



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPATAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE TRANSPORTES

MARCO DE AMICIS

**PROPOSTA DE MÉTODO PARA DETERMINAR A FROTA DE MATERIAL
RODANTE DE UMA FERROVIA DE VIA SINGELA NA FASE DE PROJETO COM
O AUXÍLIO DA SIMULAÇÃO DINÂMICA**

FORTALEZA

2018

MARCO DE AMICIS

PROPOSTA DE MÉTODO PARA DETERMINAR A FROTA DE MATERIAL RODANTE
DE UMA FERROVIA DE VIA SINGELA NA FASE DE PROJETO COM O AUXÍLIO DA
SIMULAÇÃO DINÂMICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de Concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Orientador: Bruno Vieira Bertoncini

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

A1p

Amicis, Marco De.

Proposta de método para determinar a frota de material rodante de uma ferrovia de via singela na fase de projeto com o auxílio da simulação dinâmica / Marco De Amicis. – 2018.
216 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes, Fortaleza, 2018.

Orientação: Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini.

1. Operação ferroviária. 2. Simulação a eventos discretos. 3. Trem tipo. 4. Via singela. 5. Projeto. I. Título.
CDD 388

MARCO DE AMICIS

PROPOSTA DE MÉTODO PARA DETERMINAR A FROTA DE MATERIAL RODANTE
DE UMA FERROVIA DE VIA SINGELA NA FASE DE PROJETO COM O AUXÍLIO DA
SIMULAÇÃO DINÂMICA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Transportes. Área de Concentração: Planejamento e Operação de Sistemas de Transportes.

Aprovado em: 13/07/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Cassiano Augusto Isler
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar ao prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini pela excelente orientação e paciência.

À Laura, minha esposa, que me acompanhou e apoiou em todos os momentos.

Aos meus amigos Dennis e Gustavo, por todo o suporte.

Aos meus colegas da Transnordestina, pelo apoio. Principalmente ao Luiz Henrique, Paulo Coelho e Edison Coelho, por me darem essa grande oportunidade, e Carlos da Matta, pelos tantos ensinamentos.

Aos professores Dr. Anselmo Ramalho Pitombeira Neto e Dr. Cassiano Augusto Isler, pelo tempo e pelas valiosas sugestões.

Aos professores do PETRAN, pelos ensinamentos e colaboração.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho é criar um método capaz de englobar as principais variáveis do sistema ferroviário, em específico de uma via singela na fase de projeto, e determinar a frota de locomotivas e vagões necessários para sua operação futura. Em situações que envolvam o projeto ferroviário, ou seja, nas quais a ferrovia ainda não existe, ou não se encontra em operação, os trens-tipo precisam ser estudados e dimensionados, e os efeitos aleatórios devem ser modelados, já que o comportamento de cada ferrovia é muito singular, porém o desafio está no fato de que os dados sobre a dinâmica operacional não existem e não é possível usar informações de outras ferrovias, dado que cada ferrovia tem esta singularidade em termos de operação. Neste contexto, a questão principal desta pesquisa consiste em como determinar a frota de vagões e locomotivas necessárias para uma ferrovia de via singela, em fase de projeto, de forma a atender as demandas futuras de carga, dada as características geométricas da via, as operações de carga e descarga nos terminais e o plano operacional da ferrovia. A maior parte dos trabalhos desenvolvidos focam na otimização da frota de vagões, tanto em casos onde a frota já existe quanto em casos que a frota deve ser determinada. Porém, os sistemas são simplificados e os modelos focam apenas na movimentação de vagões. Os trabalhos não se preocupam com a formação de um trem tipo, ou na determinação do material rodante em si, quantitativo de locomotivas ou mesmo a interação dos trens na via, gerando cruzamentos e perdas de tempo, ainda mais em uma situação na qual a ferrovia não opera. Neste sentido a pesquisa propôs um método de 5 etapas, considerando o dimensionamento dos trens tipo, e o aplicou ao estudo de caso da Transnordestina. O método é capaz de dimensionar a frota de vagões e locomotivas, por tipo de vagão, considerando os principais eventos que afetam a operação ferroviária, além de verificar se a frota determinada opera dentro dos limites de capacidade do sistema.

Palavras-chave: Operação ferroviária; Simulação a Eventos Discretos; Trem tipo; Via singela; Projeto.

ABSTRACT

The objective of the present work is to create a method capable to integrate the main variables of the railway system, specifically with single track in the design phase, and sizing the fleet of locomotives and wagons required for its future operation. In situations involving the railway project, ie where the railroad does not yet exist or is not in operation, trains type need to be studied and dimensioned, and the random effects must be modeled, since the behavior of each railroad is very unique. However, the challenge lies in the fact that the data on the operational dynamics do not exist and it is not possible to use information from other railways, since each railroad has its singularity in terms of operation. In this context, the main question of this research is how to size the fleet of wagons and locomotives necessary for a single track railway, in the design phase, in order to meet its future load demands, given the track's geometric characteristics, the loading and unloading operations at the terminals and the operational plan of the railway. Most of the work developed focuses on the optimization of the wagon fleet, both in cases where the fleet already exists and in cases where the fleet must be determined. However, the systems are simplified and the models focus only on the movement of wagons. The work does not worry about the formation of a train type, or the determination of the rolling stock itself, quantitative locomotives or even the interaction of the trains on the network, generating crossings and delays, especially in a situation in which the railroad is not operational. In this context, the research proposed a 5 step method, considering the sizing of the trains type, and applied it to the Transnordestina's case. The method is able to size the wagon and locomotive fleet, by type of wagon, considering the main events that affect the railway operation, and is able to verify if the determined fleet operates within the limits of the system's capacity.

Keywords: Railway operation; Discrete Event Simulation; Train type; Single track; Project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formas de estudo de um sistema (LAW e KELTON, 1991)	25
Figura 2 - Algoritmo do deslocamento dos trens entre pátios (Fonte: Meireles, 2010)	31
Figura 3 - Configuração do trem com tração na cabeça e os esforços nos engates (Fonte: MRS, 2017)	34
Figura 4 - Configuração do trem com tração distribuída e os esforços nos engates (Fonte: MRS, 2017)	35
Figura 5 - Exemplo de um trem-tipo de minério de ferro (Fonte: Elaborado pelo autor)	35
Figura 6 - Tela do simulador com o painel de controles da locomotiva	43
Figura 7 - Fluxograma de informações do FTOPS	44
Figura 8 - Etapas do método	50
Figura 9 - Elementos da via permanente (Fonte: Porto, 2017)	51
Figura 10 - Método proposto para dimensionamento do trem tipo (Fonte: Elaborado pelo autor)	54
Figura 11 - Método desenvolvido por Banks (1999).	58
Figura 12 - Metodologia para construção de modelos de simulação (Fonte: Cremonese, 2014)	59
Figura 13 - Diagrama do projeto Transnordestina (Fonte: TLISA, 2017)	66
Figura 14 - Sistema de licenciamento e comunicação da FTL (Fonte: FTL, 2017)	67
Figura 15 - Exemplo da composição das seções de bloqueio da TLISA (Fonte: Elaborado pelo autor)	67
Figura 16 - Animação do modelo de simulação (Fonte: Elaborado pelo autor)	71
Figura 17 - Parte da lógica de movimentação dos trens (Fonte: Elaborado pelo autor)	71
Figura 18 - Fluxograma simplificado da lógica de cruzamento dos trens sentido exportação (Fonte: Elaborado pelo autor)	72
Figura 19 - Fluxograma simplificado da lógica de cruzamento dos trens sentido importação (Fonte: Elaborado pelo autor)	73
Figura 20 - Planilha de interface – aba de inputs da simulação (Fonte: Elaborado pelo autor)	75
Figura 21 - Planilha de interface – aba de criação dos trens (Fonte: Elaborado pelo autor)	76
Figura 22 - Planilha de interface – aba de criação dos pátios de cruzamento (Fonte: Elaborado pelo autor)	76
Figura 23 - Planilha de interface – aba de criação dos tempos entre pátios (Fonte: Elaborado pelo autor)	77

Figura 24 - Planilha Interface – aba VerifyInputs (Fonte: Elaborado pelo autor) _____	77
Figura 25 - Lógica da criação dos trens e dos terminais de carga e descarga simplificados (Fonte: Elaborado pelo autor) _____	78
Figura 26 - Ilustração da lógica geral do modelo das movimentações sentido exportação e importação (Fonte: Elaborado pelo autor) _____	79
Figura 27 - Exemplo do output do ciclo dos trens para verificação do modelo (Fonte: Elaborado pelo autor) _____	80
Figura 28 - Verificação dos tempos de paradas da Interface e dos Resultados do modelo (Fonte: Elaborado pelo autor) _____	80
Figura 29 - Ilustração de parte da lógica de cruzamento e a fórmula para avaliação de qual trem chegará primeiro (Fonte: Elaborado pelo autor) _____	81
Figura 30 - Ocupação (utilização) dos trechos aumenta à medida que se aumenta a demanda	82
Figura 31 - Ocupação (utilização) dos pátios no sentido exportação aumenta à medida que se aumenta a demanda _____	82
Figura 32 - Ocupação (utilização) dos pátios no sentido importação aumenta à medida que se aumenta a demanda _____	83
Figura 33 - Animação do modelo com a via em falha e um trem aguardando a liberação da via _____	84
Figura 34 - Animação ampliada do modelo com via em falha e trem aguardando liberação da via _____	84
Figura 35 - Fluxograma das atividades realizadas na etapa de resultados (Fonte: Elaborado pelo autor) _____	85
Figura 36 - Fluxograma simplificado das etapas da definição do trem tipo (Fonte: Elaborado pelo autor) _____	86
Figura 37 - Planilha de acidentes ferroviários enviada pela ANTT (fonte: ANTT 2017) ____	90
Figura 38 - Lógica geral da ferrovia _____	130
Figura 39 - Lógica do sentido exportação da ferrovia _____	130
Figura 40 - Lógica do sentido importação da ferrovia _____	131
Figura 41 - Lógica do cruzamento dos trens com prioridade _____	131
Figura 42 - Fluxograma do cruzamento de trens para os trens com prioridade _____	132
Figura 43 - Lógica do cruzamento dos trens sem prioridade _____	133
Figura 44 - Fluxograma do cruzamento de trens para os trens sem prioridade _____	134

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Total de trabalhos encontrados para cada termo pesquisado _____	19
Tabela 2 - Trabalhos selecionados que abordam o tema do dimensionamento de frota em ferrovias _____	20
Tabela 3 - Trabalhos selecionados que abordam o tema do dimensionamento do trem tipo _____	20
Tabela 4 - Lista de atividades padrão - paradas obrigatórias _____	45
Tabela 5 - Lista de atividades não padrão - paradas aleatórias _____	46
Tabela 6 - Demanda adaptada e fluxo das cargas em 10 ³ toneladas _____	67
Tabela 7 - Tempos para as operações de carga e descarga nos terminais para cada tipo de carga _____	69
Tabela 8 - Trens tipo para os fluxos sentido Pecém _____	89
Tabela 9 - Trens tipo para os fluxos sentido Suape _____	89
Tabela 10 - Resultados do “ <i>Input Analyzer</i> ” do Arena _____	92
Tabela 11 - Quantidade de acidentes graves e não graves por ano determinados pela TKU_	93
Tabela 12 - Quantidade de trem para cada fluxo de carga _____	94
Tabela 13 - Capacidade de transporte para cada cenário _____	94
Tabela 14 - Tempos de trânsito para os trens de minério, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém _____	109
Tabela 15 - Tempos de trânsito para os trens de minério, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém _____	110
Tabela 16 - Tempos de trânsito para os trens de minério, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape _____	111
Tabela 17 - Tempos de trânsito para os trens de minério, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape _____	112
Tabela 18 - Tempos de trânsito para os trens de grãos, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém _____	113
Tabela 19 - Tempos de trânsito para os trens de grãos, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém _____	114
Tabela 20 - Tempos de trânsito para os trens de grãos, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape _____	115
Tabela 21 - Tempos de trânsito para os trens de grãos, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape _____	116

Tabela 22 - Tempos de trânsito para os trens de combustível, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém _____	117
Tabela 23 - Tempos de trânsito para os trens de combustível, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém _____	118
Tabela 24 - Tempos de trânsito para os trens de combustível, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape _____	119
Tabela 25 - Tempos de trânsito para os trens de combustível, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape _____	120
Tabela 26 - Dados dos acidentes ferroviários do ano de 2016 _____	135

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Questão central de pesquisa	16
1.2	Objetivo	17
1.3	Estrutura do trabalho	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1	Método utilizado	19
2.2	Dimensionamento da frota de material rodante em ferrovias	21
2.3	Simulação	25
2.3.1	<i>Simulação a eventos discretos</i>	27
2.4	Trem tipo	32
2.4.1	<i>Definição de trem tipo</i>	33
2.4.2	<i>Dimensionamento e operação do trem tipo</i>	36
2.5	Efeitos aleatórios que impactam na operação ferroviária	44
2.5.1	<i>Paradas obrigatórias</i>	47
2.5.2	<i>Paradas não obrigatórias ou aleatórias</i>	47
3	METODOLOGIA	50
3.1	Caracterização do projeto ferroviário	50
3.1.1	<i>Via permanente</i>	51
3.1.2	<i>Modelo de operação</i>	52
3.1.3	<i>Cargas</i>	52
3.1.4	<i>Estado do sistema</i>	53
3.2	Determinação das ferramentas	53
3.3	Definição do trem-tipo	54
3.3.1	<i>Definir trecho de maior resistência</i>	55
3.3.2	<i>Definir o tipo de vagão por carga</i>	55
3.3.3	<i>Quantidade de vagões tracionados por locomotiva</i>	55
3.3.4	<i>Definir trem-tipo a ser simulado</i>	55
3.3.5	<i>Simular e analisar a performance</i>	56
3.4	Modelagem do sistema e das falhas/acidentes	56
3.4.1	<i>Modelagem do sistema</i>	56
3.4.2	<i>Acidentes ferroviários</i>	61
3.5	Experimento	62
3.5.1	<i>Trens tipo</i>	63

3.5.2	<i>Terminais de carga e descarga</i>	63
3.5.3	<i>Configuração da via</i>	63
3.5.4	<i>Acidentes na ferrovia</i>	64
4	RESULTADOS	65
4.1	Caracterização do projeto ferroviário	65
4.1.1	<i>Via permanente</i>	66
4.1.2	<i>Modelo de operação</i>	66
4.1.3	<i>Cargas</i>	67
4.1.4	<i>Terminais de carga e descarga</i>	68
4.1.5	<i>Estado do sistema</i>	69
4.2	Determinação das ferramentas	69
4.3	Modelagem do sistema	70
4.3.1	<i>Verificação e testes do modelo</i>	74
4.4	Resultados das simulações de marcha e malha	85
4.4.1	<i>Definição dos trens tipo</i>	85
4.5	Trem tipo	88
4.6	Acidentes	90
4.7	Simulação de malha	93
4.8	Quantitativo de material rodante	99
5	CONCLUSÃO	102
5.1	Recomendações	103
	REFERÊNCIAS	104
	APÊNDICE A – TEMPOS DE TRÂNSITO ENTRE PÁTIOS DOS TRENS SIMULADOS PARA CADA FLUXO DE CARGA	109
	APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DA MODELAGEM E PRINCIPAIS ELEMENTOS DO MODELO	121
	ANEXO A – DADOS DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS ENVIADOS PELA ANTT PARA O ANO DE 2016	135

1 INTRODUÇÃO

O projeto de uma nova ferrovia apresenta diversos desafios, como os estudos de viabilidade técnica, econômica e ambiental (EVTEA), projetos da via permanente e a projeção da operação futura. A operação deve ser capaz de atender as demandas por transporte de modo eficiente. A capacidade e a eficiência de um sistema de transporte ferroviário estão diretamente relacionadas com a frota de material rodante disponível. Devido ao alto valor dos ativos, a frota de material rodante de uma ferrovia é considerada como um dos maiores investimentos do projeto (YAGHINI e KHANDAGHABADI, 2012; MILENKOVIC e BOJOVIC, 2013).

Uma frota subdimensionada leva ao não atendimento da demanda e/ou altas multas devido à baixa qualidade do serviço prestado, porém uma frota superdimensionada gera um investimento desnecessário e um custo operacional elevado (BOJOVIC, 2000; YAGHINI e KHANDAGHABADI, 2012; MILENKOVIC e BOJOVIC, 2013). Portanto, o desafio consiste em ter uma frota otimizada que atenda à demanda por transporte com qualidade e baixo custo operacional. A problemática do dimensionamento da frota de material rodante é desafiadora e tem motivado a academia a desenvolver pesquisas sobre o tema.

Desde a década de 1960 observa-se o surgimento e consolidação de esforços de pesquisa na área de dimensionamento da frota ferroviária, tendo como premissa principal a estratégia de modelagem com base em otimização, na qual buscou-se reduzir os custos com transporte, em referência ao Problema de Transporte da programação linear.

Um dos primeiros trabalhos que analisou a frota de vagões foi o do White e Bomberault (1969). No trabalho, os autores trataram a situação como um problema de programação linear, visando minimizar os custos de transportar vagões vazios entre os pátios para atender à demanda (WHITE e BOMBERAULT, 1969). O modelo resultou na otimização do uso da frota, porém não dimensionou a quantidade necessária de vagões. A frota de vagões e os *transit times* (tempos de trânsito entre pátios) foram assumidos como sendo dados de entrada e tratados como variáveis determinísticas.

Outros autores também abordaram esse problema adotando valores determinísticos para as variáveis do sistema, como *transit time*, demanda entre pátios, frota de vagões, etc. Os modelos propostos visam otimizar a alocação dos vagões nos pátios para atender as demandas com o menor custo possível (MENDIRATTA, 1981; MENDIRATTA e TURNQUIST, 1982; RATCLIFFE et al, 1984).

Assim como o trabalho do White e Bomberault (1969), o principal resultado dos trabalhos desenvolvidos têm sido determinar a posição dos vagões vazios nos pátios, de forma a minimizar os custos de deslocamento. Com dados de entrada determinísticos, a abordagem não consegue incorporar as interferências nas vias como os cruzamentos dos trens, falhas e acidentes do material rodante. Além disso, não quantifica a necessidade de vagões e locomotivas, já que buscam otimizar a frota existente.

Bojovic (2000) desenvolveu um modelo com múltiplos critérios, visando contribuir com a problemática do dimensionamento de frota. Em seu artigo, foram considerados três critérios: otimização; adaptação; e auto-organização. No trabalho, o *transit time* e a demanda foram considerados como variáveis aleatórias, incorporando parte dos efeitos aleatórios devido à operação. Não foi tratado, porém, a questão dos trens tipos ou mesmo o quantitativo de locomotivas, pois o problema foca apenas nos vagões vazios e carregados. Nota-se aí um avanço aos trabalhos anteriores, embora ainda mantendo o foco na frota de vagões e não no material rodante como um todo.

Milenkovic e Bojovic (2013) utilizaram inteligência artificial, através da lógica Fuzzy, para otimizar a frota e a alocação dos vagões. No trabalho, os autores assumiram que a demanda por vagões é uma variável fuzzy estocástica. Uma função de custo fuzzy deve ser minimizada. Ela incorpora os custos de possuir os ativos e movimentar os vagões, tanto carregados quanto vazios, além de servir como uma medida de desempenho do sistema. O modelo proposto representa melhor a aleatoriedade do sistema ferroviário.

Os trabalhos citados focam na otimização da frota de vagões, tanto nos casos em que a frota já existe, quanto em casos que a frota deve ser determinada. Porém, observou-se que, em geral, os trabalhos consideram sistemas simplificados e os modelos tendem a focar apenas na movimentação de vagões. No que tange aos modelos, observou-se que os mesmos têm como objetivo mostrar a formação de um trem tipo, ou determinar o material rodante em si, quantitativo de locomotivas ou mesmo a interação dos trens na via, para avaliar cruzamentos e perdas de tempo (THP – Trem Hora Parado, indicador utilizado nas ferrovias).

Meireles (2010) modelou a ferrovia Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) no simulador Arena, com o objetivo de criar uma ferramenta de auxílio para tomada de decisões desde o nível operacional até o estratégico. Um dos produtos do modelo é a quantidade de locomotivas e vagões para atender as demandas futuras da ferrovia.

Neste caso, por se tratar de um modelo de simulação (ao invés de modelo analítico, como os que haviam sido propostos até então), ele foi capaz de incorporar diversos fenômenos aleatórios inerentes a uma operação ferroviária. Por exemplo, foi possível simular as interferências devido aos cruzamentos de trens em vias singelas, os tempos perdidos e filas geradas devido às falhas e acidentes, considerar paradas programadas para troca de equipe e abastecimento, entre outros. Além disso, essa abordagem permite caracterizar a movimentação de todo sistema de trens tipo e vagões. Com isso, pode-se determinar tanto a quantidade de vagões quanto a de locomotivas necessários para o transporte da demanda.

