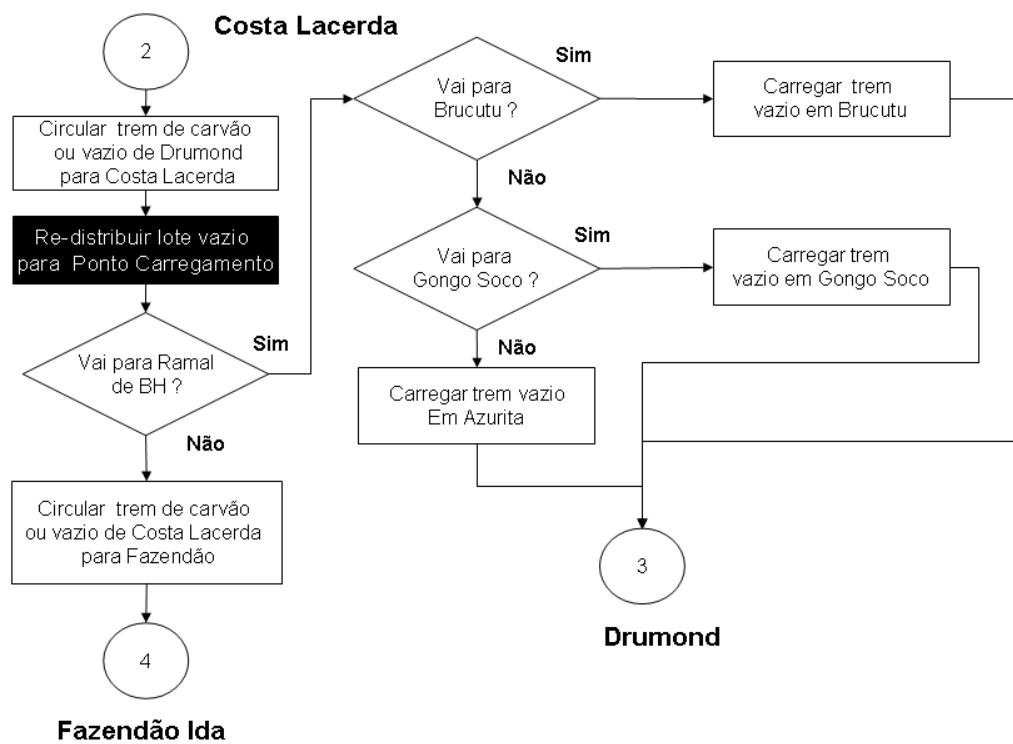


Figura 30: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 2

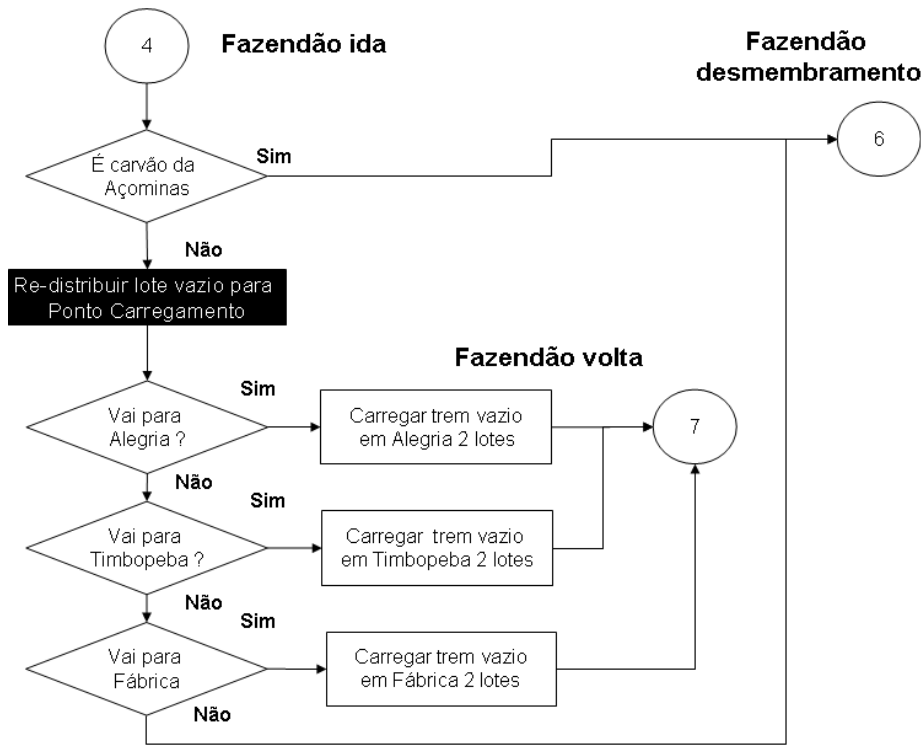


Figura 31: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 3

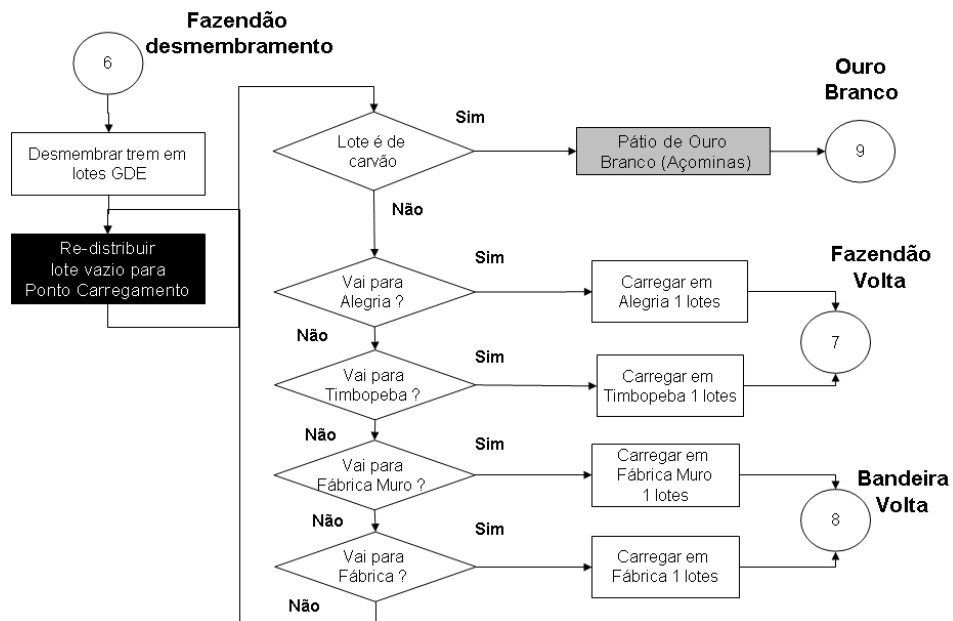


Figura 32: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 4

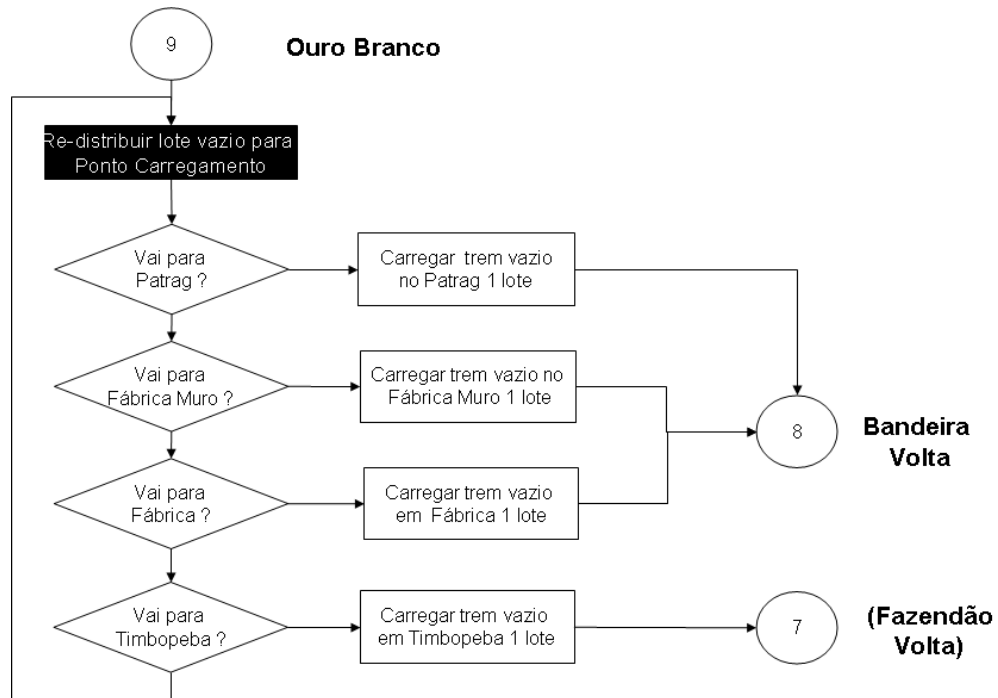


Figura 33: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 5

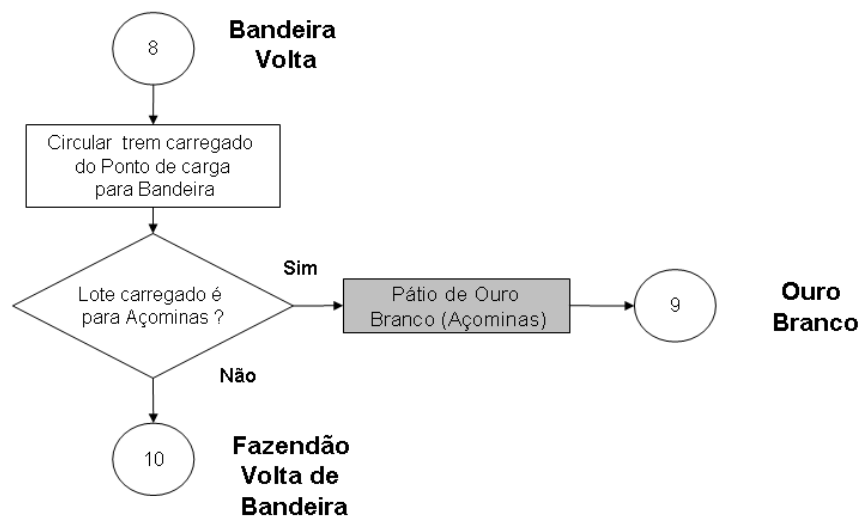


Figura 34: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 6

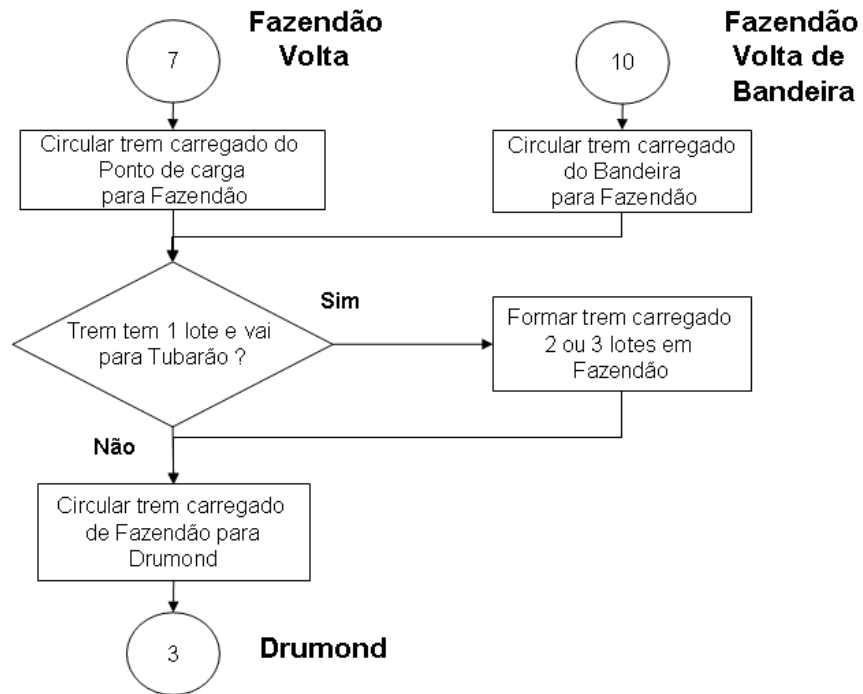


Figura 35: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 7

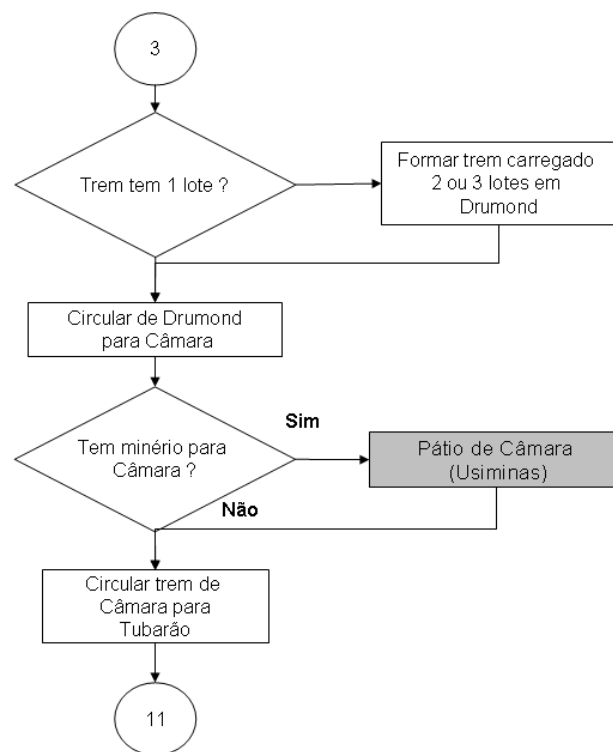


Figura 36: Modelo Conceitual - Nível 1 (Circulação) – Parte 8

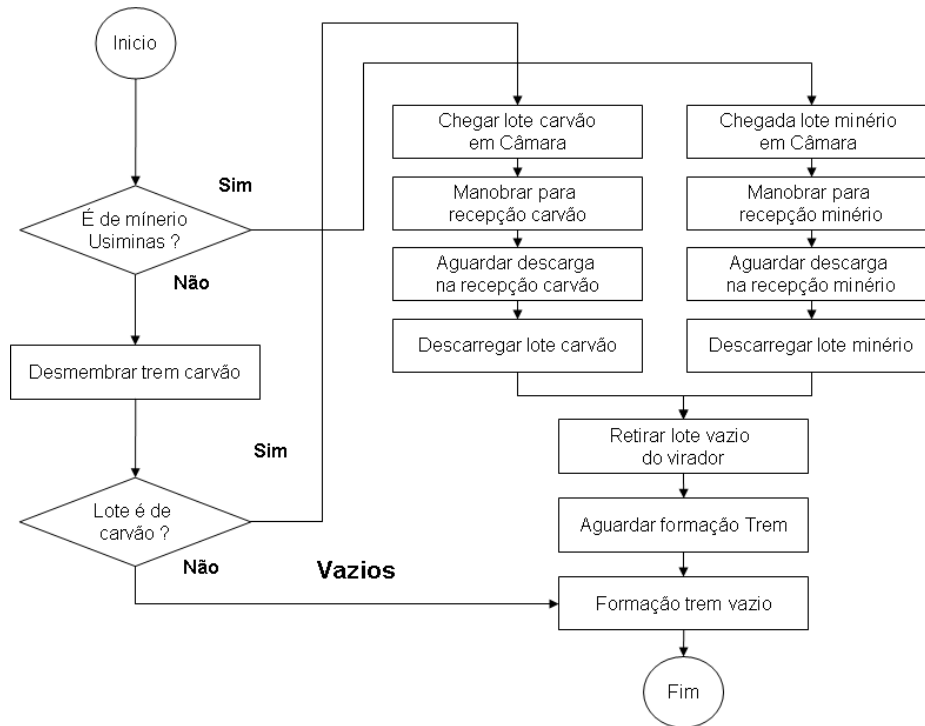


Figura 37: Modelo Conceitual - Nível 2 (Pátio de Intendente Câmara)

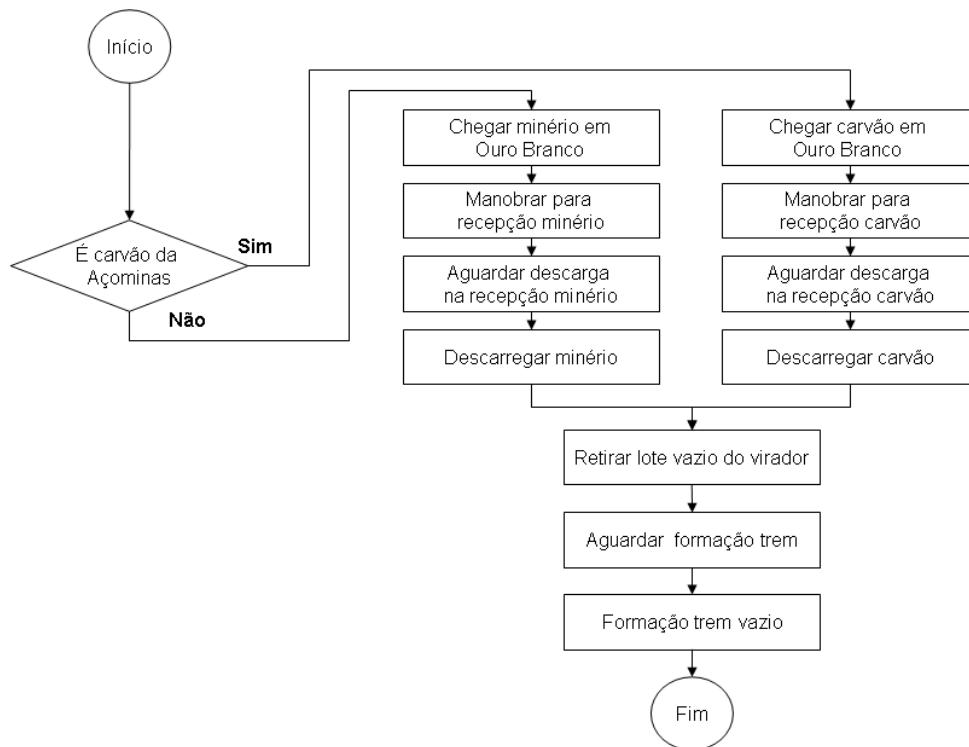


Figura 38: Modelo Conceitual - Nível 2 (Pátio de Ouro Branco)

4.3.7. Algoritmo para a circulação de trens em linha dupla

Para a circulação dos trens de grade ou os trens de ciclo nos trechos de linha dupla foram desenvolvidos alguns algoritmos para representar o deslocamento de uma seção de bloqueio para outra adjacente. Estes algoritmos de movimentação são representados de forma conceitual por fluxogramas que são apresentados no Anexo A.

4.3.8. Algoritmo para a circulação de trens em linha singela

No escopo desta dissertação não será modelado a sinalização e a via permanente nos trechos em linha singela, por simplificação eles serão modelados em rede.

4.4. LEVANTAMENTO DOS DADOS

Os dados utilizados nesta modelagem vêm das seguintes fontes:

- Unilog – Sistema de transporte das ferrovias do grupo Vale – Configuração de linhas nos pátios de carregamento, de desmembramento, de formações e descarga;
- Modelagem da consultoria em 2002 – *Transit-time* na circulação dos trens e eventos nos pátios de carregamento, descarga, desmembramento e formação;
- Área de Planejamento da Logística – Programa anual de transporte para o minério de ferro e carvão; quantidade de vagões, disponibilidade física dos vagões; configuração dos trens de minério de ferro quanto aos números de locomotivas e vagões; disponibilidade dos equipamentos de carga e descarga nos pátios e disponibilidade da via permanente.

4.5. CODIFICAÇÃO

Para a montagem do simulador foram utilizados o *Microsoft Excel* e o *software* Rockwell Arena versão 12.0.

O *Microsoft Excel* foi utilizado para a montagem da interface do analista de simulação com o modelo de simulação. Por esta interface o analista irá configurar o cenário que será rodado pelo simulador, e também por esta interface serão importados os resultados da rodada de simulação.

O *software* Rockwell Arena versão 12.0 foi escolhido por ser um ambiente gráfico integrado de simulação, que une os recursos de uma linguagem de simulação à facilidade do uso de simulador. Não sendo necessário escrever nenhuma linha de código no *software* Arena, pois o processo de criação do modelo de simulação é gráfico e visual.

A Figura 39 apresenta a interação do analista de simulação com a interface em Excel e com o modelo de simulação desenvolvido no *software* Rockwell Arena versão 12.0.

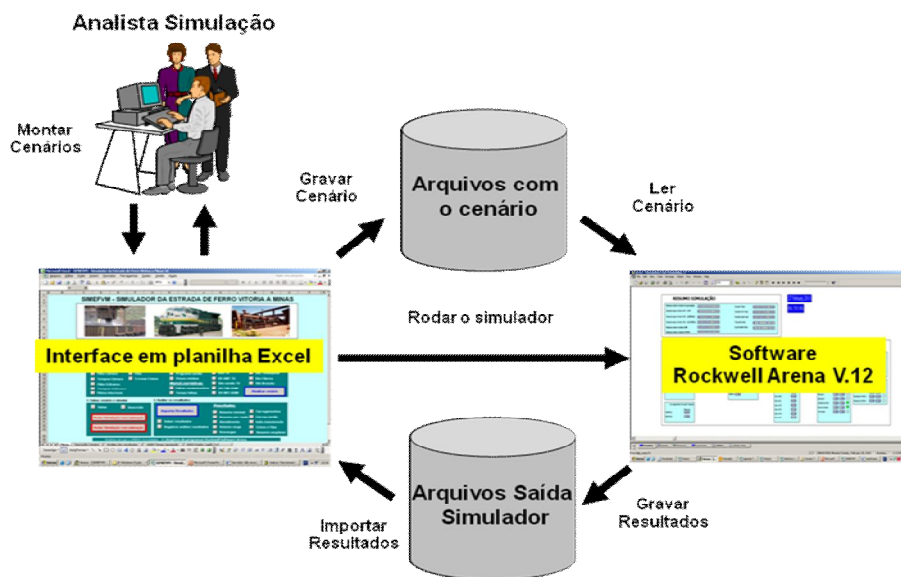


Figura 39: Interface com o Simulador de malha da EFVM

A modelagem foi feita de forma estruturada, visando facilitar a compreensão e o entendimento para futuras manutenções. Para esta modelagem foi desenvolvido três níveis de codificação (nível 0, 1 e 2).

4.5.1. Diagrama nível 0 (zero) do modelo de simulação

A Figura 40 representa o nível 0 (zero) do modelo de simulação da EFVM, onde neste nível foram desenvolvidos indicadores de controle da rodada de simulação, a representação gráfica da ferrovia, com as linhas de circulação e seus principais pátios, as *templates* das linhas tronco e os sub-modelos que são abstraídos deste nível 0 (zero) para outros sub-níveis da modelagem. A Figura 40 mostra um visão geral do modelo, detalhando os indicadores da rodada de simulação e o esquemático da ferrovia.

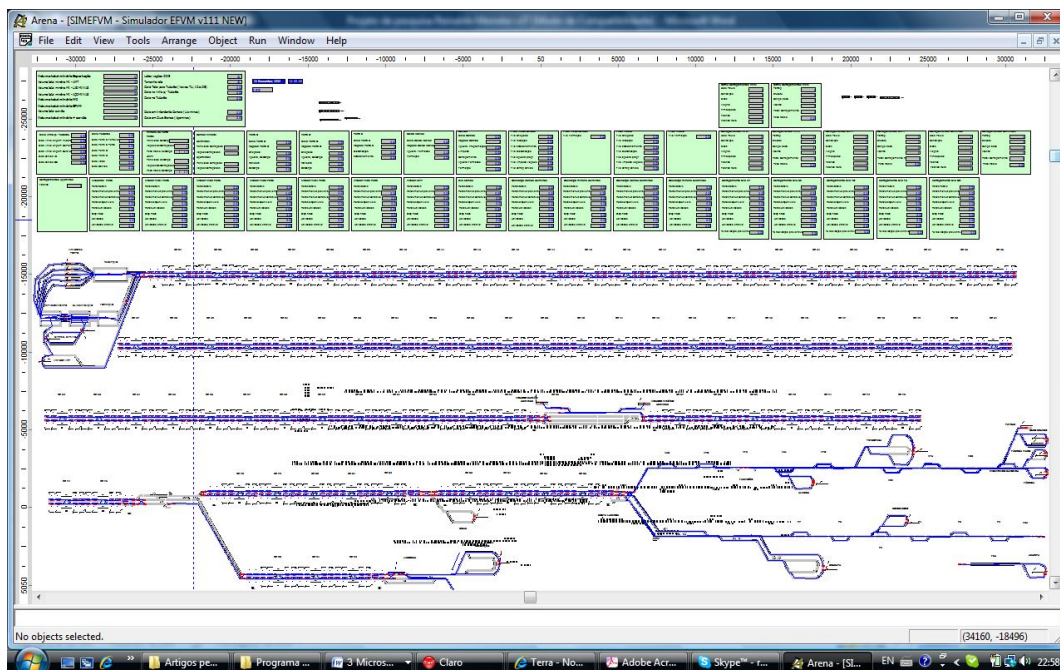


Figura 40: Nível 0 (zero) do modelo de simulação da EFVM

Neste nível conforme abordagem de Pater e Teunisse (1997) é construída no software Rockwell Arena versão 12.0, três *template* para representar elementos de alta complexidade e repetitivos, que são:

- *Template* da seção de bloqueio da linha tronco;
- *Template* da entrada e saída de pátios à esquerda;
- *Template* da entrada e saída de pátios à direita

4.5.1.1. *Template* da seção de bloqueio da linha tronco

Esta *template* é utilizada para controlar a circulação na linha tronca, garantindo que os trens transitem com segurança. A Figura 41 apresenta a *template* de forma gráfica (*User view Windows*). Nesta *template* é montada toda a lógica de circulação de trens, respeitando as regras da sinalização e da via permanente, garantindo que em cada seção de bloqueio tenha apenas a ocupação de um trem por vez.

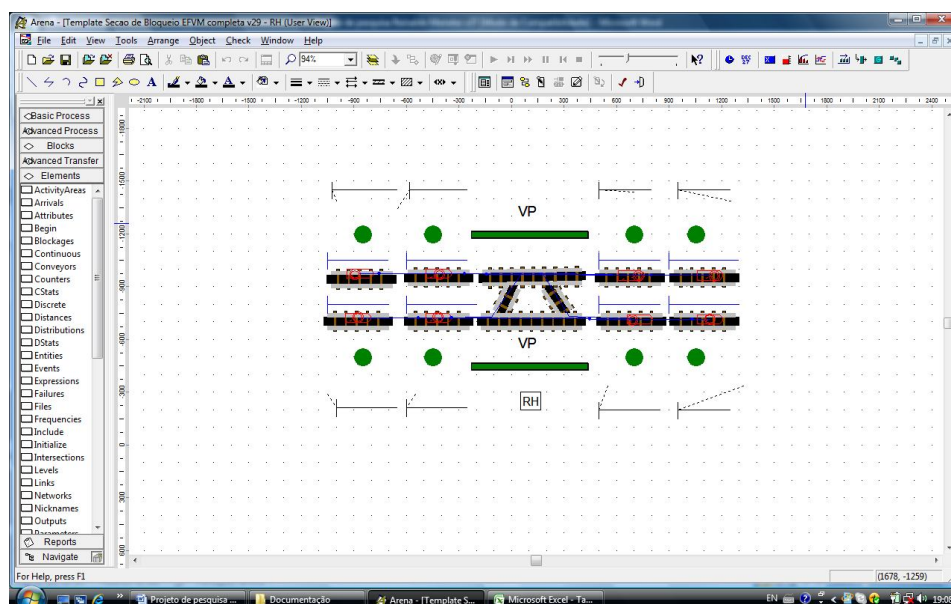


Figura 41: *Template* da seção de bloqueio da linha tronco

A lógica desta *template* para os trens subindo é representada nas Figuras 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59, 60 e 61 do Anexo A.

A lógica desta *template* para os trens descendo é representada nas Figuras 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81 e 82 do Anexo A.

4.5.1.2. *Template* da entrada e saída de pátios à esquerda

Esta *template* é utilizada para entrada e saída da circulação de pátios à esquerda da Seção de bloqueio da linha tronco, a Figura 42 apresenta a *template* de forma gráfica (*User view Windows*).