Por se tratar de uma ferrovia em operação, Meireles (2010) pôde trabalhar com os trens-tipo definidos e séries históricas para representar as aleatoriedades do sistema, especialmente as falhas e acidentes que ocorrem com as composições e ocasionam paradas, geram filas e diminuem a eficiência do mesmo. Esses eventos impactam a operação, aumentando os ciclos dos ativos, gerando maior necessidade de material para atender a demanda.

Em situações que envolvam o projeto ferroviário, ou seja, nas quais a ferrovia ainda não existe, ou não se encontra em operação, tem-se, pelos métodos de dimensionamento usuais, uma grande dificuldade em se propor os trens-tipo, dado que os métodos levam em conta parâmetros de desempenho operacionais que não podem ser estabelecidos em um cenário inexistente. O dimensionamento de trens-tipo é algo de grande relevância para uma ferrovia, dado que incorre custos e capacidade de operação da mesma. Assim, mesmo em cenários em fase de projeto, o dimensionamento de um trem-tipo precisa ser estudado e, neste tipo de situação, os efeitos aleatórios devem ser modelados, o que resulta dificuldades extras ao processo, dado que o comportamento de cada ferrovia é singular. Portanto, neste contexto, a motivação desta pesquisa consiste em apoiar o dimensionamento da frota de material rodante, e consequentemente do trem-tipo, em uma ferrovia em fase de projeto..

1.1 Questão central de pesquisa

Diante do exposto, a questão central do presente trabalho é como determinar a frota de material rodante de uma ferrovia de via singela durante a etapa de implantação (fase de projeto), ou seja, no período do planejamento, considerando os eventos aleatórios que interferem na operação futura da ferrovia e nos tempos de ciclo dos ativos.

1.2 Objetivo

Face ao problema de pesquisa identificado e ao questionamento central, o objetivo do presente trabalho é propor um método para determinar a frota de locomotivas e vagões necessários para atender a demanda de transporte de carga futura de uma ferrovia em linha singela na fase de projeto englobando as principais variáveis do sistema ferroviário.

Para atingir o objetivo central, são propostos os seguintes objetivos:

- ✓ Apresentar uma proposta para dimensionamento do trem-tipo em ferrovia em fase de projeto;
- ✓ Identificar os efeitos aleatórios que impactam a operação ferroviária;
- ✓ Definir como representar os efeitos aleatórios no caso de uma ferrovia inexistente;
- ✓ Investigar a interferência de tais efeitos nos tempos de ciclo dos trens na ferrovia.

1.3 Estrutura do trabalho

O Capítulo 1 – Introdução apresenta as motivações do estudo, caracterizando a problemática do dimensionamento de frota de material rodante, desde a década de 1960 quando o problema era tratado como otimização da alocação dos vagões vazios até a atualidade, com a utilização da simulação. Junto, traz os objetivos, tanto o central quanto os específicos, e a estrutura do trabalho.

O Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica aborda o método utilizado na revisão, assim como os conceitos a serem utilizados nessa pesquisa, e as publicações científicas semelhantes encontradas que contribuíram para o cumprimento dos objetivos dessa dissertação.

O Capítulo 3 – Metodologia traz o método proposto na dissertação para a determinação da frota de material rodante de uma ferrovia em fase de projeto.

O Capítulo 4 – Experimento apresenta os cenários construídos e as variáveis que foram alteradas em cada um deles, assim como uma breve explicação sobre a manutenção de algumas variáveis com valor fixo.

O Capítulo 5 – Resultados traz os resultados obtidos em cada etapa do método proposto, quando aplicando a um projeto real de uma ferrovia (estudo de caso - Transnordestina).

O Capítulo 6 – Conclusão analisa os resultados obtidos na dissertação, fazendo uma breve crítica dos mesmos. Além disso, apresenta algumas recomendações futuras que possam trazer resultados mais assertivos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Método utilizado

Em um primeiro momento, foram definidas as palavras chave da pesquisa utilizadas nos grandes bancos de dados (Scopus, Google Acadêmico e Science Direct). Para a definição do trem tipo, foram realizadas buscas com as seguintes palavras: “*Train type*” AND *railway*; “*Train type*” AND *Railway* AND *Simulation*. Visando artigos sobre dimensionamento de frota em ferrovias, foi utilizado o termo *Railway* AND *Sizing* AND *Fleet*. Incluindo a simulação a eventos discretos, foram utilizados dois termos: “*Discrete event simulation*” AND *Railway*; “*Discrete event simulation*” AND *Railway* AND *Fleet*. A busca por referências teve como ano base 1960 e horizonte até 2017.

A **Tabela 1** apresenta a quantidade de trabalhos encontrados para cada termo pesquisado. A partir dos resultados das pesquisas é possível perceber que estudos envolvendo trens tipo vêm crescendo nos últimos anos, assim como a simulação, dentro do setor ferroviário. O crescimento mostra a relevância dos temas que estão alinhados às demandas das grandes operadoras ferroviárias, que buscam otimizar sua operação, diminuir gastos e melhorar a eficiência energética.

Tabela 1 - Total de trabalhos encontrados para cada termo pesquisado

TERMO PESQUISADO	até 1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	TOTAL
"Train Type" AND Railway	26	6	3	0	0	6	4	6	4	8	7	7	10	11	15	15	18	16	9	171
"Train Type" AND Railway AND Simulation	2	1	0	0	0	3	0	1	0	1	5	2	3	4	7	3	9	4	2	47
"Discrete Event Simulation" AND Railway	14	2	3	7	3	4	4	3	8	12	16	8	10	18	9	15	22	35	15	208
"Discrete Event Simulation" AND Railway AND Fleet	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	4
Railway AND Sizing AND Fleet	5	2	0	1	0	0	0	0	0	2	4	4	0	2	2	4	3	0	1	30

Dentre os trabalhos encontrados, foram selecionados aqueles que realmente estão relacionados com o tema, a partir da leitura do resumo e do objetivo dos artigos. A busca foi feita realizando filtros por área de atuação. Assim, a **Tabela 2** traz a quantidade de trabalhos relacionados com o tema do dimensionamento de frota em ferrovias, com ou sem o uso de simulação.

Tabela 2 - Trabalhos selecionados que abordam o tema do dimensionamento de frota em ferrovias

País	Até 1999	2000	2001	2002	2003	2006	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	Total Geral
Austrália	1														1
Brasil							1		1					1	3
Estados Unidos	5		1		1		1			1				1	10
Holanda												2			2
Inglaterra	2								1		2		1	1	7
Irã								1			1				2
Malásia													1		1
Porto Rico				1											1
Sérvia		1					1		1			1		1	5
Turquia										1					1
Índia						1									1
Suécia	1														1
Total Geral	9	1	1	1	1	1	3	1	3	2	3	3	2	4	35

A **Tabela 3** mostra os resultados dos trabalhos que tratam sobre o dimensionamento de trem tipo em uma ferrovia.

Tabela 3 - Trabalhos selecionados que abordam o tema do dimensionamento do trem tipo

País	Até 1999	2000	2006	2007	2012	2013	2014	-	Total Geral
África do Sul		1							1
Austrália			1						1
Brasil	2				1			2	5
China				1	1				2
Estados Unidos						1	1		2
Inglaterra	1						1		2
Irã							1		1
Total Geral	3	1	1	1	2	1	3	2	14

Dentre os trabalhos encontrados que abordaram dimensionamento do trem-tipo, pode-se distribuí-los da seguinte maneira: 4 trabalhos abordam as forças longitudinais presentes na composição ao longo da operação e como elas afetam o comportamento do trem, podendo provocar desde pequenas falhas até descarrilamentos; outros 5 trazem como a simulação pode trazer benefícios ao planejamento; 2 mostram que a heterogeneidade entre os trens-tipo geram atrasos e, conseqüentemente, redução da capacidade do sistema ferroviário; 1 aborda o dimensionamento do trem tipo utilizando o método proposto por Brina (1988); 1 traz o dimensionamento do trem-tipo utilizando a simulação, porém não trata sobre os tempos de trânsito e o último traz um método para determinar o perfil velocidade-tempo baseado em parâmetros da via e do trem-tipo.

2.2 Dimensionamento da frota de material rodante em ferrovias

O problema do dimensionamento de frota de material rodante em ferrovias vem sendo tratado ao longo dos anos, devido ao alto valor dos ativos (YAGHINI e KHANDAGHABADI, 2012; MILENKOVIC e BOJOVIC, 2013).

Brina (1988) apresenta um método clássico bastante simplificado a partir do trem tipo e da demanda de carga. A Equação 1 permite calcular a frota de locomotivas necessária para o atendimento da demanda.

$$N_{locos} = \frac{N_{trens} * NL_{trem} * Ciclo_{total}}{24 * \frac{Disp}{100} * \frac{UtDisp}{100}} \quad (1)$$

Sendo:

N_{locos}	Número de locomotivas necessárias para atendimento da demanda;
N_{trens}	Número de trens por dia;
NL_{trem}	Número de locomotivas no trem tipo;
$Ciclo_{total}$	Ciclo total do trem (h);
$Disp$	Disponibilidade das locomotivas (%);
$UtDisp$	Utilização da disponibilidade das locomotivas (%).

Já a Equação 2, adaptada de Brina (1988), resulta a frota de vagões necessários para transportar a demanda de carga em estudo.

$$N_{vagões} = \frac{n * R}{Disp} \quad (2)$$

Sendo:

$N_{vagões}$	Número de vagões necessários para atendimento da demanda;
n	Número de vagões a carregar por dia;
R	Rotação (ou ciclo) dos vagões (h);
$Disp$	Disponibilidade dos vagões.

A aplicação das fórmulas requer algumas premissas. Entre elas, destacam-se a disponibilidade e utilização da disponibilidade das locomotivas e vagões e os tempos de ciclo total para cada ativo. Devido à sensibilidade aos parâmetros, outros métodos foram

desenvolvidos ao longo do tempo para o problema do dimensionamento de frota, focando principalmente na movimentação dos vagões.

Historicamente, a alocação dos vagões vazios era realizada de acordo com a experiência dos despachadores de trem, que eram informados pelos agentes ferroviários sobre a necessidade dos clientes. Os vagões eram enviados aos locais baseados na taxa de utilização do cliente e plano do despachador.

Esse sistema funcionava bem quando não havia nenhuma anomalia na demanda ou operação. Para se proteger desses eventos, os despachadores criavam “*buffers*” de vagões extras. Com isso, a frota acabava sendo superdimensionada, elevando os custos e investimentos.

Ficou claro que um sistema/método para o problema de alocação de vagões vazio deveria ser desenvolvido, visando aumentar a taxa de utilização dos vagões e/ou o nível de serviço ofertado ao cliente.

White e Bomberault (1969) tratam do problema da alocação dos vagões vazios ao longo da ferrovia para atender a demanda futura. O movimento dos vagões é dado por grafos de espaço tempo, que representa os diversos caminhos que o vagão pode percorrer para chegar em um determinado local e o tempo que levará para chegar.

O objetivo do trabalho foi minimizar os custos com deslocamento de vagões vazios na malha, assumindo que a quantidade de vagões disponíveis é conhecida. Sendo s_i a quantidade de vagões disponíveis no pátio i , d_i a demanda por vagões e x_{ij} a quantidade de vagões movimentados do nó i até o nó j , assumindo que o arco (i, j) existe. Portanto, pode-se assumir que $b_i = s_i - d_i$ é a quantidade de vagões livres disponíveis no pátio.

$$\text{minimizar } \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

$$\sum_i x_{ij} - \sum_k x_{ki} \leq b_i \quad \text{para todo } j \quad (4)$$

$$\sum_i x_{ij} - \sum_k x_{ki} = b_i \quad \text{para todo } j \quad (5)$$

$$x_{ij} \geq 0 \text{ Reais não negativos } (R +) \text{ para todo } i, j \quad (6)$$

A função objetivo visa minimizar os custos com deslocamento, que pode ser dado em dinheiro (reais, dólares, etc), distância ou mesmo quantidade de vagões. A segunda e terceira restrições expressam o princípio da conservação do fluxo. A terceira restrição impõe que a quantidade total de vagões deixando os pátios (exceto os terminais) deve ser igual à quantidade de vagões livres na malha. A segunda restrição se aplica aos terminais, onde os vagões inutilizados ficam. A última restrição força que o deslocamento dos vagões seja sempre positivo, senão poderia surgir quantidade negativa de vagões, o que é fisicamente impossível.

Outros modelos propostos tratam os dados de entrada (demanda de transporte, fornecimento e tempo de trânsito) como determinísticos, ou seja, como valores exatos. Os modelos de otimização eram usados para distribuir vagões vazios na via, buscando minimizar custos de transporte ou distâncias percorridas pelos vagões (MENDIRATTA, 1981; MENDIRATTA e TURNQUIST, 1982; RATCLIFFE et al., 1984). Fukasawa et al. (2002) propuseram um método para determinar o fluxo ótimo dos vagões carregados e vazios visando maximizar o faturamento, lucro ou tonelada transportada, dados os cronogramas dos trens e suas capacidades de tração. Naquele trabalho foi considerada uma frota de vagões heterogênea.

Apesar dos trabalhos apresentarem métodos distintos para tratar o problema, é importante ressaltar que os sistemas ferroviários possuem diversos fatores que interferem na operação, tornando-os estocásticos. Milenkovic e Bojovic (2013) afirmaram que pesquisas científicas admitiram abordagens estocásticas, baseadas na teoria da probabilidade, para tratar as incertezas nos parâmetros de entrada.

Jordan and Turnquist (1983) desenvolveram um modelo de otimização, para o problema de distribuição de vagões vazios, com o objetivo de maximizar o lucro. As informações sobre a demanda a ser transportada, a oferta de vagões e o tempo de trânsito dos mesmos foram consideradas estocásticas, devido ao alto grau de variabilidade delas dentro do sistema ferroviário. Os autores concluíram que duas contribuições relevantes, em relação aos trabalhos anteriores, foram obtidas: incerteza de demanda, oferta e tempo de trânsito e o horizonte de planejamento, que trata dos vagões vazios ao final de cada decisão diária. A frota de vagões, porém, foi adotada como uniforme.

Beaujon e Turnquist (1991) foram os primeiros a tratar do problema do dimensionamento da frota e não apenas para a otimização da frota existente. Ou seja, a frota

de material rodante não foi considerada como um *input* do sistema e sim uma resposta (*output*). O trabalho ainda representou o tempo de trânsito e a demanda de carga como fatores estocásticos, representando as incertezas do sistema. Os autores destacam uma evolução, pois, como afirmam no artigo, as formulações anteriores podem trazer ganhos na redução dos custos operacionais, mas não consideram decisões de longo prazo (estratégicas), como o investimento na frota de material rodante.

Outros estudiosos vêm pesquisando sobre o problema do dimensionamento da frota com foco em modelos de otimização, utilizando dados estocásticos para melhor adaptar o modelo à realidade das ferrovias. Entre eles, destacam-se Milenkovic e Bojovic. Em um de seus primeiros trabalhos, Bojovic (2000) também trata a frota de material rodante, considerada homogênea, como um resultado do modelo e não mais como um dado de entrada, além dos tempos de trânsito serem estocásticos, ou seja, o modelo avalia os impactos dos atrasos. Seus trabalhos foram evoluindo, tanto no modo de estudar o problema quanto nos parâmetros analisados. Eles inseriram a heterogeneidade da frota nos modelos (BOJOVIC e MILENKOVIC, 2008; BOJOVIC et al, 2010; MILENKOVIC e BOJOVIC, 2013; MILENKOVIC et al, 2015).

Os trabalhos analisados mostraram uma grande evolução, tanto no modo de tratar os dados de entrada quanto na maneira de modelar e encontrar a solução, porém todos utilizam os tempos de trânsito como um dado de entrada. Para sistemas em operação, é um dado relativamente simples de obter e tratar, mas para ferrovias em fase de projeto, não existem dados históricos, como, por exemplo, os tempos de ciclo.

Os tempos de ciclo são muito sensíveis ao modelo de operação da ferrovia, ao trem tipo, ao volume de tráfego, às falhas e acidentes, aos cruzamentos dos trens, entre outros fatores. É uma variável complexa em que a simulação é uma ferramenta adequada para determinar seus valores. Neste contexto, é comum o uso da simulação em sistemas complexos, como é o caso de uma ferrovia. Os modelos podem ser utilizados desde o nível operacional até o estratégico, sendo o último o caso mais usual.

Lesyna (1999) foi um dos primeiros a utilizar a simulação dinâmica, que simula a variação do tempo ou comportamento de um sistema ou entidade, a eventos discretos para simular uma operação ferroviária para tratar do problema do dimensionamento da frota de material rodante. Martínez et al (2001) aplicaram a simulação para o planejamento de uma ferrovia de passageiros. Fioroni (2008) utilizou a simulação, aliada à otimização, para

determinar o melhor cliente para cada trem da MRS, já que a empresa conta com diversos clientes. Meireles (2010) usa o modelo para auxiliar na tomada de decisões no nível estratégico da ferrovia Vitória a Minas (EFVM). Cremonese (2014) realizou a integração dos três principais sistemas da cadeia do minério de ferro para avaliar como a análise integrada beneficia toda a operação. Mais adiante, os principais trabalhos de simulação serão melhor descritos.

2.3 Simulação

Segundo Law e Kelton (1991), os estudos de sistemas podem ser realizados sob diferentes formas de abordagem. A **Figura 1** ilustra as formas apresentadas pelos autores.

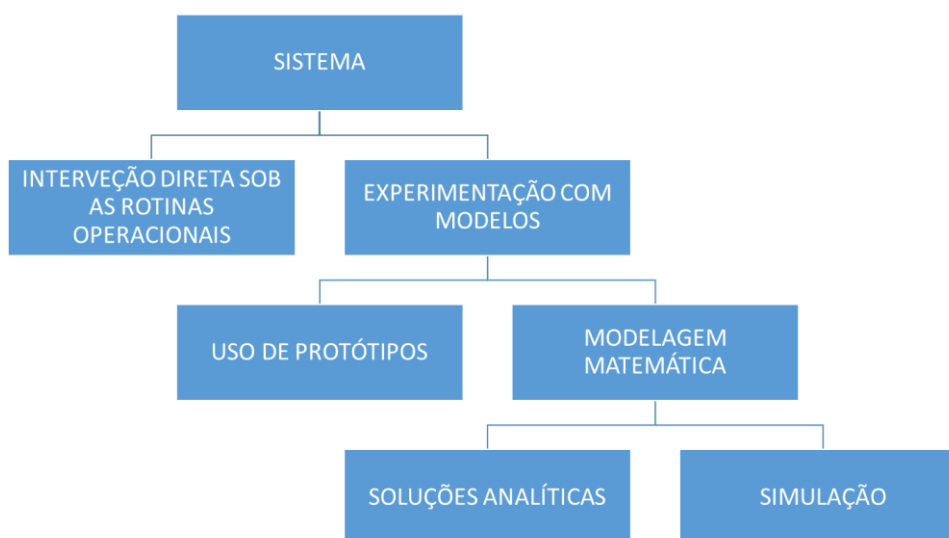


Figura 1 - Formas de estudo de um sistema (LAW e KELTON, 1991)

Simular é imitar a operação de um processo ou sistema real pelo tempo (BANKS, 1999; MCGINTY, 2001). Simulação é o uso de modelos numéricos para estudar o comportamento de um sistema operando no tempo (KIVIAT, 1967).

Um modelo é a representação do sistema real. Um evento é a ocorrência que altera o estado do sistema. Um modelo de simulação a eventos discretos é definido como uma simulação em que os estados das variáveis só se alteram nos pontos discretos no instante que o evento ocorre (Banks, 1999). A simulação surge como uma ferramenta natural para estudos de sistemas grandes e complexos (KIVIAT, 1967).

Por esse motivo, muitos estudos estão utilizando essa ferramenta para auxiliar na tomada de decisões. No setor ferroviário, considerado como complexo, não é diferente. A

simulação é utilizada tanto para estudos de engenharia e operacionais quanto para treinamentos.

Segundo McGinty (2001), as classificações mais usuais para os modelos de simulação, baseadas em suas características, são:

- ✓ Modelo de simulação estático ou dinâmico: um modelo de simulação estático é uma representação de um sistema em um momento específico (como uma foto de um determinado momento do sistema), ou um modelo que pode ser usado para representar um sistema no qual o tempo não desempenha nenhum papel. Um modelo de simulação dinâmica representa um sistema à medida que evolui ao longo do tempo (como se fosse um filme), ou seja, o tempo é relevante dentro da simulação e suas características e variáveis se alteram ao longo da simulação.
- ✓ Modelo de simulação determinístico ou estocástico: um modelo de simulação determinístico é aquele onde as variáveis não são probabilísticas (aleatórias), ou seja, é possível prever como elas vão se comportar ao longo da simulação. A saída do modelo é dada quando todos os relacionamentos (iterações) entre as variáveis forem simulados, podendo ocasionar em muito tempo de simulação. O autor usa como exemplo uma reação química que pode ser traduzida como um conjunto de equações diferenciais (analiticamente intratável). Porém, para tratar de sistemas complexos reais, muitos modelos utilizam variáveis de entrada aleatórias, gerando modelos de simulação estocástico. A maioria dos sistemas de filas e inventário é modelada estocasticamente. Os modelos de simulação estocástica produzem uma saída aleatória e, portanto, devem ser tratados apenas como uma estimativa das características reais do modelo; essa é uma das principais desvantagens da simulação.
- ✓ Modelo de simulação contínuo ou discreto: simulação contínua é usada para modelar sistemas que mudam de estado continuamente em relação ao tempo. Normalmente utiliza-se de equações diferenciais para determinar o estado das variáveis de estado durante a simulação. As equações são resolvidas em pequenos incrementos de tempo. Quando limites são excedidos, eventos são disparados e a lógica de eventos associados são executados. Um exemplo é o fluxo de carros em uma rodovia ou fluxo de água em tanques. Os modelos de simulação discretos são aqueles onde cada evento ocorre em um instante determinado da simulação, alterando os valores/condições das variáveis de estado do modelo. Um exemplo é a fila de um banco, onde ela aumenta com a chegada

ou com o final do atendimento de um cliente em um determinado instante do tempo (Cremonese, 2014).

2.3.1 Simulação a eventos discretos

Simulação prevê o comportamento do sistema por meio do cálculo do movimento e interação dos seus componentes. Através da avaliação do fluxo das entidades pelo sistema e pela análise das demandas conflitantes por recursos limitados, pode-se avaliar a performance do sistema (LAW; KELTON, 1991).

Um modelo de simulação a evento discreto é definido como aquele em que as variáveis de estado mudam apenas nos pontos discretos no tempo em que os eventos ocorrem. O estado do sistema é descrito pelos valores individuais de estados dos objetos no sistema. Por exemplo, um sistema ferroviário composto de 10 pátios de cruzamento pode ser descrito por (0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 0, 1), sendo 1 quando o pátio de cruzamento está ocupado e 0, quando está ocioso (BANKS, 1999; MCGINTY, 2001).

A simulação a eventos discretos diz respeito à modelagem de um sistema à medida que ele evolui ao longo do tempo por uma representação na qual as variáveis mudam de estado instantaneamente em pontos separados no tempo. (Em termos mais matemáticos, pode-se dizer que o estado do sistema pode mudar em apenas um número contável de pontos no tempo). Esses pontos específicos no tempo são aqueles em que um evento ocorre (LAW; KELTON, 1991).

Um evento é uma ocorrência instantânea no tempo que pode causar mudança no estado do sistema. Eventos podem ser desencadeados por uma condição, um tempo decorrido ou outra cadeia de eventos. Simulações de eventos típicas incluem, por exemplo, a chegada de entidades, falha de recursos e conclusões de atividades (NANCE, 1993; MCGINTY, 2001).

Os modelos são projetados conceitualmente baseados em fluxos de processos ou fluxograma. Através dele, é possível determinar quais valores cada variável de estado do modelo pode assumir e, conseqüentemente, como as atividades das entidades alteram o valor das variáveis de estado. Atividades são elementos consumidores de tempo no sistema, que possuem um início e fim, e são regidas pela lógica associada para o processo das mudanças dos valores das variáveis de estado (LAW; KELTON, 1991).

Entidades são elementos que representam os objetos de interesse que fluem pelo sistema. Elas competem por recursos, são processadas, esperam em áreas de estoque, são

transportadas e são submetidas a várias outras atividades (eventos). Para retratar o estado do sistema dinamicamente, o tempo simulado é avançado de um evento para outro. À medida que cada evento acontece, a lógica do evento associada é executada e o estado do sistema pode ser alterado das seguintes formas:

- ✓ Mudando o valor de uma ou mais variáveis;
- ✓ Mudando o número de entidades no sistema;
- ✓ Mudando os atributos de uma entidade;
- ✓ Mudando a correlação entre entidades.

A simulação continua a rodar até que um dos seguintes eventos ocorra:

- ✓ O período de tempo desejado é decorrido;
- ✓ Todos os eventos foram realizados;
- ✓ Uma condição específica é realizada.

Segundo Law e Kelton (1991) os seguintes componentes são encontrados na maioria dos modelos de simulação de eventos discretos, usando a aproximação de avanço de tempo para o próximo evento (LAW; KELTON, 1991):

1. Estado do sistema: A compilação de estados variáveis necessários para descrever o sistema em um momento particular no tempo;
2. Relógio da simulação: Uma variável dando o valor atual do tempo da simulação;
3. Lista de eventos: Uma lista contendo o próximo tempo, quando cada tipo de evento irá ocorrer;
4. Contadores Estatísticos: Variáveis usadas para o armazenamento de informações estatísticas sobre a performance do sistema;

Lesyna (1999) utilizou a simulação dinâmica a eventos discretos para simular a operação ferroviária da DuPont, empresa química americana (atualmente a segunda maior do mundo). Sua linha de atuação abrange produtos químicos, fibras, polímeros, produtos agrícolas, entre outros. DuPont desenvolveu e patenteou diversos produtos importantes, como o Nylon, o Teflon e o Kevlar.

Para o transporte de seus produtos, a empresa possuía 7.000 vagões (entre próprios ou via *leasing*). Como política, a DuPont visa minimizar os investimentos que não geram faturamento. O objetivo do trabalho, portanto, era dimensionar a frota de material rodante para atender aos clientes. A empresa tinha como política o uso de caminhões para atender a demanda, na falta de vagões vazios prontos para serem carregados.

O autor simulou a malha ferroviária e as interfaces dela com a fábrica da DuPont e os clientes, ou seja, os terminais de carga e descarga. Mostrou que não é necessário simular além disso. Os eventos da fábrica devem ser simplificados, assim como o que acontece nos clientes. Afirmou ainda que é um trabalho que deve ser realizado em conjunto com as outras áreas e, naquele trabalho, utilizou séries históricas para determinar os *transit times*, ciclos e outros eventos aleatórios que, segundo o autor, sofrem grandes variações e são de difícil modelagem.

Com o modelo, o autor verificou que a política de utilizar caminhões para realizar entregas era, na realidade, contra produtiva, já que gerava aumento nos custos e acúmulo de vagões vazios. Além disso, mostrou que não era necessário chamar caminhões quando a frota de vagões vazios na fábrica diminuía desde que houvesse vagões vazios retornando à fábrica. Com isso, viram a importância de se ter um controle melhor dos ciclos e localização dos vagões.

A principal contribuição de seu trabalho foi delimitar o escopo da simulação. Lesyna (1999) afirma que não se deve detalhar muito, tornando o modelo complexo e custoso para construir, e nem simplificar muito, já que os resultados podem não ser confiáveis.

Dentro do contexto das ferrovias brasileiras, Fioroni (2008) criou um modelo da ferrovia MRS Logística para avaliar a melhor alternativa de direcionamento das composições ferroviárias. A empresa conta com diversos clientes e deve decidir para onde enviar as composições, baseado nos estoques dos clientes. Um dos objetivos principais do trabalho era otimizar o uso da frota de vagões definindo o melhor cliente para cada trem.

Meireles (2010), criou um modelo da ferrovia Estrada de Ferro Vitória a Minas (EFVM) visando criar uma ferramenta para auxiliar nas tomadas de decisões da empresa, principalmente as de médio e longo prazo. Seu modelo gera, como *outputs*, os principais indicadores operacionais da ferrovia (THP, tempo de ciclo, volume transportado, quantidade de locomotivas e vagões, entre outros), que mostram como as decisões e alterações afetam a operação dos trens.

Cremonese (2014) modelou toda a cadeia do minério de ferro no Arena para mostrar os ganhos de realizar um planejamento integrado. Em seu trabalho, foi considerada a estocagem dos produtos de minério de ferro, o transporte ferroviário (considerando que trens de outras operadoras compartilham alguns trechos da ferrovia) e as operações portuárias no porto de Santos (desde a chegada do trem para descarregar até a partida do navio).

Os três autores, apesar de terem objetivos distintos, criaram modelos com lógicas parecidas, principalmente se tratando dos eventos aleatórios que acontecem durante a operação. O cruzamento dos trens, que gera filas e THP, são ocasionados de acordo com a interação dos trens na malha. Um trem, para poder seguir de um pátio para o próximo, deve atender uma série de regras, assim como acontece na operação real (seção de bloqueio liberada, espaço no pátio de destino, etc). Isso faz com que eventos aleatórios sejam simulados e seus efeitos incorporados nos resultados, gerando um aumento no tempo de ciclo, por exemplo.

A **Figura 2** ilustra o algoritmo da lógica de movimentação de trens do trabalho do Meireles (2010). Apesar de cada autor ter seu próprio algoritmo, a ideia geral entre eles é bem parecida. O trem deve verificar se a seção de bloqueio que deseja ocupar está livre e, caso positivo, ocupar essa seção. Em seguida, verificar se todo o trem está fora da seção de bloqueio anterior e liberá-la para o próximo trem. Deve-se, também, checar se houve alguma falha na via ou mesmo a composição.

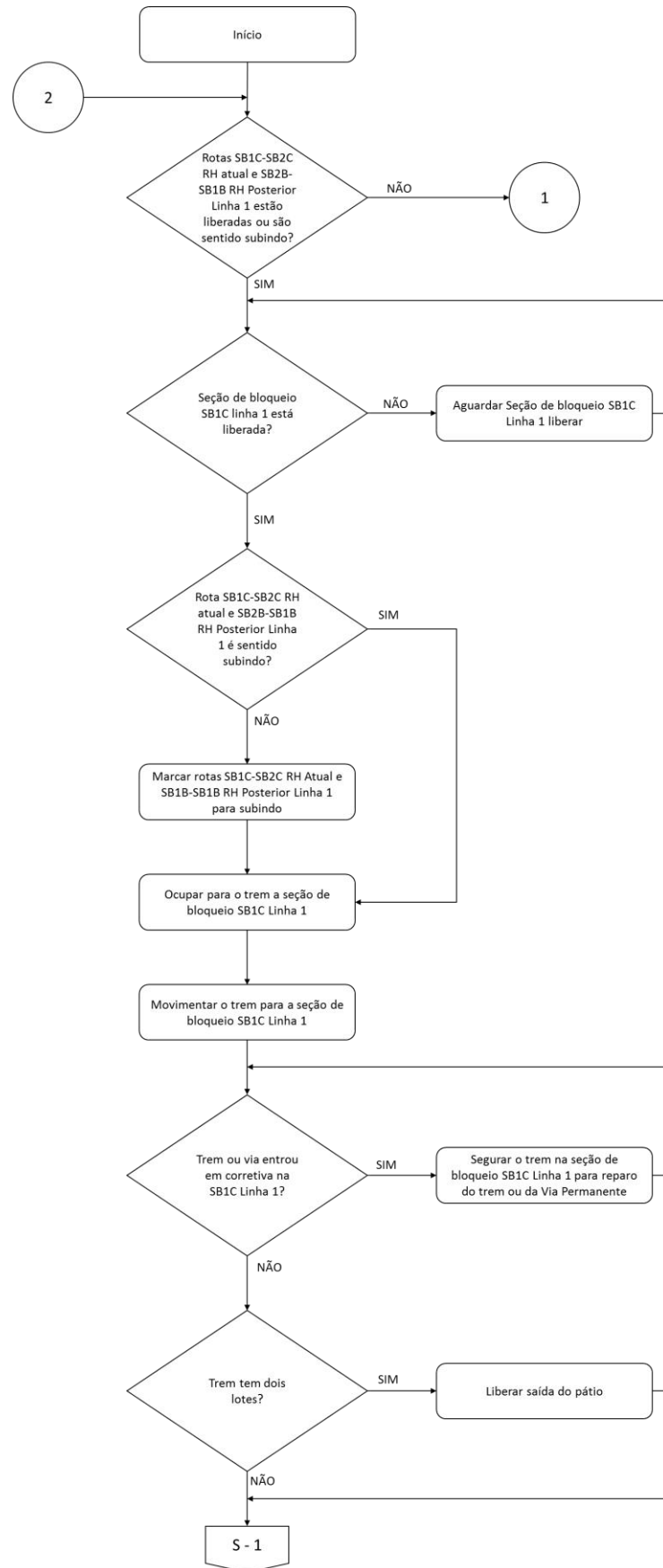


Figura 2 - Algoritmo do deslocamento dos trens entre pátios (Fonte: Meireles, 2010)

Os trabalhos, porém, usam como dado de entrada o trem tipo para cada fluxo e carga e os tempos de trânsito da operação das ferrovias, que já existem. Além disso, os trabalhos do Cremonese (2014) e do Meireles (2010) usam, para falhas e acidentes das composições, dados históricos. Essas informações não existem nos casos de projetos ferroviários e devem ser tratados/modelados de alguma maneira para serem incorporados ao modelo.

2.4 Trem tipo

O trem dimensionado deve ser capaz de partir da sua origem e chegar ao seu destino vencendo as resistências ao avanço do percurso. Pensando nisso, Gonçalves et al (2012) aplicaram o método proposto por Brina (1992), onde determina-se o pior trecho da ferrovia (com maior resistência) e dimensiona-se um trem com capacidade de tração superior à resistência deste trecho.

Porém, focar somente para as resistências não é suficiente, um trem tipo deve operar com segurança e as forças dinâmicas que atuam no mesmo devem ser analisadas. Entre os efeitos que podem ocorrer, os principais são: o gradiente de velocidade dos vagões, principalmente para trens longos (acima de 100 vagões), pode gerar desde falhas nos engates até descarrilamento; as forças de tração podem quebrar o engate, partindo o trem; nas curvas, a força lateral aumenta em relação à vertical (L/V), gerando risco de descarrilamento. Todos esses efeitos e como eles interferem na operação e métodos para calculá-los foram analisados pelos autores Barbosa (1993), Barbosa (1999), Majola (2000), Cole e Sun (2006), Ma et al (2012).

Conforme mencionado, a simulação é uma ferramenta que vem ganhando espaço em diversos campos, inclusive na ferrovia. Grant (1986), Oyan (1998), Barbosa et al (2010), Barbosa et al (2011) e Tey et al (2013) apresentam como a simulação pode auxiliar no dimensionamento do trem tipo, já que tem a capacidade de analisar as forças que atuam na composição ferroviária. A grande maioria dos simuladores são focados no treinamento de maquinistas, porém existem hoje no mercado simuladores voltados à engenharia. No entanto, mesmo os simuladores de treinamento permitem avaliar a operação do trem tipo.

Somente dimensionar um trem tipo que circule de maneira segura não é suficiente, pois é necessário obter o tempo de trânsito entre pátios. Powell e Palacín (2014) criaram um método para criar perfis de velocidade-espaco através de parâmetros da via e do trem tipo.

Por último, Yaghini et al (2014) e Dingler et al (2014) verificaram a questão de como a heterogeneidade dos trens tipo afetam a operação ferroviária. No trabalho, mostram que diferentes trens tipo (com diferentes capacidades de aceleração e prioridade), podem gerar atrasos e, conseqüentemente, redução da capacidade da via. É importante avaliar a heterogeneidade na ferrovia, principalmente quando se tem cargas distintas com o mesmo destino.

2.4.1 Definição de trem tipo

O trem tipo é a composição ferroviária dimensionada para transportar um determinado tipo de produto por um determinado trecho da ferrovia. Cada trem tipo pode ter características muito distintas que dependem da operação e das cargas. Por exemplo, uma composição para transporte de minérios normalmente é longa, pesada e com uma relação potência de tração por peso do trem (em inglês HPTT – *Horsepower-to-trailing ton*) baixa (e.g. <1.0). Já trem de carga geral, que trafega com maior velocidade devido à necessidade de um serviço com maior nível de confiabilidade, possui uma relação de HPTT maior (e.g. >3.0) (DINGLER et al, 2014).

A definição do trem-tipo é um passo importante no dimensionamento da frota de material rodante. Definir o trem-tipo significa dizer:

1. Quantas locomotivas vão tracionar a composição;
2. Qual(is) locomotivas vão tracionar a composição;
3. Posição de cada locomotiva;
4. Quantidade de vagões da composição;
5. Tipos de vagões da composição;
6. Posição de cada vagão na composição.

A quantidade e o tipo de locomotivas definirão a potência máxima de tração da composição. No caso das locomotivas diesel-elétrica, existem quatro classificações para potência das locomotivas: potência indicada ou bruta; potência entregue ao gerador ou nominal; potência efetiva ou nos trilhos; e potência útil (ROZA, 2000).

Potência bruta é a potência gerada pelo motor diesel da locomotiva e pode ser medida pelo “teste de carga”. Potência nominal é a potência entregue ao gerador. É a diferença da potência bruta menos a necessária para o funcionamento de equipamentos auxiliares (de 90 a 97% da bruta). Potência efetiva é a potência nas rodas da locomotiva,

sendo ela a potência efetiva multiplicada pelo coeficiente de rendimento da transferência de potência até as rodas (aproximadamente 85% da potência nominal). Potência útil: é a potência efetiva nas rodas da locomotiva utilizada para puxar os vagões, ou seja, é a potência efetiva menos a potência consumida para tracionar a própria locomotiva (ROZA, 2000).

A posição de cada locomotiva influenciará nas forças dinâmicas do trem. Elas podem ser posicionadas na cabeça do trem, ou distribuídas na composição. Neste caso, se faz necessário o uso do Locotrol – o sistema eletrônico que possibilita o controle remoto (via rádio) das locomotivas de um trem. Com esse sistema, um único maquinista é capaz de operar diversas locomotivas ao mesmo tempo em um modo chamado “tração distribuída”, que tem como principal objetivo distribuir de maneira mais eficiente ao longo da composição os esforços de tração e de frenagem, permitindo a operação com trens maiores e mais pesados com mais segurança.

Em um trem convencional, os esforços de tração e frenagem estão concentrados nas locomotivas posicionadas na frente do trem. Já em um trem com tração distribuída, os esforços de tração e frenagem dinâmica são distribuídos ao longo da composição. A Figura 3 ilustra a configuração de um trem convencional com tração na cabeça da composição.



Figura 3 - Configuração do trem com tração na cabeça e os esforços nos engates (Fonte: MRS, 2017)

A **Figura 4** ilustra uma composição com tração distribuída, utilizando o sistema “Locotrol” (que permite o uso da tração distribuída), com uma locomotiva na cabeça puxando e outra na cauda empurrando.

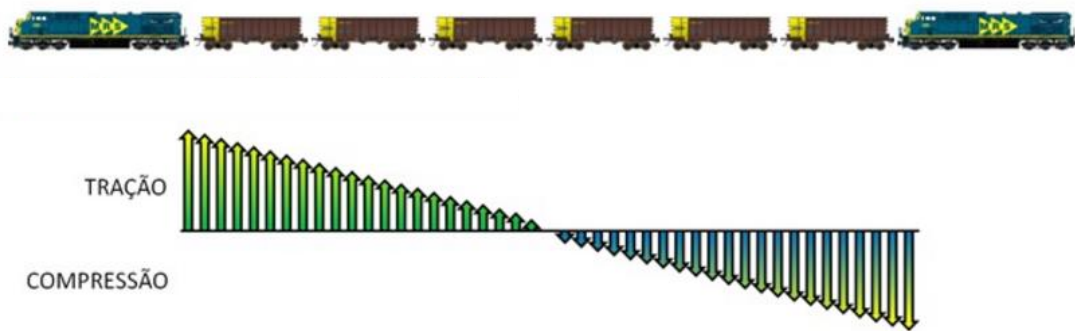


Figura 4 - Configuração do trem com tração distribuída e os esforços nos engates (Fonte: MRS, 2017)

As **Figura 3** e **Figura 4** são teóricas, mas mostram a grande vantagem da tração distribuída: redução do esforço trator nos engates, tornando possível o dimensionamento de trens maiores sem o perigo da quebra dos engates. Existem outros ganhos operacionais, sendo os principais: aumento da capacidade de tração, melhor aderência, menor consumo de combustível, menor risco de descarrilamentos, menor desgaste de componentes, tempo de recobrimento menor (devido à distância mais curta de frenagem) e redução dos custos operacionais (MAGALHÃES, 2000; GE, 2016). É importante destacar que a localização das locomotivas na composição tem relação direta no dimensionamento da frota de material rodante.

A quantidade e os tipos de vagões da composição dependem de diversos fatores, sendo os principais a carga a ser transportada, os sistemas de carregamento e descarga dos terminais, tamanho dos pátios de cruzamento e modelo de operação. A **Figura 5** é um exemplo de trem-tipo de minério de ferro, onde a descarga é realizada com virador de vagões. A composição tem 200 vagões do tipo GDT, dividido em 2 blocos de 100 vagões cada um, com 2 locomotivas de 4.400 HP (SD70 da Progress Rail ou AC44i da GE) puxando cada bloco.

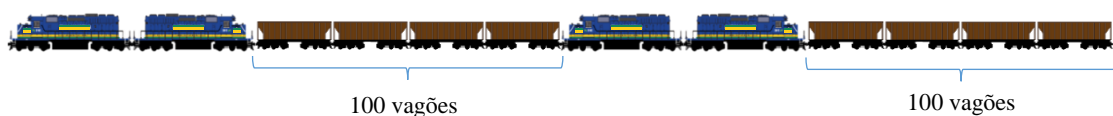


Figura 5 - Exemplo de um trem-tipo de minério de ferro (Fonte: Elaborado pelo autor)

2.4.2 Dimensionamento e operação do trem tipo

Diversos trabalhos sobre dimensionamento de frotas de vagões consideram apenas a movimentação dos mesmos e não o trem tipo como um todo. Portanto, não consideram em seus artigos a definição do trem tipo (BEAUJON e TURNQUIST, 1991; BOJOVIC, 2000; YAGHINI e KHANDAGHABADI, 2012; MILENKOVIC e BOJOVIC, 2013). Outros autores tratam o trem tipo como um dado de entrada, já que as ferrovias analisadas em seus trabalhos se encontram em operação (FIORONI, 2008; MEIRELES, 2010; CREMONESE, 2014).