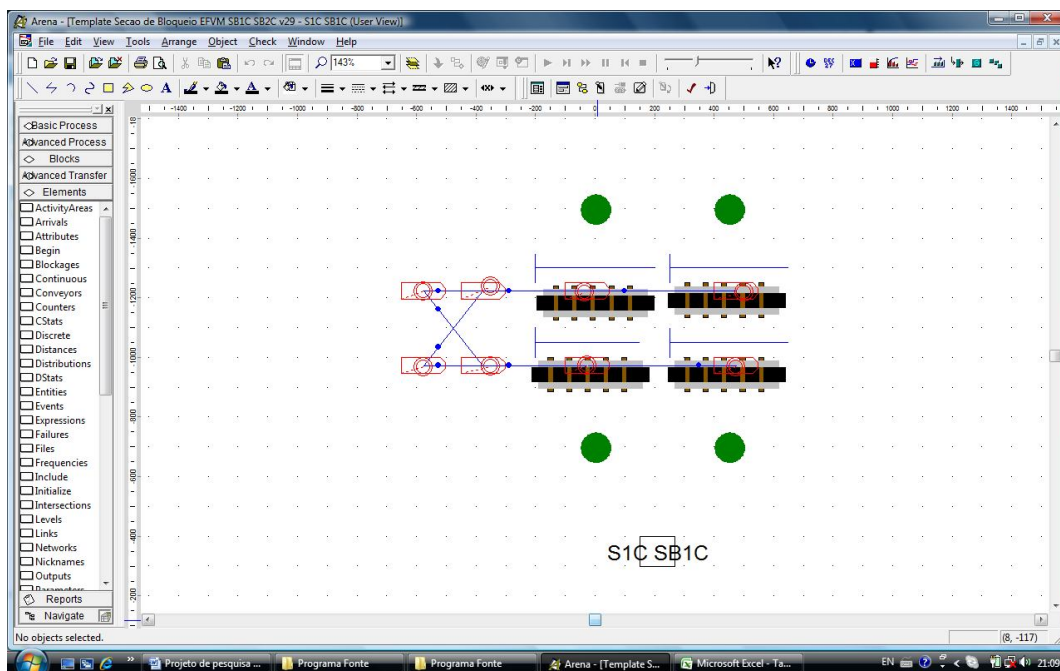


Figura 42: *Template* da entrada e saída de pátio à esquerda

A lógica desta *template* para os trens subindo é representada nas Figuras 44, 45, 46, 47, 48 e 49 do Anexo A.

A lógica desta *template* para os trens descendo é representada nas Figuras 83, 84 e 85 do Anexo A.

4.5.1.3. *Template* da entrada e saída de pátios à direita

Esta *template* é utilizada para entrada e saída da circulação de pátios à direita da seção de bloqueio da linha tronco, a Figura 43 apresenta a *template* de forma gráfica (*User view Windows*).

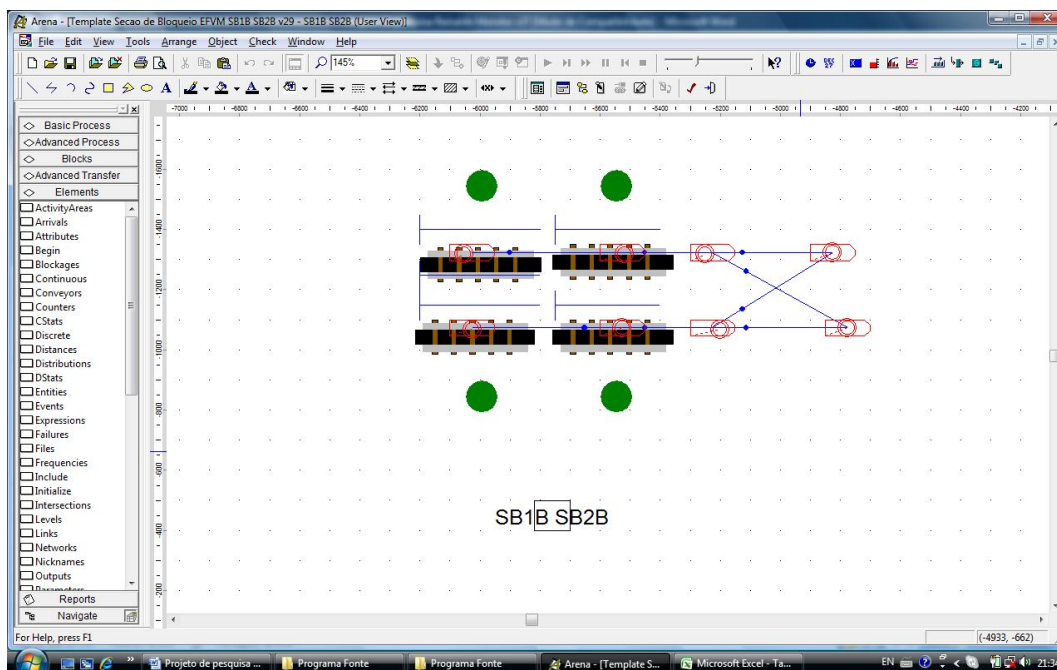


Figura 43: *Template* da entrada e saída de pátio à direita

A lógica desta *template* para os trens subindo é representada nas Figuras 65, 66, 67, 68, 69 e 70 do Anexo A.

A lógica desta *template* para os trens descendo é representada nas Figuras 62, 63 e 64 do Anexo A.

4.5.2. Diagrama nível 1 do modelo de simulação

O nível 1 do simulador é codificado conforme o modelo conceitual da Figura 27.

4.5.2.1. Inicialização do modelo de simulação

Neste sub-modelo são lidos todos os arquivos de dados que compõe o cenário a ser simulado: Tempo a ser simulado, vagões, configuração das linhas e dos eventos dos pátios de Tubarão, Intendente Câmara, Ouro Branco, pátios de desmembramentos, formação e pontos de carregamento, *transit-time* dos trens nas linhas de circulação, filas para os pontos de carregamento e percentual de trens de três lotes.

Neste sub-modelo também são geradas as manutenções preventivas e os defeitos corretivos nos equipamentos de carga, descarga e na via permanente.

4.5.2.2. Controle tempo de simulação, replicações e *warm-up*

Neste sub-modelo o relógio da simulação é controlado com objetivo de fazer o período de *warm-up* do modelo, isto é, de aquecimento do modelo, onde este período é configurado pelo analista de simulação. Este período é muito importante para que os trens possam ser distribuídos pela ferrovia em forma de regime, finalizado o período de *warm-up*, todas as variáveis de controle e indicadores são zeradas, e aí começa efetivamente a execução da simulação no período definido pelo usuário. O período máximo disponível no simulador é de seis meses e a quantidade de dias para *warm-up* é variável.

Quanto às replicações, o modelo roda qualquer quantidade de replicações. Ao final de cada replicação são gravados todos os indicadores de controle da simulação.

4.5.2.3. Inclusão de vagões no modelo

Neste sub-modelo são incluídos os vagões GDE's disponíveis no cenário. A entrada destes vagões é feita no pátio de classificação no Tubarão, e estes ao entrar no modelo são agrupados em lotes com o tamanho padrão de 84 vagões (parâmetro configurável). Esta entrada é feita de forma regular no tempo de *warm-up*.

4.5.2.4. Operações da circulação de trem na EFVM

A codificação deste sub-modelo segue o modelo conceitual das Figuras 29, 30, 31, 32, 33, 34, 35 e 36, representando o principal módulo desta modelagem, as funções da dinâmica do trem de ciclo no transporte de minério de ferro e carvão na EFVM são por este representado, inclusive o algoritmo da distribuição de lotes para os pontos de carregamento, seguindo as seguintes regras que utiliza seis avaliações conforme descrito na seção 4.3.4.4.

4.5.2.5. Operações no Pátio de Tubarão

A codificação deste sub-modelo segue o modelo conceitual da Figura 28, representando as operações no pátio de Tubarão, que são as operações dos lotes carregados (chegada dos trens, a manobra de desmembramento, recepção, manobra para os viradores do Porto e da Arcelor Mittal e descarga no Porto e na Arcelor Mittal), as operações dos lotes vazios (retirada dos vagões vazios dos viradores, estacionamento, classificação e formação) e as operações dos carregamentos de carvão (limpeza de vagões, carregamento e formação dos trens de carvão).

4.5.3. Diagrama nível 2 do modelo de simulação

4.5.3.1. Pátio de Intendente Câmara

A codificação deste sub-modelo segue o modelo conceitual da Figura 37, representando as operações de descarga do minério de ferro e do carvão no pátio de Intendente Câmara.

4.5.3.2. Pátio de Ouro Branco

A codificação deste sub-modelo segue o modelo conceitual da Figura 38, representando as operações de descarga do minério de ferro e do carvão no pátio de Ouro Branco.

4.5.4. Dinâmica de funcionamento do modelo de simulação

Para fazer a simulação de um cenário é utilizada a interface do usuário apresentada na Figura 44, onde o analista de simulação prepara os dados para a simulação, simula e analisa os resultados. Esta interface é desenvolvida no *Microsoft Excel*.

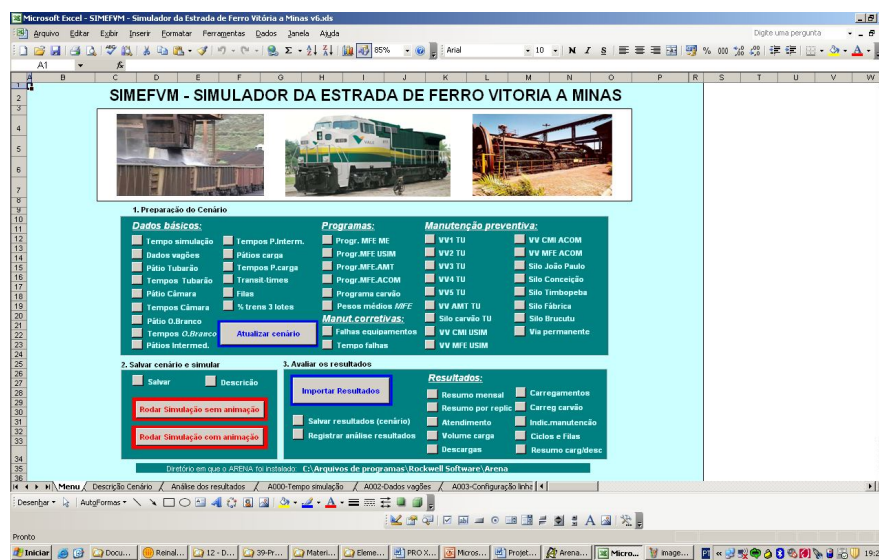


Figura 44: Interface do usuário em *Microsoft excel*

A interface do usuário representada pela Figura 45 divide as funções em três blocos: Preparação do Cenário, salvar cenário e simular e analisar os resultados.

4.5.4.1. Preparação do cenário a ser simulado

A preparação do cenário é dividida em:

- Dados básicos – Telas para inclusão ou alteração do Tempo de simulação, Dados de vagões, Pátio de Tubarão, Tempos em Tubarão, Pátio de Câmara, Tempos em Câmara, Pátio de Ouro Branco, Tempo em Ouro Branco, Pátios intermediários, Tempos pátios intermediários, Pátio de carga, Tempos pátios de carga, *Transit-time*, Filas e Percentual de trens de três lotes;
- Programas – Telas para inclusão ou alteração do Programa minério de ferro mercado externo, Programa minério de ferro para a Usiminas, AMT e Açominas, Programa do carvão mineral e Pesos médios do minério de ferro;
- Manutenções corretivas – Telas para inclusão ou alteração das Falhas em equipamentos e tempo de falhas;
- Manutenções preventivas – Telas para inclusão ou alteração das manutenções preventivas nos viradores do pátio de Tubarão (VV1, VV2, VV3, VV4, VV5 e VV AMT), silo de carvão no pátio de Tubarão, viradores de carvão e minério de ferro na Usiminas, viradores de carvão e minério de ferro na Açominas, silos de carregamento de minério de ferro (João Paulo, Conceição, Timbopeba, Fábrica e Brucutu) e na via permanente.

A Figura 45 apresenta o exemplo da tela de inclusão ou alteração dos Pátios de carregamento e dos Tempos nos pátios de carregamento.

Microsoft Excel - SIMEFVM - Simulador da Estrada de Ferro Vitória a Minas v6.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10

Parâmetro

Parâmetro	Equipamento de carregamento	Valor
Quantidade Linhas patio VJP	Silo	2
Quantidade Linhas patio VCE	Silo	2
Quantidade Linhas patio VBS	Pá-mecânica	1
Quantidade Linhas patio VAL	Pá-mecânica	1
Quantidade Linhas patio VTO	Silo	2
Quantidade Linhas patio VFM	Pá-mecânica	1
Quantidade Linhas patio VFA	Silo	1
Quantidade Linhas patio VPG	Pá-mecânica	1
Quantidade Linhas patio VBR	Silo	2
Quantidade Linhas patio VGS	Pá-mecânica	1
Quantidade Linhas patio ESQ	Pá-mecânica	1

Após alterações dos valores click no botão abaixo:

Atualizar

Retorna para o Menu principal:

←

Microsoft Excel - SIMEFVM - Simulador da Estrada de Ferro Vitória a Minas v6.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10

Parâmetro

Parâmetro	Tamanho lote carregamento	Valor
Tempo carregamento VJP	1 lote	TRIA(190,200,210)
Tempo carregamento VCE	1 lote	TRIA(195,205,215)
Tempo carregamento VBS	2 lotes	TRIA(444,6,453,0,457,8)
Tempo carregamento VAL	2 lotes	TRIA(350,355,358,0)
Tempo carregamento VTO	1 lote	TRIA(160,170,180)
Tempo carregamento VFM	1 lote	TRIA(245,250,260)
Tempo carregamento VFA	2 lotes	TRIA(240,250,260)
Tempo carregamento VPG	1 lote	TRIA(540,550,560)
Tempo carregamento VBR	2 lotes	TRIA(330,340,360)
Tempo carregamento VGS	2 lotes	TRIA(370,378,380)
Tempo carregamento ESQ	1 lote	TRIA(420,430,440)

Após alterações dos valores click no botão abaixo:

Atualizar

Retorna para o Menu principal:

←

Figura 45: Dados básicos – Pátio de carregamento e Tempo de carregamento

A Figura 46 apresenta o exemplo da tela de inclusão ou alteração do Programa de carregamento de minério de ferro para o mercado externo.

A Figura 47 apresenta o exemplo da tela de inclusão ou alteração do Programa de manutenção preventiva do virador VV01 do pátio de Tubarão

Microsoft Excel - SIMEFVM - Simulador da Estrada de Ferro Vitória a Minas v6.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10 N I S E % 000 20 40 100%

Período	Lotes em VVP	Lotes em VCE	Lotes em VBS	Lotes em VAL	Lotes em VTO	Lotes em VFM	Lotes em VFA	Lotes em VPC	Lotes em VBR	Lotes em VCS	Lotes em ESO
Mês 1	228,11	233,29	52,58	114,85	76,68	54,03	71,06	40,03	53,19	84,31	26,94
Mês 2	220,75	225,76	50,88	111,14	74,21	52,59	68,76	38,73	51,47	81,59	26,07
Mês 3	228,11	233,29	52,58	114,85	76,68	54,03	71,06	40,03	53,19	84,31	26,94
Mês 4	220,75	225,76	50,88	111,14	74,21	52,59	68,76	38,73	51,47	81,59	26,07
Mês 5	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mês 6	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Após alterações dos valores click no botão abaixo:

Atualizar

Retorna para o Menu principal:

Figura 46: Programa de carregamento do mercado externo

A Figura 47 apresenta o exemplo da tela de inclusão ou alteração do

Programa de manutenção preventiva do virador VV01 no pátio de Tubarão.

Microsoft Excel - SIMEFVM - Simulador da Estrada de Ferro Vitória a Minas v6.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

Arial 10 N I S E % 000 20 40 100%

Equipamento	Descrição	Local	Operação	Parâmetros		
				Dia	Hora início	Duração
VV01	1 Virador de vagões VV01 do Porto de Tubarão, vira 2 vagões ao mesmo tempo	Tubarão	Descarga	10	0	48
				62	0	72
				114	12	48
				0	0	0
				0	0	0
				0	0	0

Após alterações dos valores click no botão abaixo:

Atualizar

Retorna para o Menu principal:

Figura 47: Manutenção preventiva do VV01 do pátio de Tubarão

4.5.4.2. Salvar e simular cenários

Nesta parte da tela de interface em *Microsoft excel* o analista de simulação tem três opções: salvar o cenário, rodar o cenário com animação e rodar sem animação.

A Figura 48 mostra a tela da rodada de simulação com animação.

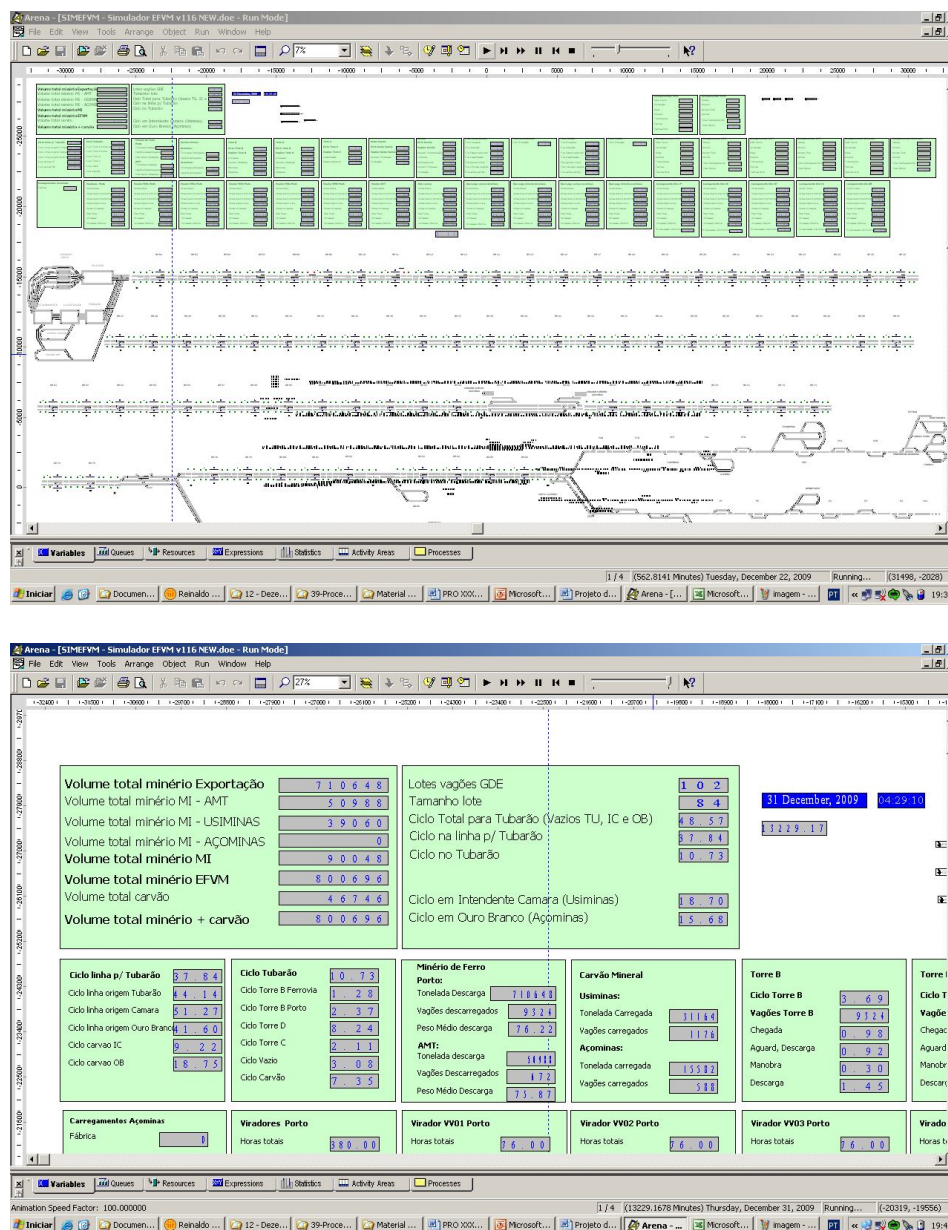


Figura 48: Simulação com animação

Nesta modalidade com animação o simulador roda de forma mais lenta, pois existe além da animação dos trens circulando, também são apresentadas indicadores de controle do cenário que está sendo simulado em tempo real. Na rodada com animação é muito importante na fase de validação do modelo com os usuários finais do projeto de simulação, pois podem visualizar com facilidade a dinâmica do modelo.

A modalidade sem animação é a mais rápida, onde neste caso o simulador roda na sua velocidade máxima, onde apenas alguns indicadores de controle são mostrados em tempo real de simulação. A Figura 49 mostra esta opção.

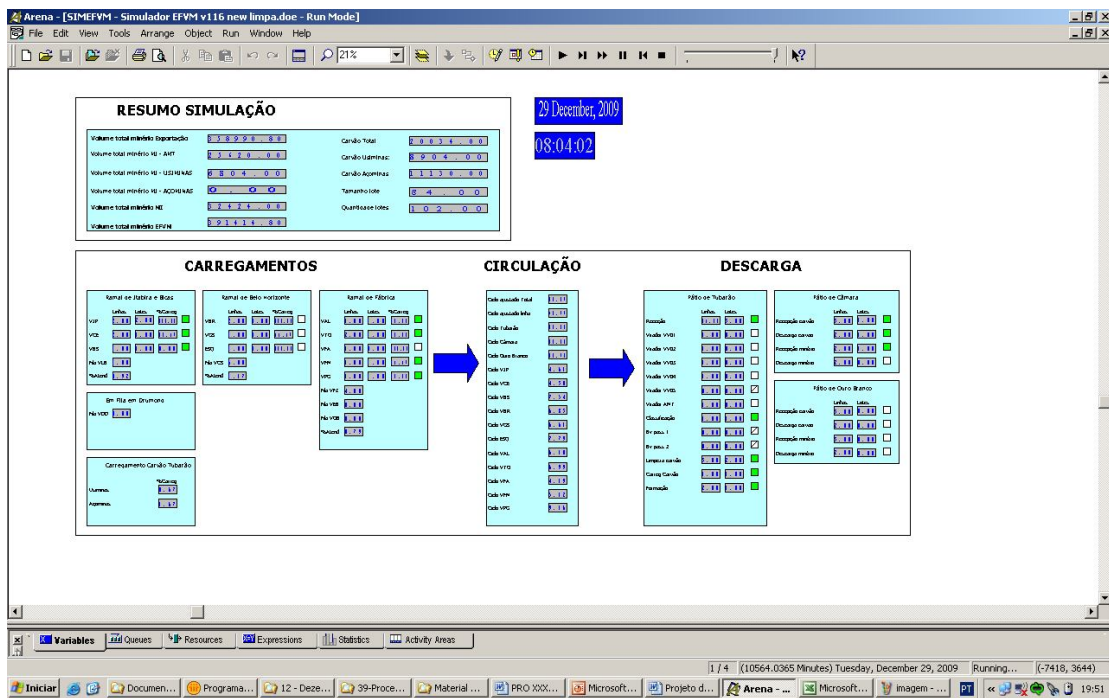


Figura 49: Simulação sem animação

4.5.4.3. Analisar resultados

Após o término da rodada de simulação é necessário importar os resultados da rodada para os relatórios de análise da simulação.

Os relatórios de análise da simulação são:

- Resumo mensal do transporte
- Resumo do transporte por replicação
- Atendimento ao carregamento
- Volume da carga
- Descarga
- Carregamento
- Carregamento de carvão
- Indicadores de manutenção
- Ciclos e filas
- Resumo carga e descarga

As Figuras 50, 51 e 52 apresentam como exemplo os relatórios: Mensal, Atendimento e os Indicadores de Manutenção, respectivamente.

		Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Total
Produtos transportados						
Minério Mercado Externo e Interno	Orç	7.690.766	7.444.171	7.690.766	7.444.171	30.269.874
	Realz	7.517.068	7.484.163	7.525.243	7.353.032	29.879.506
Minério Mercado Externo	Orç	6.606.447	6.394.935	6.606.447	6.394.935	26.002.764
	Realz	6.483.647	6.493.694	6.469.384	6.357.292	25.804.017
Minério Mercado Interno	Orç	1.084.319	1.049.236	1.084.319	1.049.236	4.267.110
	Realz	1.033.421	990.469	1.055.859	995.740	4.075.489
Minério Usiminas	Orç	539.380	521.882	539.380	521.882	2.122.524
	Realz	504.615	494.258	524.280	493.956	2.017.109
Minério AMT	Orç	478.346	462.897	478.346	462.897	1.882.487
	Realz	475.419	455.469	465.549	452.613	1.849.050
Minério Açominas	Orç	66.592	64.457	66.592	64.457	262.098
	Realz	53.386	40.742	66.030	49.172	209.330
Carvão Usiminas e Açominas	Orç	484.110	468.484	484.110	468.484	1.905.189
	Realz	503.818	486.381	537.950	489.535	2.017.684
Usiminas	Orç	305.763	295.880	305.763	295.880	1.203.287
	Realz	300.696	294.389	321.472	299.954	1.216.509
Açominas	Orç	178.347	172.604	178.347	172.604	701.902
	Realz	203.123	191.993	216.479	189.581	801.175
Ciclo Total	Orç	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5
	Realz	61,1	59,6	60,3	57,9	59,7
Ciclo ajustado para Tubarão	Orç	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5
	Realz	49,8	47,9	49,0	46,6	48,3
Ciclo Tubarão	Orç	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
	Realz	11,3	11,7	11,3	11,2	11,4
Lotes disponíveis	Orç	104	104	104	104	104
	Realz	104	104	104	104	104
Lotes totais vagões GDE	Orç	107	107	107	107	107
	Realz	107	107	107	107	107

Figura 50: Resumo mensal do transporte

Microsoft Excel - SIMEFVM - Simulador da Estrada de Ferro Vitória a Minas v6.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

A2 Pedidos

Pedidos	Média			Replicação 1			Replicação 2			Replicação 3			Replicação 4		
	P	R	A	P	R	A	P	R	A	P	R	A	P	R	A
Pedidos Total	4.745	4.676	98,6%	4.745	4.699	99,0%	4.745	4.638	97,7%	4.745	4.703	99,1%	4.745	4.665	98,3%
Pedidos ME	4.073	4.037	99,1%	4.073	4.046	99,3%	4.073	3.986	97,9%	4.073	4.078	100,1%	4.073	4.037	99,1%
Pedidos MI	672	640	95,2%	672	653	97,2%	672	652	97,0%	672	625	93,0%	672	628	93,5%
Pedidos ramal de Rabira e Bicas	2.324	2.286	98,4%	2.324	2.293	98,7%	2.324	2.244	96,6%	2.324	2.320	99,8%	2.324	2.286	98,4%
Pedidos para João Paulo	1.087	1.142	105,0%	1.087	1.148	105,6%	1.087	1.111	102,2%	1.087	1.162	106,9%	1.087	1.145	105,3%
Pedidos para João Paulo ME	897	954	106,3%	897	960	107,0%	897	923	102,9%	897	974	108,6%	897	957	106,7%
Pedidos para João Paulo Usiminas	82	81	98,8%	82	81	98,8%	82	81	98,8%	82	81	98,8%	82	81	98,8%
Pedidos para João Paulo AMT	108	107	99,1%	108	107	99,1%	108	107	99,1%	108	107	99,1%	108	107	99,1%
Pedidos para Conceição	1.030	938	91,1%	1.030	939	91,2%	1.030	927	90,0%	1.030	952	92,4%	1.030	935	90,8%
Pedidos para Conceição ME	917	835	91,0%	917	835	91,1%	917	825	90,0%	917	847	92,4%	917	831	90,6%
Pedidos para Conceição Usiminas	53	49	92,5%	53	49	92,5%	53	48	90,6%	53	50	94,3%	53	49	92,5%
Pedidos para Conceição AMT	60	55	91,3%	60	55	91,7%	60	54	90,0%	60	55	91,7%	60	55	91,7%
Pedidos Bicas	207	206	99,5%	207	206	99,5%	207	206	99,5%	207	206	99,5%	207	206	99,5%
Pedidos Bicas ME	207	206	99,5%	207	206	99,5%	207	206	99,5%	207	206	99,5%	207	206	99,5%
Pedidos Bicas Usiminas															
Pedidos Bicas AMT															
Pedidos Ramal de Belo Horizonte	708	704	99,4%	708	703	99,3%	708	703	99,3%	708	700	98,9%	708	709	100,1%
Pedidos Brucutu	209	210	100,2%	209	209	100,0%	209	209	100,0%	209	208	99,5%	209	212	101,4%
Pedidos Brucutu ME	209	210	100,2%	209	209	100,0%	209	209	100,0%	209	208	99,5%	209	212	101,4%
Pedidos Brucutu Usiminas															
Pedidos Brucutu AMT															
Pedidos Gongo Soco	393	391	99,4%	393	390	99,2%	393	390	99,2%	393	388	98,7%	393	394	100,3%
Pedidos Gongo Soco ME	332	330	99,3%	332	329	99,1%	332	330	99,4%	332	327	98,5%	332	333	100,3%
Pedidos Gongo Soco Usiminas	61	61	99,6%	61	61	100,0%	61	60	98,4%	61	61	100,0%	61	61	100,0%
Pedidos Gongo Soco AMT															
Pedidos Azurita	106	104	97,9%	106	104	98,1%	106	104	98,1%	106	104	98,1%	106	103	97,2%
Pedidos Azurita ME	106	104	97,9%	106	104	98,1%	106	104	98,1%	106	104	98,1%	106	103	97,2%
Pedidos Azurita Usiminas															
Pedidos Azurita AMT															

Figura 51: Resumo o atendimento dos carregamentos

Microsoft Excel - SIMEFVM - Simulador da Estrada de Ferro Vitória a Minas v6.xls

Arquivo Editar Exibir Inserir Formatar Ferramentas Dados Janela Ajuda

A2 Indicadores

Indicadores	Média	Replicação 1	Replicação 2	Replicação 3	Replicação 4
	Indicadores Viradores Porto				
Horas totais	14.635	14.635	14.635	14.635	14.635
Horas manutenções preventivas	508	508	508	508	508
Horas manutenções corretivas	253	257	252	257	245
Horas disponíveis	13.874	13.870	13.875	13.870	13.882
Horas utilizadas	5.806	5.809	5.758	5.835	5.824
Disponibilidade Física	94,80%	94,77%	94,80%	94,77%	94,85%
Utilização	41,85%	41,88%	41,50%	42,07%	41,95%
Utilização efetiva	39,67%	39,69%	39,35%	39,87%	39,79%
Taxa efetiva	4.431	4.441	4.423	4.448	4.411
Indicadores Virador AMT					
Horas totais	2.927	2.927	2.927	2.927	2.927
Horas manutenções preventivas	42	42	42	42	42
Horas manutenções corretivas	58	59	55	60	60
Horas disponíveis	2.827	2.826	2.830	2.825	2.825
Horas utilizadas	1.182	1.186	1.180	1.177	1.187
Disponibilidade Física	96,57%	96,56%	96,67%	96,53%	96,51%
Utilização	41,83%	41,96%	41,69%	41,65%	42,02%
Utilização efetiva	40,40%	40,52%	40,30%	40,20%	40,55%
Taxa efetiva	1.564	1.566	1.563	1.568	1.559
Indicadores Silo carvão					
Horas totais	2.927	2.927	2.927	2.927	2.927
Horas manutenções preventivas	54	54	54	54	54
Horas manutenções corretivas	59	60	59	59	60
Horas disponíveis	2.814	2.813	2.814	2.814	2.813
Horas utilizadas	1.805	1.845	1.839	1.844	1.693
Disponibilidade Física	96,12%	96,11%	96,14%	96,14%	96,11%
Utilização	64,17%	65,59%	65,37%	65,54%	60,19%
Utilização efetiva	61,68%	63,03%	62,84%	63,01%	57,85%
Taxa efetiva	1.032	1.033	1.032	1.031	1.031

Figura 52: Indicadores dos equipamentos de carga e descarga

4.6. VERIFICAÇÃO

A verificação se preocupa principalmente se o modelo operacional está sendo executado corretamente. Na codificação deste modelo de simulação, a verificação foi feita de forma gradual, buscando na simulação dos cenários, a obtenção de resultados semelhantes aos gerados atualmente na configuração real da Estrada de Ferro Vitória a Minas.