Dimensionar o trem tipo é uma atividade essencial dentro das ferrovias e cada operadora possui um método interno desenvolvido ao longo de anos de operação. A Estrada de Ferro Carajás, por exemplo, atualmente possui um dos maiores trens operacionais do mundo, está em fase de estudos para aumentar ainda mais sua composição. O trem em operação nesta ferrovia pela VALE é composto por 3 blocos com 1 locomotiva e 110 vagões cada, ou seja, o trem tem 3 locomotivas e 330 vagões (VALE, 2017).

Os métodos de cada operadora ferroviária são distintos, porém, devem obedecer algumas premissas mínimas de segurança, independente da ferrovia. Entre elas, destacam-se:

1. O trem deve ser capaz de vencer as resistências normais e acidentais;
2. As forças de tração e compressão nos engates devem estar dentro dos limites especificados pelos fabricantes;
3. Os choques de tração e compressão devem estar dentro dos limites especificados pelos fabricantes;
4. As locomotivas não devem operar de maneira contínua abaixo da velocidade mínima contínua especificada pelos fabricantes;
5. O valor máximo de L/V deve estar abaixo dos limites de segurança;
6. O tamanho total da composição deve ser menor que o tamanho útil dos pátios de cruzamento ou os trens maiores devem ter prioridade nos cruzamentos.

Os trabalhos referentes à definição do trem tipo podem ser divididos em 3 grupos. Um grupo estuda a resistência ao avanço. O segundo grupo de trabalho está focado nas forças longitudinais do trem e nos engates. O objetivo do último grupo é verificar as velocidades e os tempos dos trens na malha, ou seja, para um determinado trem tipo, quais o perfil velocidade-espaço.

i. Resistência ao avanço

Conforme mencionado, os trens podem ter diferentes relações de HPPT e cabe à ferrovia decidir qual será a relação. As grandes operadoras no Brasil (VALE, MRS e RUMO) visam maximizar o uso da potência das locomotivas, ou seja, criar o maior trem possível que consiga superar as resistências da composição (baixa relação de HPPT). Por não possuírem potência “sobrando”, os trens têm aceleração mais lenta. Já as ferrovias norte-americanas, devido à diversos fatores, tais como culturais e econômicos, prezam a velocidade. Porém, independentemente do método adotado, a formação do trem é baseada no *transit time* e ciclos operacionais.

A relação de HPPT e a quantidade de vagões influenciam diretamente na capacidade de transporte da ferrovia, uma vez que a frequência e a velocidade dos trens são diferentes para cada configuração. Novaes conduziu, em 1986, um experimento com o auxílio da simulação e conceitos de teoria das filas para determinar qual configuração de trem maximiza a capacidade de transporte em uma ferrovia de carga de linha singela. Para o estudo, utilizou o critério do aproveitamento máximo da potência das locomotivas. Seu estudo mostrou que a maximização da produção se dá para a maior configuração de trem suportada pela ferrovia (NOVAES APUD MAGALHÃES, 2000).

As operadoras ferroviárias possuem seus próprios métodos para dimensionamento do trem tipo. No Brasil, as principais operadoras formavam os trens tipo baseados na simulação estática, onde determinava-se a quantidade de locomotivas necessárias para tracionar um conjunto de vagões no pior trecho da via, ou seja, o trecho com maior resistência devido à curvas e/ou rampas, conforme o trabalho apresentado por Gonçalves et al (2012), procedimento este que consistia em avaliar o desempenho de cenários previamente estabelecidos. Os autores dimensionaram um trem tipo para o transporte de grãos na FCA que fosse capaz de vencer o pior trecho da ferrovia, aplicando o método desenvolvido por Brina (1992), que consiste em determinar a resistência total ao avanço, sendo composta por:

- ✓ Resistências normais: é a resistência devido ao peso da composição;
- ✓ Resistências acidentais: é a resistência devido à curvas e rampas.

O valor da resistência total, que depende da quantidade de vagões, deve ser menor que o esforço trator útil da locomotiva.

ii. Resistência normal de locomotivas e vagões dada em kgf/tf

- ✓ Locomotivas

$$R_n = 0,65 + \frac{13,16}{p} + 0,00938 * v + \frac{0,0046 * v^2 * S}{n * p} \quad (7)$$

✓ Vagões

$$R_n = 0,65 + \frac{13,15}{p} + 0,01405 * v + \frac{0,000945 * v^2 * S}{n * p} \quad (8)$$

Sendo:

R_n : coeficiente (ou taxa) da resistência normal (kgf/tf);

p : peso por eixo (t);

v : velocidade mínima crítica da locomotiva (km/h);

S : área frontal (m²);

n : número de eixos.

iii. Resistências acidentais de locomotivas e vagões em kgf/tf

▪ Resistência devido à curva dada em kgf/tf

✓ Locomotivas

$$R_c = 0,2 + (B + b + 3,8) * \frac{100}{R} \quad (9)$$

✓ Vagões

$$R_c = \frac{500 * b}{R} \quad (10)$$

Sendo:

R_c : coeficiente (ou taxa) da resistência devido à curva (kgf/tf);

b : bitola (m);

B : base rígida da locomotiva (m);

R : raio da curva (m).

- **Resistência devido à rampa para locomotivas e vagões dada em kgf/tf**

$$R_i = 10 * i \quad (11)$$

Sendo:

R_i : coeficiente (ou taxa) da resistência devido à rampa (kgf/tf);

i : inclinação da rampa (%).

iv. **Resistência total**

A resistência total é dada pelo produto dos coeficientes com a quantidade de cada ativo, conforme a fórmula a seguir:

$$R_T = (R_n^{loco} + R_c^{loco} + R_i) * N_{loco} P_{loco} + (R_n^{vagão} + R_c^{vagão} + R_i) * N_{vagão} P_{vagão} \quad (12)$$

Sendo:

R_T : Resistência total da composição (kgf);

N_{loco} : Quantidade de locomotivas;

P_{loco} : Peso da locomotiva (tf);

$N_{vagão}$: Quantidade de vagões;

$P_{vagão}$: Peso bruto do vagão (tf).

v. **Força de tração da locomotiva**

A força de tração útil da locomotiva depende do modelo adotado e do fator de rendimento na transmissão. Segundo Roza (2000), o fator de rendimento varia entre 80% e 87%. Portanto, a potência útil pode ser dada por:

$$F_{tração} = \frac{Pot_{motor} * \eta * 274}{v} \quad (13)$$

Sendo:

$F_{tração}$: Força de tração útil da locomotiva (kgf);

Pot_{motor} : Potência nominal do motor (hp);

η : Fator de rendimento na transmissão.

É importante ressaltar que na partida, a força de tração máxima depende do peso da locomotiva e do coeficiente de aderência entre a roda e o trilho, sendo a força máxima dada pela fórmula a seguir:

$$F_{tração}^{partida} = P_{loco} * \mu \quad (14)$$

Sendo:

P_{loco} : Peso da locomotiva (kgf);

μ : Coeficiente de aderência.

vi. Quantidade de vagões

$$n_{vagões} = \frac{F_{tração} - R_{locos}^{total}}{R_{vagões}^{total}} \quad (15)$$

O método, porém, não considera algumas características inerentes à operação, como a inércia do trem, por exemplo, que pode auxiliar em um trecho de rampa, por isso não é robusto suficiente. Além disso, o método não calcula as forças de choque e tração/compressão que atuam na composição em cada instante, ou seja, o trem tipo e/ou a operação idealizada poderia ser insegura, gerando descarrilamentos, quebras de engates, entre outros problemas.

vii. Forças longitudinais e nos engates

Dentro do contexto da segurança operacional, principalmente de como a energia gerada atua na composição e nos engates, Oyan (1998) desenvolveu um trabalho em que apresentou um estudo simplificado das forças dinâmicas que atuam no trem para evitar possíveis condições que levem à falha dos engates, gerando situações de perigo, e para entender a deformação do “fusível mecânico” na colisão do trem. Destaca-se que o “fusível mecânico” é um componente que absorve a energia gerada no impacto, sofrendo uma deformação plástica, porém evitando maiores danos à estrutura dos vagões e locomotivas. Ma et al (2012) realizaram um estudo onde os engates foram submetidos a grandes forças de compressão, para verificar a estabilidade do trem, e a influência do uso do freio dinâmico e pneumático.

O sistema de absorção de energia dos engates foi projetado para suportar acelerações e frenagens em condições normais sem gerar riscos ou falhas. O sistema de “fusível mecânico” tem como função distribuir a energia absorvida de maneira a melhorar a segurança nos casos de colisões em velocidades mais altas. Isso ajuda a reduzir a severidade dos danos em velocidades mais altas, já que no sacrifício do fusível mecânico, a estrutura do vagão fica protegida. Porém, mesmo o fusível tem um limite de energia que consegue absorver antes de transmitir à estrutura do vagão e causar danos (OYAN, 1998).

Um modelo matemático foi proposto para simular o comportamento não linear da absorção da energia nos engates e pelo “fusível mecânico” usando computação. O comportamento depende da operação do trem, já que choques de tração e compressão geram energia que é transmitida ao vagão e podem causar acidentes. Um exemplo é quando existe um gradiente de velocidade gerado pela operação do trem, ou seja, um vagão mais rápido que os seus vizinhos, que “empurra” o vagão à frente e, no choque, acaba levantando-o, gerando um risco de descarrilamento. Seu estudo foi aplicado ao trem EMU (Electric Multiple Units), na China (OYAN, 1998). Ma et al (2012) mostraram que a compressão nos engates pode gerar rotação dos mesmos e criar forças laterais, jogando os vagões contra os trilhos, gerando riscos e possíveis acidentes.

A modelagem permite avaliar como a energia será dissipada e/ou transmitida entre os vagões. É muito importante avaliar esse comportamento, principalmente na criação de uma operação segura e eficiente. Portanto, ao definir o trem tipo, é preciso analisar se sua operação é realmente segura e se as forças que atuam na composição são compatíveis com as especificações dos fabricantes.

viii. Velocidade e tempo de trânsito

Outro ponto importante na definição do trem tipo é que os perfis de velocidade sejam encontrados, dada as características do trem e da via, principalmente em ferrovias em fase de projeto ou construção. Powell e Palacín (2014) desenvolveram um trabalho cujo objetivo era criar um método para criar curvas de velocidade-tempo a partir dos parâmetros da via capaz de replicar as variações estocásticas no comportamento operacional do trem para uma dada via e trem-tipo.

O modelo recria as quatro fases existentes na operação, que são: aceleração, cruzeiro, “corrida livre” e frenagem. O modelo foi testado com dados reais obtidos dos trens do metrô de Newcastle e o autor concluiu que o modelo uma boa estimativa para os perfis de

velocidade de trens, dentro dos limites de erro tipicamente encontrados. O perfil de velocidade-tempo dos trens é fundamental para as simulações de malha, que analisam as interações que ocorrem entre os trens e eventos externos que interferem na operação, e dependem das características físicas dos trens e infraestrutura, da sinalização da via, e do comportamento do maquinista (GRANT, 1986; POWELL E PALACÍN, 2014).

ix. Simulação de marcha

O surgimento de modelos de simulação para estudar a dinâmica dos trens aconteceu na década de 60, visando atender a uma demanda das ferrovias, que necessitavam de trens cada vez maiores e mais rápidos (BARBOSA, 1993). Com o avanço tecnológico e a necessidade de maior confiabilidade operacional, foram criadas ferramentas para auxiliar na definição do trem tipo. Uma delas é o simulador de trens, que traz um único trem na malha ferroviária percorrendo toda a rota de exportação e importação. Esse tipo de simulação é conhecida como “simulação de marcha”.

Um dos principais pesquisadores brasileiro, Barbosa (1993) desenvolveu um trabalho onde aborda esses aspectos para estudar a dinâmica longitudinal do trem. Seu modelo considera todos os aspectos inerentes à operação de uma composição, como frenagem, aceleração, os aparelhos de choque e tração, entre outros. Majola (2000) desenvolveu um simulador capaz de avaliar as forças longitudinais da composição e como elas afetam a operação. O principal objetivo é avaliar como a resultante das forças influenciam a força lateral nos vagões, que pode causar descarrilamento. O trabalho é muito importante no ponto de vista da segurança operacional.

Isso mostra como a simulação de marcha é uma ferramenta útil no dimensionamento dos trens tipo, já que a partir dela é possível visualizar todas as forças dinâmicas longitudinais que atuam na composição a cada instante. A intensidade das forças e o ponto de aplicação (em qual engate, por exemplo), que auxiliam na decisão do dimensionamento do trem tipo, sendo possível identificar se o trem está operando de maneira segura e otimizada. Como *output*, é possível ter o tempo de trânsito (perfil de velocidade) e consumo de combustível. Esses tipos de simulações, em ferrovias existentes, também são utilizadas para definir uma operação padrão, visando minimizar o consumo de combustível, além de gerar um tempo de ciclo mais confiável.

Existem no mercado diversos *softwares* desenvolvidos especificamente para esse fim. Dentre eles, destacam o TDS 6000, desenvolvido pela NYAB (*New York Air Brake*),

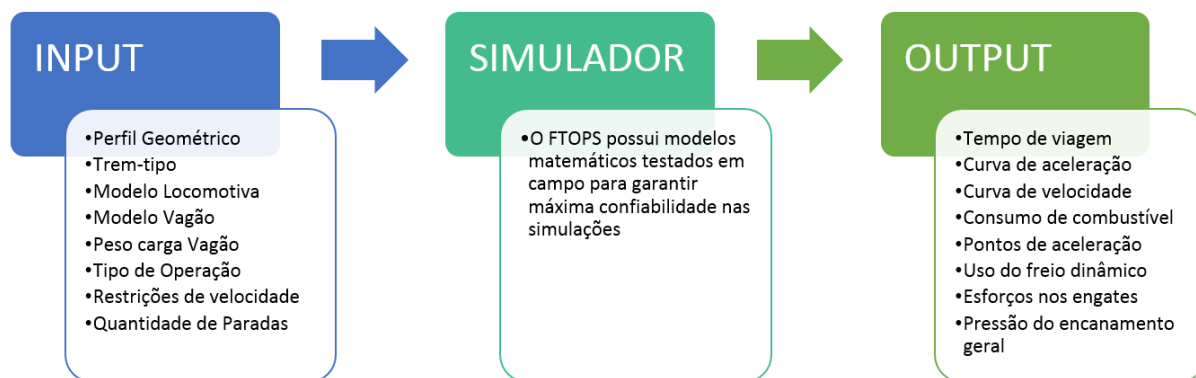


Figura 7 - Fluxograma de informações do FTOPS

2.5 Efeitos aleatórios que impactam na operação ferroviária

A ferrovia, assim como qualquer sistema real, pode sofrer com efeitos aleatórios que impactam na sua operação, levando a um aumento no tempo de ciclo dos trens e, conseqüentemente, levando a um maior quantitativo necessário de material rodante.

Existe, nas principais ferrovias, um indicador chamado THP (Trem Hora Parado), vinculado principalmente à circulação dos trens, responsável por representar quanto tempo um trem, que está disponível, fica parado devido a questões programadas (paradas obrigatórias) ou efeitos aleatórios (paradas não obrigatórias). O aumento desse indicador está diretamente relacionado com o aumento do ciclo dos trens (DIAS, 2008). Esses efeitos aleatórios, caracterizado pelos autores como conflitos, geram um aumento na utilização da capacidade da via e atrasos que serão propagados (GOVERDE e HANSEN, 2013).

É essencial, então, que essas paradas obrigatórias e aleatórias sejam incorporadas ao modelo, para uma melhor representação da realidade do sistema. Deve-se, portanto, caracterizar quais são os efeitos e como serão modelados. Em seu trabalho, Dias (2008) relacionou todos os eventos que são computados como THP na ferrovia operada pela MRS, uma das maiores operadoras ferroviárias do Brasil. As informações extraídas do levantamento estão apresentadas nas **Tabela 4** e **Tabela 5**, que apresentam os dados referentes as atividades padrão e não padrão, respectivamente.

Tabela 4 - Lista de atividades padrão - paradas obrigatórias

CÓDIGO	DESCRIÇÃO ATIVIDADES	TIPO	CLASSIFICAÇÃO	VALOR (h)	ABSOLUTO	ACUMULADO
101	CRUZAR	Padrão	1	12.422,02	30%	30%
603	AGUARDAR - AUXILIO DE TRACAO	Padrão	2	8.063,45	19%	49%
125	AGUARDAR ACESSO PARA DESCIDA / SUBIDA CREMALHEIRA	Padrão	3	4.490,42	11%	60%
604	ANEXAR AUXÍLIO	Padrão	4	3.697,55	9%	69%
109	ABASTECER	Padrão	5	3.052,04	7%	76%
201	EQUIPAR / TROCAR EQUIPAGEM	Padrão	6	2.493,17	6%	82%
110	REVISTAR LOCOMOTIVAS	Padrão	7	1.602,02	4%	86%
107	INSPECIONAR COMPOSIÇÃO	Padrão	8	1.327,62	3%	89%
113	RETIRAR LOCOMOTIVA	Padrão	9	1.298,64	3%	93%
120	AGUARDAR ENLACE LOCOTROL	Padrão	10	1.134,49	3%	95%
111	ANEXAR LOCOMOTIVA	Padrão	11	871,56	2%	97%
112	ANEXAR VAGAO	Padrão	12	555,23	1%	99%
106	PESAR COMPOSICAO	Padrão	13	474,30	1%	100%
137	AGUARDAR - ABASTECIMENTO ÓLEO LUBRIFICANTE OU ÁGUA	Padrão	14	34,99	0%	100%
108	LIBERAR TREM	Padrão	-	0,00	0%	100%
114	RETIRAR VAGAO	Padrão	-	0,00	0%	100%
122	ABASTECIMENTO DE AREIA	Padrão	-	0,00	0%	100%
123	ABASTECER - DIESEL	Padrão	-	0,00	0%	100%
124	INSPEÇÃO PROGRAMADA DE COMPOSIÇÃO DE TREM	Padrão	-	0,00	0%	100%
127	PROBLEMAS COM A CARGA NA ORIGEM	Padrão	-	0,00	0%	100%
129	AGUARDAR PAT FORA DE GRADE	Padrão	-	0,00	0%	100%
130	AGUARDAR EQUIPE SEGURANÇA PATRIMONIAL	Padrão	-	0,00	0%	100%
134	AGUARDAR - OCUPAÇÃO INDEVIDA NA LINHA FERROVIÁRIA	Padrão	-	0,00	0%	100%
135	AGUARDAR - MANUTENÇÃO DA EE COM TEMPO EXCEDIDO	Padrão	-	0,00	0%	100%
136	AGUARDAR - PANE SECA	Padrão	-	0,00	0%	100%
138	AGUARDAR - MANUTENÇÃO CONCEDIDA PARA EE	Padrão	-	0,00	0%	100%
139	AGUARDAR - APLICAÇÃO DE EMERGÊNCIA PELO MAQUINISTA	Padrão	-	0,00	0%	100%
140	AGUARDAR - PAT MANUTENÇÃO DE VAGÕES MARCADOS	Padrão	-	0,00	0%	100%
141	AGUARDAR - FALTA DE AREIA	Padrão	-	0,00	0%	100%
143	AGUARDAR PARA ABASTECER AREIA	Padrão	-	0,00	0%	100%
148	TREM ATRASADO AGUARDA PÁTIO	Padrão	-	0,00	0%	100%
149	AGUARDAR PROBLEMA EM EOT	Padrão	-	0,00	0%	100%
304	AGUARDAR - FALHA DO OMNISAT	Padrão	-	0,00	0%	100%
305	AGUARDAR - HOT- BOX / HOT - WHEEL	Padrão	-	0,00	0%	100%
307	DEFEITO SINALIZAÇÃO EM OUTRA FERROVIA	Padrão	-	0,00	0%	100%
404	DIMINUIR VELOCIDADE - RESTRIÇÃO DE VELOCIDADE DA VIA	Padrão	-	0,00	0%	100%
504	AGUARDAR - ACIDENTE COM EMPREGADO	Padrão	-	0,00	0%	100%

Fonte: Dias (2008)