4.7. VALIDAÇÃO DO MODELO

Para buscar a validação do modelo foram feitos vários cenários, variando das configurações dos atuais volumes da Estrada de Ferro Vitória a Minas, até cenários abaixo e acima dos atuais volumes transportados, buscando comparar os resultados verificando se esta modelagem representa de forma coerente o sistema real.

A validação é a determinação do quanto o modelo conceitual é uma representação precisa do modelo real (modelo básico), isto é, este pode substituir o sistema real para fins de experimentação. O “Cenário 1” utilizou os dados reais de um determinado ano no transporte de minério de ferro e carvão da Estrada de Ferro Vitória a Minas. Para este cenário foram utilizados os dados que foram dimensionados utilizando cálculos analíticos realizados pela equipe de programação de transporte da ferrovia.

O “Cenário 1” foi montado utilizando os dados apresentados nas Tabelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23.

Este cenário utilizou 8.566 vagões GDE's disponíveis para o transporte, que corresponde a 102 lotes, e obteve os resultados abaixo, apresentados na Tabela 24.

Analisando os resultados na Tabela 24 verifica-se que o volume total do transporte programado de 30.269.874 toneladas foram realizadas 30.095.291, que representa 99,4 %.

Quanto ao volume do transporte de minério de ferro programado para o mercado externo de 26.002.764 toneladas foram realizadas 26.032.373, que representa 100,1 %.

Quanto ao volume do transporte do minério de ferro programado para o mercado interno de 4.267.110 toneladas foram realizadas 4.062.918, que representa 95,2 %.

Quanto ao volume do transporte do carvão mineral programado para o mercado interno de 1.905.189 toneladas foram realizadas 1.988.746, que representa 104,3 %.

Quanto ao ciclo de vagões de um programado total de 59,5 horas, realizou EM 59,8 horas.

A Tabela 25 mostra o percentual de realização dos pedidos de lotes dos pontos de carregamento, com realização de 99,1 %, sendo que para o mercado externo foi realizado 99,9 %, e para o mercado interno foi realizado 94,8 %, mostrando que houve um carregamento aderente ao que foi programado para cada terminal de carregamento.

Portanto este “Cenário 1” mostra que os resultados estão bastante aderentes ao dimensionamento realizado de forma analítica.

Tabela 24: Resultados da rodada de simulação para o Cenário 1

Produtos transportados		Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Total
Minério Mercado Externo e Interno	Orç	7.690.766	7.444.171	7.690.766	7.444.171	30.269.874
	Realz	7.581.109	7.441.655	7.551.844	7.520.684	30.095.291
Minério Mercado Externo	Orç	6.606.447	6.394.935	6.606.447	6.394.935	26.002.764
	Realz	6.539.894	6.441.133	6.509.313	6.542.033	26.032.373
Minério Mercado Interno	Orç	1.084.319	1.049.236	1.084.319	1.049.236	4.267.110
	Realz	1.041.216	1.000.522	1.042.530	978.650	4.062.918
Minério Usiminas	Orç	539.360	521.882	539.360	521.882	2.122.524
	Realz	509.981	497.902	519.019	480.415	2.007.317
Minério AMT	Orç	478.346	462.897	478.346	462.897	1.882.487
	Realz	473.634	450.639	468.720	463.113	1.856.106
Minério Açominas	Orç	66.592	64.457	66.592	64.457	262.098
	Realz	57.601	51.981	54.791	35.123	199.496
Carvão Usiminas e Açominas	Orç	484.110	468.484	484.110	468.484	1.905.189
	Realz	493.987	497.511	505.673	491.575	1.988.746
Usiminas	Orç	305.763	295.880	305.763	295.880	1.203.287
	Realz	297.171	300.139	309.414	293.832	1.200.556
Açominas	Orç	178.347	172.604	178.347	172.604	701.902
	Realz	196.816	197.372	196.259	197.743	788.190
Ciclo Total	Orç	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5
	Realz	61,9	60,3	59,7	57,2	59,8
Ciclo ajustado para Tubarão	Orç	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5
	Realz	50,7	49,1	46,4	46,2	48,6
Ciclo Tubarão	Orç	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
	Realz	11,2	11,2	11,3	11,0	11,2
Lotes disponíveis	Orç	102	102	102	102	102
	Realz	102	102	102	102	102
Lotes totais vagões GDE	Orç	104	104	104	104	104
	Realz	104	104	104	104	104
Indisponibilidade vagões GDE	Orç	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%
	Realz	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%
Peso Médio Porto	Orç	75,98	75,98	75,98	75,98	75,98
	Realz	75,90	75,94	75,97	75,98	75,95
Peso Médio Usiminas	Orç	76,29	76,29	76,29	76,29	76,29
	Realz	76,37	76,48	76,52	77,03	76,60
Peso Médio AMT	Orç	76,33	76,33	76,33	76,33	76,33
	Realz	76,20	76,37	76,18	76,31	76,26
Peso Médio Açominas	Orç	66,90	66,90	66,90	66,90	66,90
	Realz	66,90	66,90	66,90	66,90	66,90
Percentual trem subindo 3 lotes	Orç	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
	Realz	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
Percentual trem descendo 3 lotes	Orç	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
	Realz	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%

4.8. PROJETO EXPERIMENTAL

Para cada um dos cenários que foi simulado, a decisão deve estar focada no período em meses da rodada da simulação, no número de rodadas (também chamados de replicações), no modo de inicialização da simulação (*warm-up*) e na calibração dos arquivos de entrada de dados do modelo.

4.9. EXECUÇÃO EM PRODUÇÃO E ANÁLISE

O “Cenário 2” foi montado utilizando as mesmas premissas do “Cenário 1”, com exceção da quantidade de vagões disponíveis. Desta forma será avaliado se é possível produzir o mesmo volume com menos recursos vagão.

Para este cenário foram utilizados 8.146 vagões GDE's, que correspondem a 97 lotes de vagões GDE's, isto é, são 420 vagões ou cinco lotes de 84 a menos ao que foi utilizado no “Cenário 1”.

Os resultados do “Cenário 2” são apresentados na Tabela 26.

Analisando os resultados verifica-se que o volume total do transporte programado de 30.269.874 toneladas, foi realizado 29.852.057, que representa 98,6 %.

Quanto ao volume do transporte de minério de ferro programado para o mercado externo de 26.002.764 toneladas foram realizadas 25.795.623, que representa 99,2 %.

Quanto ao volume do transporte do minério de ferro programado para o mercado interno de 4.267.110 toneladas foram realizadas 4.056.434, que representa 95,1 %.

Quanto ao volume do transporte do carvão mineral programado para o mercado interno de 1.905.189 toneladas foram realizadas 1.993.754, que representa 104,7 %.

Uma variável que chama a atenção nesta tabelas de resultados é o ciclo programado total de 59,5 horas, realizou em apenas 57,6 horas, que é quase duas horas menor que o programado. Desta forma para o “Cenário 2” é necessário menos vagões alocados para realizar o volume total de transporte de minério de ferro e carvão.

A Tabela 27 mostra o percentual de realização dos pedidos de carregamento dos pontos de carregamento.

A comparação entre os cenários 1 e 2 mostra que com o uso do simulador, o analista é capaz de avaliar com maior precisão as quantidades de recursos necessários para o cumprimento de determinado volume de transporte. Esta análise dinâmica pode ir além, caso o analista tivesse em situação de ter que cortar demanda de transporte por falta de recurso, ele poderia propor alterações: da distribuição do volume por ponto de carregamento, no plano de manutenção programada da via, nos equipamentos de carga e descarga, etc, buscando o atendimento da demanda.

Tabela 26: Resultados da rodada de simulação para o Cenário 2

Produtos transportados		Mês 1	Mês 2	Mês 3	Mês 4	Total
Minério Mercado Externo e Interno	Orç	7.690.766	7.444.171	7.690.766	7.444.171	30.269.874
	Realz	7.497.370	7.450.735	7.536.428	7.367.525	29.852.057
Minério Mercado Externo	Orç	6.606.447	6.394.935	6.606.447	6.394.935	26.002.764
	Realz	6.459.501	6.460.463	6.487.513	6.388.145	25.795.623
Minério Mercado Interno	Orç	1.084.319	1.049.236	1.084.319	1.049.236	4.267.110
	Realz	1.037.868	990.272	1.048.914	979.379	4.056.434
Minério Usiminas	Orç	539.360	521.682	539.360	521.682	2.122.524
	Realz	502.744	491.024	525.748	475.719	1.995.235
Minério AMT	Orç	478.346	462.697	478.346	462.697	1.882.487
	Realz	480.333	452.886	462.756	458.703	1.854.678
Minério Açominas	Orç	66.592	64.457	66.592	64.457	262.098
	Realz	54.791	46.362	60.411	44.957	206.520
Carvão Usiminas e Açominas	Orç	484.110	468.484	484.110	468.484	1.905.189
	Realz	506.044	481.558	516.618	489.535	1.993.754
Usiminas	Orç	305.763	295.880	305.763	295.880	1.203.287
	Realz	297.357	279.178	303.849	285.670	1.166.053
Açominas	Orç	178.347	172.604	178.347	172.604	701.902
	Realz	208.688	202.381	212.769	203.865	827.701
Ciclo Total	Orç	59,5	59,5	59,5	59,5	59,5
	Realz	59,4	57,8	58,0	55,3	57,6
Ciclo ajustado para Tubarão	Orç	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5
	Realz	48,3	46,3	46,8	44,2	46,4
Ciclo Tubarão	Orç	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0
	Realz	11,2	11,5	11,2	11,1	11,2
Lotes disponíveis	Orç	97	97	97	97	97
	Realz	97	97	97	97	97
Lotes totais vagões GDE	Orç	99	99	99	99	99
	Realz	99	99	99	99	99
Indisponibilidade vagões GDE	Orç	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%
	Realz	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%	2,40%
Peso Médio Porto	Orç	75,98	75,98	75,98	75,98	75,98
	Realz	75,95	75,90	76,00	76,01	75,97
Peso Médio Usiminas	Orç	76,29	76,29	76,29	76,29	76,29
	Realz	76,49	76,66	76,33	76,79	76,57
Peso Médio AMT	Orç	76,33	76,33	76,33	76,33	76,33
	Realz	76,24	76,20	76,25	76,37	76,27
Peso Médio Açominas	Orç	66,90	66,90	66,90	66,90	66,90
	Realz	66,90	66,90	68,49	64,87	66,79
Percentual trem subindo 3 lotes	Orç	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
	Realz	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%	30,0%
Percentual trem descendo 3 lotes	Orç	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%
	Realz	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%	50,0%

Tabela 27: Aderência ao atendimento para o Cenário 2

Pedidos	Média			Replicação 1			Replicação 2			Replicação 3			Replicação 4		
	P	R	A	P	R	A	P	R	A	P	R	A	P	R	A
Pedidos Total	4.745	4.677	98,6%	4.745	4.700	99,1%	4.745	4.691	98,9%	4.745	4.629	97,6%	4.745	4.686	98,8%
Pedidos ME	4.073	4.041	99,2%	4.073	4.075	100,0%	4.073	4.038	99,1%	4.073	3.983	97,8%	4.073	4.067	99,9%
Pedidos MI	672	636	94,6%	672	625	93,0%	672	653	97,2%	672	646	96,1%	672	619	92,1%
Pedidos ramal de Itabira e Bicas	2.324	2.314	99,6%	2.324	2.304	99,1%	2.324	2.320	99,8%	2.324	2.310	99,4%	2.324	2.322	99,9%
Pedidos para João Paulo	1.087	1.160	106,7%	1.087	1.153	106,1%	1.087	1.167	107,4%	1.087	1.152	106,0%	1.087	1.166	107,3%
Pedidos para João Paulo ME	897	972	108,3%	897	965	107,6%	897	979	109,1%	897	964	107,5%	897	978	109,0%
Pedidos para João Paulo Usiminas	82	81	98,8%	82	81	98,8%	82	81	98,8%	82	81	98,8%	82	81	98,8%
Pedidos para João Paulo AMT	108	107	99,1%	108	107	99,1%	108	107	99,1%	108	107	99,1%	108	107	99,1%
Pedidos para Conceição	1.030	949	92,1%	1.030	947	91,9%	1.030	947	91,9%	1.030	952	92,4%	1.030	950	92,2%
Pedidos para Conceição ME	917	844	92,1%	917	842	91,8%	917	843	91,9%	917	847	92,4%	917	845	92,1%
Pedidos para Conceição Usiminas	53	49	92,9%	53	49	92,5%	53	49	92,5%	53	50	94,3%	53	49	92,5%
Pedidos para Conceição AMT	60	56	93,3%	60	56	93,3%	60	55	91,7%	60	55	91,7%	60	56	93,3%
Pedidos Bicas	207	206	99,3%	207	204	98,6%	207	206	99,5%	207	206	99,5%	207	206	99,5%
Pedidos Bicas ME	207	206	99,3%	207	204	98,6%	207	206	99,5%	207	206	99,5%	207	206	99,5%
Pedidos Bicas Usiminas															
Pedidos Bicas AMT															
Pedidos Ramal de Belo Horizonte	708	697	98,4%	708	709	100,1%	708	678	95,8%	708	690	97,5%	708	709	100,1%
Pedidos Brucutu	209	207	99,0%	209	212	101,4%	209	199	95,2%	209	205	98,1%	209	212	101,4%
Pedidos Brucutu ME	209	207	99,0%	209	212	101,4%	209	199	95,2%	209	205	98,1%	209	212	101,4%
Pedidos Brucutu Usiminas															
Pedidos Brucutu AMT															
Pedidos Gongo Soco	393	385	97,8%	393	392	99,7%	393	374	95,2%	393	380	96,7%	393	392	99,7%
Pedidos Gongo Soco ME	332	325	97,8%	332	331	99,7%	332	315	94,9%	332	321	96,7%	332	332	100,0%
Pedidos Gongo Soco Usiminas	61	60	98,0%	61	61	100,0%	61	59	96,7%	61	59	96,7%	61	60	98,4%
Pedidos Gongo Soco AMT															
Pedidos Azurita	106	105	99,1%	106	105	99,1%	106	105	99,1%	106	105	99,1%	106	105	99,1%
Pedidos Azurita ME	106	105	99,1%	106	105	99,1%	106	105	99,1%	106	105	99,1%	106	105	99,1%
Pedidos Azurita Usiminas															
Pedidos Azurita AMT															
Pedidos Ramal de Fábrica	1.713	1.666	97,3%	1.713	1.687	98,5%	1.713	1.693	98,8%	1.713	1.629	95,1%	1.713	1.655	96,6%
Pedidos Alegria	562	552	98,2%	562	561	99,8%	562	562	100,0%	562	522	92,9%	562	562	100,0%
Pedidos Alegria ME	452	445	98,3%	452	451	99,8%	452	453	100,2%	452	421	93,1%	452	453	100,2%
Pedidos Alegria Usiminas	62	60	96,8%	62	62	100,0%	62	61	98,4%	62	56	90,3%	62	61	98,4%
Pedidos Alegria AMT	48	47	98,4%	48	48	100,0%	48	48	100,0%	48	45	93,8%	48	48	100,0%
Pedidos Timbopeba	355	354	99,8%	355	359	101,1%	355	359	101,1%	355	340	95,8%	355	359	101,1%
Pedidos Timbopeba ME	302	302	99,9%	302	306	101,3%	302	306	101,3%	302	289	95,7%	302	306	101,3%
Pedidos Timbopeba Usiminas															
Pedidos Timbopeba AMT	53	53	99,1%	53	53	100,0%	53	53	100,0%	53	51	96,2%	53	53	100,0%
Pedidos Fábrica Muro	255	254	99,7%	255	256	100,4%	255	255	100,0%	255	251	98,4%	255	255	100,0%
Pedidos Fábrica Muro ME	213	212	99,6%	213	214	100,5%	213	213	100,0%	213	209	98,1%	213	213	100,0%
Pedidos Fábrica Muro Usiminas	17	17	100,0%	17	17	100,0%	17	17	100,0%	17	17	100,0%	17	17	100,0%
Pedidos Fábrica Muro AMT	25	25	100,0%	25	25	100,0%	25	25	100,0%	25	25	100,0%	25	25	100,0%
Pedidos Fábrica	383	372	97,0%	383	367	95,8%	383	381	99,5%	383	371	96,9%	383	367	95,8%
Pedidos Fábrica ME	280	290	103,6%	280	301	107,5%	280	283	101,1%	280	271	96,8%	280	305	108,9%
Pedidos Fábrica Usiminas	57	45	78,5%	57	36	63,2%	57	54	94,7%	57	55	96,5%	57	34	59,6%
Pedidos Fábrica AMT															
Pedidos Fábrica Acominas	46	37	79,9%	46	30	65,2%	46	44	95,7%	46	45	97,8%	46	28	60,9%
Pedidos Patrag	158	134	85,0%	158	144	91,1%	158	136	86,1%	158	145	91,8%	158	112	70,9%
Pedidos Patrag ME	158	134	85,0%	158	144	91,1%	158	136	86,1%	158	145	91,8%	158	112	70,9%
Pedidos Patrag Usiminas															
Pedidos Patrag AMT															

Com esta ferramenta são abertas muitas possibilidades de ajustes nas premissas operacionais, fazendo testes causa-efeito destas premissas, na busca do melhor cenário que atenda com menos recursos as demandas de transporte.

4.10. NOVAS EXECUÇÕES

O décimo passo da metodologia de Banks (2000), Figura 2, com base na análise das execuções que foram concluídas, o analista de simulação

determina se serão necessárias execuções adicionais ou se é necessário adicionar novos cenários a serem simulados.

4.11. DOCUMENTAÇÃO

Seguindo a metodologia de Banks (2000) e etapa de documentação consiste no próprio texto desta dissertação.

4.12. IMPLEMENTAÇÃO

O último passo da metodologia de Banks (2000) é a implementação, portanto para implementar este modelo nas áreas de planejamento de longo e curto prazo da EFVM, serão preparados treinamentos específicos.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

Este estudo foi motivado principalmente pela dificuldade em se validar modelos de simulação de malha ferroviária que consideram composições circulando em ciclo fechado em ferrovia com trechos duplos e singelos. A elevada sensibilidade do sistema as várias interferências na circulação dos trens, as suas paradas programadas e corretivas, os congestionamentos, as filas que se formam, requer algoritmos de modelagem capazes de retratar corretamente seu comportamento. Caso contrário, a simulação não é capaz de alcançar um nível adequado para retratar o sistema real. O problema se agrava com o fato de que, os trens de ciclo podem ter diferentes opções de direcionamentos, e um procedimento decisório deve ser realizado para que se escolha o melhor ponto de carregamento.

Toda esta complexidade gerou desafios que foram vencidos na fase de modelagem e representação do sistema, pois caso contrário, o modelo não atingiria a validação dos usuários, e seus resultados não dariam a confiança para apoiar a tomada de decisão.

Durante a codificação e testes com o modelo, constatou-se a real dificuldade de se representar computacionalmente a grande quantidade de decisões envolvidas na movimentação dos trens na malha ferroviária. O algoritmo montado para o direcionamento dos trens se mostrou bastante adequado, pois ele procura a todo o tempo maximizar a ocupação dos pontos de carregamento, buscando atender aos pedidos pendentes nestes locais. Para os casos de manutenções preventivas e corretivas, automaticamente o algoritmo reduz a capacidade do ponto, e passa atender aos outros que estão mais demandados e sem manutenção.

Esta modelagem considera que os recursos locomotivas e equipagem (maquinistas) não são restritivos, pois considera que sempre terão locomotivas

e maquinistas para a formação dos trens de ciclo, portanto este simulador foca principalmente o recurso vagão.

Atendendo ao objetivo principal desta dissertação, as áreas de planejamento de longo prazo serão atendidas por uma ferramenta inicial para suportar as demandas de novos projetos de expansão, e as áreas de planejamento de curto prazo, também serão atendidas na solução das várias questões “*What if ?*” (O que ocorre se ?) que aparecem no seu dia a dia.

Os vários testes deste modelo em sua fase atual de desenvolvimento permitem que ele seja usado para:

- Dimensionar a quantidade adequada de vagões para atender determinado volume de transporte;
- Identificar os potenciais gargalos frente ao aumento do volume de transporte;
- Avaliar o impacto dos investimentos em melhorias de terminais de carga, descarga, formação e desmembramento de trens;
- Avaliar os impactos dos investimentos em aumento de capacidade de circulação da malha (duplicação, triplicação, inclusão de novos pátios de cruzamento, etc...);
- Avaliar o impacto dos programas de manutenção programadas nos equipamentos de carga, descarga e malha ferroviária;
- Avaliar o impacto nos projetos de engenharia que busca a diminuição dos tempos nas manutenções corretivas nos equipamentos de carga, descarga e na malha ferroviária;

- Avaliar o percentual adequado de trens de dois e três lotes no sentido subindo e descendo, pois ter mais trens de três lotes na atual configuração dos pátios de carregamento, descarga, formação e desmembramento, significa um aumento no tempo de permanência destes nestes pátios. Em contrapartida, na circulação significa tempos menores devido à diminuição de tráfego na malha. Portanto, o simulador consegue mostrar a partir de várias rodadas de simulação a melhor configuração do percentual destes trens a frente do cenário simulado.

5.2. RECOMENDAÇÕES

A modelagem da Estrada de Ferro Vitória a Mina é muito extensa, portanto para o cumprimento do prazo legal para finalizar esta dissertação de mestrado foram feitas algumas simplificações. Portanto, para dar continuidade a este trabalho, podem-se recomendar os seguintes aprimoramentos:

- O modelo desenvolvido não modelou a sinalização e a via permanente nos trechos singelos da EFVM: D-H, H-I, I-N, N-O, O-P, P-Q, Q-T, Q-R, R-S, I-J, J-K e K-L conforme Figura 14, portanto para finalizar é necessário construir a *template* para as configurações destes trechos de linhas singelas;
- É necessário fazer a lógica do trecho triplicado entre a locação 64 e 66, que faz a interface com o Pátio de Intendente Câmara;
- É recomendado um maior detalhamento da modelagem dos pátios de desmembramento e formação: Drumond, Laboriau, Costa Lacerda, Fazendão e Engenheiro Bandeira;
- Alguns pontos de carregamento da EFVM além de carregar trens com vagões do tipo GDE, também carregam trens com vagões do tipo HAD, GFD e GFE . Estes tipos de vagões são utilizados no atendimento a

alguns clientes do mercado interno que não tem viradores, e o minério de ferro transportado é descarregado por moega ou em linhas elevadas. Estes trens disputam os pontos de carregamento com os trens de vagões GDE, e precisam ser incluídos no modelo;

- Incluir os trens de grade, que são os cargueiros e os de passageiro, pois estes trens impactam a circulação dos trens de ciclo de minério de ferro e carvão;
- Implementar a função ultrapassagem de trens lentos, onde os trens podem ter prioridades e velocidades diferenciadas. Os trens mais prioritários e mais velozes são os trens de passageiros, seguido dos trens de minério e os mais lentos e com menos prioridades são os cargueiros. Esta função é importante, pois gera impacto direto no ciclo médio dos vagões;
- O modelo apesar de adotar um algoritmo de decisão interna para atender aos pedidos de carregamentos, não otimiza o sistema em si, busca retratar o que as pessoas conseguem decidir para fazer os direcionamentos dos trens para os pontos de carregamento. Portanto, este algoritmo pode ser melhorado, buscando fazer a otimização da distribuição dos lotes vazios;
- Alteração dos algoritmos e do modelo para que considere a frota de locomotivas e vagões e respeite a sua localização na malha, esta implementação seria muito importante para a busca da otimização do material rodante na malha;
- Fazer a modelagem das duas locações duplas no trecho Costa Lacerda à Brucutu, fazendo a integração da template de linha dupla com a de linha singela;
- Incluir o gerenciamento de equipes de maquinistas.

Espera-se que este estudo contribua para fechar algumas lacunas quanto aos trabalhos de simulação de malha ferroviária em linhas duplas e singelas na comunidade acadêmica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTT (1999 A 2007), Relatório Anual da Agência Nacional de Transportes Terrestres, Endereço Internet consultado em 10 de maio de 2009: <http://www.antt.gov.br>.

AVERILL, M.L. (2003), How to Conduct a Successful Simulation Study, Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference, Texas, U.S.A...

BANKS, J., Carson, J.S., Nelson, B.L. (1996), Discrete Event System Simulation; Ed. Prentice Hall: Upper Saddle River – New Jersey – E.U.A.

BANKS, J. (2000), Introduction to Simulation, Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference, Atlanta, U.S.A.

BANKS, J., CARSON, J.S., NELSON, B.L., NICOL, D.M. (2001), Discrete-event system simulation, 2º Ed., Upper Sandle River: Prentice-Hall International Series in Industrial and System Engineering.

BARROS, A. L.(2010), Distribuição Otimizada de Lotes de Vagões GDE para Carregamento de Minério de Ferro da EFVM, Vitória – ES – Brasil.

BANDEIRA, D. L. (2005), Alocação e movimentação de contêineres vazios e cheios –um modelo integrado e sua aplicação. 134 p. – Tese - Programa de Pós-Graduação em Administração - Grupo de Estudos em Sistemas de Informação e de Apoio à Decisão, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS – Brasil.

CALDARA, A. (1996), Um sistema de Otimização para Alocação de Vagões Vazios em Ferrovias. 117 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES – Brasil.

CAMPOS, L. B. (2009), Modelo de otimização para o planejamento da rede de serviços no transporte ferroviário de cargas – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória – ES – Brasil.

CHWIF L., MEDINA, A.C. (2007), Modelagem e Simulação de Eventos Discretos – Teoria e Aplicações, Segunda Edição, Ed. dos Autores: São Paulo – SP – Brasil.

CNT (2002), Confederação Nacional do Transporte (2002), Relatório Analítico “Pesquisa Ferroviária CNT”, Endereço Internet consultado em 10 de maio de 2009: <http://www.cnt.org.br>.

CRAINIC, T.G., Laporte, G. (1997), Planning Models for Freight Transportation, European Journal of Operation Research, n.97, p.409-438.

FIORONI (2008), Simulação em Ciclo Fechado de Malhas Ferroviárias e suas Aplicações no Brasil: Avaliação de Alternativa para o Direcionamento de Composições, Tese, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil.

FIORONI, M. ,Franzese, L.A.G, Hiramatsu, N.Y.,Machado, N.M. (2005), Análise de Investimentos em Infra-Estrutura Ferroviária usando Simulação de Eventos Discretos – Estudo de Casos, XXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Porto Alegre, Brasil.

GUIMARÃES, I.F.G. (2005), Modelo de Rede de Filas para Avaliação de Desempenho de Trechos Singelos de Malhas Ferroviárias. Dissertação, Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil.

HOMER, J.B., Keane, T.E., Lukiantseva, N.O., Bell, D.W. (1999), Evaluating Strategies to Improve Railroad Performance – A System Dynamic Approach, Proceedings of the 1999 Winter Simulation Conference. Dec-5-8, Phoenix – AZ, E.U.A.

KELTON, W.D.,Sadowsky, R.P., Sadowsky D.A. (1998), Simulation with Arena, Ed.McGraw-Hill. Boston, Massachusetts, E.U.A.

NÓBREGA, M. A. Modelagem matemática de um sistema de produção e transporte de minério de ferro. 1996. Dissertação (Mestrado em Matemática Aplicada) – Instituto de Matemática, Estatística e Computação Científica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

PARAGON (2010), Manual do usuário Arena versão 12.0 – São Paulo, Brasil

PEGDEN, C.D., R.E. Shannon and R.P. Sadowski (1995), Introduction to Simulation Using SIMAN, 2nd Edition, McGraw-Hill.

PETERSEN , E. R., TAYLOR , A. J. (1982), A Structured Model for Rail Line Simulation and Optimization, Transportation Science, Vol 16, No 2: 192-206.

PATER, J.G.A, TEUNISSE, J.G. M (1997), The use of a template-based methodology in the simulation of a new cargo track from Rotterdam Harbor to Germany, Proceedings of the 1997.

PIDD, M. (1998), Modelagem Empresarial: Ferramentas para Tomada de Decisão; Ed. Artes Médicas Sul: Porto Alegre – RS – Brasil.

PRADO, D.S. (1999), Usando o Arena em Simulação, Belo Horizonte: Editora de Desenvolvimento Gerencial.

REVISTA VALOR ECONÔMICO (2009), Jornal Valor Econômico, Endereço Internet consultado em 10 de maio de 2009: <http://www.valoronline.com.br>.

ROBINSON, S., Pidd, M. (1998), Provider and Customer Expectations of Successful Simulation Projects, *Journal of the Operational Research Society*, v.49,n.3, p.200-209.

SHAIN, I. (1999) Railway Traffic Control and Scheduling Based on Inter-train Conflict Management, *Transportation Research Part B*, 39, 511-534.

SHANNON, R.E. (1998), Introduction to the Art and Science of Simulation, *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference*, Texas, U.S.A.

SILVA, R.S. (2008), *Apostila de Metodologia Científica*, Ed. 8, Brusque: ASSEVIM – Associação Educacional do Vale do Itajaí-Mirim, Brasil.

ANEXO A – Fluxogramas da lógica de circulação na linha dupla

A-1. Trens Subindo

A-1.1. Saída de um pátio

A Figura 53 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 54 e 55 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens na saída de pátios. Um trem ao sair de um pátio, segue pela linha preferencial, que para o trem subindo é a linha 1. Caso a linha 1 esteja ocupada por outro trem, circulando, ou em corretiva ou em manutenção preventiva, o trem poderá sair pela linha 2, caso esta esteja desocupada. Para que um trem possa circular são necessárias duas ações:

- Marcar a rota no sentido do movimento;
- Ocupar a próxima seção de bloqueio na rota do trem.

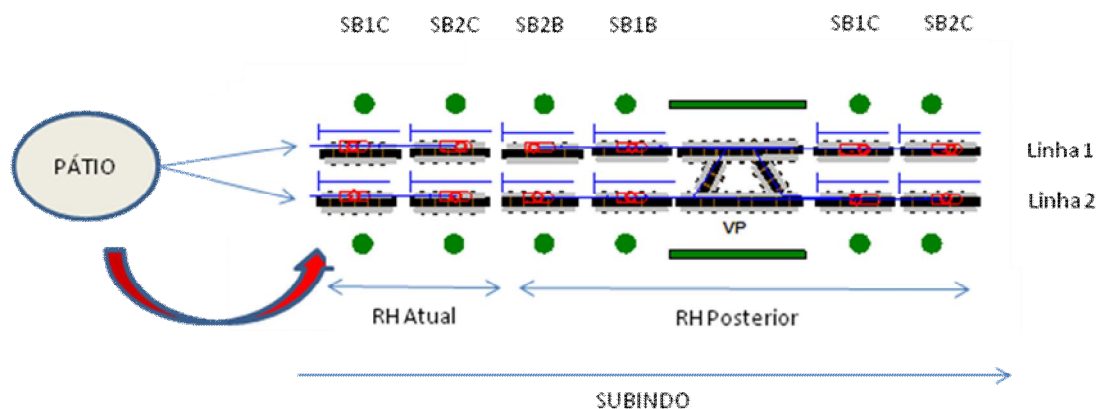


Figura 53: Esquemático trem subindo saindo de pátio

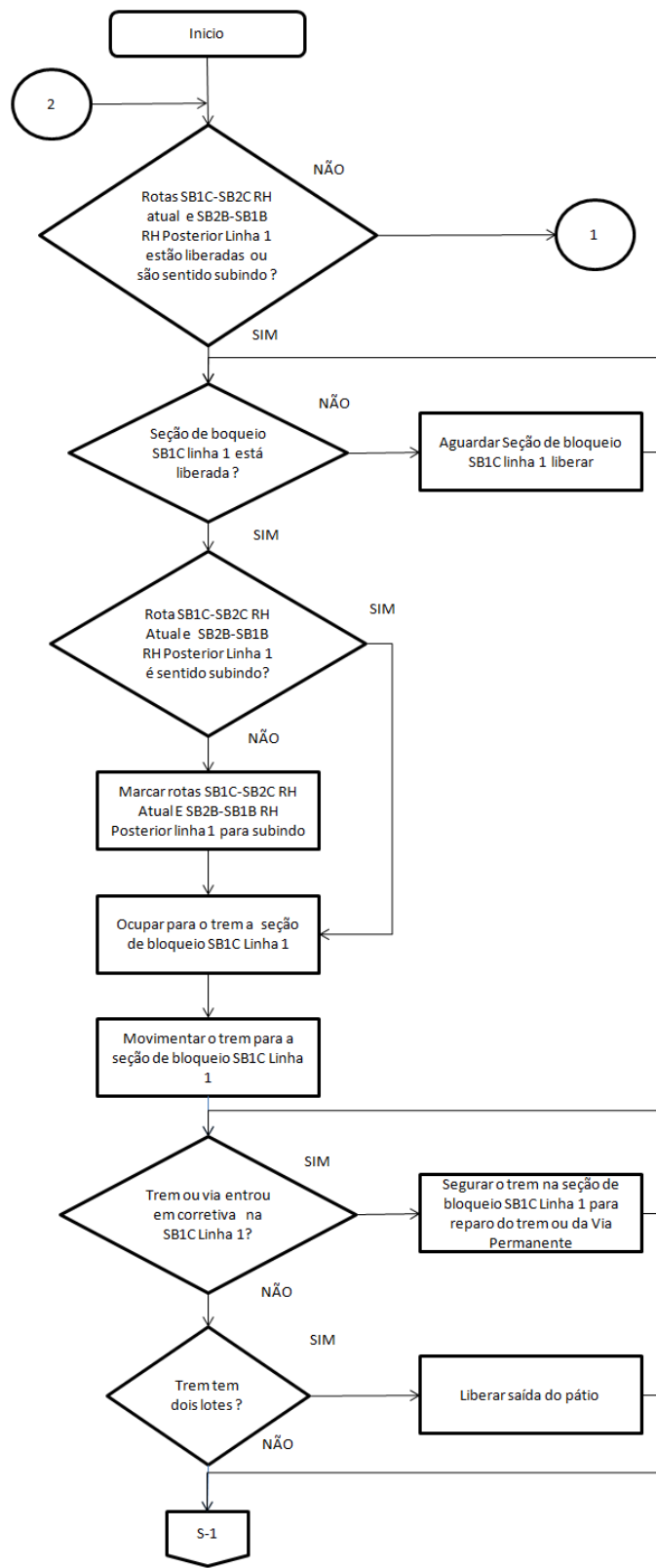


Figura 54: Algoritmo trem subindo na saída de pátios pela Linha 1

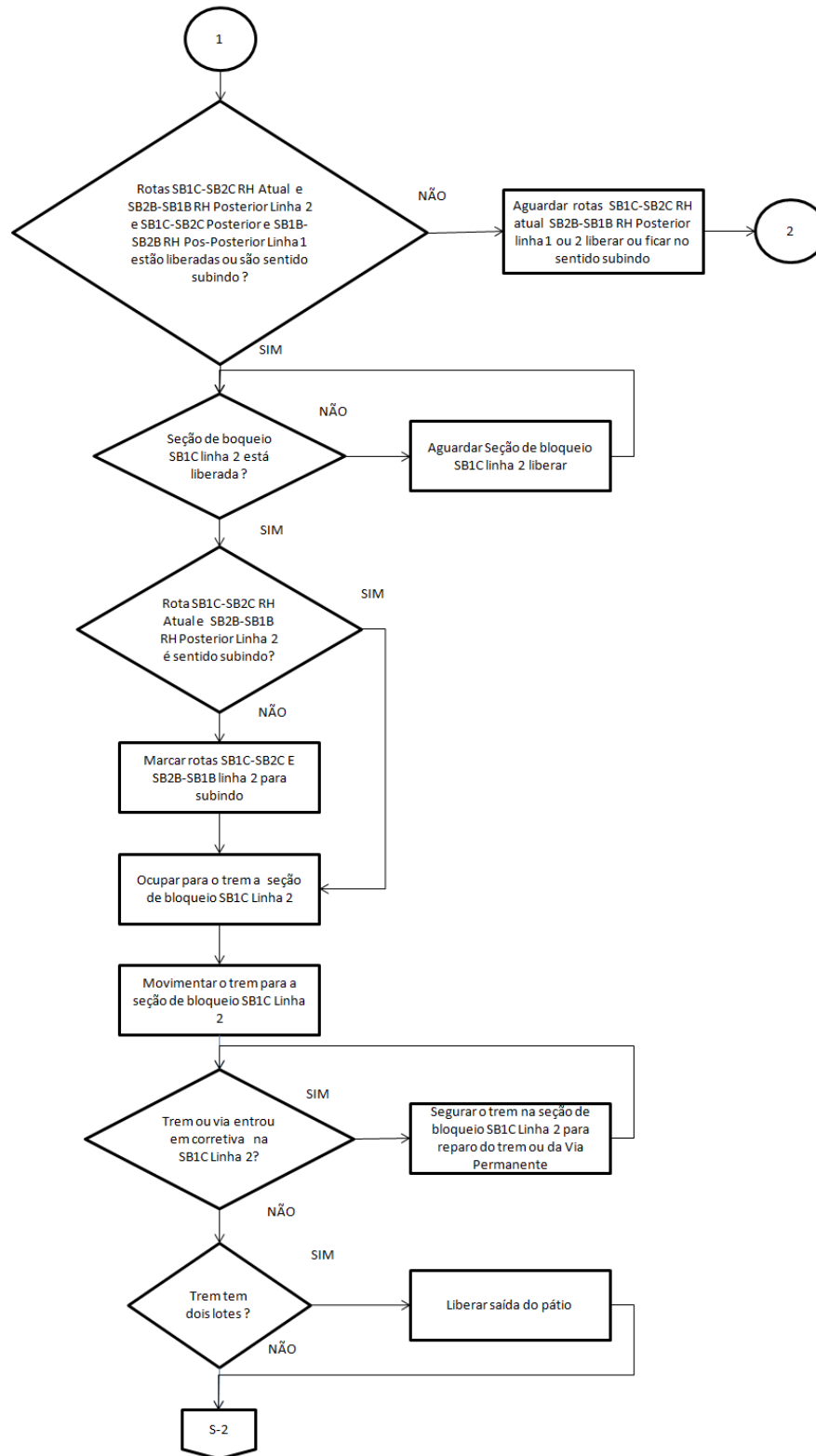


Figura 55: Algoritmo trem subindo na saída de pátios pela Linha 2

A-1.2. Circulação da seção de bloqueio SB1C para SB2C da Saída de Pátio para circulação

A Figura 46 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 57 e 58 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens da seção de bloqueio SB1C para SB2C no sentido subindo. Neste caso o trem que está na linha 1 no próximo movimento continuará na linha 1, idem para caso ele esteja na linha 2.

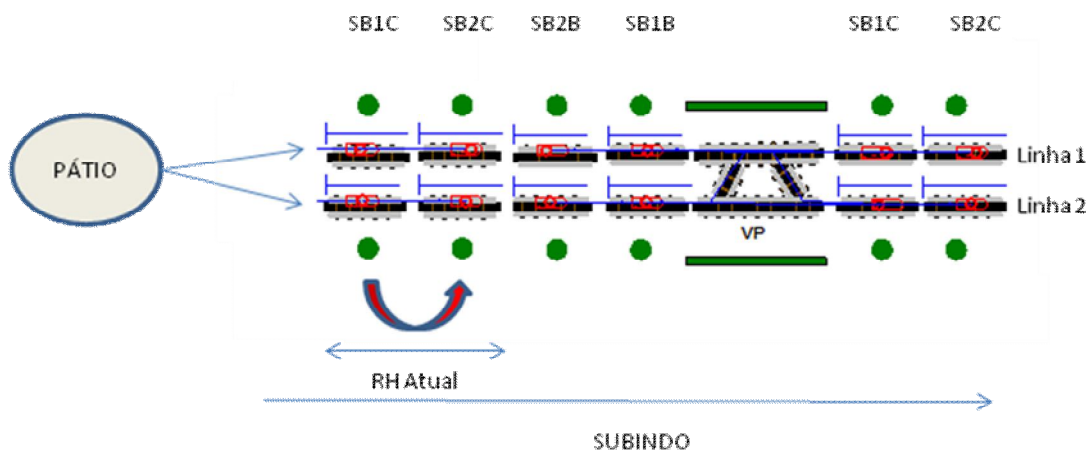


Figura 56: Esquemático trem subindo seção de bloqueio SB1C -SB2C

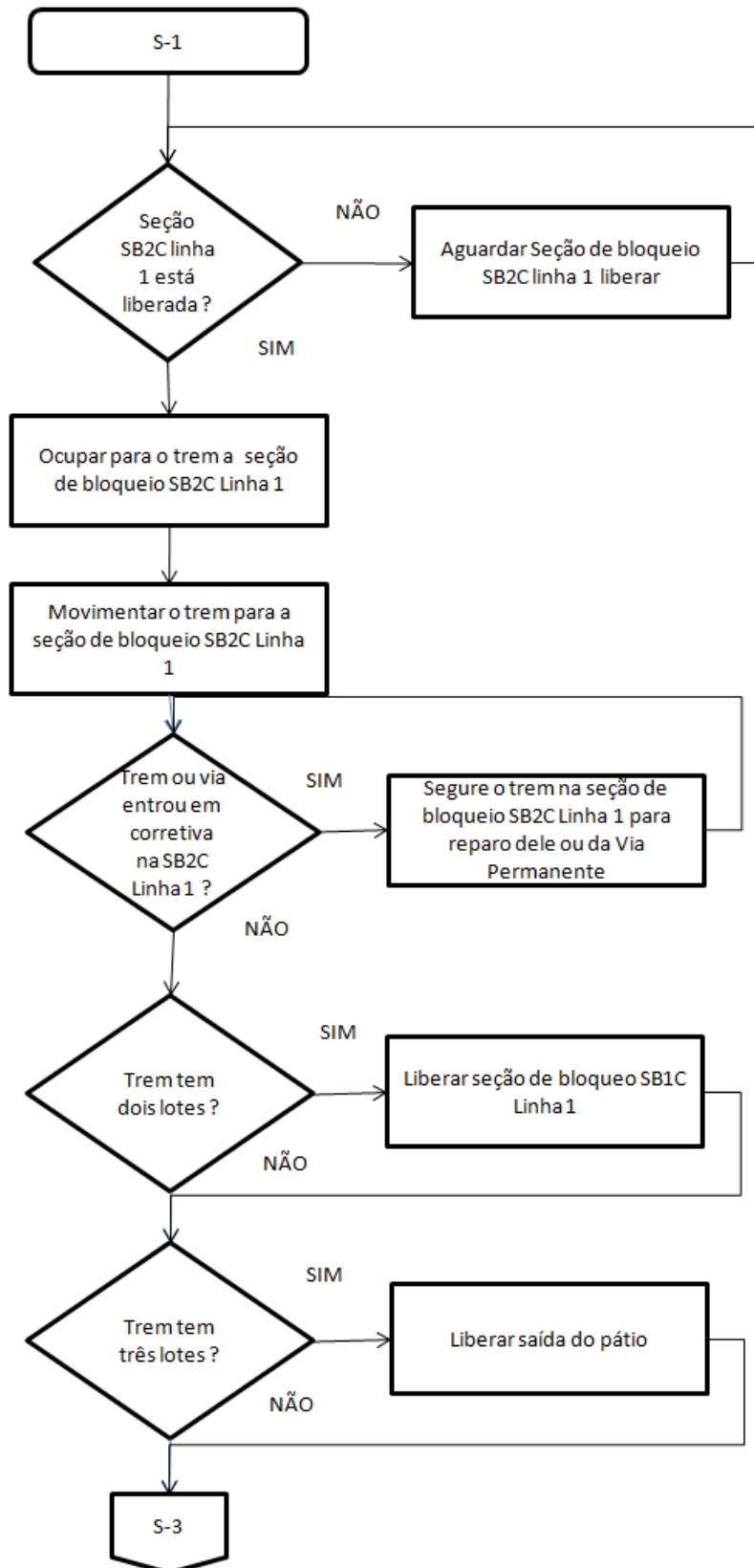


Figura 57: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB1C-SB2C Linha 1

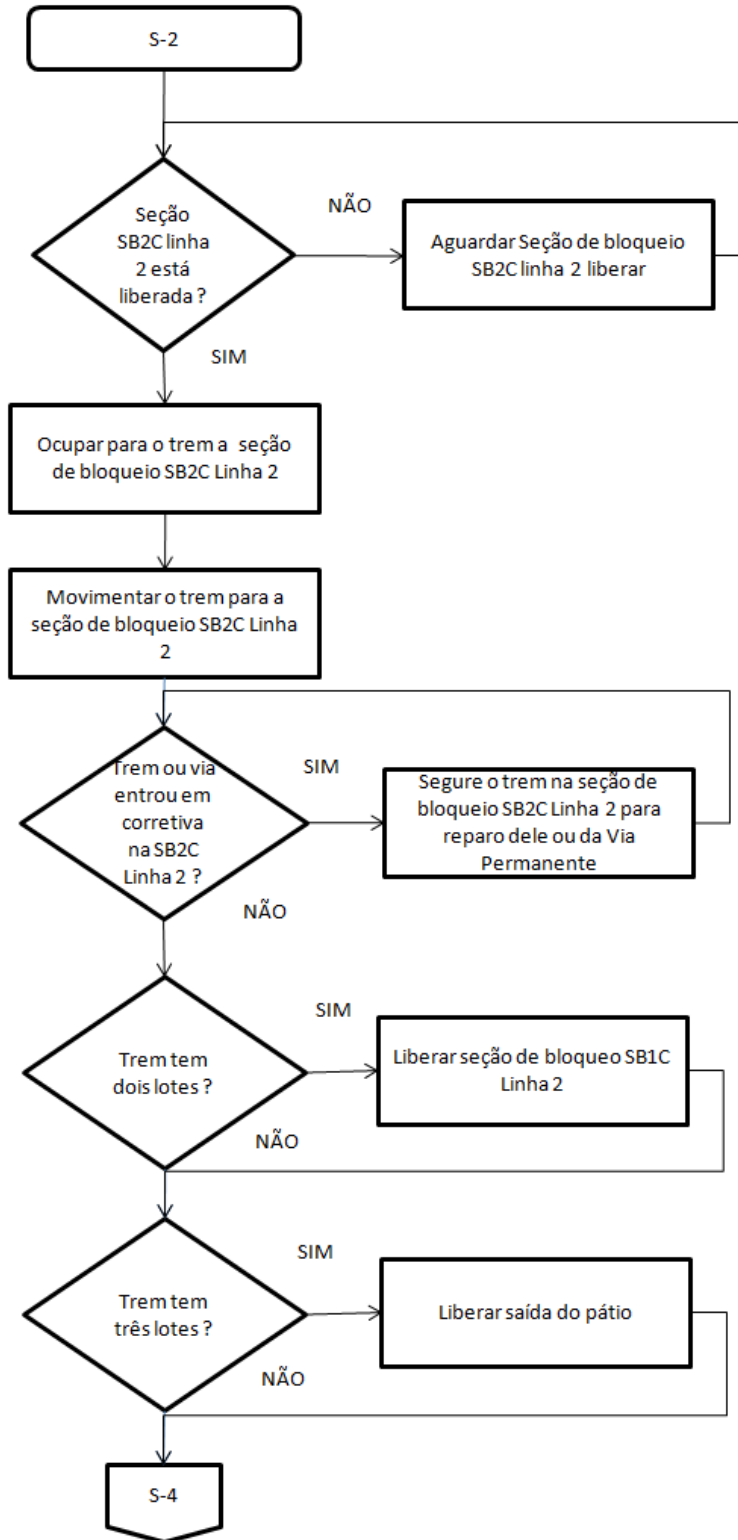


Figura 58: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB1C-SB2C Linha 2

A-1.3. Circulação da seção de bloqueio SB2C da Saída de Pátio para SB2B

A Figura 59 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 60 e 61 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens da seção de bloqueio SB2C para SB2B no sentido subindo. Neste caso o trem que está na linha 1 no próximo movimento continuará na linha 1, idem para caso ele esteja na linha 2.

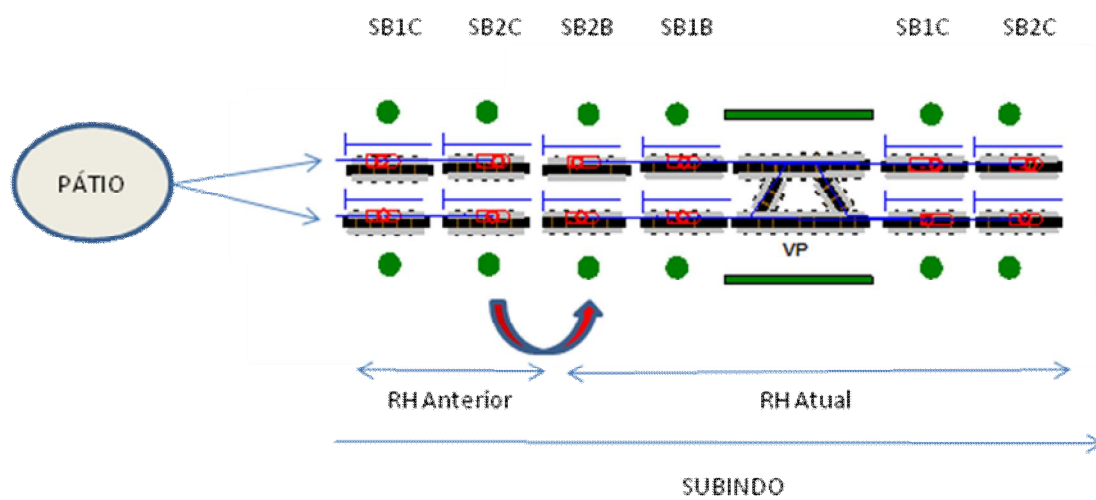


Figura 59: Esquemático trem subindo seção de bloqueio SB2C-SB2B

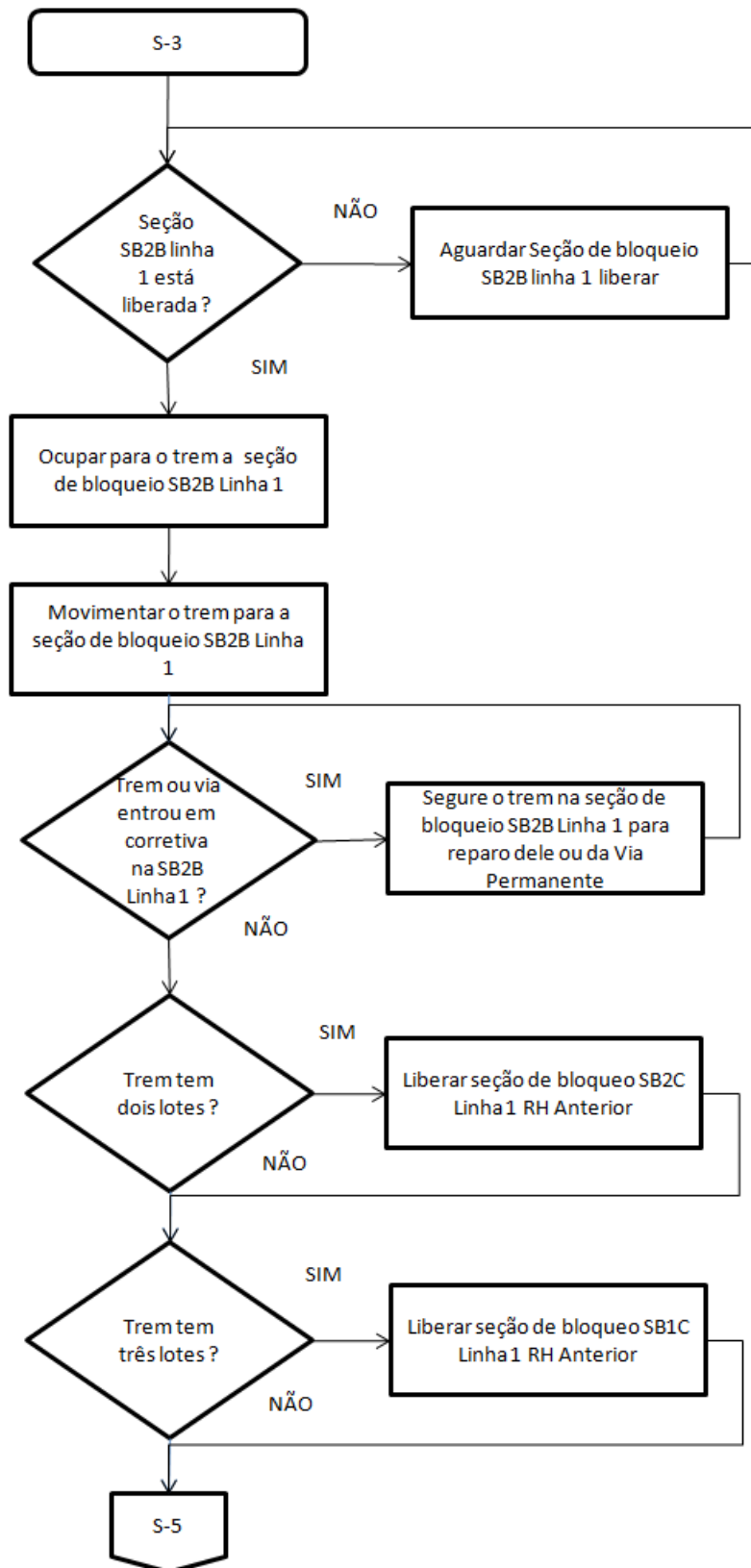


Figura 59: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2C-SB2B Linha 1

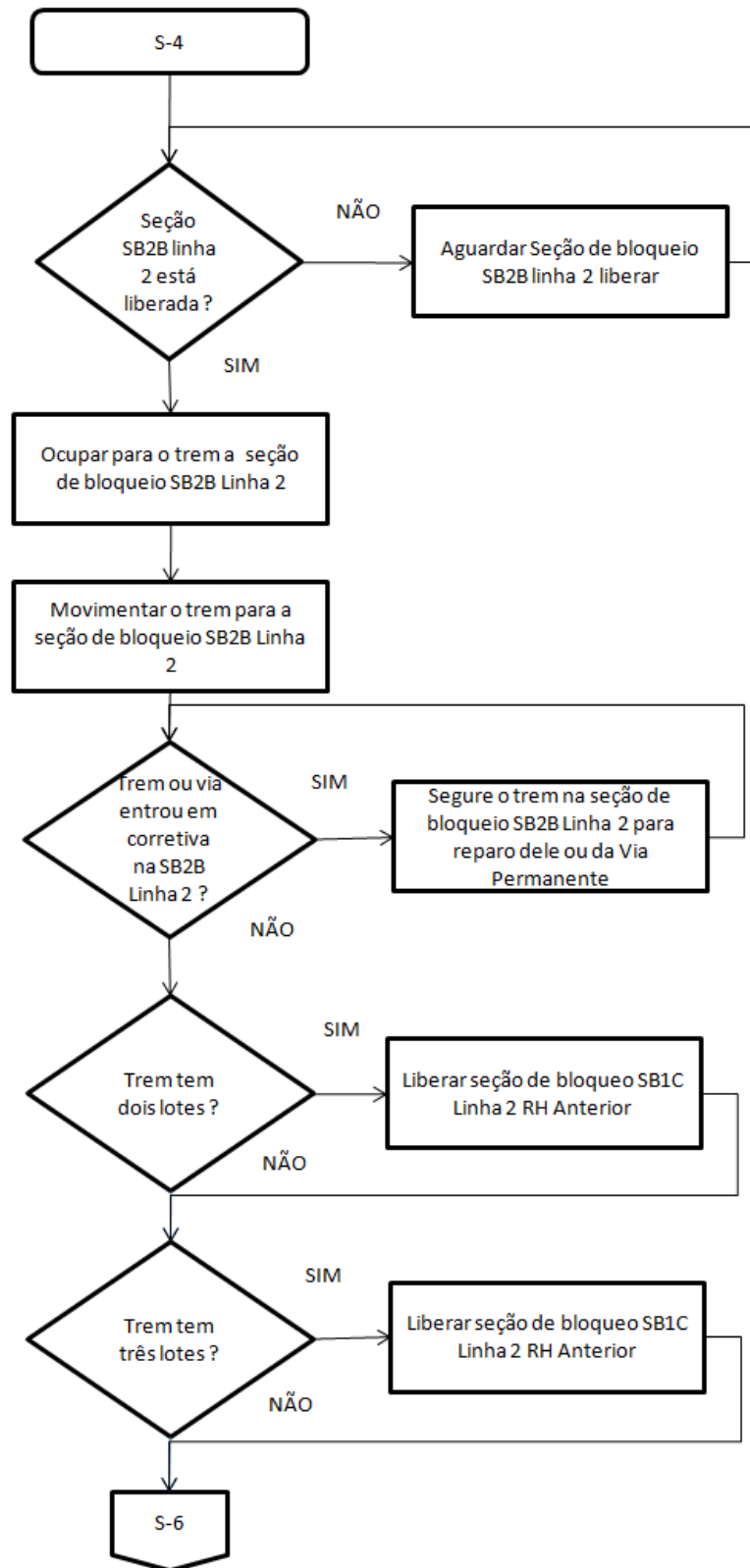


Figura 60: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2C -SB2B Linha 2

A-1.4. Circulação da seção de bloqueio SB2B para SB1B

A Figura 62 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 63 e 64 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens da seção de bloqueio SB2C para SB2B no sentido subindo. Neste caso o trem que está na linha 1 no próximo movimento continuará na linha 1, idem para caso ele esteja na linha 2.