Tabela 5 - Lista de atividades não padrão - paradas aleatórias

CÓDIGO	DESCRIÇÃO ATIVIDADES	CLASSIFICAÇÃO	VALOR (h)	ABSOLUTO	ACUMULADO
105	AGUARDAR - AGUARDANDO CLIENTE	1	19.549,55	28%	28%
104	AGUARDAR - PÁTIO CONGESTIONADO - MRS	2	7.405,17	11%	39%
133	AGUARDAR CIRCULAÇÃO TREM A FRENTE	3	5.734,34	8%	47%
211	CIRCULAÇÃO NO PÁTIO	4	4.990,61	7%	54%
202	AGUARDAR - FALTA DE EQUIPAGEM	5	2.834,82	4%	58%
501	AGUARDAR - ACIDENTE COM TRENS	6	2.834,27	4%	62%
203	AGUARDAR - HORARIO DE GRADE	7	2.428,11	3%	65%
0	PARADO A DISPOSIÇÃO DO PÁTIO	8	2.103,50	3%	68%
212	MANOBRA DE OUTRO TREM	9	1.819,81	3%	71%
601	AGUARDAR - DEFEITO DE LOCOMOTIVA	10	1.814,20	3%	74%
605	AGUARDAR - DEFEITO DE LOCO TREM À FRENTE	11	1.501,57	2%	76%
118	AGUARDAR - FAIXA DE OUTRA FERROVIA	12	1.418,40	2%	78%
0	PARADO A DISPOSIÇÃO DA CIRCULAÇÃO	13	1.376,29	2%	80%
208	AGUARDAR - LOTAÇÃO	14	1.317,38	2%	82%
102	DAR PASSAGEM	15	1.056,83	2%	83%
705	AGUARDAR - DEFEITO DE VAGÃO TREM À FRENTE	16	1.013,20	1%	85%
103	AGUARDAR - LICENÇA DE OUTRA FERROVIA	17	1.005,44	1%	86%
401	AGUARDAR - MANUTENÇÃO CONCEDIDA NA VIA	18	933,13	1%	87%
204	AGUARDAR - PRIORIDADE DE CIRCULAÇÃO - CCO	19	931,16	1%	89%
602	AGUARDAR - FALTA DE LOCOMOTIVA	20	930,71	1%	90%
199	OUTROS PROBLEMAS COM A EQUIPAGEM	21	920,80	1%	91%
301	AGUARDAR - FALHA SINALIZAÇÃO	22	795,89	1%	93%
116	CIRCULAR PARA TERMINAL / RETORNAR DO TERMINAL	23	750,60	1%	94%
701	AGUARDAR - DEFEITO DE VAGÃO	24	664,21	1%	95%
403	AGUARDAR - TRILHO QUEBRADO	25	534,08	1%	95%
119	AGUARDAR - LOCO DE FRENTE OU EQUIPAGEM COMPLETA	26	477,41	1%	96%
147	REPOSICIONAR VEICULOS NA COMPOSIÇÃO	27	395,72	1%	97%
126	MANOBRA PARA RETIRAR ATIVOS COM DEFEITO/MARCADOS	28	315,10	0%	97%
144	AGUARDAR PARA ABASTECER DIESEL	29	276,38	0%	97%
209	AGUARDAR - DOCUMENTAÇÃO / DESPACHO.	30	264,81	0%	98%
306	OBRAS NA SINALIZAÇÃO-TELECOMUNICAÇÃO	31	208,09	0%	98%
128	AGUARDAR REFORÇO DE TRAÇÃO	32	178,26	0%	98%
303	AGUARDAR - FALHA DE COMUNICAÇÃO DE RÁDIO	33	157,15	0%	99%
302	AGUARDAR - FALHA OU FALTA DE ENERGIA	34	156,02	0%	99%
503	AGUARDAR - ATROPELAMENTO	35	132,86	0%	99%
405	AGUARDAR - OUTROS PROBLEMAS DA VIA	36	119,10	0%	99%
200	EQUIPAGEM NÃO ATENDE RÁDIO	37	109,17	0%	99%
146	AGUARDAR PROBLEMAS NA MALHA DE OUTRA FERROVIA	38	101,42	0%	99%
145	AGUARDAR PARA PESAR COMPOSIÇÃO	39	88,89	0%	100%
131	VANDALISMO	40	70,44	0%	100%
142	AGUARDAR - PROBLEMAS COM TRENS DE OUTRAS FERROVIAS NA MRS	41	68,57	0%	100%
402	AGUARDAR - MANUTENÇÃO DA VIA COM TEMPO EXCEDIDO	42	65,05	0%	100%
132	AGUARDAR DETECTOR DE DESCARRILAMENTO ACIONADO	43	52,63	0%	100%
502	AGUARDAR - ABARROAMENTO EM PASSAGEM DE NÍVEL	44	48,30	0%	100%

Fonte: Dias (2008)

Ao todo, são 81 eventos registrados pela ferrovia, sendo que 19 eventos representam mais de 80% das horas paradas. Destes eventos, 6 referem-se às paradas obrigatórias e 13 às paradas aleatórias. Os eventos selecionados também foram relacionados por outros autores como causadores de THP (SCHLAKE et al, 2011; GOVERDE e HANSEN, 2013). Portanto, acredita-se que se houver uma concentração de esforços na representação desses eventos, que correspondem a maior quantidade de horas paradas, espera-se que a representação da operação ferroviária corrobore com as expectativas.

2.5.1 *Paradas obrigatórias*

Neste item será feita a breve descrição dos eventos conhecidos que implicam em parada obrigatória das composições, levando em consideração os tidos como críticos, por gerarem maior quantidade de THP, de acordo com os dados constantes na **Tabela 4**.

O principal evento é o cruzamento dos trens que consome 30% do THP padrão. Por esse motivo, é um tema bastante estudado pela academia visando otimizar o despacho dos trens que minimize o tempo de cruzamento do sistema (PETERSEN e TAYLOR, 1982; PETERSEN et al, 1986; HIGGINS et al, 1996; SAHIN, 1999).

O auxílio de tração ocorre quando o trem dimensionado não possui tração disponível suficiente para transpor todas as rampas, necessitando de tração extra, ou seja, de outra locomotiva (conhecida como *Helper*). Normalmente, as *helpers* são acopladas aos trens para auxiliarem em trechos curtos, onde são desacopladas e retornam ao pátio para serem utilizadas em outros trens. Tanto o acoplamento/desacoplamento, quanto a falta de locomotivas no pátio geram THP. Porém, a manobra ajuda a reduzir os custos operacionais e a frota de ativos, já que as composições não precisam viajar com uma locomotiva extra durante todo o ciclo, para utilizá-la apenas em um trecho curto.

A cremalheira, um sistema exclusivo do Brasil, é muito particular e utilizado em casos extremos, como acontece no sistema da MRS, para a transposição da Serra do Mar. Com rampas que chegam a 10% de inclinação, o sistema composto por esteira dentada auxilia na tração do trem (PEREIRA, 2008). A decisão sobre a utilização, ou não, do sistema deve ser tomada no momento do projeto da via permanente. Caso seja necessário, deve ser considerado no modelo operacional da ferrovia, pois contribui na geração de THP.

As paradas para abastecimento, troca de equipagem, revista de locomotivas e inspeção da composição são necessárias e programadas. Os pontos dessas paradas são estudados para garantir que não falte combustível no trem, minimizar os custos com horas extras dos maquinistas, dentre outros problemas.

2.5.2 *Paradas não obrigatórias ou aleatórias*

A operação dos trens, em sua grande maioria, consiste em receber a carga no terminal do cliente e descarrega-la no porto, para exportação. Isto deve-se ao fato do tipo de carga transportada pelos trens, em sua maioria *commodities*. As operadoras, portanto,

dependem dos sistemas de carga e descarga tanto dos clientes quanto dos terminais portuários e estes podem gerar filas, retendo os ativos e gerando THP. Conforme apresentado na **Tabela 5**, aguardar o cliente é o maior gerador de THP não programado.

Os pátios congestionados são a segunda principal causa de produção de THP. Os motivos são diversos, sendo os principais as manobras e/ou circulação em pátio, cruzamento, parada para abastecimento e troca de equipagem. Com o pátio a frente congestionado, o trem deve aguardar parar e aguardar sua licença antes de prosseguir. O mesmo pode ocorrer com a seção de bloqueio, pois antes de seguir viagem, ela deve estar desocupada. Caso tenha alguma circulação de trem a frente ocupando a seção de bloqueio, deve-se aguardar a liberação e licença. Esses três fatores são geradores de THP.

A equipagem é um item delicado dentro da operação da ferrovia, pois envolve toda uma estrutura. O ideal é sempre ter o maquinista no pátio na hora exata da realização da troca, porém nem sempre é possível. As ferrovias encontram-se, muitas vezes, afastadas das cidades, portanto a operadora ferroviária deve fornecer transporte para o deslocamento do maquinista. Além disso, a equipe de operação que realiza o planejamento dos maquinistas tem que atender aos horários de descanso entre jornadas dos maquinistas, o que gera uma restrição a mais. Portanto, não é incomum a falta de equipagem gerar THP.

Os acidentes de trens são eventos aleatórios que as ferrovias procuram evitar, seja por questões financeiras, seja por questões de normas. Porém, sabe-se que ocorrerão em algum momento e seus efeitos podem ser muito graves, levando até a paralisação da circulação de trens por horas e até dias, dependendo do acidente e localização. Portanto, é essencial que o modelo considere os acidentes em suas simulações.

O despacho dos trens pode ser realizado de duas maneiras. Uma delas é criando uma grade horário de trens, ou seja, define-se anteriormente o horário de partida de cada trem. A grade é diária e normalmente criada no dia anterior. Ela é baseada na operação que será realizada e visa minimizar o THP total, ou seja, otimizar a operação. A segunda maneira é “*run when is ready*”, nesse caso o trem parte assim que estiver pronto. Caso um trem esteja pronto para partir antes de seu horário programado, ele deve aguardar horário de grade, esse tempo parado é considerado gerador de THP. Além disso, a composição pode estar pronta, porém aguardando seu próximo passo (carregar, descarregar, manobrar, etc), ou seja, está parada à disposição do pátio, ou mesmo parada à disposição da operação (quando está pronta para partir), produzindo THP.

As manobras de trens são atividades que geram THP tanto para o trem que está manobrando quanto aos outros trens que estão aguardando a liberação da seção de bloqueio, por isso é uma atividade que vem sendo combatida, dando preferência aos trens unitários com carga para um único cliente, evitando perdas operacionais e aumento do ciclo. Defeito de locomotiva também gera THP à composição com a locomotiva em falha quanto aos demais trens que procuram ocupar a seção de bloqueio. Os defeitos são estudados pelas operadoras visando minimizar a quantidade de ocorrências, porém é um efeito aleatório que ocorre em todas as ferrovias.

A integração entre ferrovias é essencial para melhorar a eficiência do modal ferroviário. Visando essa eficiência, as operadoras ferroviárias dão o direito de passagem para outros trens em sua ferrovia, ou seja, outras operadoras podem comprar esse direito e ter uma faixa na ferrovia. Essas faixas são janelas de tempo onde os trens podem circular pela outra ferrovia (operado ou não pela ferrovia que vendeu o direito, dependendo da negociação). Um exemplo é a ferrovia Norte Sul, operada pela VLI que tem direito de passagem pela EFC para transportar os grãos até o porto do Itaquí. Os trens chegam ao pátio integrador e são assumidos por maquinistas da própria EFC que conduzem o trem da VLI. Por se tratar de janela de tempo, tem-se períodos onde o trem fica aguardando faixa da outra ferrovia no pátio integrador.

3 METODOLOGIA

O método adotado para o desenvolvimento do presente trabalho está dividido em cinco etapas complementares, conforme a **Figura 8**. As etapas serão detalhadas a seguir.

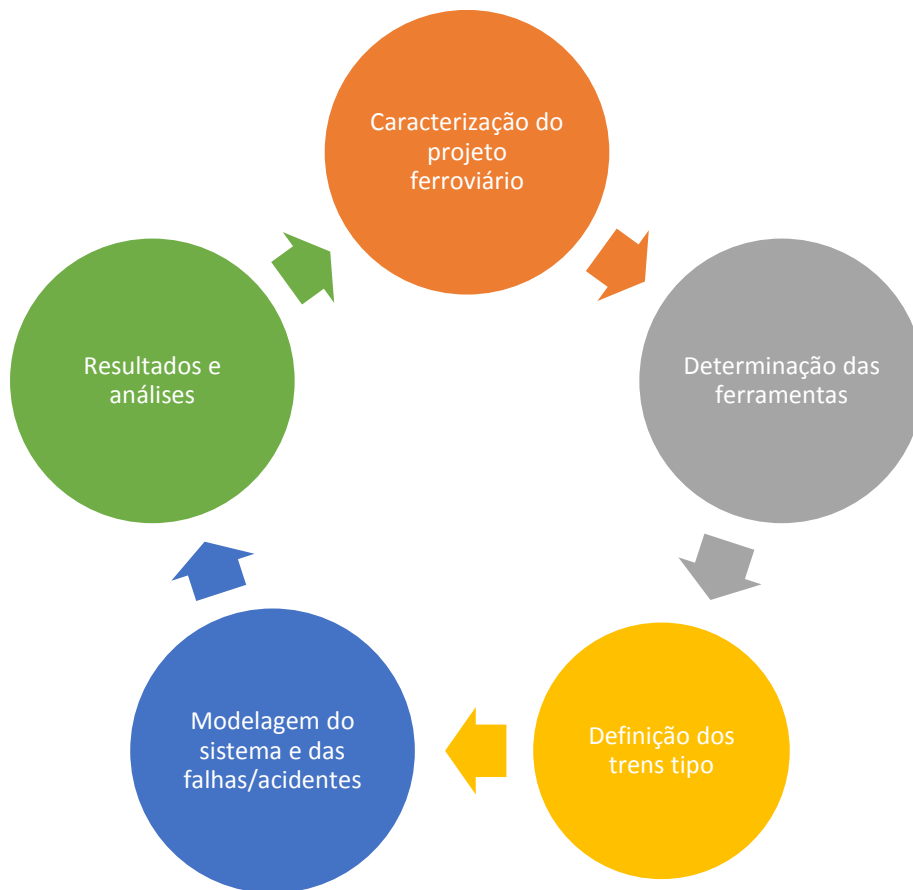


Figura 8 - Etapas do método

3.1 Caracterização do projeto ferroviário

A primeira etapa do trabalho consistirá em caracterizar o projeto ferroviário através de pesquisa, revisão bibliográfica, visitas às empresas e operadoras ferroviárias, conversas com profissionais da área e mesmo pelo *know-how* técnico sobre o assunto.

A caracterização do sistema é essencial à modelagem e faz parte do seu método. O objetivo é compreender como o sistema, neste caso o sistema ferroviário, deve se comportar no futuro. É importante determinar quais as características operacionais da ferrovia, o volume de carga a ser transportado, os pontos de carregamento e descarga, entre outras características.

Existem três componentes a serem caracterizadas no sistema ferroviário, são elas: via permanente, operação e as cargas. Além do que, o nível de maturação do projeto interfere bastante na modelagem, visto que um sistema em fase de projeto (onde diversos fatores ainda não são conhecidos) é muito diferente de um sistema que está em operação (e já possui dados históricos).

3.1.1 Via permanente

A via permanente é composta pelo subleito, lastro, dormente, placa de apoio, fixações e trilhos, conforme a **Figura 9**. O dimensionamento dos elementos citados é determinante na operação futura da ferrovia, visto que a infraestrutura limita a tonelagem por eixo (uma das principais características do dimensionamento dos materiais rodantes) que a via suporta.

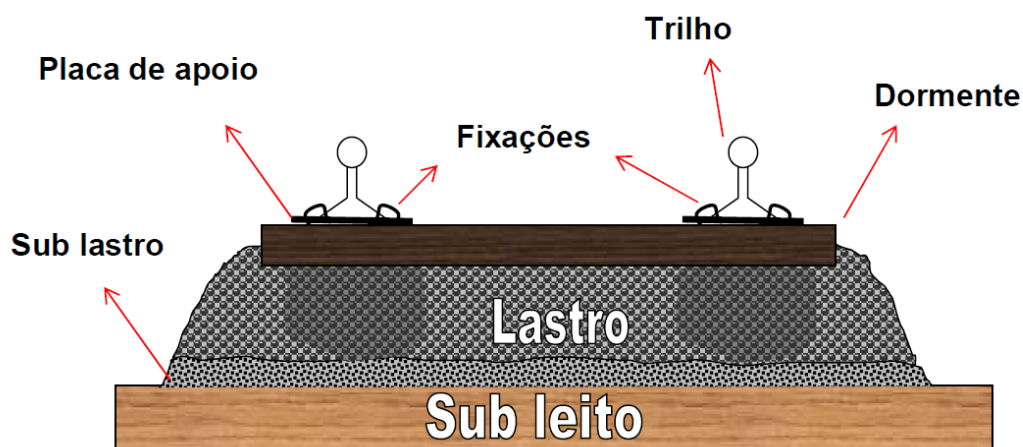


Figura 9 - Elementos da via permanente (Fonte: Porto, 2017)

Além do projeto de infraestrutura e superestrutura, deve-se estudar o perfil da ferrovia, composto pelas tangentes, curvas e rampas. Segundo as normas da VALEC, o raio mínimo de curva é 343,823 metros (depende da velocidade), a tangente mínima entre curvas deve ter 30 metros e a rampa máxima compensada no sentido exportação deve ser de 1.00% e no sentido importação de 1,45% (VALEC, 2017).

O sistema de sinalização da via também deve ser especificado, já que uma via sinalizada é mais segura e pode receber um fluxo mais denso de trens, alterando, assim, a modelagem do sistema ferroviário.

Portanto, a via permanente interfere diretamente na operação dos trens e, conseqüentemente, no modelo de simulação, sendo ela um dado de entrada indispensável no processo.

3.1.2 Modelo de operação

É necessário compreender o modo de operação da ferrovia, ou seja, como os trens serão carregados e descarregados nos terminais, a velocidade máxima que esses trens podem circular, quais modelos de locomotivas e vagões atendem à essa ferrovia, etc.

Os trens são carregados nos terminais e o modelo de carregamento interfere nos tempos de ciclos. O projeto do terminal também pode demandar manobras adicionais, o que eleva o tempo gasto no carregamento. O mesmo ocorre durante as descargas. O processo pelo qual a composição passa atua diretamente no ciclo. Um terminal de minério com virador de vagões pode diminuir bastante o tempo despendido nesse processo, o que torna a ferrovia mais eficiente.

O processo de carga e descarga é um dado de entrada na definição do tipo de vagão. Para descarregar pelo fundo é preciso que o vagão tenha aberturas inferiores (vagão tipo hopper), já para os viradores de vagão, é necessário um vagão tipo gôndola. Especificar um tipo de vagão para uma operação depende, além de outros fatores, dos modos de carga e descarga.

A operação ferroviária deve ser bem caracterizada, já que é um fator importante dentro do modelo de simulação. É preciso entender como são dimensionadas as seções de bloqueio, sistema de sinalização, operação dos AMV's, licenciamento, entre outros fatores.

3.1.3 Cargas

Conforme mencionado anteriormente, a principal atividade da ferrovia em análise é o transporte de cargas. Sendo assim, caracterizá-las é um passo natural no processo. O objetivo dessa etapa é entender o volume anual a ser transportado por cada tipo de carga e para cada origem e destino.

O tipo de carga é outro fator na especificação de um vagão. Uma carga de alta densidade, não requer uma caixa volumosa. Uma mercadoria que não pode molhar (para não agregar ou estragar, por exemplo), demanda um vagão fechado. O tipo de acabamento interno também é um fator determinado pelas características das cargas.

Portanto, saber qual tipo de carga, seu volume e origem/destino é um *input* essencial para modelar o sistema ferroviário e dimensionar o material rodante da ferrovia.

3.1.4 Estado do sistema

Um sistema inexistente, ainda em fase de projeto ou em concepção, traz consigo diversas incertezas. No caso de um sistema ferroviário em fase de projeto, não existem séries históricas de *transit time*, acidentes, manutenção, falhas, etc. Portanto, o modelo deve incluir essas incertezas na sua lógica.

Quando o sistema já opera, no caso de uma ferrovia como a E.F.V.M., os dados históricos podem ser utilizados como dados de entrada, além do que servem para o processo de validação do modelo.

3.2 Determinação das ferramentas

A ferrovia é um sistema complexo, onde existem diversos fatores que influenciam a operação dos trens em sua malha, afetando diretamente no tempo de ciclo dos ativos e, conseqüentemente, no tamanho da frota de material rodante necessária para transportar um determinado volume de carga anual.

Diante esta complexidade e dinamismo que a ferrovia apresenta, foi-se buscar soluções na literatura. Segundo Kiviat (1967), simulação é uma das poucas ferramentas disponíveis para estimar sistemas dinâmicos. McGinty (2001) diz que modelos de simulação são utilizados para nos trazer informações que vão nos permitir prever ou controlar o futuro do segmento da realidade que o modelo de simulação representa.

A simulação é uma ferramenta bastante utilizada no segmento ferroviário, seja para o projeto ou operação. Assim, é possível dizer que um bom modelo pode trazer inúmeras respostas sobre como o sistema deve se comportar no futuro, se sua implantação é viável ou não, tanto em termos econômicos quanto físicos, determinar gargalos operacionais e até otimizar uma operação existente.

Entre as ferramentas de simulações utilizadas pelas ferrovias, uma se destaca para a modelagem da malha ferroviária, sendo ela utilizada pelas maiores ferrovias do Brasil, a simulação a eventos discretos pelo método de Monte Carlo, utilizando o Arena (Versão 14.50), software de simulação de processos, desenvolvido pela Rockwell.