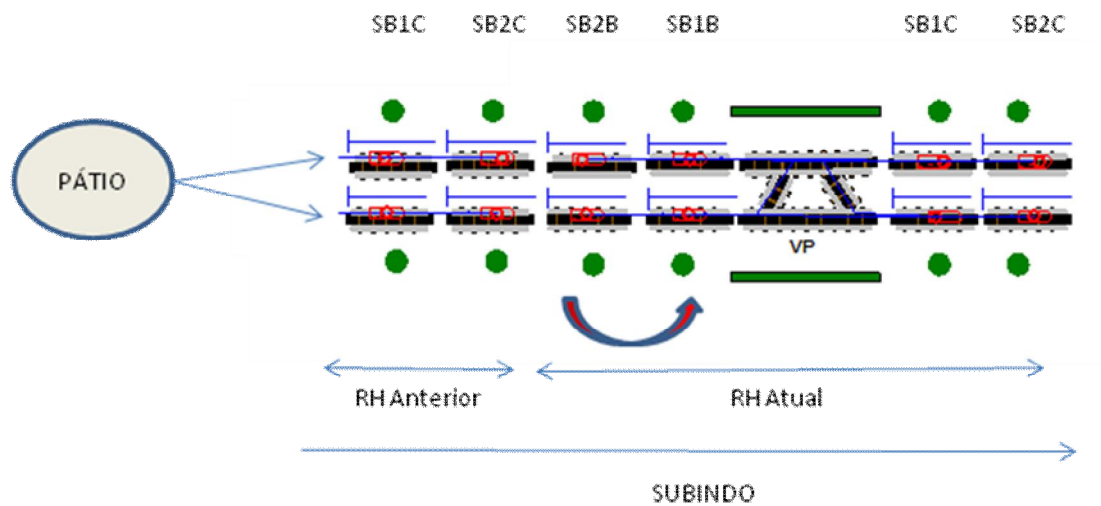


Figura 61: Esquemático trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B

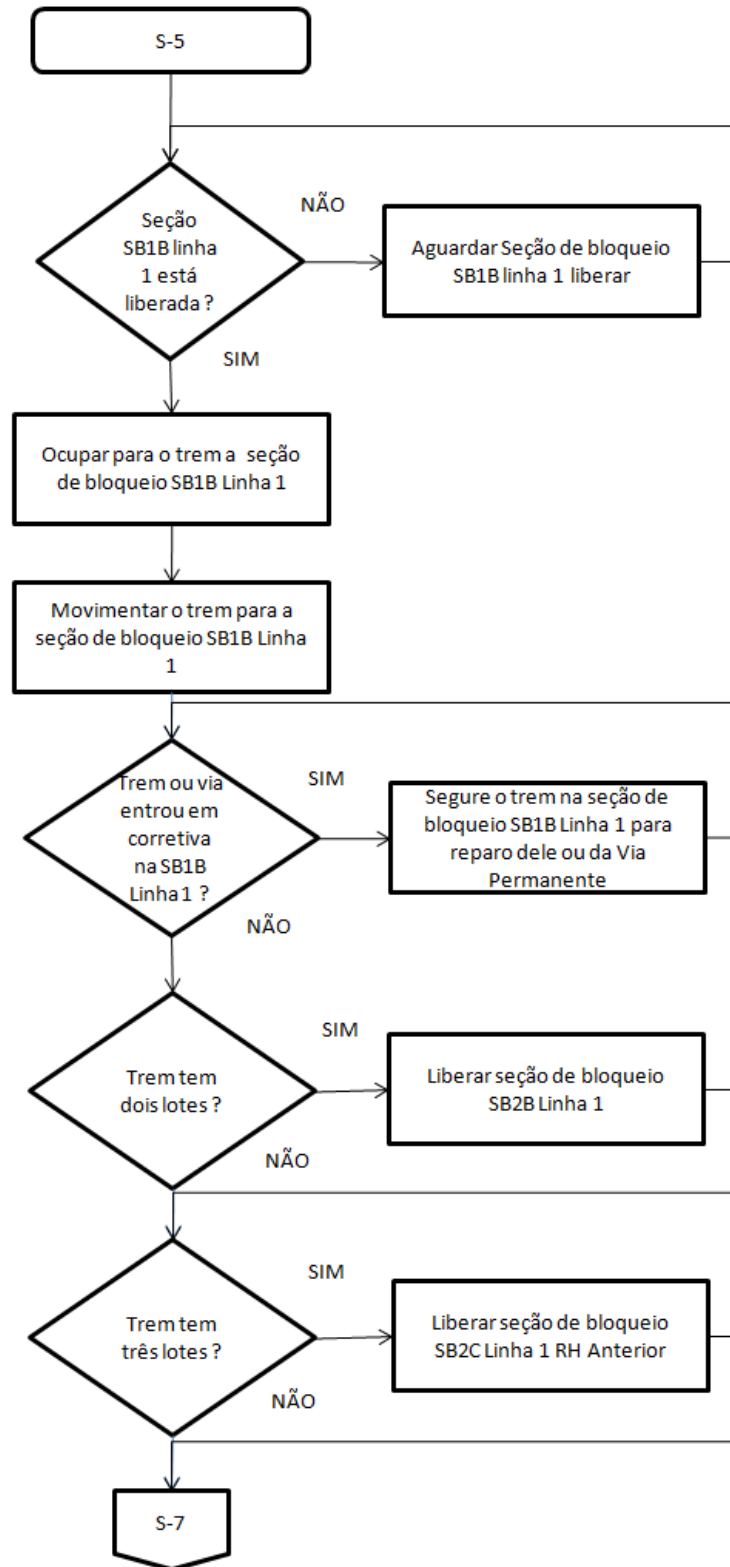


Figura 62: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 1

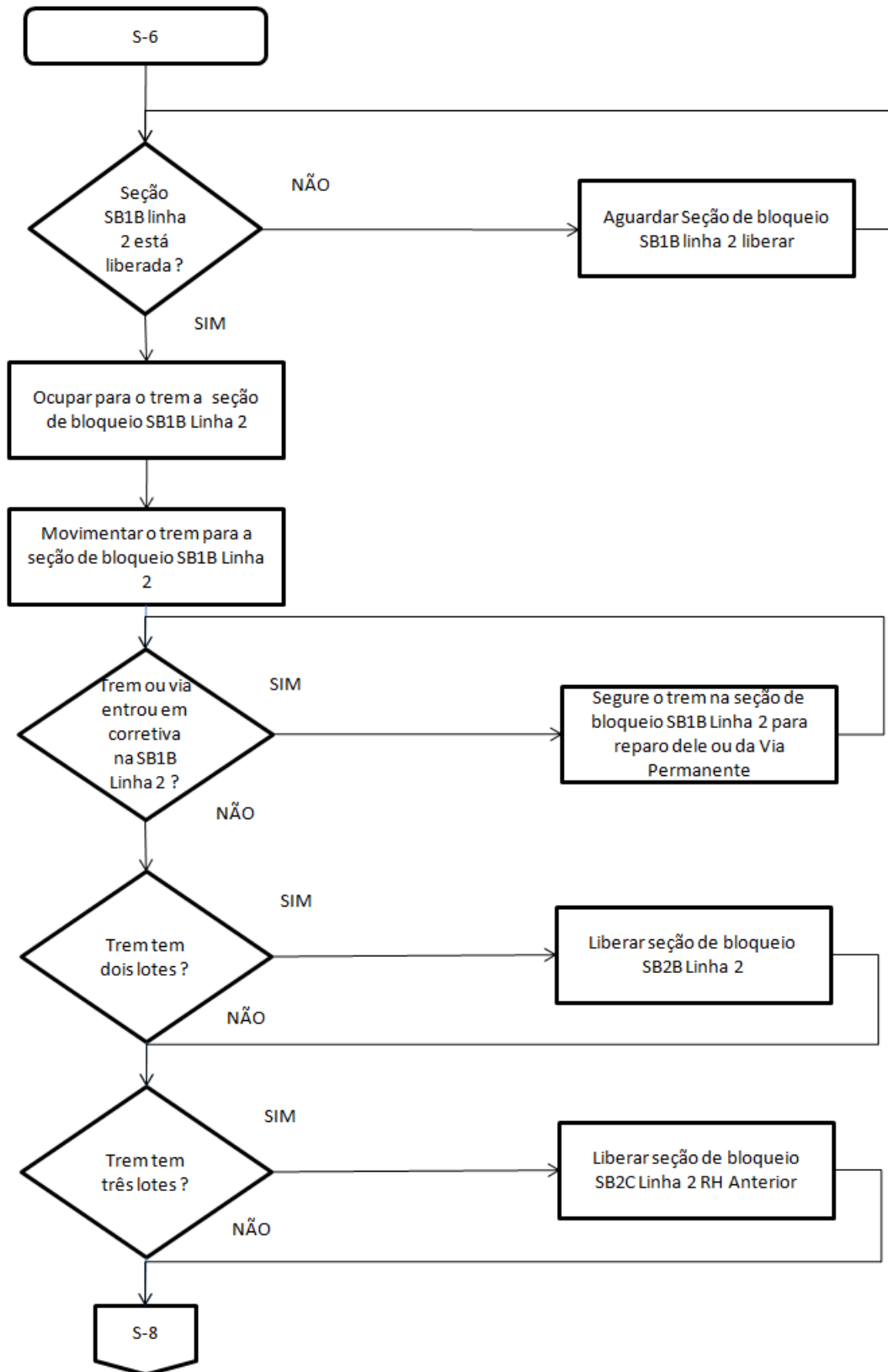


Figura 63: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 2

A-1.5. Circulação da seção de bloqueio SB1B para SB1C

A Figura 65 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 66 e 67 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação da circulação de trens da seção de bloqueio SB1B para SB1C na linha 1 no sentido subindo. As Figuras 60 e 61 apresentam o fluxograma dos algoritmos de movimentação para a linha 2. Neste caso o trem que está na linha 1, no próximo movimento, terá duas opções, a primeira é continuar pela linha 1 ou caso a frente exista algum bloqueio, poderá seguir pela linha 2, caso ela esteja disponível. Os trens que estiverem na linha 2 no próximo movimento, terão também duas opções, a primeira é retornar para sua linha preferencial, que é a 1, ou caso ela esteja ocupada, poderá continuar na 2 caso ela esteja disponível.

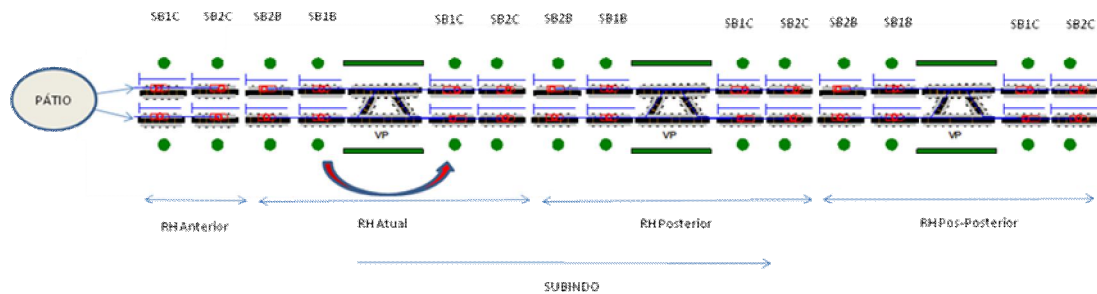


Figura 64: Esquemático trem subindo seção de bloqueio SB1B-SB1C

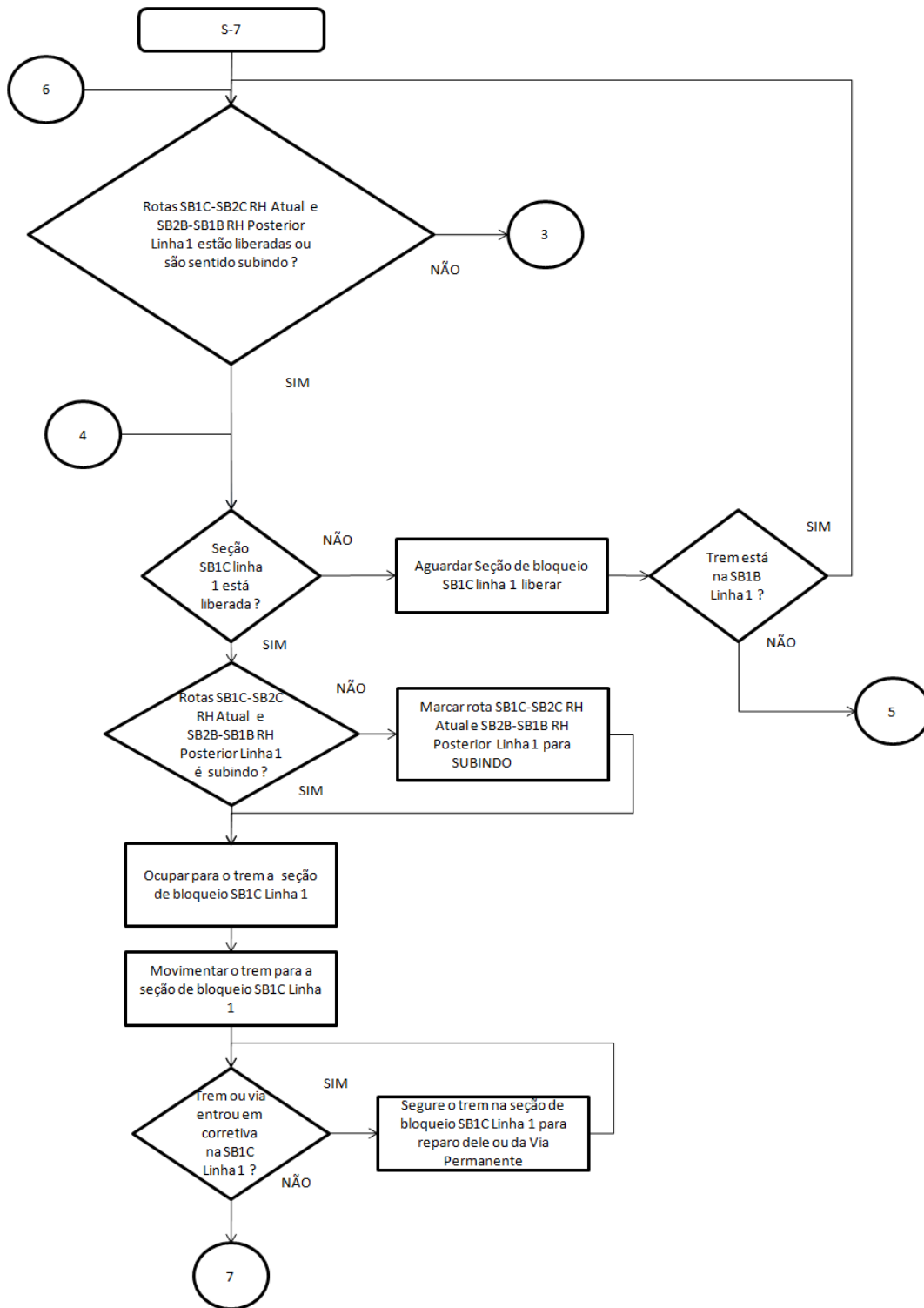


Figura 65: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 1

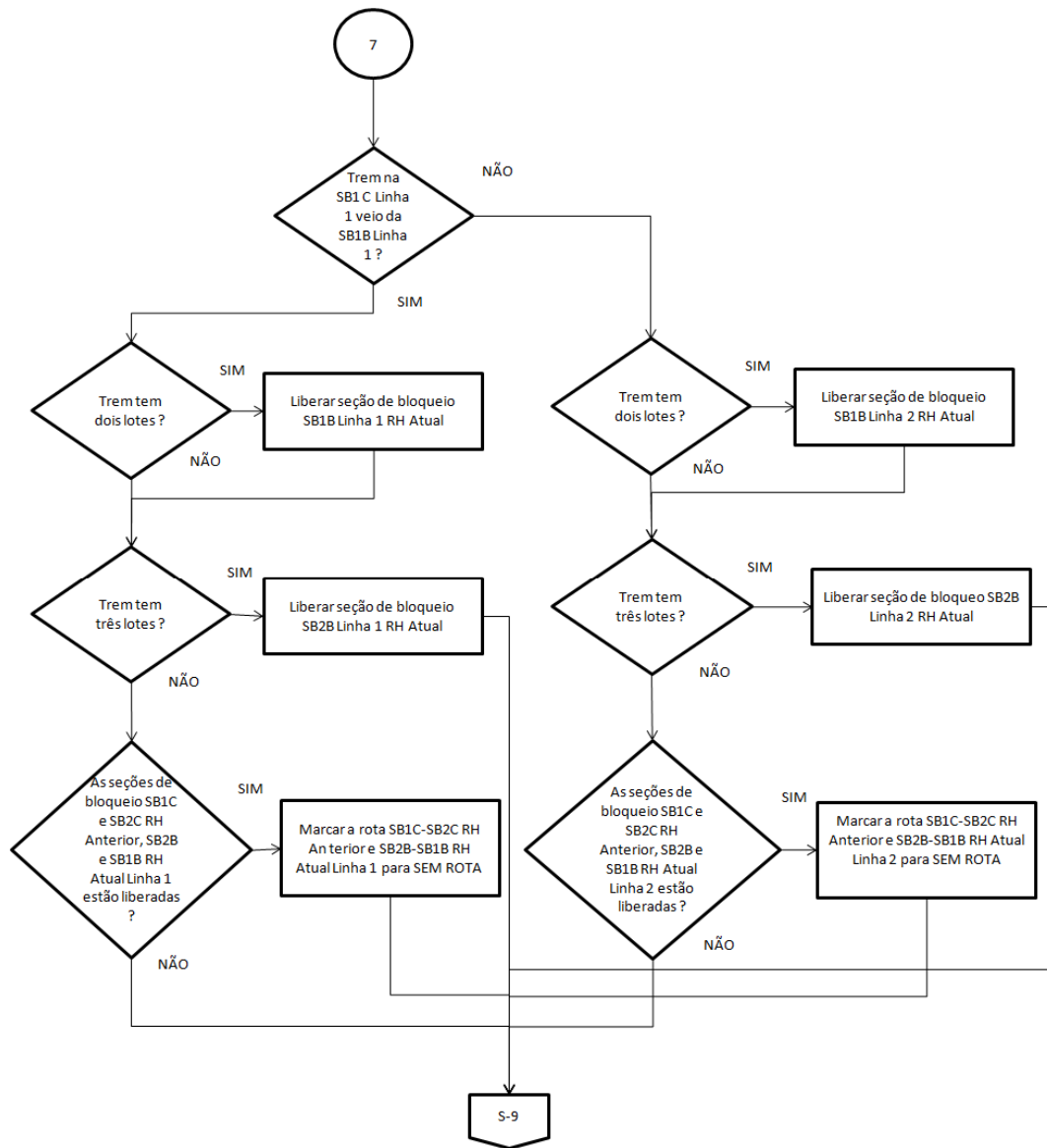


Figura 66: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 1
(continuação)

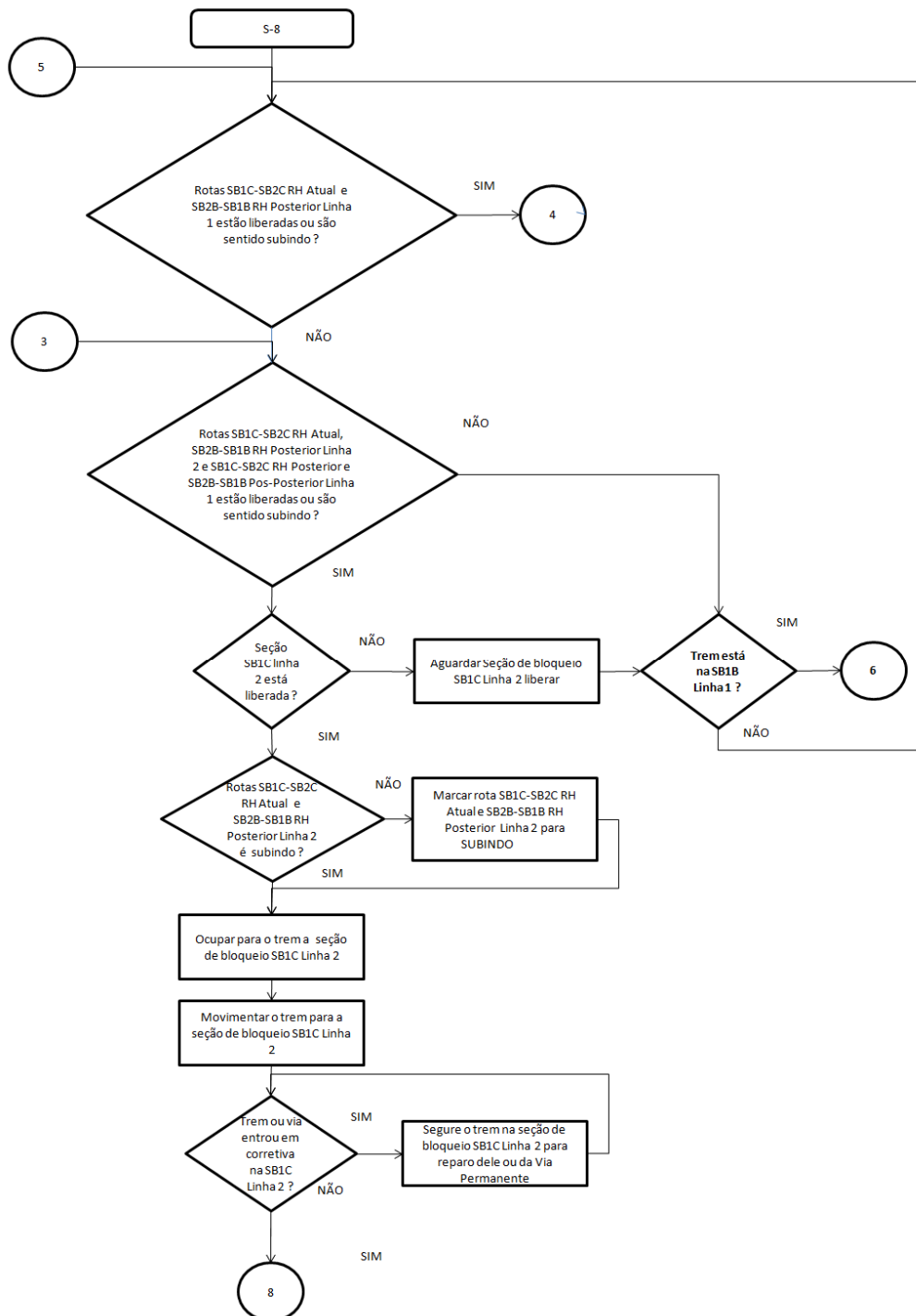


Figura 66: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 2

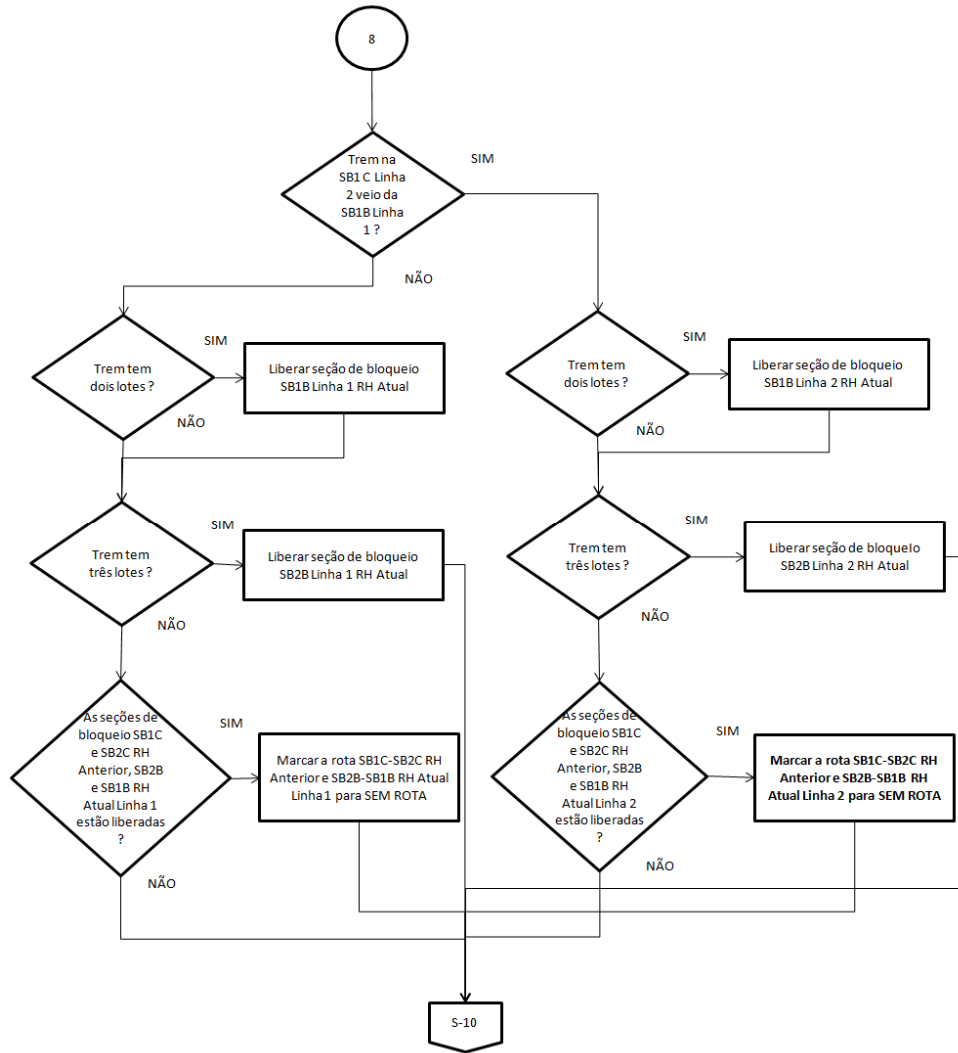


Figura 67: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B- SB1B Linha 2 (continuação)

A-1.6. Circulação da seção de bloqueio SB1C para SB2C

A Figura 68 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 69 e 70 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens da seção de bloqueio SB1C para SB2C no sentido subindo. Neste caso o trem que está na linha 1 no próximo movimento continuará na linha 1, idem para caso ele esteja na linha 2.