3.3 Definição do trem-tipo

Um modelo da malha da ferrovia deve ser construído para simular toda operação ferroviária e verificar como as interferências afetam os trens e seus tempos de ciclos. Para isso, é necessário antes definir um trem tipo para cada carga e fluxo de mercadoria. O trem dimensionado deve ser capaz de percorrer toda a ferrovia, vencendo a resistência ao avanço, de maneira segura e eficiente, ou seja, as locomotivas devem ter potência suficiente para tracionar a composição mesmo no pior trecho da ferrovia (de máxima resistência ao avanço).

Visando um processo eficiente e estruturado para o dimensionamento do trem-tipo, um método foi desenvolvido e proposto pelo autor. O método possui 5 etapas, sendo 4 delas cíclica, ou seja, as etapas devem ser refeitas até que o resultado seja um trem-tipo que opere de maneira segura e com a eficiência desejada no projeto. A **Figura 10** ilustra o método e suas etapas serão detalhadas a seguir.

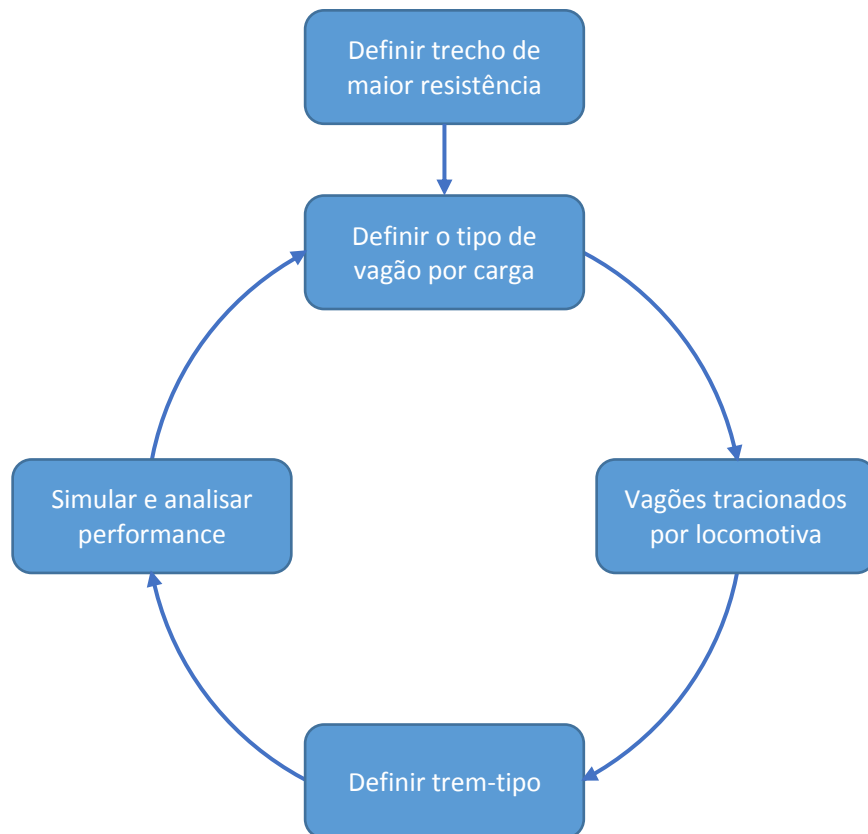


Figura 10 - Método proposto para dimensionamento do trem tipo (Fonte: Elaborado pelo autor)

3.3.1 Definir trecho de maior resistência

Conforme mencionado, o trem-tipo dimensionado deve ser capaz de percorrer toda a ferrovia, incluindo o trecho com maior resistência ao avanço. Por isso, a primeira etapa consiste em determinar qual é o trecho com maior resistência, utilizando as fórmulas apresentadas nos itens i, ii e iii. O trecho auxiliará na determinação de quantas locomotivas a composição precisa para tracionar os vagões.

3.3.2 Definir o tipo de vagão por carga

Existem no mercado diversos vagões que variam em forma, tamanho da caixa, truques e sistemas de descarga. Portanto, deve-se estudar qual o melhor vagão para a carga a ser transportada e sistema de carga e descarga dos terminais.

Cada vagão tem um valor de tara e de capacidade de transporte útil (TU) que somadas resultam na TB (tonelada bruta) do vagão, ou seja, $TB = TU + \text{tara}$. A resistência ao movimento está diretamente relacionada à TB do vagão, pois a carga que as locomotivas devem tracionar é a TB multiplicada pela quantidade de vagões no trem.

3.3.3 Quantidade de vagões tracionados por locomotiva

Determinado o tipo de vagão para a mercadoria e, conseqüentemente, a TB por vagão, pode-se definir a quantidade de vagões que uma dada locomotiva consegue tracionar no pior trecho (ou trecho de maior resistência) da ferrovia. Esse é um bom indicador para a formação do trem tipo que auxiliará no dimensionamento do mesmo. O objetivo é aproveitar o máximo da potência das locomotivas.

Visando determinar a quantidade de vagões que podem ser tracionados por locomotivas, pode-se utilizar das fórmulas de Davis e Stevenson, conforme descrito em Brina (1988) e apresentado na revisão, dentro do item 2.4.2.

3.3.4 Definir trem-tipo a ser simulado

O indicador encontrado (quantidade de vagões/locomotiva) pode ser utilizado como *input* inicial para o simulador de marcha. O trem-tipo a ser simulado pode seguir uma proporção do indicador, ou seja, se uma locomotiva é capaz de tracionar até 90 vagões, por exemplo, um trem-tipo inicial a ser estudado por ser com 2 locomotivas e 180 vagões.

Conforme mencionado na revisão, utilizando-se o critério do aproveitamento máximo da potência das locomotivas, a maximização da produção se dá para a maior configuração de trem suportada pela ferrovia (NOVAES APUD MAGALHÃES, 2000). Porém, o tamanho do trem-tipo deve estar compatível com a demanda de carga, pois se a demanda for pequena, torna-se inviável economicamente a formação de um trem grade.

Além disso, a configuração do trem deve levar em consideração o método de carregamento e descarga. A Vale Carajás (EFC) opera com trens compostos de 3 locomotivas puxando 330 vagões, sendo que cada locomotiva puxa um lote de 110 vagões. Na descarga, o virador de vagões foi projetado para puxar lotes dessa dimensão. Outro ponto de atenção são os pátios de cruzamento. Caso o trem tipo seja maior que algum pátio, ele não pode realizar o cruzamento no mesmo, gerando perda de capacidade na ferrovia. Esses fatores devem ser considerados no dimensionamento do trem tipo.

3.3.5 Simular e analisar a performance

Definido o trem-tipo a ser estudado, ele deve ser simulado por um simulador de marcha e os resultados analisados para verificar a performance da operação do trem em termos de eficiência energética e segurança.

Conforme apresentado por Ma et al (2012) e Oyan (1998), as forças longitudinais que atuam na composição e, principalmente nos engates, devem ser avaliadas. Um trem longo e pesado tende a ter maiores choques de tração e compressão, gerando risco de descarrilamento e acidentes.

Após a geração do cenário, simulação e análise, deve-se repetir o processo para encontrar a configuração do trem-tipo que melhor atenda a operação.

3.4 Modelagem do sistema e das falhas/acidentes

3.4.1 Modelagem do sistema

O modelo de simulação deve representar bem a realidade e seu sucesso depende de seguir uma metodologia bem estruturada, organizada e administrada. As etapas são iterativas, porém não precisam ser seguidas na ordem, já que algumas atividades podem ser realizadas simultaneamente e outras podem ser repetidas (MCGINTY, 2001). Portanto, um bom método se faz necessário.

Diversos métodos foram desenvolvidos, porém um dos mais conhecidos foi criado por Banks (1999), e está descrito na **Figura 11**. Meireles (2010) adotou esse método em seu trabalho.

Porém, para este projeto de modelagem, será adaptado o modelo proposto por Cremonese (2014), apresentado na **Figura 12**. Em seu trabalho, ele utilizou a simulação dinâmica para estudar a cadeia do minério de ferro como um todo, ou seja, a integração entre a mina, ferrovia e o porto. O objetivo principal de seu trabalho é mostrar que o estudo integrado traz ganhos para projetos complexos. A escolha do método foi baseada pelo grau de detalhamento apresentado e qualidade do projeto desenvolvido a partir desse método.

Desta forma, o método proposto para a criação do modelo de simulação de malha conta com 14 etapas, que serão abordadas na sequência.

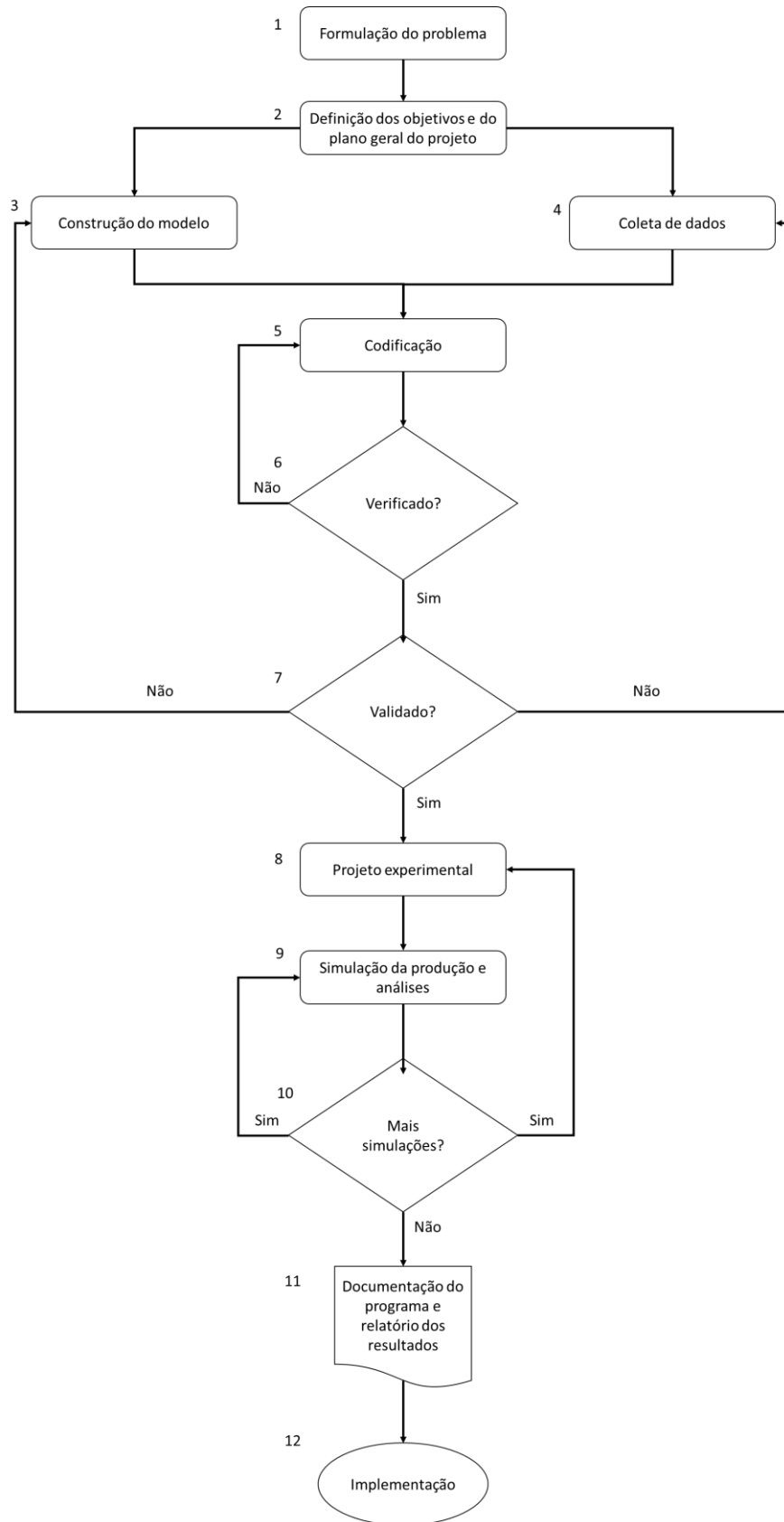


Figura 11 - Método desenvolvido por Banks (1999).

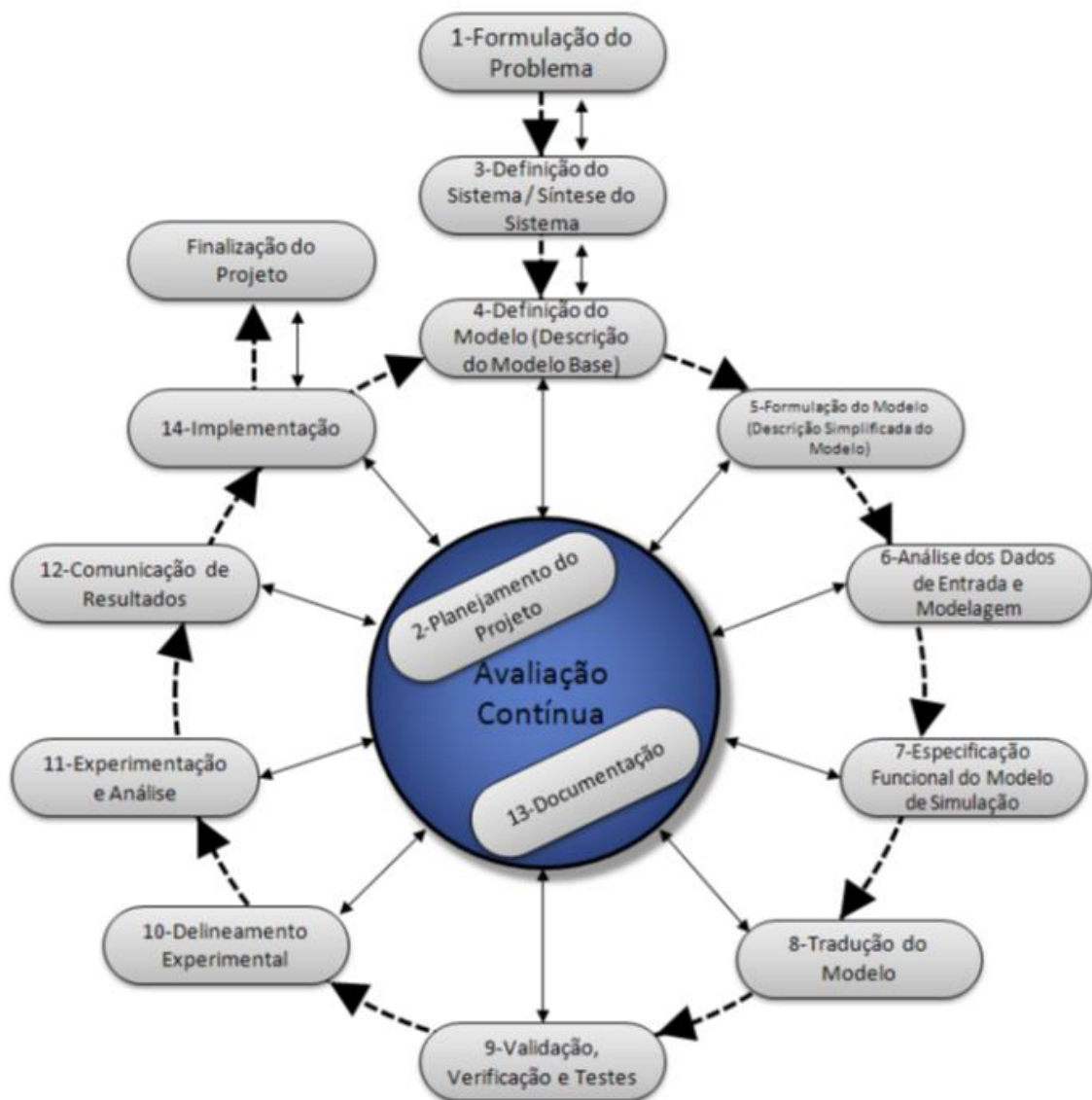


Figura 12 - Metodologia para construção de modelos de simulação (Fonte: Cremonese, 2014)

1) Formulação do problema

O primeiro passo é compreender o problema real e traduzi-lo em um problema formulado suficientemente bem definido para permitir seu estudo específico. Determinar o melhor método a ser empregado para a solução do problema.

2) Planejamento do projeto

O modelo deve atender a um escopo de estudo e seguir premissas, por isso é importante realizar o planejamento do projeto, para verificar se o modelo previsto vai atender às expectativas e responder, de maneira satisfatória, as questões de pesquisa.

3) Definição do sistema

Caracterizar o sistema a ser estudado e suas particularidades. Entender como ele se vincula com sistemas subsequentes, quais são suas variáveis e como ele será comparado ao sistema real ou a outros sistemas similares (quais os principais indicadores - *key performance indicators* - *KPI*).

4) Definição do modelo

Verificar quem são os agentes do modelo e seus atributos, identificar as variáveis que vão descrever as condições e o comportamento do sistema. Definir como cada parte do sistema (subsistemas) vão interagir com as outras ao longo do tempo.

5) Formulação do modelo

Definir o escopo do modelo, quais são as premissas a serem adotadas e as simplificações que podem ser feitas sem tornar o modelo trivial. Desenvolver um modelo conceitual que atenda aos objetivos sem torna-lo muito dispendioso para modelar ou difícil para operar.

6) Análise dos dados de entrada e modelagem

Os dados de entrada do modelo devem ser identificados, coletados e analisados com muita atenção, já que um dado errado pode distorcer todo o resultado. Após analisados, devem ser tratados para atender às necessidades do modelo.

7) Especificação funcional do modelo

Essa fase define o escopo e o propósito do modelo de maneira detalhada, bem como a lógica operacional do mesmo. Esta fase deve ser validada por todos os envolvidos antes de iniciar a construção do modelo.

8) Tradução do modelo

Esta etapa é modelagem (construção) do modelo em si, transformando o problema real em uma linguagem que o computador entenda e possa trabalhar.

9) Validação, verificação e teste

A verificação do modelo consiste em analisar se ele funciona da maneira que foi planejado, ou seja, se todos os subsistemas funcionam como deveriam em conjunto e é feita diversas vezes durante a construção do modelo. Os testes têm como finalidade verificar se cada subsistema está funcionando corretamente, independente dos subsistemas subsequentes.

A validação é a certificação que o modelo representa bem a realidade e pode ser utilizado para estudos de cenários.

10) Delineamento experimental

É determinar como serão realizados os experimentos para testar o modelo e obter as respostas desejadas.

11) Experimentação e análise

Nesta fase, deve-se gerar os resultados que auxiliem na determinação das respostas esperadas, ou seja, é gerar os *outputs* esperados na construção do modelo. Esses dados de saída devem ser analisados de maneira crítica.

12) Comunicação de resultados

Os resultados devem ser tratados e apresentados aos interessados de uma maneira que os auxiliem nas tomadas de decisão.

13) Documentação

Todas as principais etapas devem ser documentadas: escopo do estudo, modelagem, dados de entrada, dados de saída e os resultados obtidos.

14) Implementação

Uma vez simulado e com os resultados prontos, os tomadores de decisões podem determinar uma solução para ser implementada.

As etapas propostas no método de modelagem devem ser adaptadas para cada realidade de projeto e para cada escopo. Um mesmo sistema pode ter diferentes escopos, por exemplo, o modelo de uma ferrovia pode ser construído para se estudar sua capacidade, a melhor localização dos pátios de cruzamento, ou dimensionamento de frota, ou outros.

3.4.2 Acidentes ferroviários

As ferrovias são sistemas fechados, porém por muitas vezes tem interface com rodovias. E esse ponto é um dos mais vulneráveis na causa de acidentes ferroviários. Muitos dos estudos, portanto, focam nessa intersecção, conhecidas como passagens em nível (PN).

Diversos autores focam aspectos do perfil e percepção dos motoristas às sinalizações das PN's. Aberg (1990) estudou os motivos pelos quais passagens com

sinalização luminosa apenas geram dez vezes mais acidentes do que as com barreiras e sinalização luminosa. Lerner et al (1990) verificaram quais os parâmetros que são considerados nas decisões dos motoristas em uma passagem em nível. Mortimer (1991) analisou os efeitos visuais das rampas da rodovia na quantidade de acidentes em PN's.

Verifica-se que o grande foco na investigação e/ou estimação dos acidentes é na rodovia e/ou no comportamento dos motoristas. O trem, a operação ferroviária e o maquinista ficam em segundo plano ou não são estudados.

Mesmo quando os trabalhos objetivam analisar/estimar os acidentes ferroviários, eles focam apenas nas passagens em nível, onde há o encontro com a rodovia. Anandarao e Martland (1997) descrevem a aplicação de técnicas de análise de riscos de acidentes em PN's em uma ferrovia japonesa. Mostraram que os principais fatores que influenciam no risco são: o volume de tráfego ferroviário; volume do tráfego rodoviário; visibilidade da passagem da rodovia; rampa da rodovia; largura da passagem; e os tipos de dispositivos de segurança instalados. Já Oh et al (2005) criaram um modelo para prever acidentes em PN's e comparou com alguns modelos encontrados na literatura. Uma contribuição importante do estudo foi a conclusão de que, devido à natureza dos acidentes entre trem e veículo ser diferente à do veículo com veículo, os modelos desenvolvidos para rodovias não se aplicam às ferrovias.