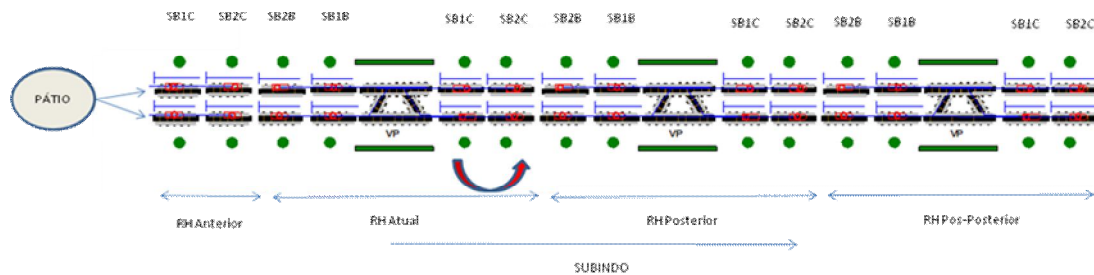


Figura 68: Esquemático trem subindo seção de bloqueio SB1C -SB2C

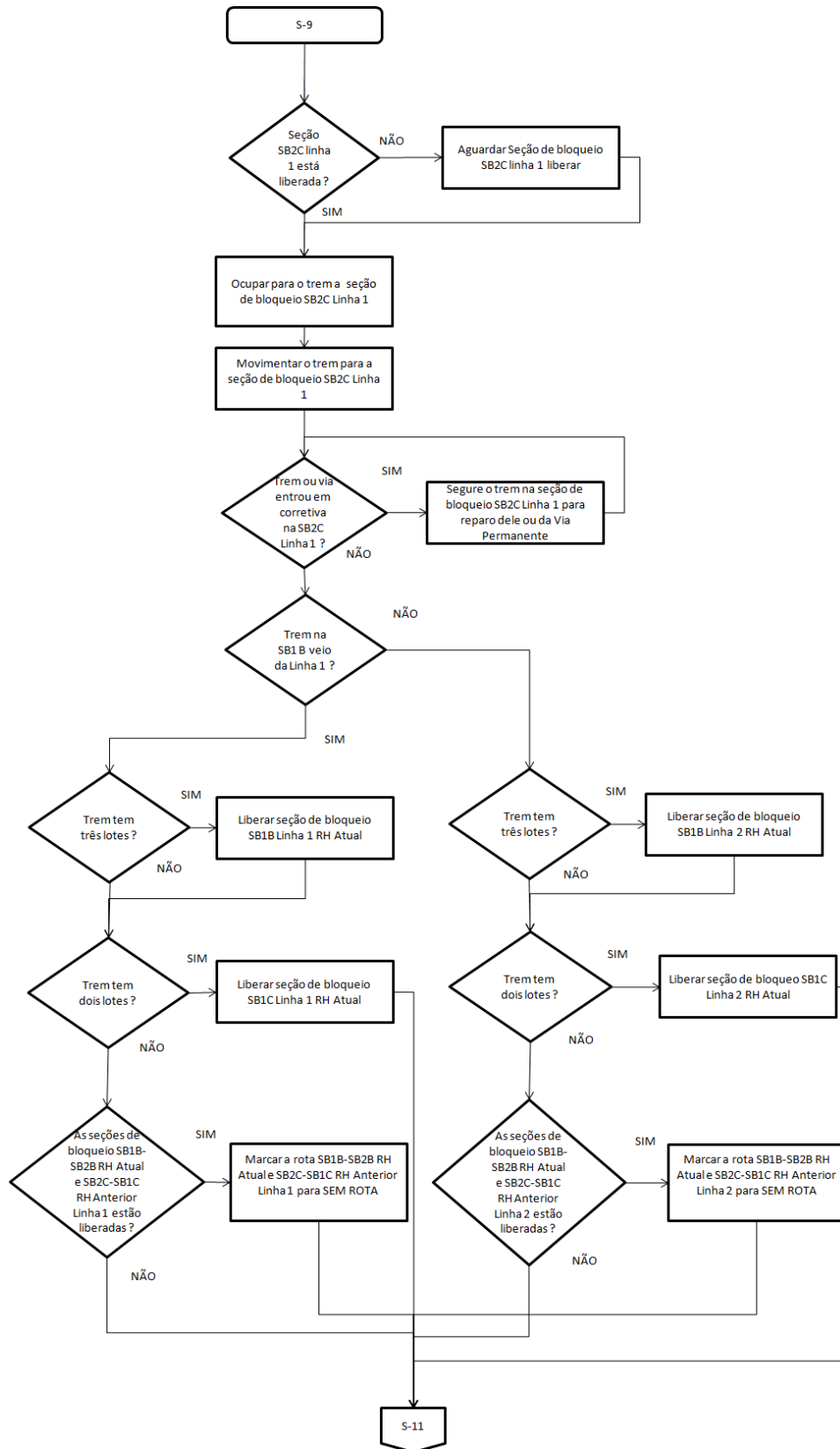


Figura 69: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 1

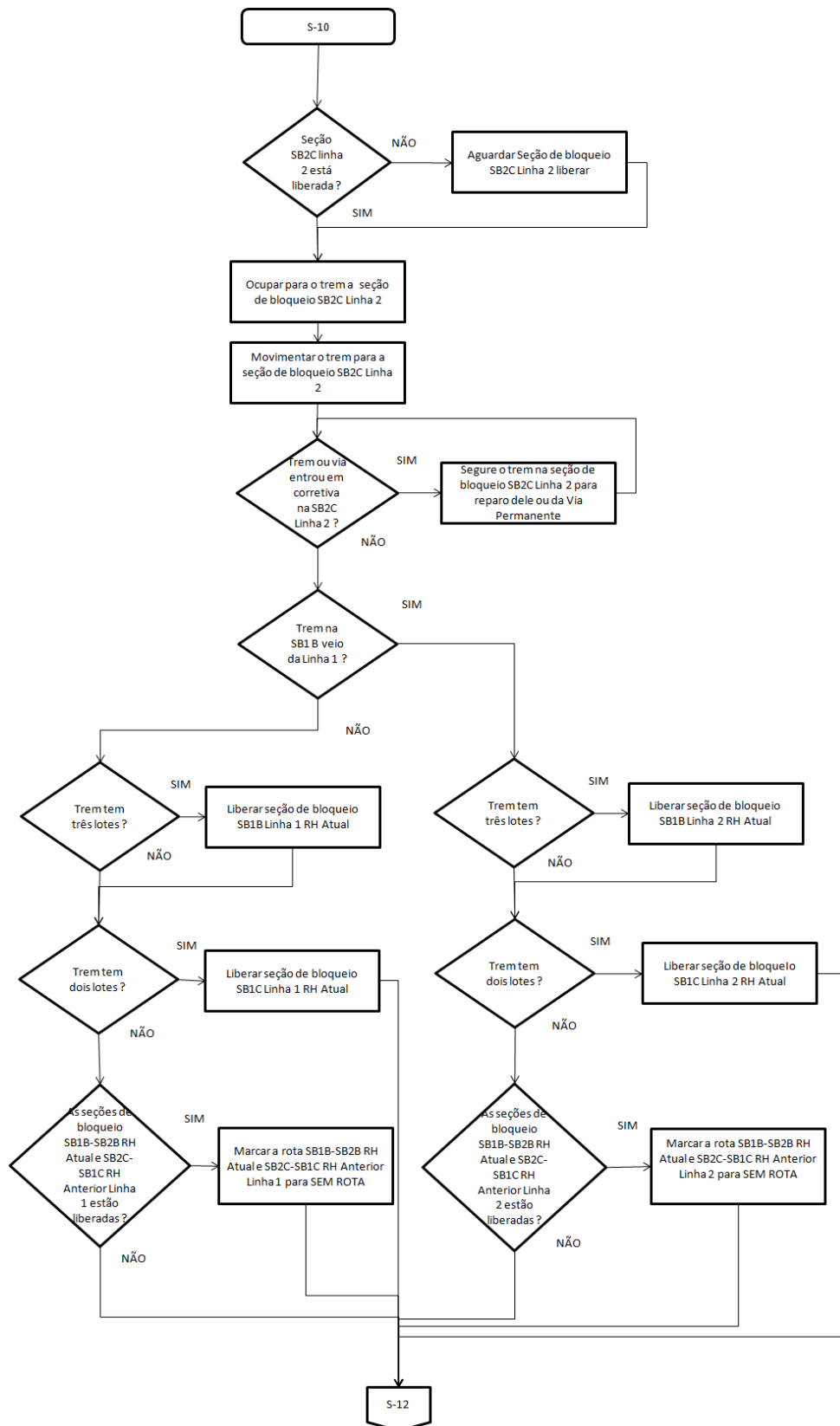


Figura 70: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB2B-SB1B Linha 2

A-1.7. Entrada em um pátio

A Figura 71 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 72 e 73 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens na entrada em um pátio. Um trem ao entrar em um pátio pode vir da linha 1 ou linha 2, depende de onde ele vem circulando.

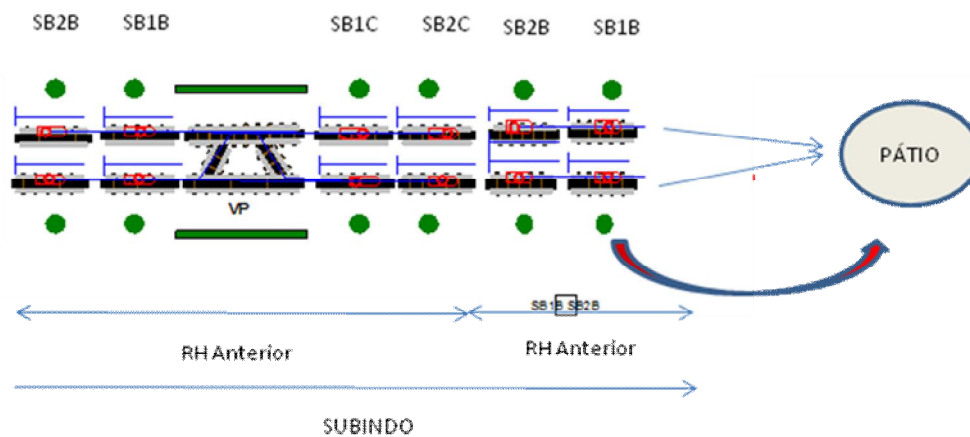


Figura 71: Esquemático trem subindo para entrada de pátio

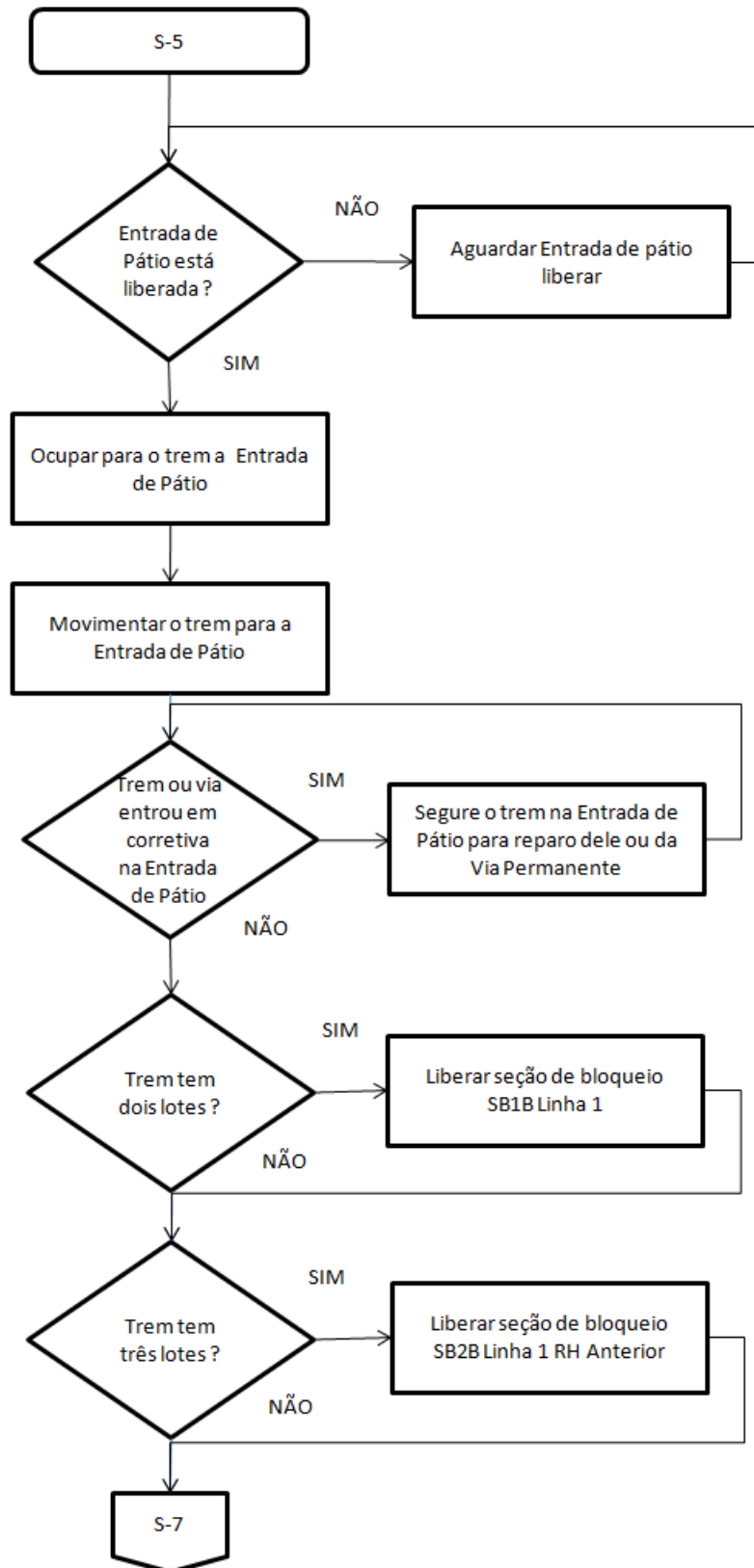


Figura 72: Algoritmo trem subindo para entrada de pátio pela Linha 1

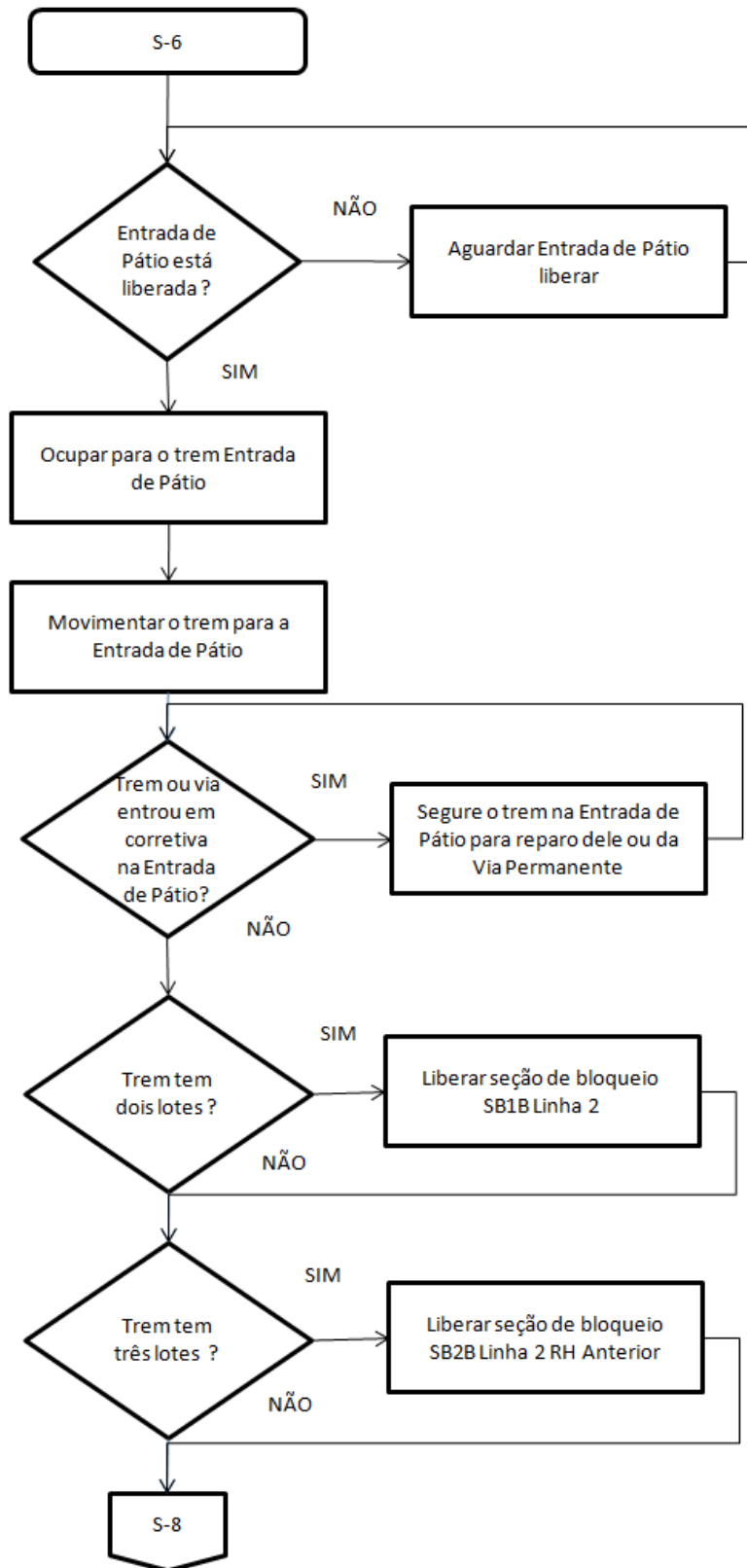


Figura 73: Algoritmo trem subindo para entrada de pátio pela Linha 2

A-2. Trens Descendo

A-2.1. Saída de um pátio

A Figura 74 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 75 e 76 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens na saída de pátios. Um trem ao sair de um pátio, segue pela linha preferencial, que para o trem descendo é a linha 2. Caso a linha 2 esteja ocupada por outro trem, circulando, ou em corretiva ou em manutenção preventiva, o trem poderá sair pela linha 1, caso esta esteja desocupada.

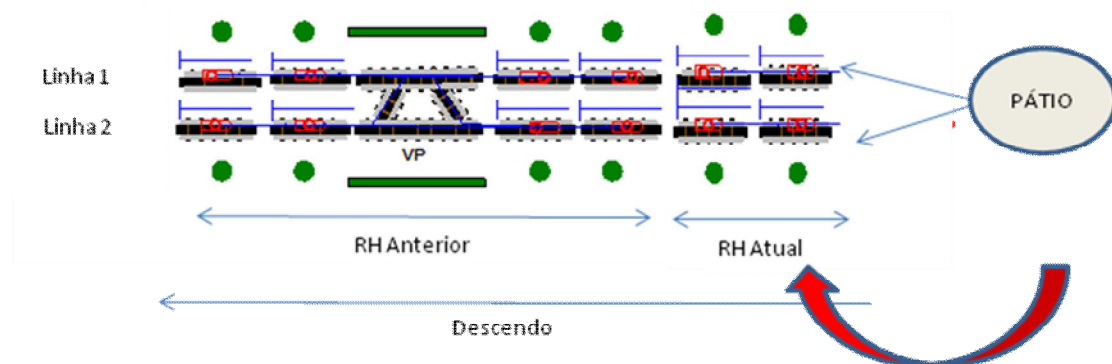


Figura 74: Esquemático trem descendo saindo de pátio

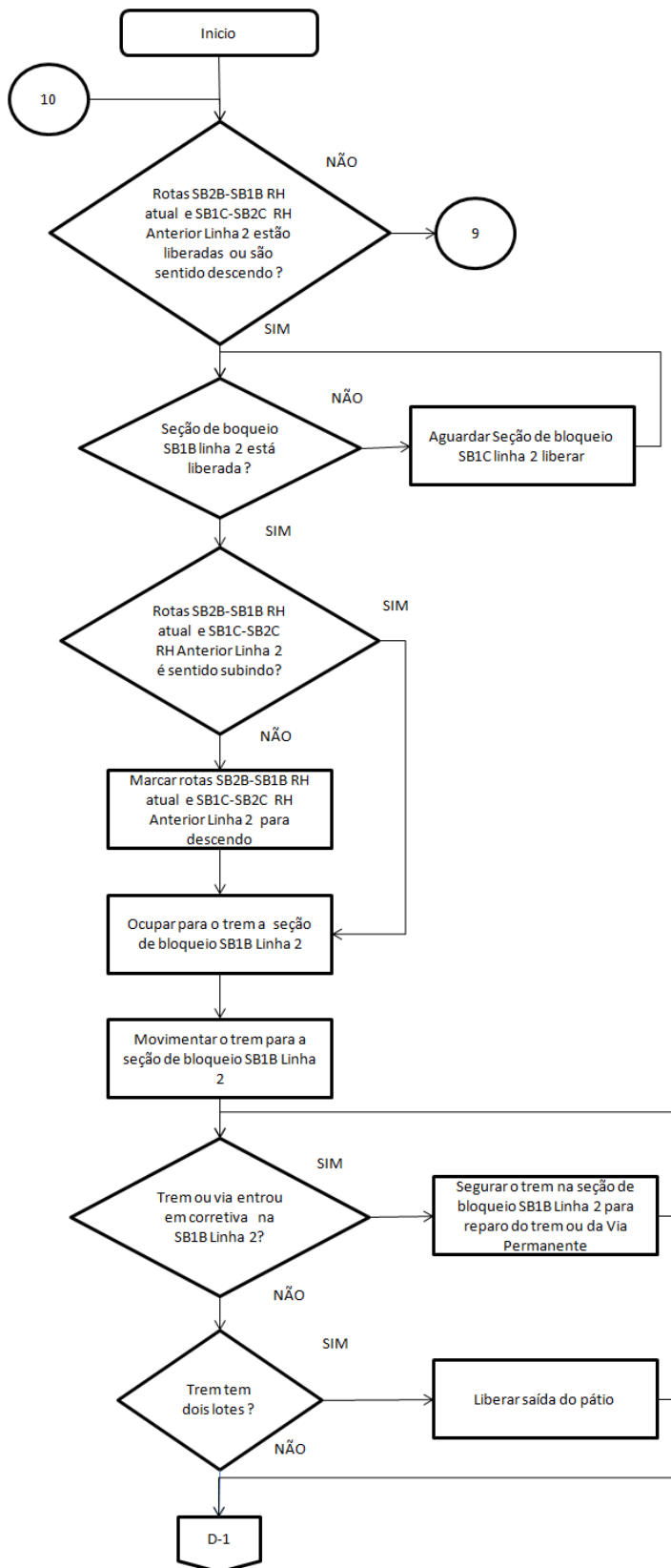


Figura 75: Algoritmo trem descendo na saída de pátios pela Linha 2

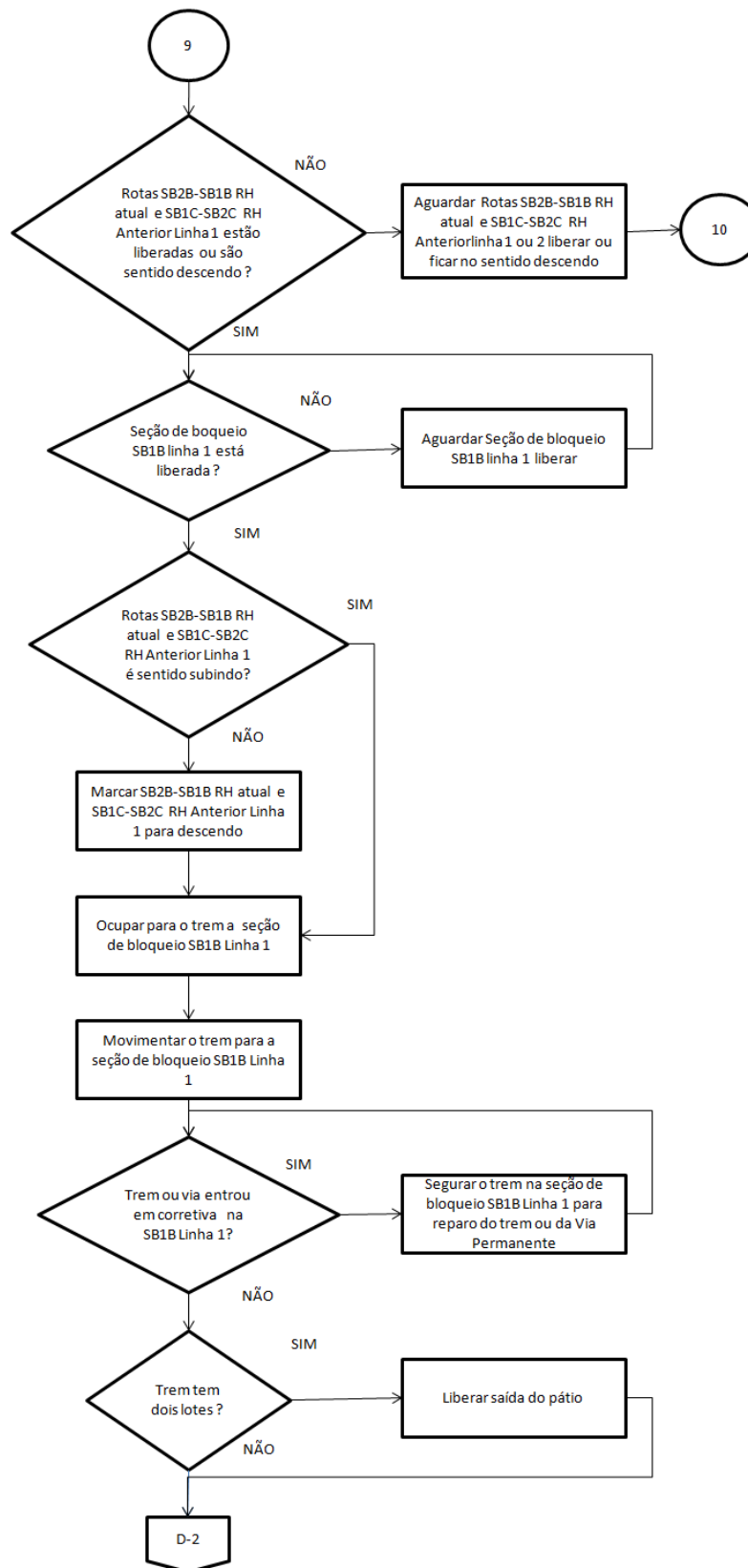


Figura 76: Algoritmo trem descendo na saída de pátios pela Linha 1

A-2.2. Circulação da seção de bloqueio SB1B para SB2B da Saída de Pátio para circulação

A Figura 77 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 78 e 80 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens da seção de bloqueio SB1B para SB2B no sentido descendo. Neste caso o trem que está na linha 2 no próximo movimento continuará na linha 2, idem para caso ele esteja na linha 1.

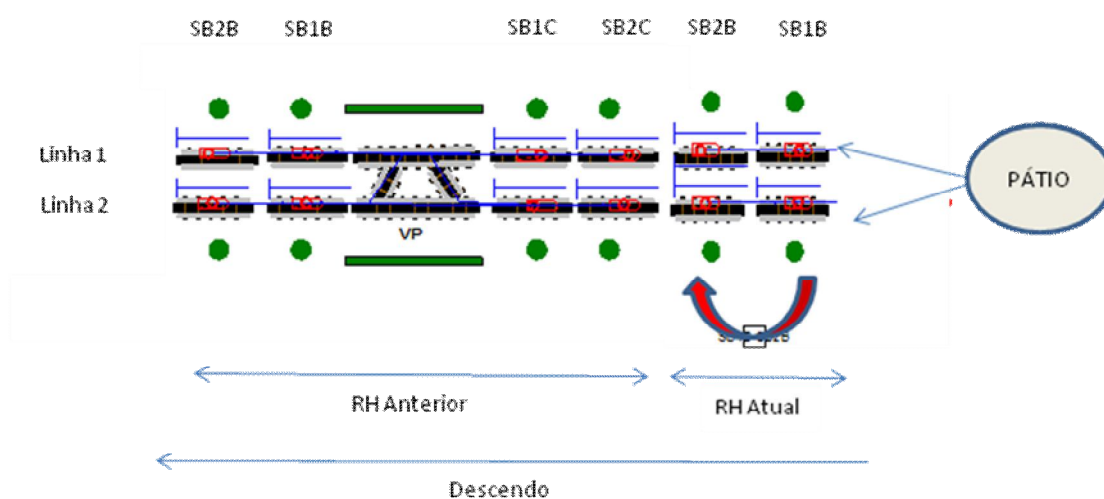


Figura 77: Esquemático trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB2B

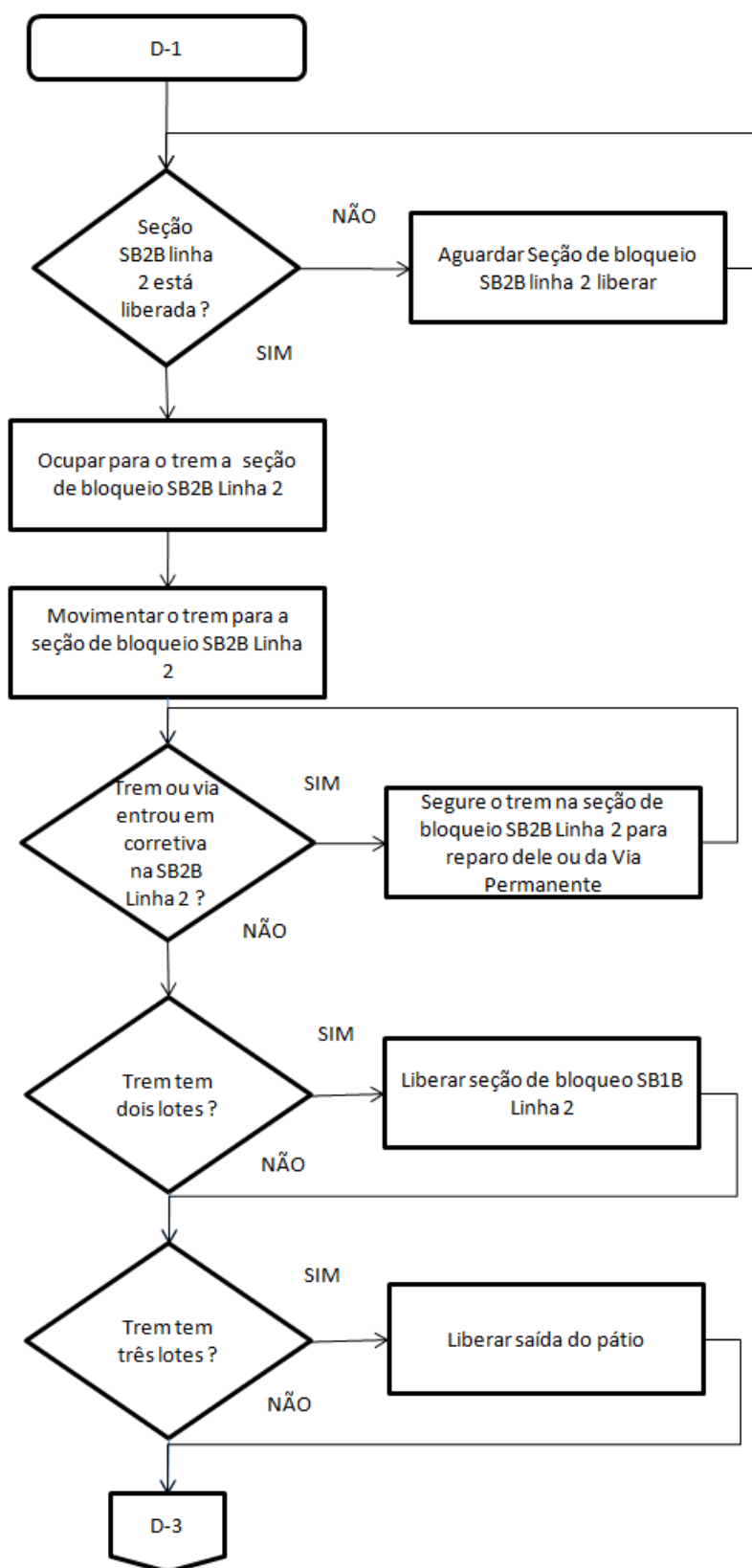


Figura 78: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB2B Linha 2

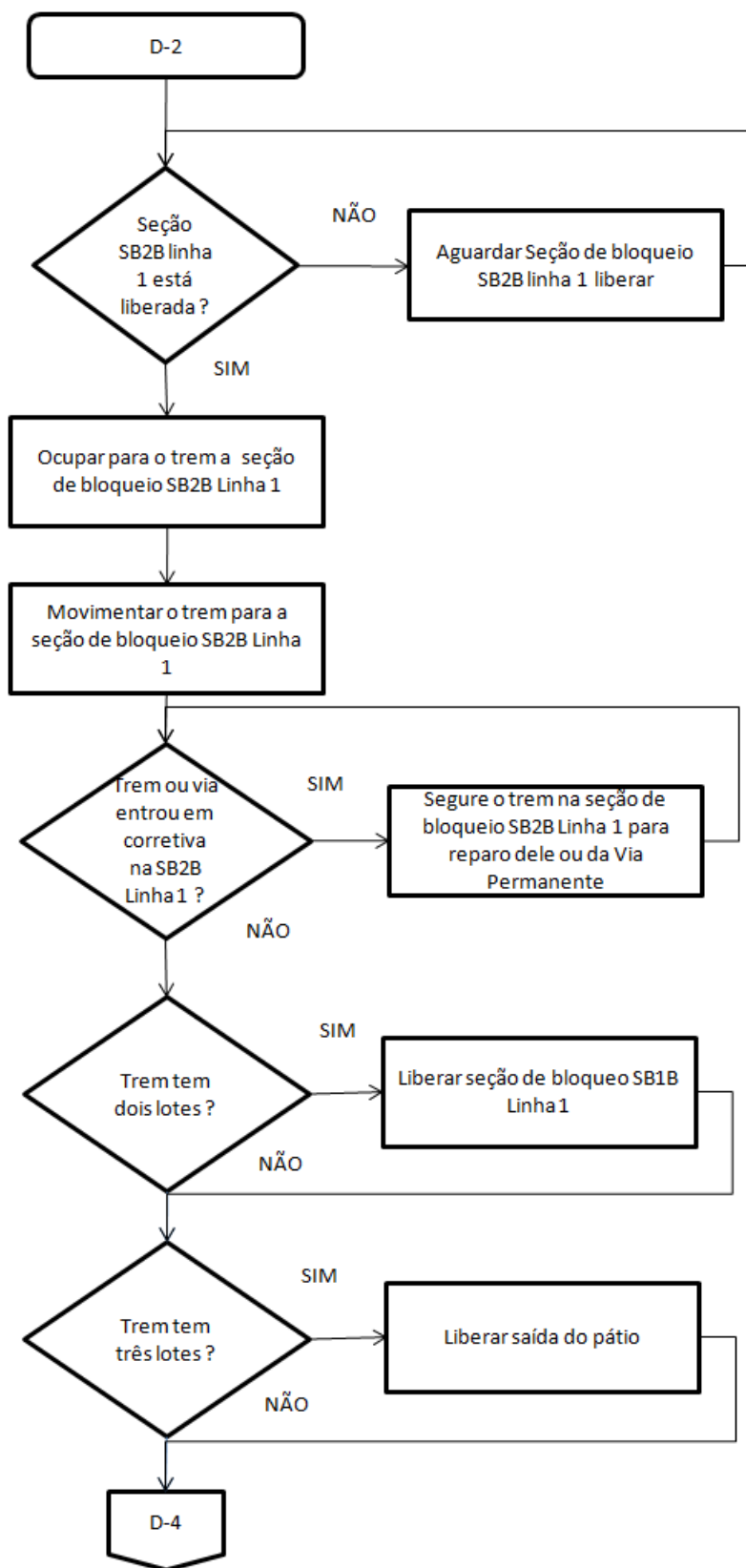


Figura 79: Algoritmo trem subindo seção de bloqueio SB1B-SB2B Linha 1

A-2.3. Circulação da seção de bloqueio SB2B da Saída de Pátio para SB2C

A Figura 80 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 81 e 82 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens da seção de bloqueio SB2B para SB2C no sentido descendo. Neste caso o trem que está na linha 1 no próximo movimento continuará na linha 2, idem para caso ele esteja na linha 1.

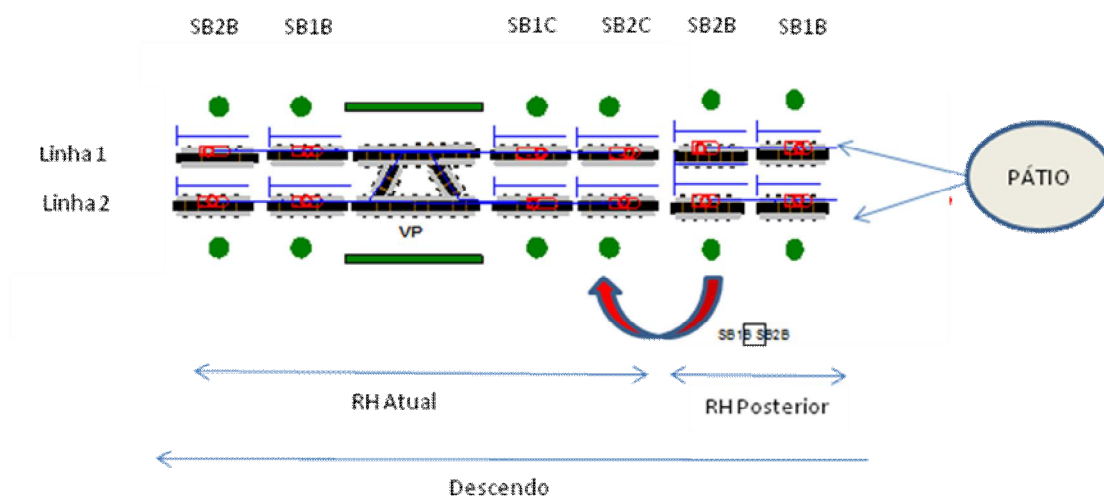


Figura 80: Esquemático trem descendo seção de bloqueio SB2B-SB2C

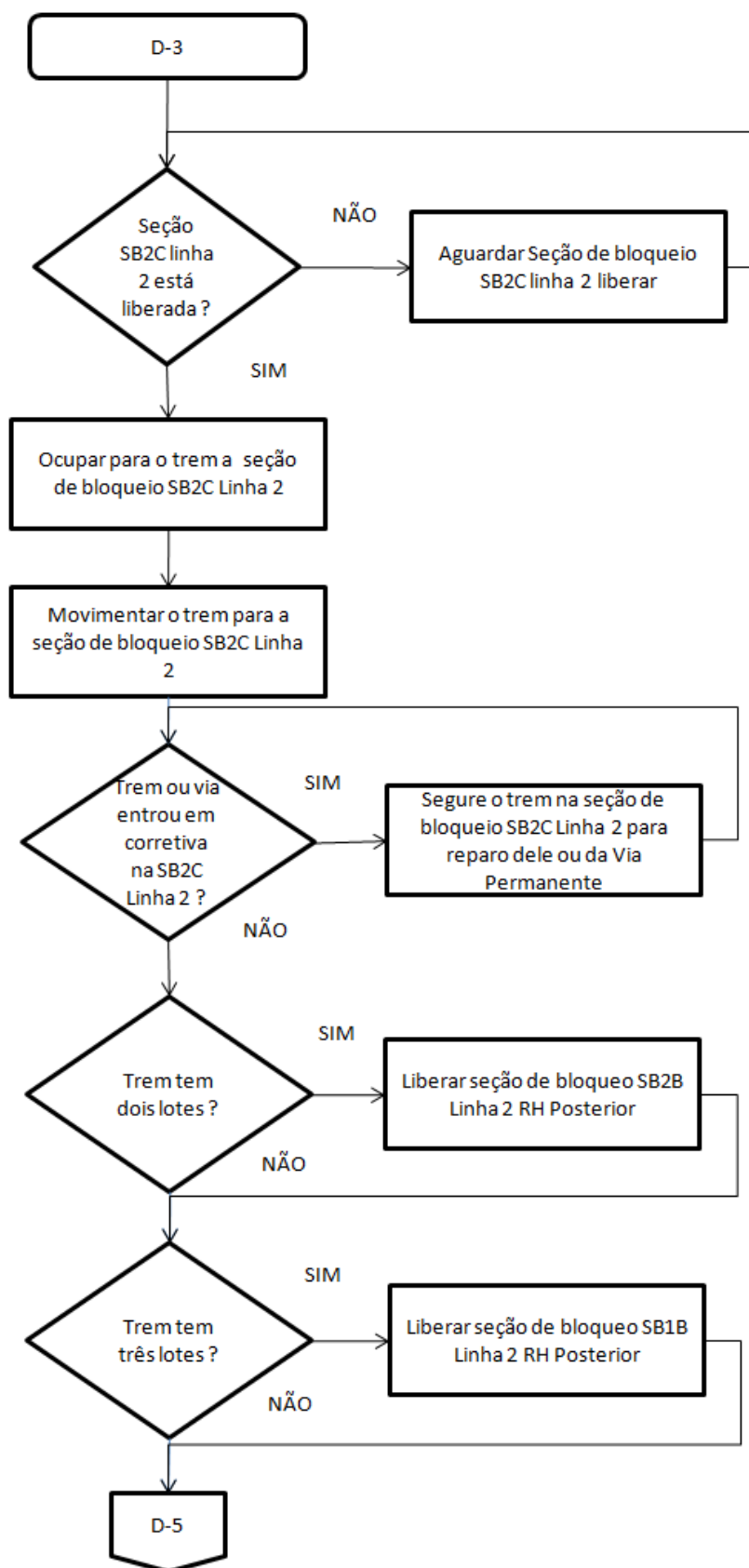


Figura 81: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB2B-SB2C Linha 2

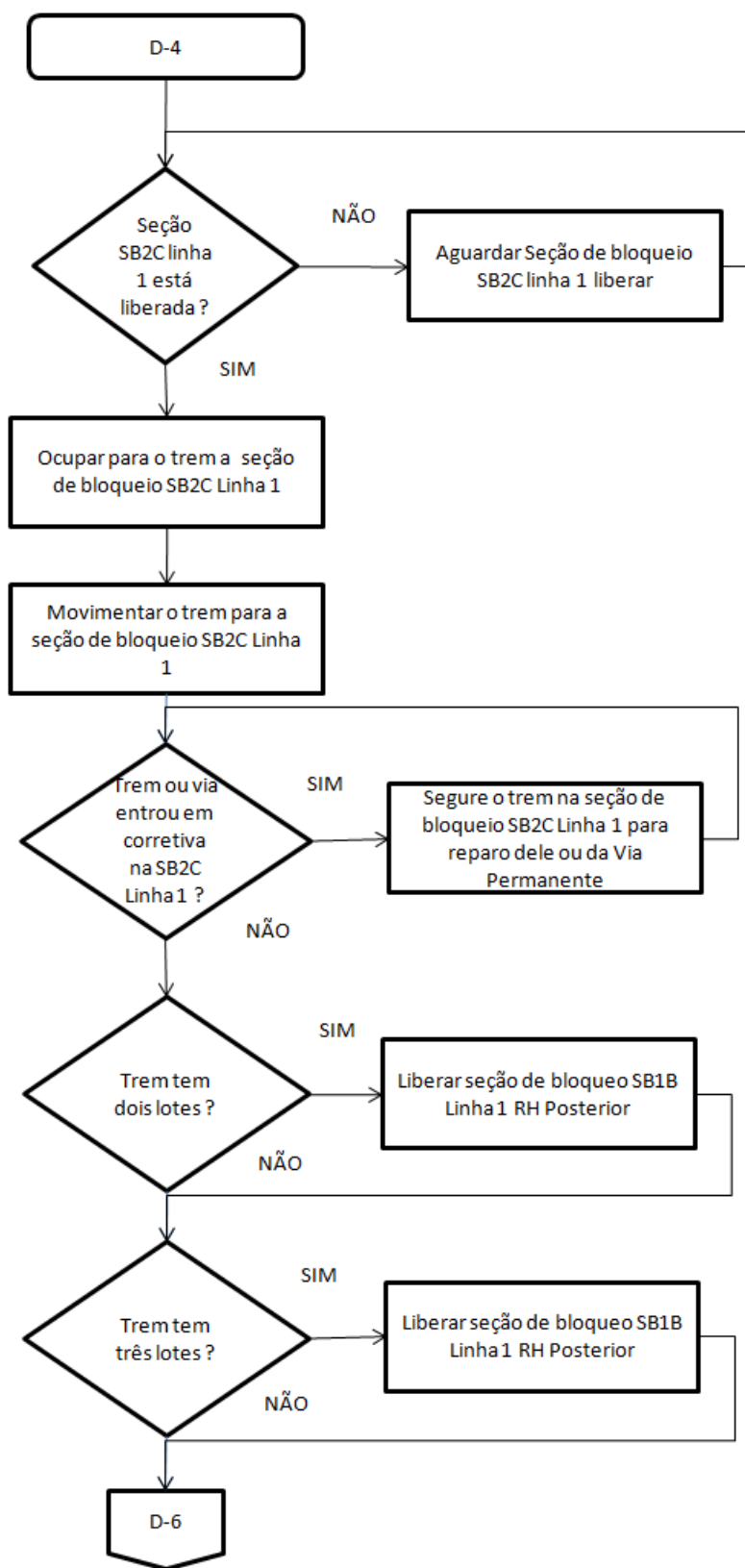


Figura 82: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB2B-SB2C Linha 1

A-2.4. Circulação da seção de bloqueio SB2C para SB1C

A Figura 83 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 84 e 85 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens da seção de bloqueio SB2C para SB1C no sentido descendo. Neste caso o trem que está na linha 2 no próximo movimento continuará na linha 2, idem para caso ele esteja na linha 1.

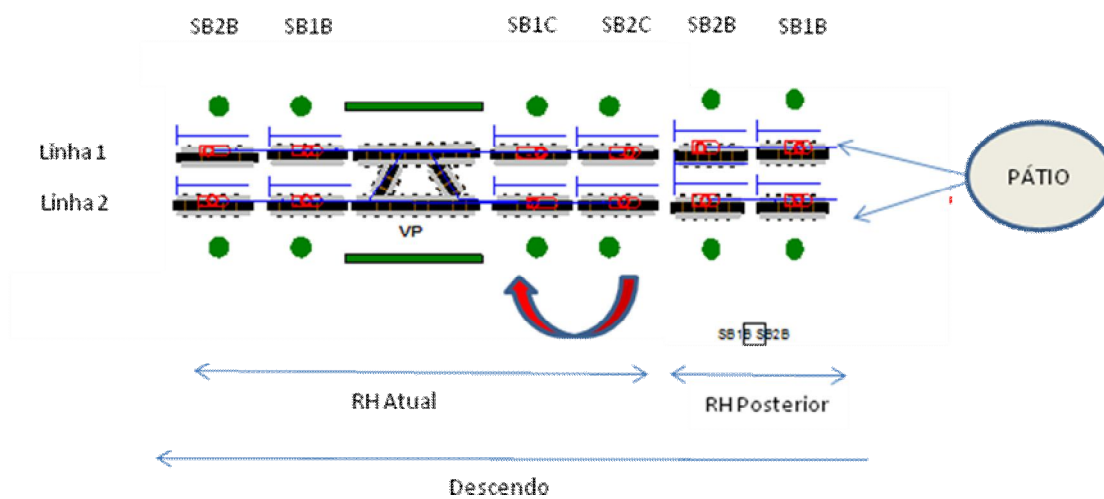


Figura 83: Esquemático trem descendo seção de bloqueio SB2C-SB1C

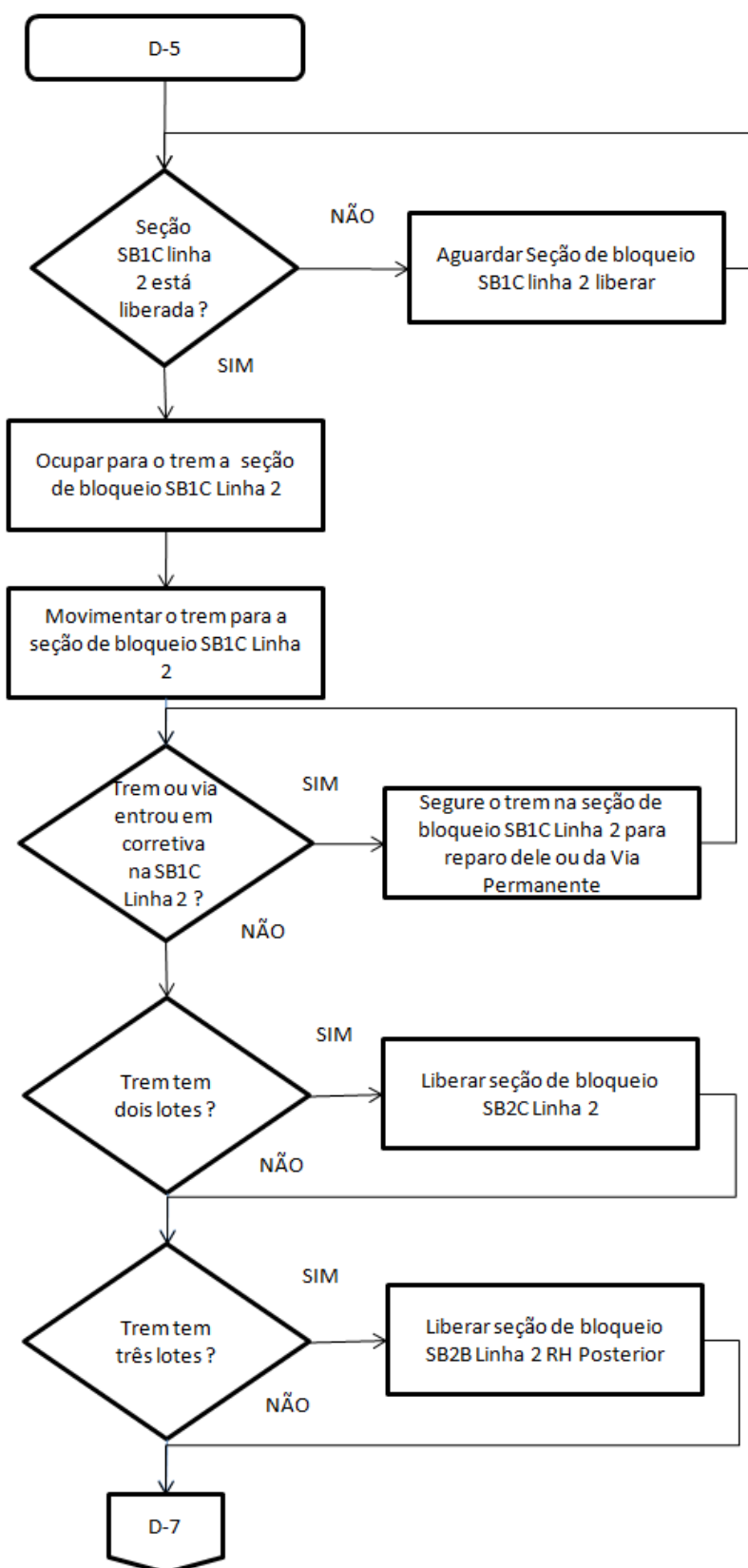


Figura 84: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB2C-SB1C Linha 2

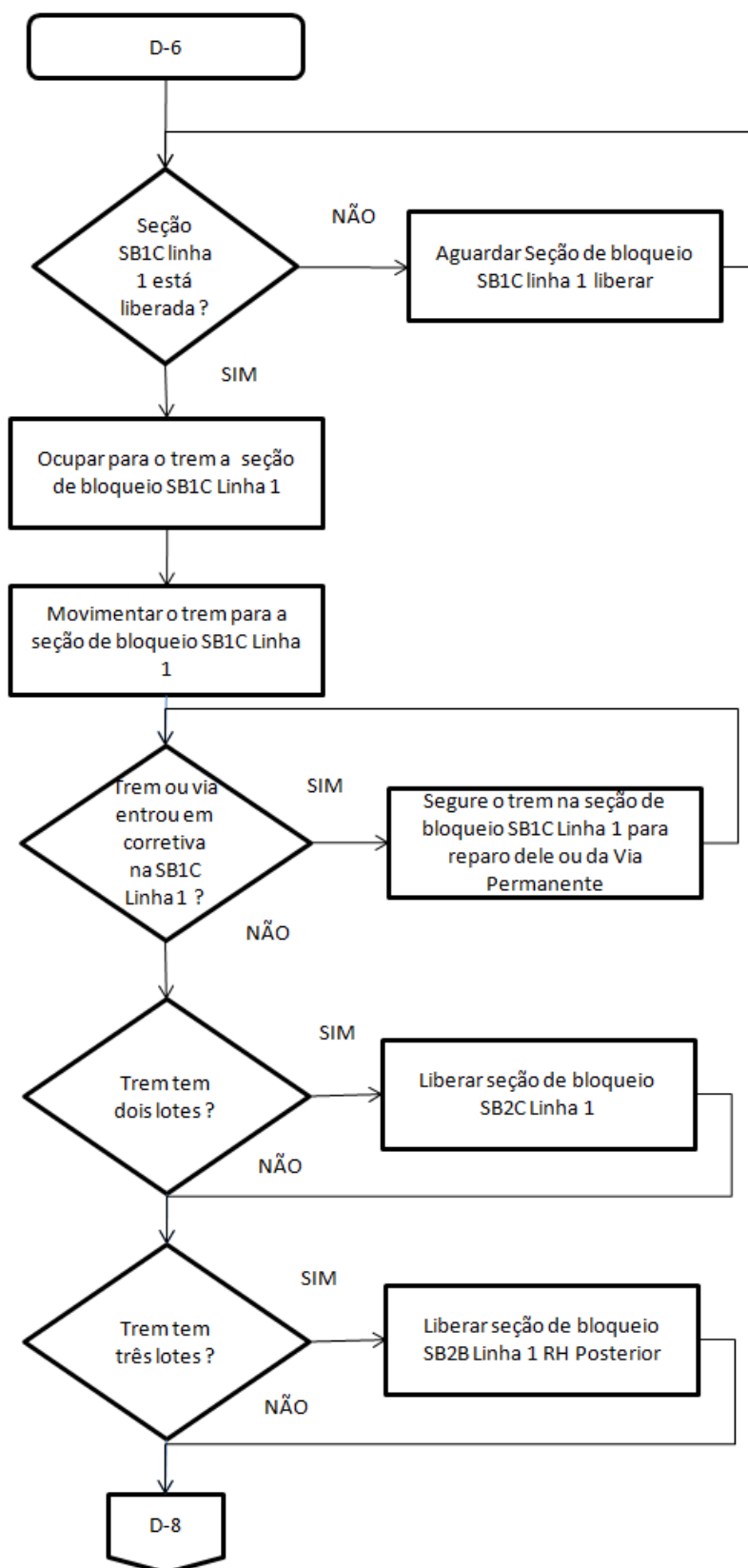


Figura 85: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB2C-SB1C Linha 1

A-2.5. Circulação da seção de bloqueio SB1C para SB1B

A Figura 86 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 87 e 88 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação da circulação de trens da seção de bloqueio SB1C para SB1B na linha 2 no sentido descendo. As Figuras 80 e 81 apresentam o fluxograma dos algoritmos de movimentação para a linha 1. Neste caso o trem que está na linha 2 no próximo movimento, terá duas opções, a primeira é continuar pela linha 2 ou caso a frente exista algum bloqueio, poderá seguir pela linha 1, caso ela esteja disponível. Os trens que estiverem na linha 1, no próximo movimento, terão também duas opções, a primeira é retornar para sua linha preferencial, que é a 2, ou caso ela esteja ocupada, poderá continuar na 1 caso ela esteja disponível.

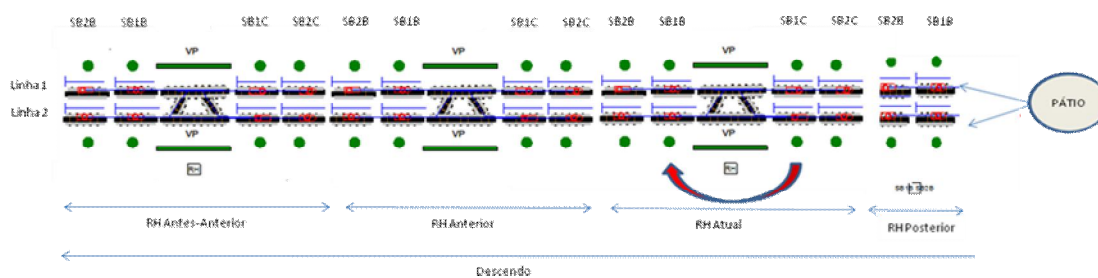


Figura 86: Esquemático trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB1C

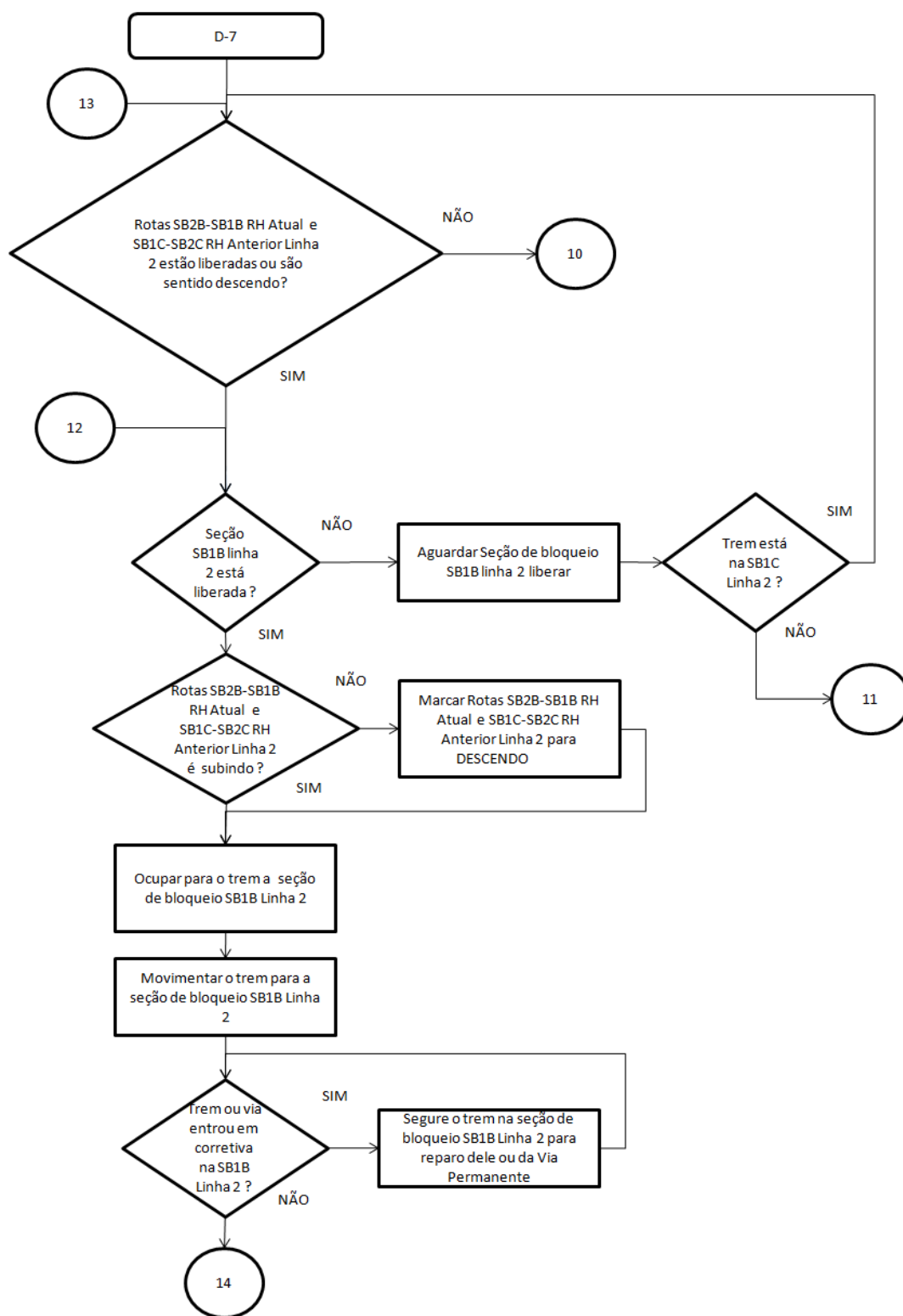


Figura 87: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1C-SB1B Linha 2

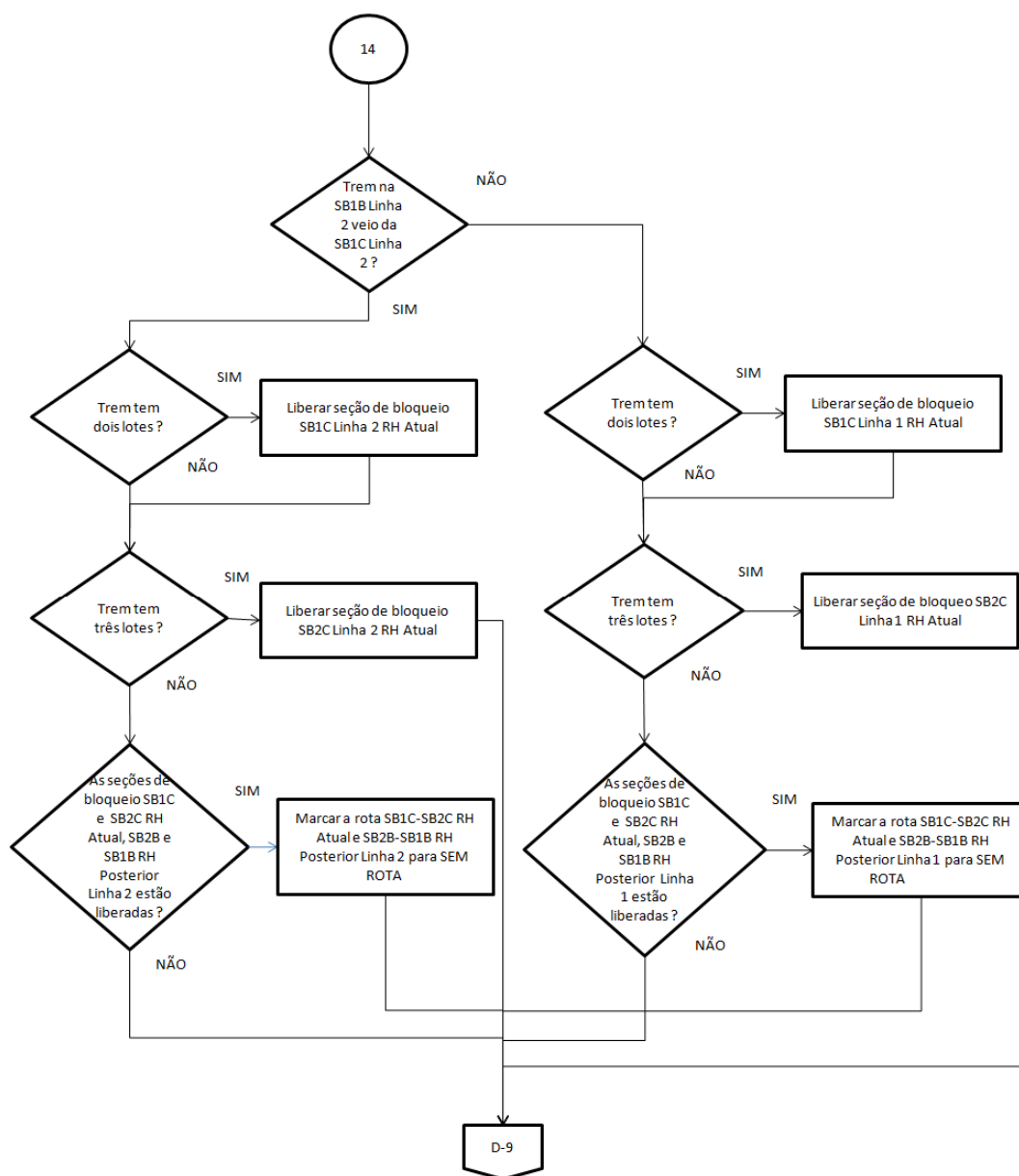


Figura 87: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1C-SB1B Linha 2
(continuação)