Novamente nota-se que os modelos são desenvolvidos apenas para essas interfaces e não servem para estimar a quantidade de acidentes ou o risco de ocorrer acidentes de uma ferrovia como um todo, como acontece para rodovias. A falta de um modelo consagrado, que trata dos acidentes do ponto de vista da ferrovia, mostra uma lacuna e oportunidade de se criar um modelo para estimar a quantidade de acidentes em uma ferrovia em fase de projeto. Os *outputs* do modelo devem ser utilizados como dados de entrada do modelo de simulação operacional criado, para melhor imitar a operação de uma ferrovia e, assim, garantir melhores resultados.

3.5 Experimento

O dimensionamento da frota de material rodante deve ser suficiente para atender a demanda futura da ferrovia, mapeada pela Transnordestina. Para tanto, deve-se simular diferentes cenários e verificar se eles ofertam capacidade de transporte maior ou igual à demanda por transporte.

Entre as variáveis de entrada do modelo, destacam-se a quantidade de trens tipo por fluxo de transporte, a composição de cada trem tipo, os tempos entre pátios para cada fluxo de trem, a quantidade e os tempos de interdição dos acidentes, os tempos nos terminais de carga e descarga e a configuração da via, com a quantidade de pátios de cruzamento e localização dos mesmos.

Serão simulados diferentes cenários alterando-se algumas variáveis e mantendo-se outras, de acordo com os critérios a seguir, visando encontrar aqueles que atendem à demanda de carga de maneira segura e viável operacionalmente.

3.5.1 *Trens tipo*

A configuração dos trens tipo utilizadas nas simulações de malha foram definidas pela simulação de marcha e não será alterada nos cenários simulados, portanto o tempo de trânsito entre os pátios, com ou sem paradas, também deverá ser mantido igual para todos os cenários. Caso a capacidade de transporte da ferrovia seja menor que a demanda de carga, pode-se alterar os trens tipo, a partir de novas simulações de marcha, visando diminuir a quantidade de trens na via. A quantidade de trens tipo para cada fluxo de carga será alterada, visando gerar uma oferta de transporte igual ou superior à demanda de carga estudada.

3.5.2 *Terminais de carga e descarga*

Os terminais de carga e descarga estão fora do escopo da simulação, porém foram considerados como um atraso (“*delay*”), ou seja, quando o trem chega nesses pontos, ficam parados, como se estivessem realizando a carga ou descarga. Os tempos, para cada operação, carga e terminal, considerados foram determinados pela Transnordestina e dependem da quantidade de vagões, portanto caso haja necessidade de alteração do trem tipo, deve-se alterar o tempo nos terminais.

3.5.3 *Configuração da via*

Conforme mencionado anteriormente, o projeto conta com 42 pátios de cruzamento na primeira fase, que será utilizado como base nas simulações. Caso haja necessidade de maior capacidade da via, pode-se alterar esse quantitativo, olhando sempre a taxa de utilização dos trechos e ocupação dos pátios para encontrar os gargalos operacionais.

3.5.4 *Acidentes na ferrovia*

No caso dos acidentes, a quantidade e gravidade varia de acordo com o TKU a ser transportado e vai variar entre os cenários simulados.

4 RESULTADOS

Esse item apresenta os principais resultados obtidos com a aplicação do método apresentado. A coleta de dados do perfil de via e das cargas a serem transportadas, para a realização da caracterização do projeto, vieram diretamente da Transnordestina Logística, através de documentos e e-mails.

A coleta de dados para os *inputs* do modelo de simulação foi realizada através de documentos da empresa, no caso dos tempos nos terminais para carga, descarga, manobras e inspeções e dados enviados pela ANTT, para definição da distribuição dos acidentes ferroviários.

Por se tratarem de informações estratégicas da Transnordestina Logística, algumas informações não poderão ser divulgadas neste trabalho, assim como a lógica detalhada do modelo.

4.1 Caracterização do projeto ferroviário

Em 2006 iniciaram-se as obras da ferrovia Transnordestina, hoje a maior obra linear em execução no Brasil, com 1.753 km de extensão em linha principal. A Figura 13 ilustra a ferrovia, que nasce em Eliseu Martins, no Piauí e segue em direção aos portos do Pecém, no Ceará, e Suape, em Pernambuco (CSN, 2017).

A Internacional Heavy Haul Association (IHHA) define uma ferrovia como *heavy haul* aquela que atende ao menos dois dos três requisitos listados (IHHA, 2017):

- ✓ Operar regularmente ou contemplar a operação de trens unitários ou combinados com pelo menos 5.000 toneladas métricas;
- ✓ Contemplar o transporte de frete gerador de renda de pelo menos 20 milhões de toneladas brutas por ano por um trecho de, no mínimo, 150 km de extensão.
- ✓ Operar regularmente ou contemplar a operação de equipamentos com carga de eixo de 25 toneladas ou mais.

O projeto da Transnordestina é para uma ferrovia de *heavy haul*, pois atende aos três os requisitos. Por se tratar de uma ferrovia em fase de projeto é importante ressaltar que diversos fatores são desconhecidos (ex.: trem tipo) e não existem dados históricos (ex.: acidentes, falhas na via ou material rodante, tempos de ciclos). As principais cargas a serem transportadas são: minério de ferro, grãos e combustível.

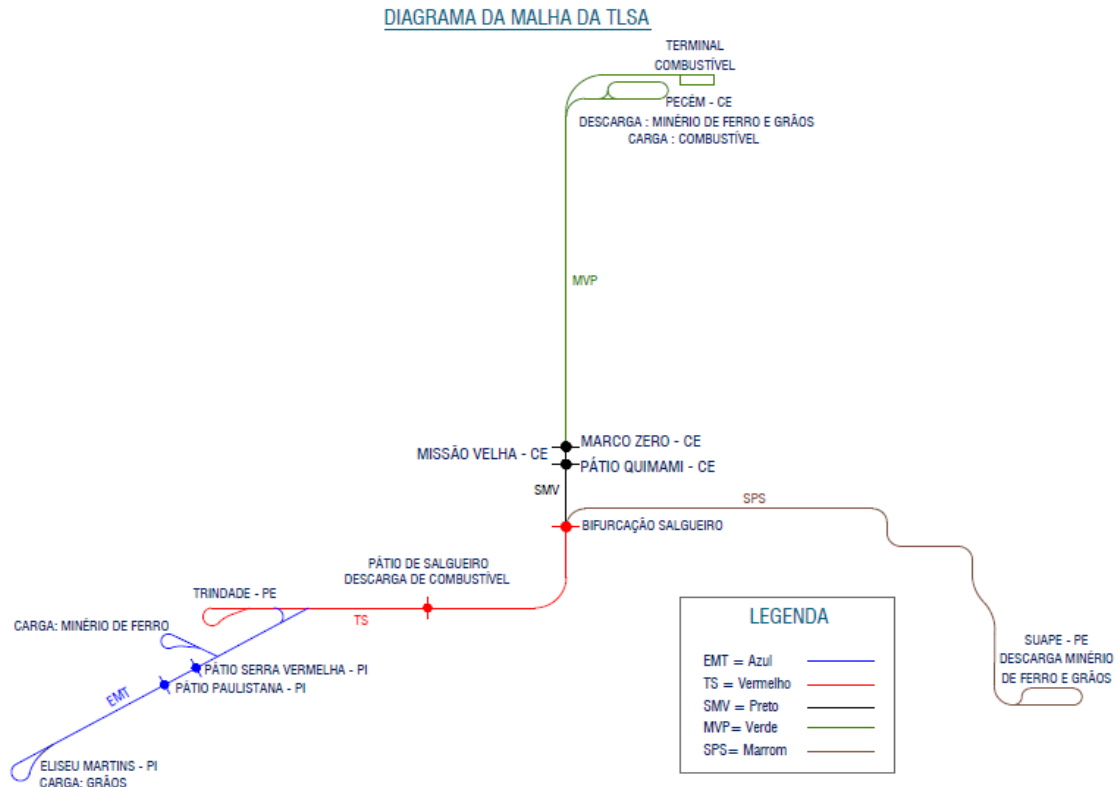


Figura 13 - Diagrama do projeto Transnordestina (Fonte: TLSA, 2017)

4.1.1 Via permanente

O projeto da ferrovia Transnordestina será de bitola larga (1.600 mm) e mista (1.600 mm e 1.000 mm), com trilhos UIC 60 e dormentes de concreto. As rampas máximas são de 1,00% sentido exportação e 1,50% no sentido importação e o raio de curva mínimo é de 400 metros, o que permite trens circularem com poucas restrições de velocidade, visto que a velocidade máxima de projeto (VMA) é de 80 km/h.

Aparelho de mudança de via (AMV), com chave de mola e abertura de 1:14 (com agulha otimizada de 9,144 m) na linha principal e 1:10 nas linhas secundárias. Essas características impactam na circulação do trem, pois as chaves de mola ficam posicionadas para o desvio, no caso dos trens sentido importação, e na velocidade máxima, devido à abertura.

4.1.2 Modelo de operação

O projeto prevê o licenciamento realizado via ACT, baseada em macros enviadas via satélite, e comunicação via rádio (sistemas semelhantes ao da FTL – Ferrovia Transnordestina Logística, ilustrado pela **Figura 14**). Os trens vão partir quando estiverem prontos (modelo “run when is ready”).

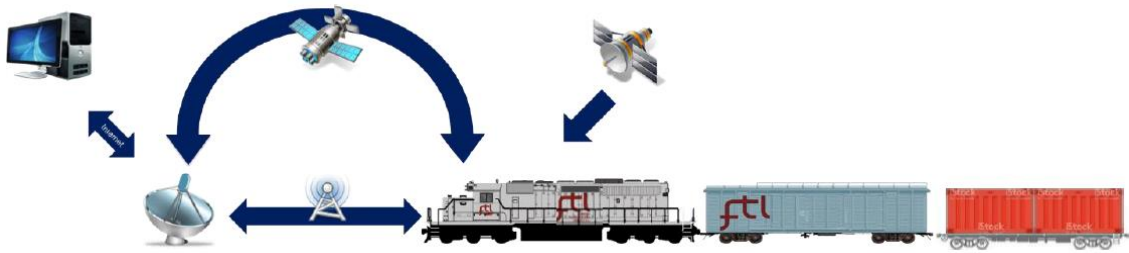


Figura 14 - Sistema de licenciamento e comunicação da FTL (Fonte: FTL, 2017)

As seções de bloqueio serão consideradas entre pátios e os próprios pátios, ou seja, quando o trem recebe a licença para seguir viagem, ele ocupa todo o trecho entre seu pátio de origem e o pátio de destino, conforme pode-se verificar na **Figura 15**.

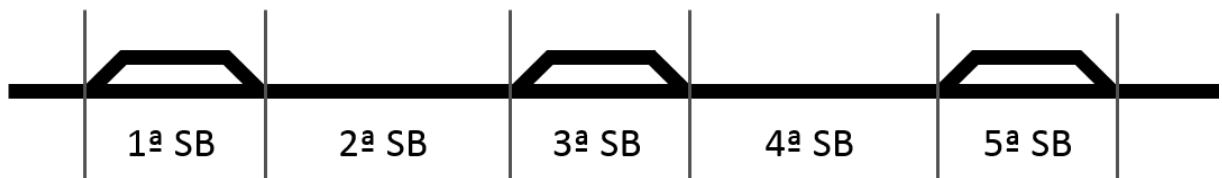


Figura 15 - Exemplo da composição das seções de bloqueio da TLSA (Fonte: Elaborado pelo autor)

O projeto prevê construir 42 pátios de cruzamento, em uma primeira fase, com uma distância média de 40 km entre cada par. Devido à grande distância entre pátios e, conseqüentemente, grandes seções de bloqueio, a capacidade da via pode ser reduzida.

4.1.3 Cargas

As principais cargas a serem transportadas pela ferrovia são: minério de ferro, grãos, combustível, gipsita, gesso agrícola, material de construção, produtos de siderurgia, contêiner e outros, sendo o minério de ferro o maior volume. A **Tabela 6** apresenta o volume de carga anual adaptado, assim como seus fluxos, a ser atendido pela ferrovia.

É possível verificar que os principais fluxos de cargas correspondem a aproximadamente 90% do volume (em TU) a ser transportado pela ferrovia, sendo eles os fluxos de minério de ferro, grãos (com o fertilizante retornando) e combustível.

Tabela 6 - Demanda adaptada e fluxo das cargas em 10³ toneladas

Grupo de produtos	Origem adaptada	Destino adaptado	2021	2030	2040	2050	2057
Minério de ferro	Serra Vermelha	Pecém	0	15.700.000	15.700.000	15.700.000	15.700.000
Minério de ferro	Serra Vermelha	Suape	0	500.000	500.000	500.000	500.000
Grãos	Eliseu Martins	Pecém	1.552.822	3.565.571	4.092.193	4.750.639	5.290.854
Grãos	Eliseu Martins	Suape	0	1.727.899	1.998.486	2.312.927	2.568.969
Fertilizantes	Pecém	Eliseu Martins	232.370	737.634	962.762	1.188.099	1.346.829
Combustíveis	Pecém	Salgueiro	146.918	360.602	418.493	485.679	539.028
Combustíveis	Salgueiro	Pecém	31.603	103.015	138.873	176.177	202.290
Combustíveis	Suape	Salgueiro	0	757.179	905.370	1.071.410	1.198.419
Gipsita/Gesso Agrícola	Pera Trindade	Amanari	56.248	153.112	174.662	196.517	212.138
Gipsita/Gesso Agrícola	Pera Trindade	Eliseu Martins	117.892	331.869	378.579	425.949	459.808
Gipsita/Gesso Agrícola	Pera Trindade	Pecém	184.266	445.178	509.872	575.486	622.492
Gipsita/Gesso Agrícola	Pera Trindade	Quixadá	32.390	88.360	100.796	113.409	122.423
Gipsita/Gesso Agrícola	Pera Trindade	Salgueiro	12.697	33.769	38.523	43.343	46.788
Gipsita/Gesso Agrícola	Pera Trindade	São Bento do Una	0	4.311	4.918	5.533	5.973
Gipsita/Gesso Agrícola	Pera Trindade	Suape	0	311.209	355.011	399.432	431.183
Construção	Amanari	Salgueiro	38.706	279.416	312.687	328.676	340.367
Construção	Quixadá	Amanari	0	508.612	591.072	621.299	643.374
Construção	Quixadá	Salgueiro	47.904	173.731	182.616	191.955	198.775
Construção	Quixadá	Suape	0	119.562	125.677	132.104	136.797
Construção	Suape	Amanari	0	107.740	113.250	119.041	123.271
Container	Eliseu Martins	Pecém	337	889	1.113	1.336	1.493
Container	Pecém	Eliseu Martins	10.646	36.217	42.971	49.582	54.157
Container	São Bento do Una	Suape	0	48.240	57.028	65.851	72.041
Container	Suape	São Bento do Una	0	15.545	13.076	10.218	7.951
Siderurgia	Eliseu Martins	Suape	0	83.616	104.690	101.906	99.948
Outros	Salgueiro	Amanari	92.921	224.127	225.728	231.435	238.223
Outros	Suape	Amanari	0	77.523	88.883	100.541	107.407
Total Geral			2.557.718	26.494.929	28.137.327	29.898.545	31.270.999

Fonte: Transnordestina (2016)

4.1.4 Terminais de carga e descarga

A ferrovia parte do interior do estado do Piauí e liga dois portos, o de Suape, em Pernambuco, e o de Pecém, no Ceará. Conforme verifica-se na **Tabela 6**, o minério de ferro é carregado na mina, próxima ao pátio de Serra Vermelha, e segue até os portos. Os grãos são carregados na pera de Eliseu Martins e também são descarregados nos portos. Já o combustível faz o caminho inverso, é carregado nos portos e descarregado em Salgueiro.

Cada operação (carga ou descarga) tem um tempo específico, que varia com os sistemas utilizados e manobras necessárias. Por exemplo, no caso do minério de ferro, ele será descarregado por viradores de vagão no Porto do Pecém, porém em Suape o sistema será descarga de fundo, mais barato, porém mais lento. Por isso é essencial para um bom resultado realizar um bom dimensionamento dos tempos, considerando todos os processos (manobras, inspeções e o carregamento/descarga).

Para o estudo de caso, foram determinados, pela Transnordestina Logística, os tempos apresentados na **Tabela 7**, já considerando todas as operações mencionadas.

Tabela 7 - Tempos para as operações de carga e descarga nos terminais para cada tipo de carga

Operação	Local	Tempo (min)
Carregamento de minério de ferro	Terminal da Mina	300
Carregamento de grãos	Pera de Eliseu Martins	330
Carregamento de Combustível	Porto do Pecém	1.620
Carregamento de Combustível	Porto de Suape	1.620
Descarga de minério de ferro	Porto do Pecém	300
Descarga de minério de ferro	Porto de Suape	360
Descarga de grãos	Porto do Pecém	330
Descarga de grãos	Porto de Suape	330
Descarga de combustível	Terminal de Salgueiro	1.620

Fonte: Transnordestina (2017)

4.1.5 Estado do sistema

A Transnordestina encontra-se em fase de projeto e construção. As obras, iniciadas em 2006, contam com 600 km de linhas concluídas até o ano de 2017. Devido ao planejamento da construção, que definiu um ponto central onde a ferrovia poderia crescer de maneira radial, ou seja, ter três frentes de trabalho simultâneas, os trechos concluídos não chegam a nenhum dos portos, impossibilitando o transporte de carga.

Por se tratar de uma ferrovia que ainda não opera, o trabalho ganha novas complexidades, pois não há dados históricos para determinar os tempos de ciclo, quantidade de acidentes, disponibilidade e utilização da disponibilidade da frota de vagões e locomotivas, entre outros indicadores, que deverão ser modelados e/ou adotados de outras ferrovias.

4.2 Determinação das ferramentas

Devido à complexidade do sistema ferroviário, foi escolhida a simulação como ferramenta tanto para testar, verificar compatibilidade e validar o trem tipo quanto para o dimensionamento da frota de material rodante.

O trabalho utilizará o FTOPS, por ter maior facilidade ao acesso desse simulador, já que a Transnordestina, empresa do caso de estudo, possui sua licença e permitiu sua utilização.

Para a modelagem da ferrovia, visando criar a simulação operacional (ou simulação de malha), também existem diversos softwares no mercado, tais como Arena, da

Rockwell, ProModel, desenvolvido pela ProModel, FlexSim, criado pela FlexSim e JaamSim, desenvolvido pela Ausenco.

Novamente qualquer uma das ferramentas mencionadas pode ser utilizada para criar o modelo. Para esse projeto, foi escolhido o Arena, simulador a eventos discretos mais utilizado no mundo (PARAGON, 2017).

4.3 Modelagem do sistema

O modelo da ferrovia foi desenvolvido em Arena e tem como objetivo simular uma ferrovia completa, com terminais de carregamento e descarga. Os terminais estão fora do escopo, portanto são considerados apenas como um processo onde o trem sofre um atraso (*delay*).

Todos os principais eventos mapeados, sejam eles aleatórios ou não, estão presentes. Portanto, o modelo consegue verificar como os mesmos interferem na operação e, conseqüentemente, no ciclo dos trens. A principal entidade do sistema são os trens, que vão percorrer a ferrovia obedecendo uma série de regras operacionais. As demais entidades são as geradoras de falhas e acidentes.

O sistema não conta com nenhum recurso, sendo que as filas são geradas através das variáveis de controle do sistema, ou seja, a entidade só pode prosseguir caso sejam satisfeitas algumas regras. Entre as variáveis de controle, destacam-se as matrizes caracterizando a ocupação dos trechos e pátios de cruzamento e as matrizes com os tempos entre pátios, tanto no caso com paradas quanto no caso sem paradas. O Apêndice B apresenta uma descrição mais detalhada do modelo e seus elementos.

A lógica do modelo conta com diferentes partes, todas trabalhando em comum para melhor simular o sistema ferroviário. A **Figura 16** apresenta a animação do modelo, com os pátios de cruzamento, terminais de carga e descarga, sinalização do estado da via permanente, quantidade de trens por fluxo de transporte, volume transportado e quantitativo de locomotivas e vagões em operação e manutenção. Além disso, é possível visualizar a movimentação dos trens e seus cruzamentos.