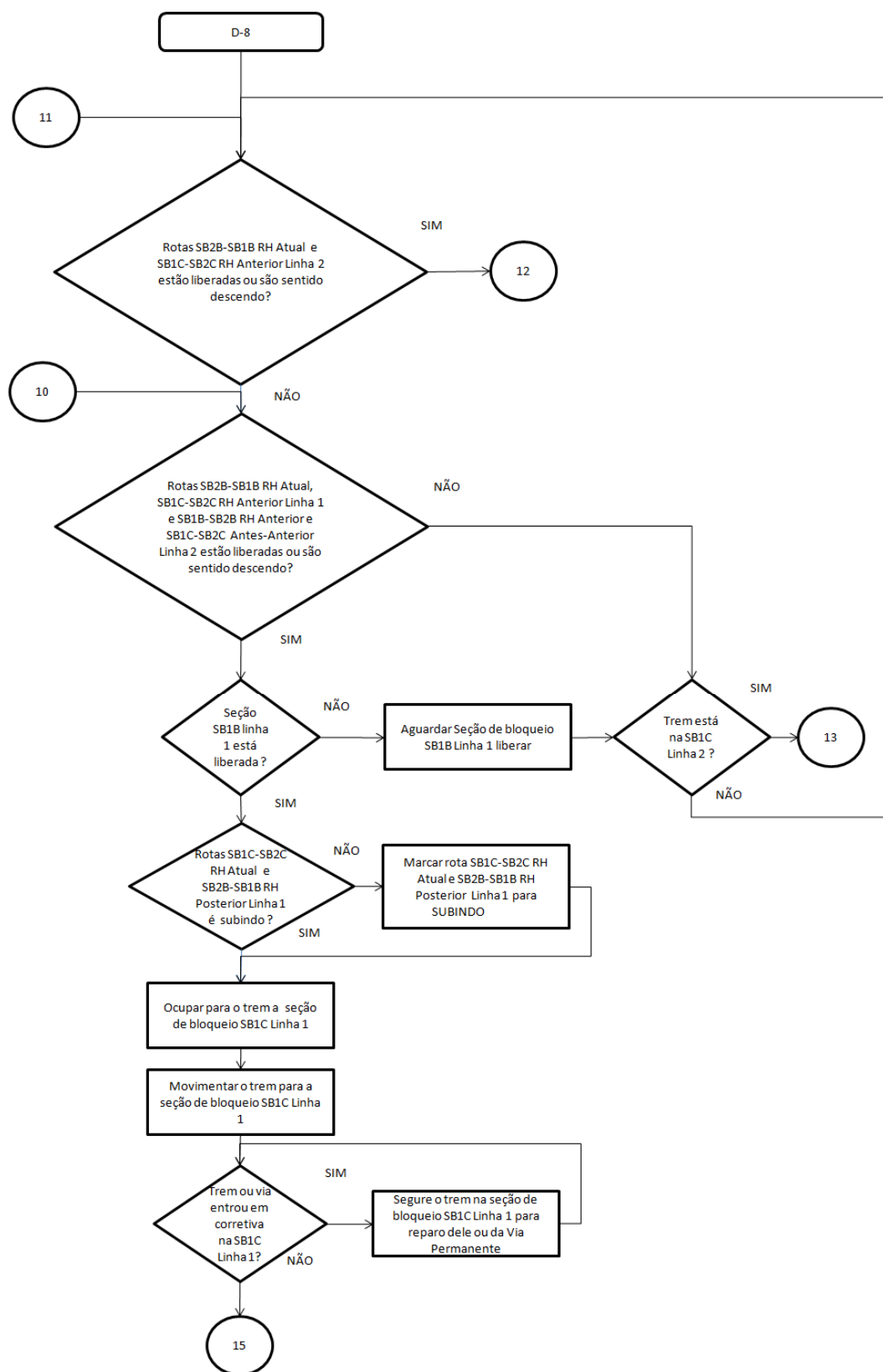


Figura 88: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1C-SB1B Linha 1

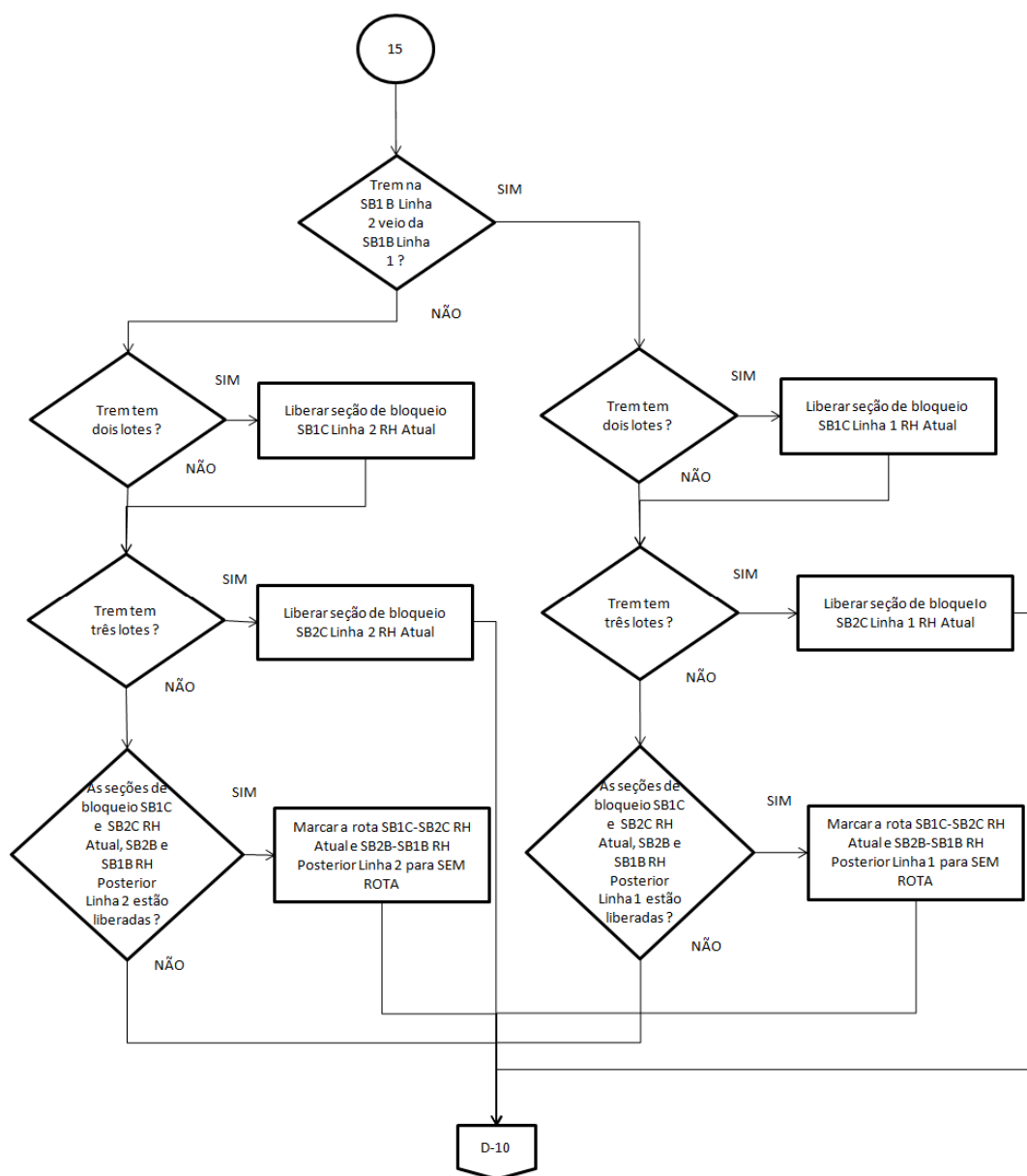


Figura 88: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1C-SB1B Linha 1
(continuação)

A-2.6. Circulação da seção de bloqueio SB1B para SB2B

A Figura 89 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 90 e 91 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens da seção de bloqueio SB2B para SB1B no sentido subindo. Neste caso o trem que está na linha 2 no próximo movimento continuará na linha 1, idem para caso ele esteja na linha 1.

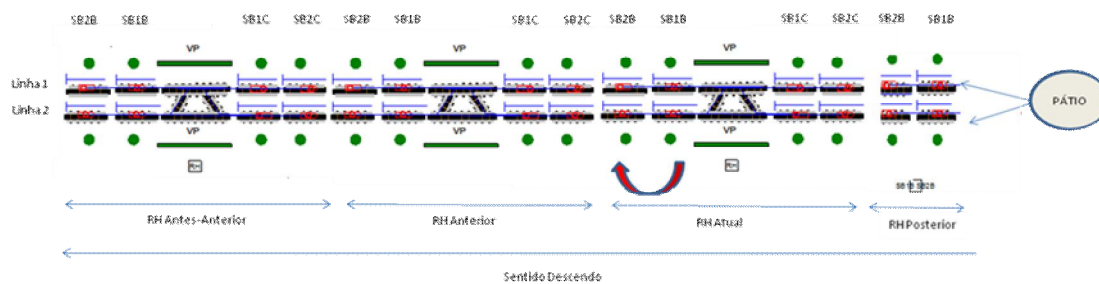


Figura 89: Esquemático trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB2B

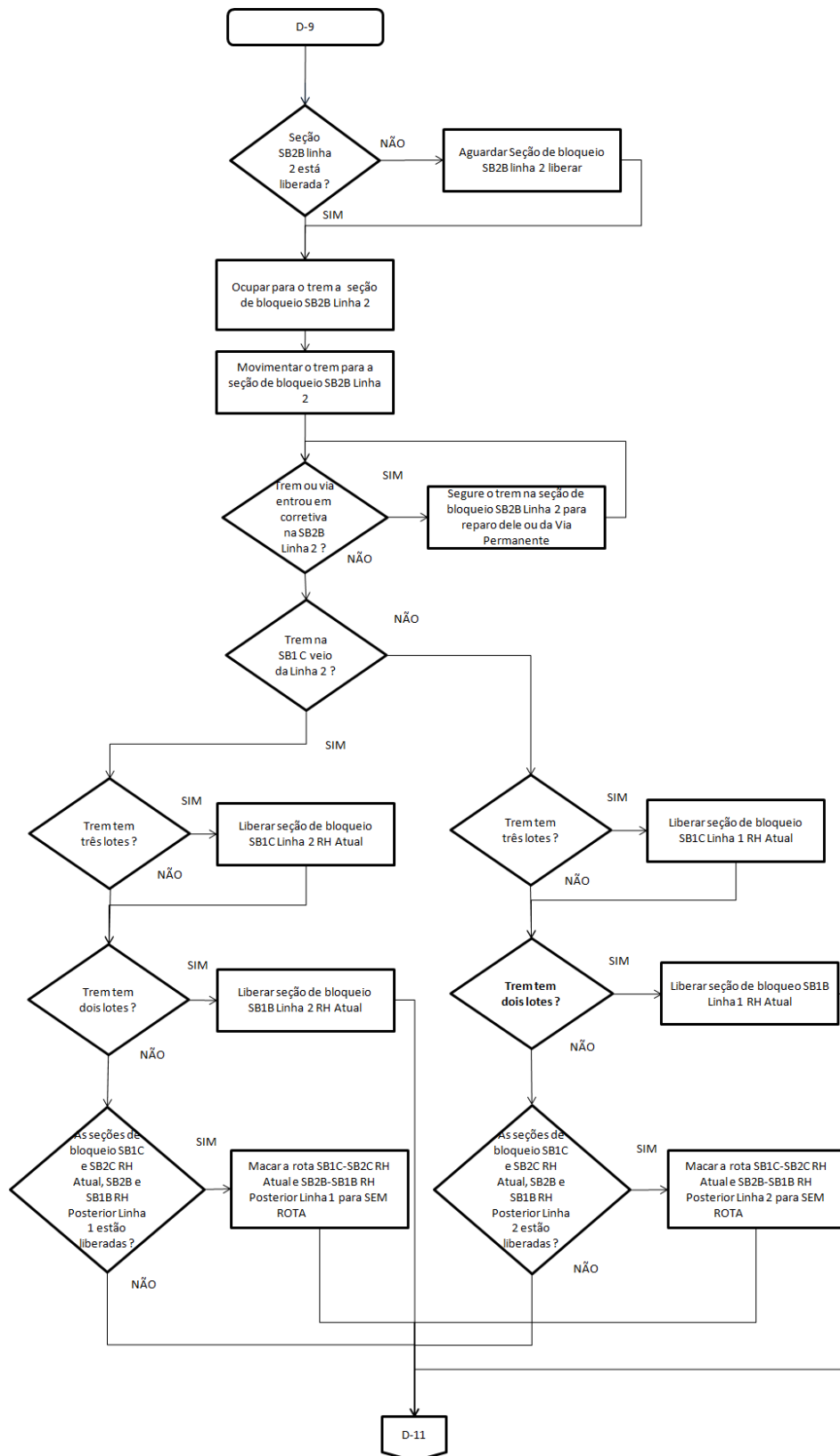


Figura 90: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB2B Linha 2

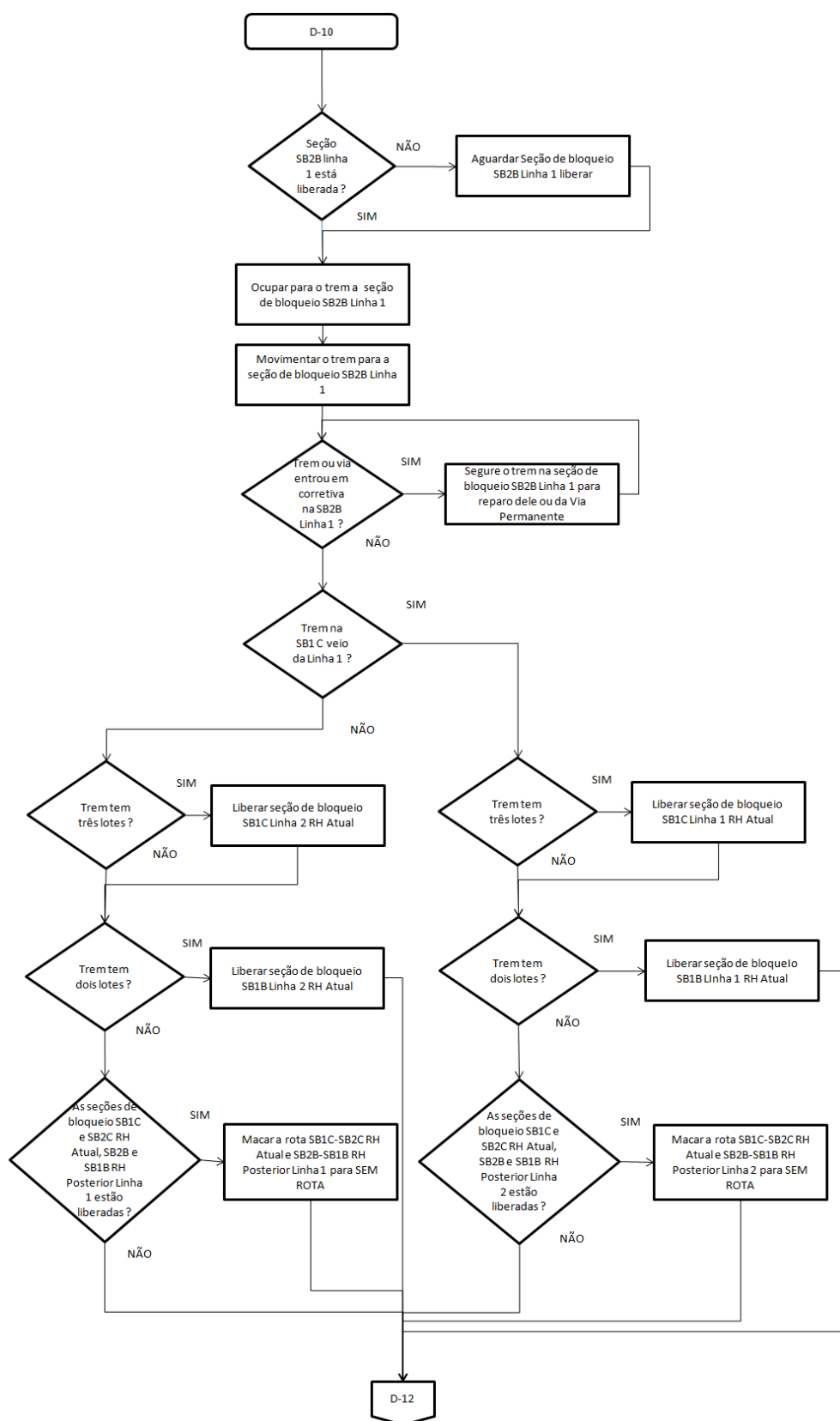


Figura 91: Algoritmo trem descendo seção de bloqueio SB1B-SB2B Linha 1

A-2.7. Entrada em um pátio

A Figura 92 mostra o esquemático para a circulação dos trens e as Figuras 93 e 94 apresentam os fluxogramas dos algoritmos de movimentação para a circulação de trens na entrada em um pátio. Um trem ao entrar em um pátio pode vir da linha 2 ou linha 1, depende de onde ele vem circulando.

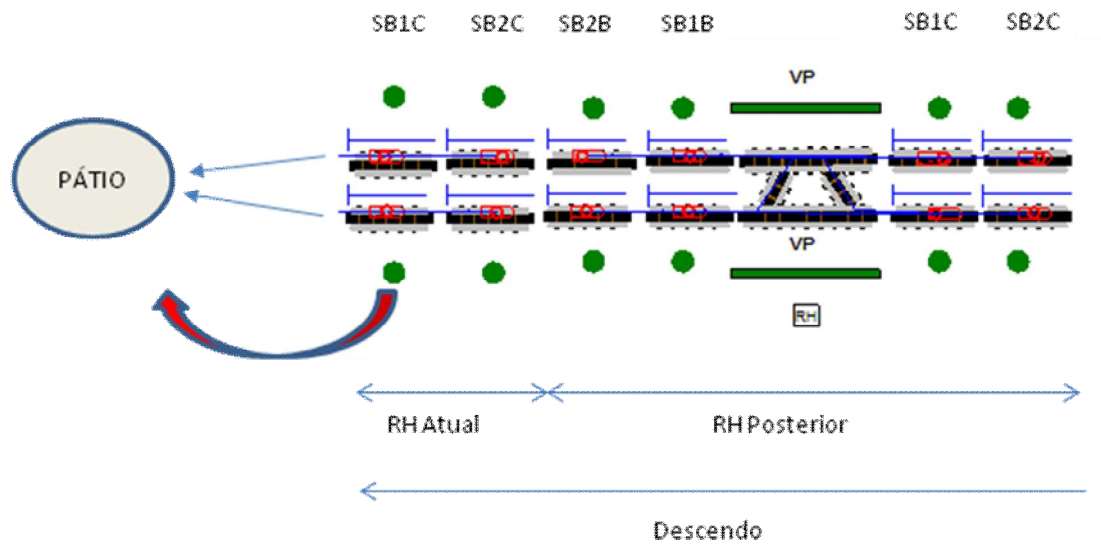


Figura 92: Esquemático trem descendo para entrada de pátio

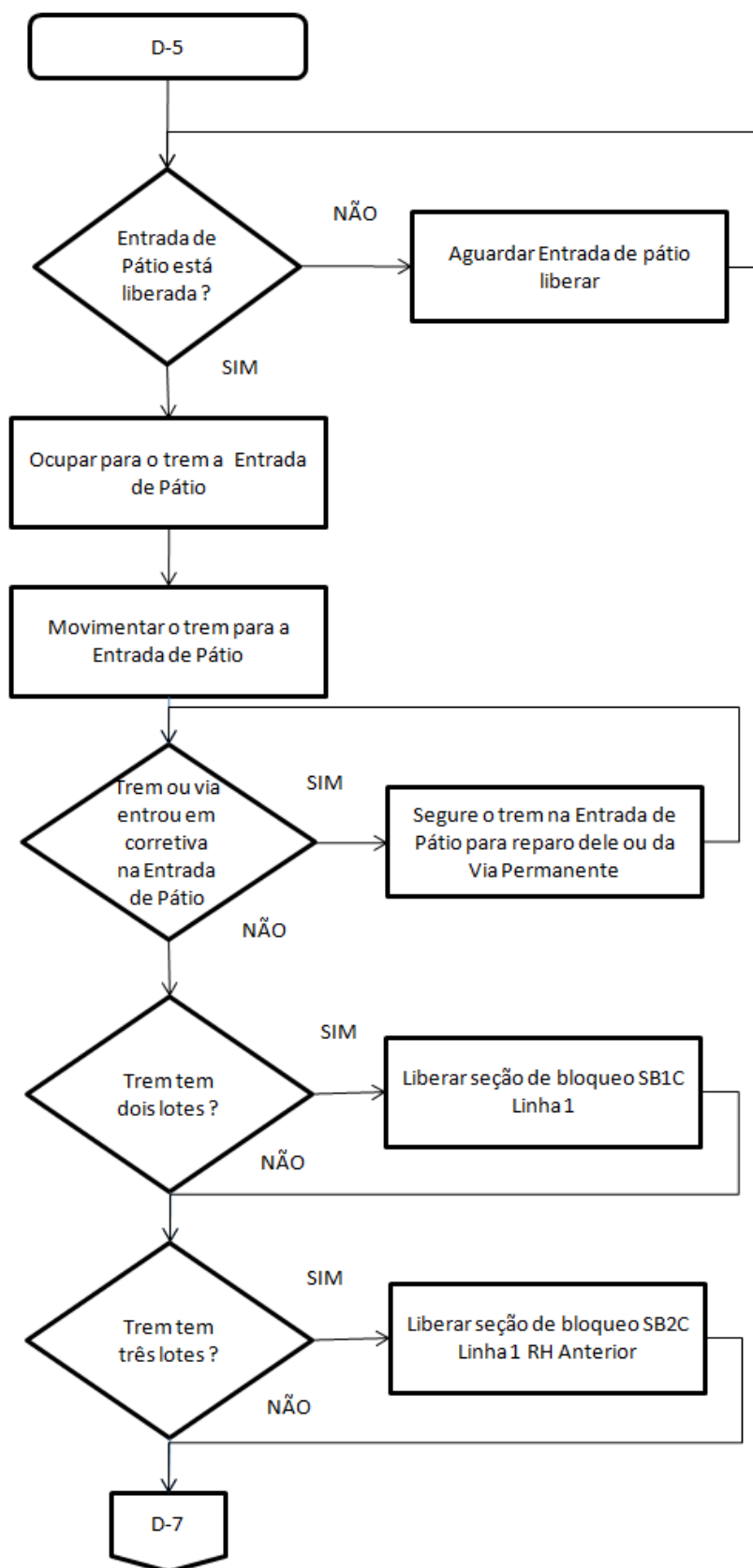


Figura 93: Algoritmo trem descendo para entrada de pátio pela Linha 2

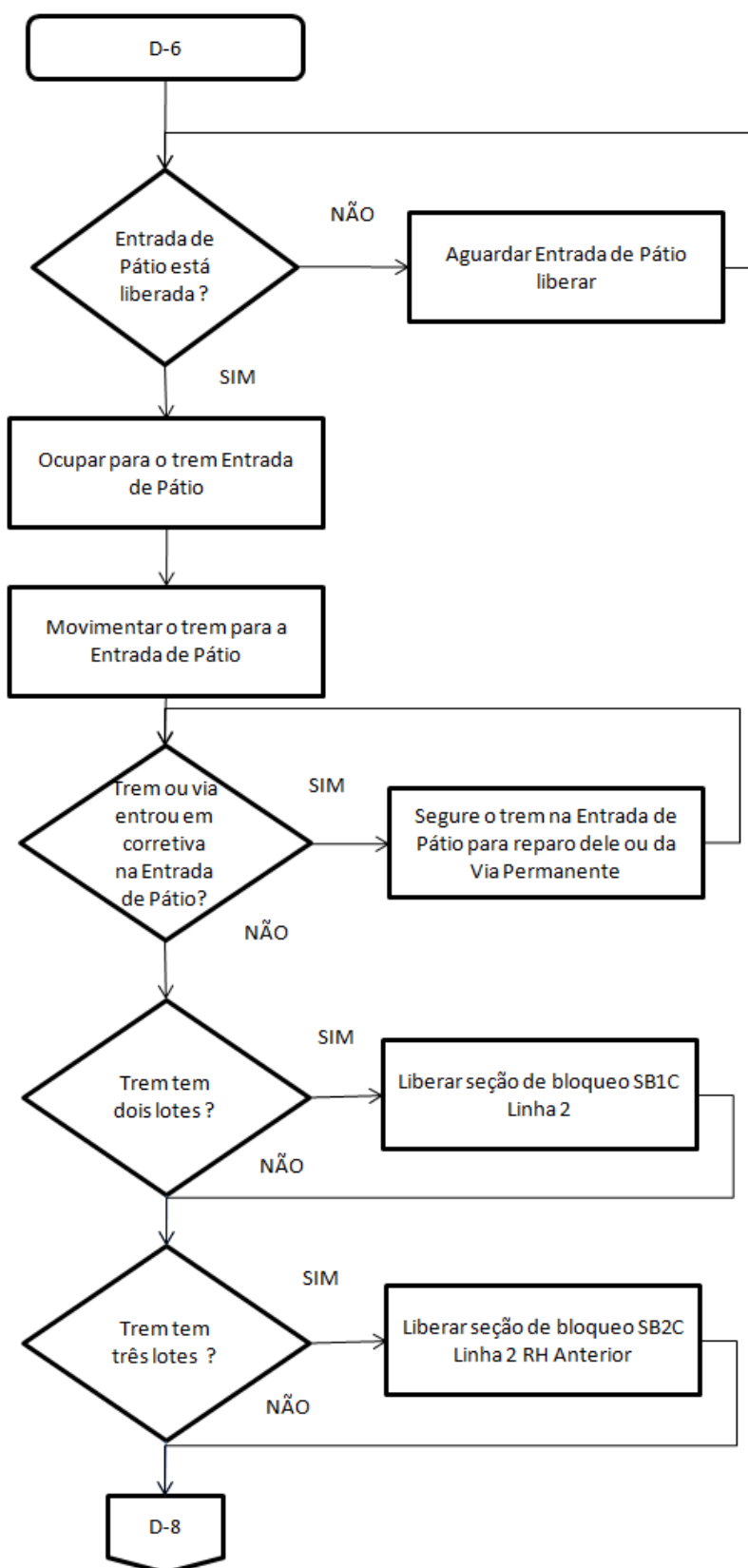


Figura 94: Algoritmo trem descendo para entrada de pátio pela Linha 1