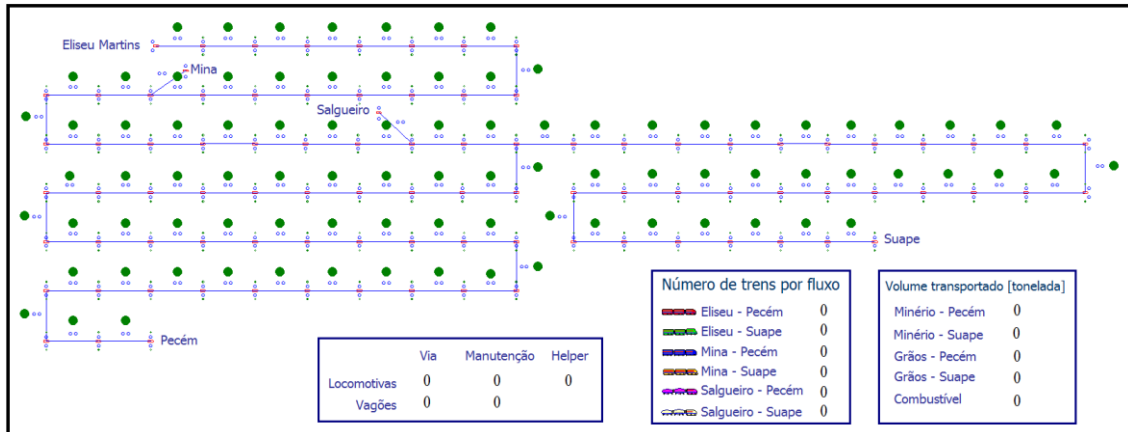


Figura 16 - Animação do modelo de simulação (Fonte: Elaborado pelo autor)

A **Figura 17** mostra parte da lógica de movimentação dos trens e dos pátios de cruzamento, tanto no sentido importação quanto no sentido exportação.

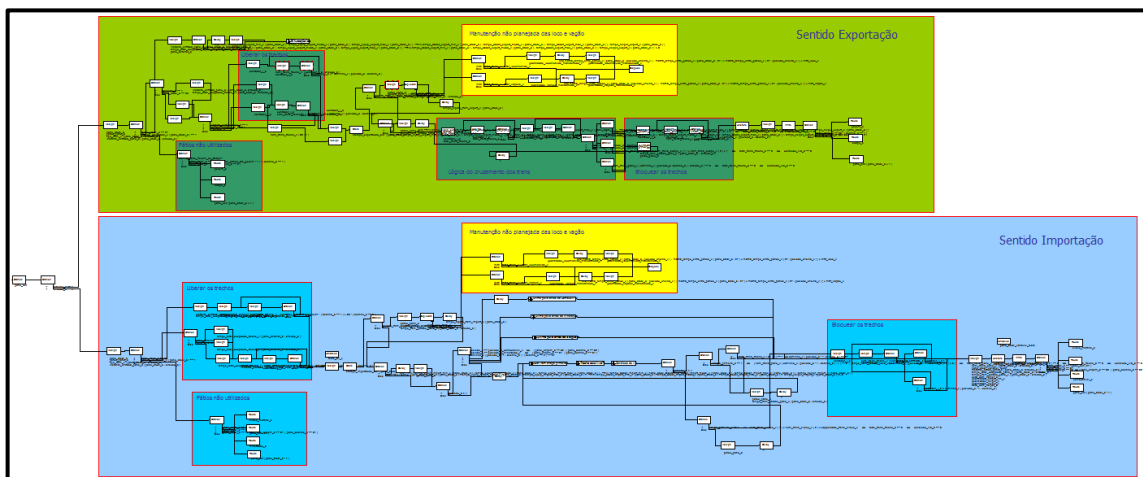


Figura 17 - Parte da lógica de movimentação dos trens (Fonte: Elaborado pelo autor)

Os trens sentido exportação tem prioridade no cruzamento com trens no sentido importação, o que facilita a elaboração da lógica. O modelo de movimentação pode ser dividido em 4 macro etapas, sendo a primeira a liberação do trecho percorrido e alocação do pátio de cruzamento, a segunda a lógica do cruzamento dos trens, a terceira a de falhas e acidentes (em amarelo na **Figura 17**) e por último a liberação do pátio e alocação do trecho para movimentação. A grande diferença entre a lógica do sentido importação e exportação está no cruzamento dos trens.

A **Figura 18** apresenta um fluxograma simplificado com essa lógica, onde o trem com prioridade, no pátio i , deve checar se o pátio de cruzamento $(i+1)$ sentido exportação está

livre e se o trecho (seção de bloqueio) a sua frente está livre e ocioso, ou seja, não está com nenhum trem ou em manutenção/falha.

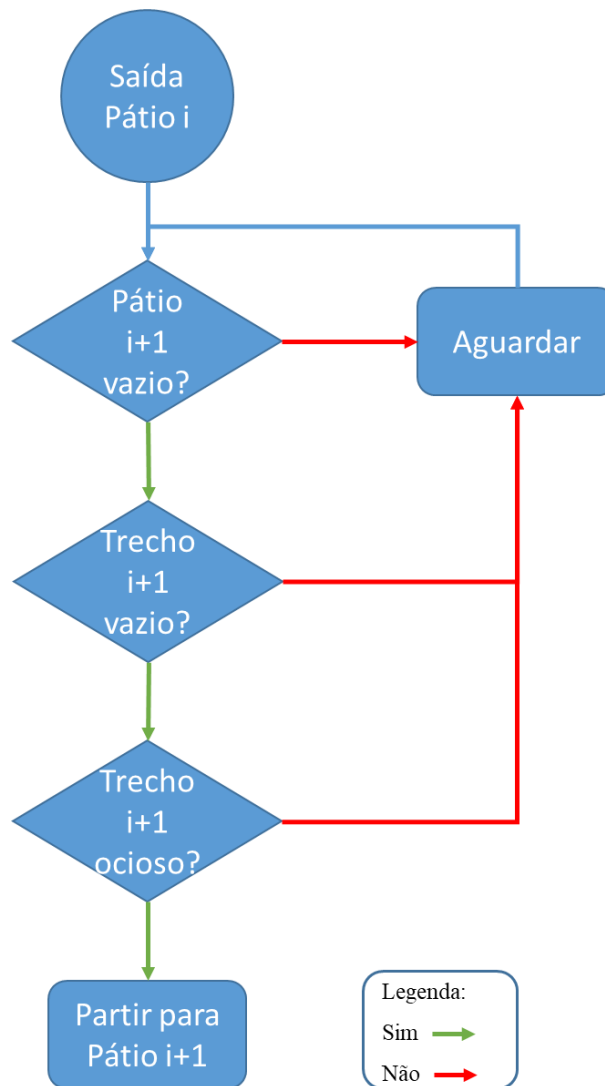


Figura 18 - Fluxograma simplificado da lógica de cruzamento dos trens sentido exportação (Fonte: Elaborado pelo autor)

Caso todas as condições sejam satisfeitas, o trem recebe a licença, ocupa o trecho (seção de bloqueio) e o pátio de cruzamento (i+1) e parte em sentido ao pátio de cruzamento (i+1).

Para o caso dos trens retornando, sentido importação, onde não possuem prioridade no cruzamento, a lógica é mais complexa, pois deve verificar se o trem não vai gerar a parada do trem prioritário no pátio de cruzamento.

A **Figura 19** ilustra o fluxograma simplificado com a lógica do cruzamento. O trem sentido importação no pátio i, viajando ao pátio i-1, deve verificar se o trecho (seção de

bloqueio) à sua frente está livre e ocioso e se o pátio de cruzamento $i-1$ está vazio, tanto de trens sentido exportação quanto com trens sentido importação. Em seguida, deve olhar o pátio $i-2$, para confirmar se nenhum trem com prioridade chegará ao pátio de cruzamento $i-1$ e parar.

Sendo assim, o trem sem prioridade deve checar se o pátio $i-2$ está não tem trens sentido exportação e, caso tenha, se consegue chegar ao pátio $i-1$ antes do trem com prioridade. Para tanto, deve verificar se o trem com prioridade tem licença para partir ou se o trem e/ou a via possui alguma falha impedindo a partida. Caso o trem com prioridade já esteja na seção de bloqueio, essa verificação também deve ser feita, porém considerando apenas o tempo restante para o trem com prioridade chegar ao pátio $i-1$.

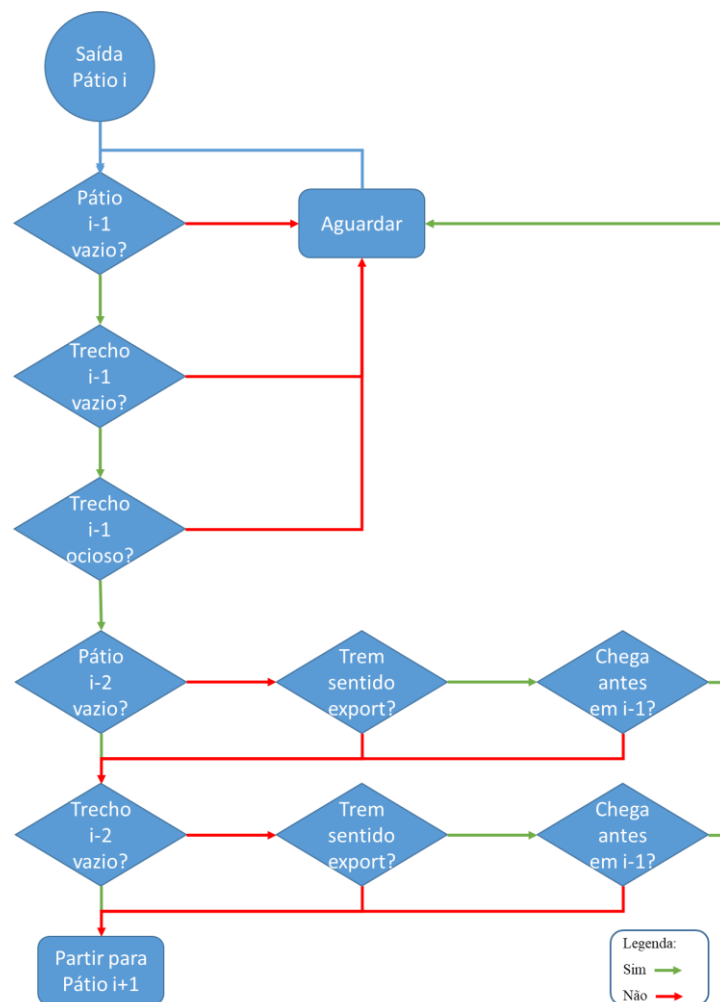


Figura 19 - Fluxograma simplificado da lógica de cruzamento dos trens sentido importação (Fonte: Elaborado pelo autor)

Caso todas essas condições sejam atendidas, o trem recebe a licença, ocupa o trecho à sua frente e o pátio $i-1$ e pode partir.

4.3.1 Verificação e testes do modelo

O modelo de simulação deve passar pela verificação, testes e validação. A verificação consiste em mostrar que o modelo foi construído corretamente. A validação tem como objetivo checar se foi construído o modelo correto para representar o sistema. Ambas atividades podem ser conduzidas através de testes do modelo (BANKS, 1998; CREMONESE, 2014).

Em um projeto de simulação, tanto a verificação quanto a validação devem ser realizadas nos principais itens do modelo. No presente trabalho, foram verificados os seguintes itens: a interface do modelo em Excel, onde checou-se se todos os *inputs* são lidos corretamente pelo Arena, em seguida foi testada a lógica de criação dos trens, para garantir que são criados com as características desejadas, a lógica de cruzamento e movimentação e, por último, a de falhas e acidentes.

Interface do modelo

O modelo possui mais de 70.000 variáveis, sendo sua maioria os tempos entre pátios e de paradas programadas, mas conta com variáveis para descrever os equipamentos e manobras nos terminais de carga e descarga, localização dos pontos de *helper*, informações sobre os trens tipo e pátios de cruzamento, entre outros.

Devido a essa grande gama de variáveis, foi escolhido o Excel para fazer a interface entre o modelo em Arena e os *inputs*. A escolha foi baseada na facilidade de comunicação entre os dois softwares, que pode ser feita via macro, além do Excel ser um programa muito utilizado nos dias de hoje.

A planilha de interface do modelo possui 5 abas, sendo elas:

1. Inputs: apresenta os dados de controle da simulação (duração, número de replicações e dias por ano da simulação), os tempos de carregamento/descarga nos terminais, capacidade dos terminais, falhas (trem, locomotiva e vagão), os pátios de anexação/desanexação de *helpers*, além da localização da oficina principal, para o caso de falhas e acidentes.
2. Matriz de tempo entre pátios: apresenta os tempos que cada trem tipo leva para ir do pátio i ao pátio j sem realizar nenhuma parada.

3. Matriz de tempo entre pátios com paradas: apresenta os tempos que cada trem tipo leva para ir do pátio i ao pátio j realizando uma parada, ou seja, considerando o tempo de desaceleração e aceleração do trem.
4. Trens: apresenta as principais características dos trens tipo a serem simulados.
5. Pátios: apresenta os dados de entrada dos pátios de cruzamento, mostrando quais pátios de cruzamento farão parte da simulação e os tempos das atividades que ocorrem no mesmo (abastecimento, equipagem, anexação/desnexação do *helper* e licenciamento).

A aba “Inputs” (**Figura 20**) com as variáveis de controle do modelo, dados dos terminais de carga e descarga, falhas e locais de necessidade de *helper*.

A	B	C	D	E	F	G
Categoria	Descrição dos parâmetros			Unidade	Nome do parâmetro	1
Controles do modelo	Duração da simulação			minutos	sim_dv	525600
	Número de replicações			#	mrep_v	10
	Dias por ano			dias	year_v	365
Área	Descrição dos parâmetros			Unidade	Nome do parâmetro	
Terminais	Tempo de descarga dos trens de minério no terminal de Pecém			minutos	tempo_descarga_minerio_pecem_v	0
	Tempo de descarga dos trens de grãos no terminal de Pecém			minutos	tempo_descarga_grao_pecem_v	0
	Tempo de carregamento dos trens de combustível no terminal de Pecém			minutos	tempo_descarga_combustivel_pecem_v	0
	Tempo de descarga dos trens de minério no terminal de Suape			minutos	tempo_descarga_minerio_suape_v	0
	Tempo de descarga dos trens de grãos no terminal de Suape			minutos	tempo_descarga_grao_suape_v	0
	Tempo de carregamento dos trens de combustível no terminal de Suape			minutos	tempo_descarga_combustivel_suape_v	0
	Tempo de carregamento dos trens de minério em Eliseu			minutos	tempo_carga_minerio_eliseu_v	0
	Tempo de carregamento dos trens de grãos em Eliseu			minutos	tempo_carga_grao_eliseu_v	0
	Tempo de carregamento dos trens de combustível em Eliseu			minutos	tempo_carga_combustivel_eliseu_v	0
	Tempo de carregamento dos trens de minério na Mina			minutos	tempo_carga_minerio_mineracao_v	0
	Tempo de carregamento dos trens de grãos na Mina			minutos	tempo_carga_grao_mineracao_v	0
	Tempo de carregamento dos trens de combustível na Mina			minutos	tempo_carga_combustivel_mineracao_v	0
	Tempo de carregamento dos trens de minério em Salgueiro			minutos	tempo_carga_minerio_combustivel_v	0
	Tempo de carregamento dos trens de grãos em Salgueiro			minutos	tempo_carga_grao_combustivel_v	0
	Tempo de descarga dos trens de combustível em Salgueiro			minutos	tempo_carga_combustivel_combustivel_v	0
	Capacidade de trens carregados no terminal de Eliseu Martins			#	capacidade_trens_eliseu_v	0
	Capacidade de trens carregados no Porto de Pecém			#	capacidade_trens_pecem_v	0
	Capacidade de trens carregados no Porto de Suape			#	capacidade_trens_suape_v	0
	Capacidade de trens carregados na Mina			#	capacidade_trens_mineracao_v	0
	Capacidade de trens carregados em Salgueiro			#	capacidade_combustivel_v	0
	Capacidade de trens descarregados no terminal de Eliseu Martins			#	capacidade_trens_eliseu_v	0
	Capacidade de trens descarregados no Porto de Pecém			#	capacidade_trens_pecem_v	0
	Capacidade de trens descarregados no Porto de Suape			#	capacidade_trens_suape_v	0
	Capacidade de trens descarregados na Mina			#	capacidade_trens_mineracao_v	0
	Capacidade de trens descarregados em Salgueiro			#	capacidade_combustivel_v	0
	Falhas	Tempo médio entre falhas dos trens			minutos	mtbf_trens_v
Tempo médio entre falhas das locomotivas			minutos	mtbf_locomotivas_v	0	
Tempo médio entre falhas dos vagões			minutos	mtbf_vagoes_v	0	
Tempo médio de reparo das locomotivas			minutos	mttr_loco_v	0	
Tempo médio de reparo dos vagões			minutos	mttr_vagao_v	0	
Via	Localização da oficina			número do pátio	posicao_oficina_v	0
	Tempo médio entre falhas da via			minutos	mtbf_via_v	0
Helper	Tempo médio de reparo da via			minutos	mttr_via_v	0
	Pátio de anexação da helper			número do pátio	helper_inicio_v	0
	Pátio de desanexação da helper			número do pátio	helper_fim_v	0

Figura 20 - Planilha de interface – aba de inputs da simulação (Fonte: Elaborado pelo autor)

A aba “Trens” (**Figura 21**) é onde os trens são criados para cada fluxo. As informações sobre cada trem tipo permitidas são: quantidade, intervalo entre criações, primeira criação, locomotivas por trem, vagões por trem, TB do vagão, TU do vagão e o tipo de carga (minério, grão e combustível).

Origem	Destino	Quantidade	Intervalo entre criações [min]	Primeira criação [min]	Locomotivas por trem	Vagões por trem	TB do vagão	TU do vagão	Carga
Eliseu	Pecém	7	90	0	2	80	130	98,7	Grão
Eliseu	Suape	0	90	0	2	80	130	98,7	Grão
Mineracao	Pecém	9	90	0	3	120	130	105,0	Minério
Mineracao	Suape	0	90	0	3	120	130	105,0	Minério
Salgueiro	Pecém	3	90	0	2	88	130	81,7	Combustível
Salgueiro	Suape	0	90	0	2	88	130	81,7	Combustível
Pecém	Eliseu	0	90	0	2	80	130	98,7	Grão
Pecém	Mineracao	8	90	0	3	120	130	105	Minério
Pecém	Salgueiro	0	90	0	2	88	130	81,67	Combustível
Suape	Eliseu	0	90	0	2	80	130	98,7	Combustível
Suape	Mineracao	0	90	0	3	120	130	105	Minério
Suape	Salgueiro	0	90	0	2	88	130	81,67	Combustível

Figura 21 - Planilha de interface – aba de criação dos trens (Fonte: Elaborado pelo autor)

A aba “Pátios” (**Figura 22**) apresenta os pátios que estão sendo utilizados (1 para utilizado e 0 para não utilizado, na coluna D), o tempo de equipagem e abastecimento (detalhados por pátio e por sentido exportação e importação, como uma variável de função triangular com a moda, o mínimo e o máximo a serem informados) e o tempo de anexação/des anexação do *helper* e tempo para licenciamento do trem (detalhados por pátio e por sentido exportação e importação). Os tempos para equipagem e abastecimento estão presentes nas colunas K, L e M e N, O, P, respectivamente, porém não estão presentes na **Figura 22**.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1				Equipagem Exportação (triangular)			Abastecimento Exportação (triangular)		
2	Número do pátio	Nome do Pátio	Utilização	Mínimo [min]	Moda [min]	Máximo [min]	Mínimo [min]	Moda [min]	Máximo [min]
3	90	Eliseu Martins	1						
4	1	Pátio Auxiliar 1	0	0	0	0	0	0	0
5	2	Rio Grande do Piauí	1	0	0	0	0	0	0
6	3	Pátio Auxiliar 3	0	0	0	0	0	0	0
7	4	Ribeira do Piauí	1	0	0	0	0	0	0
8	5	Pátio Auxiliar 5	0	0	0	0	0	0	0
9	6	São Miguel	1	0	0	0	0	0	0

Figura 22 - Planilha de interface – aba de criação dos pátios de cruzamento (Fonte: Elaborado pelo autor)

A “matriz de tempo entre pátios” (**Figura 23**) foi criada para determinar o tempo que um trem leva para ir do pátio “i” ao pátio “j”, portanto traz todos os tempos entre pátios oriundos da simulação de marcha. Os tempos são divididos para cada trem tipo.

Figura 23 - Planilha de interface – aba de criação dos tempos entre pádios (Fonte: Elaborado pelo autor)

A aba “VerifyInputs” (Figura 24) recebe informações por fórmulas de outras abas para agrupar as variáveis e realizar alguns cálculos automáticos antes de serem enviados ao modelo no Arena.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	VerIndex	varname	ArenalIndex1	ArenalIndex2	ExcellIndex1	ExcellIndex2	Excelvarname	Set_Value
2	1	sim_dv	1	1	1	1	sim_dv	525600
3	2	mrep_v	1	1	1	1	mrep_v	1
4	3	year_v	1	1	1	1	year_v	365
5	4	case_num_v	1	1	1	1	case_num_v	6
6	5	automate_runs_v	1	1	1	1	automate_runs_v	0
7	6	last_case_to_run_v	1	1	1	1	last_case_to_run_v	1
8	7	tempo equip export_min_v	1	1	1	1	tempo equip export_min_v	0
9	8	tempo equip export_min_v	2	1	2	2	tempo equip export_min_v	0

Figura 24 - Planilha Interface – aba VerifyInputs (Fonte: Elaborado pelo autor)

As informações agrupadas na aba “VerifyInputs” são carregadas no Arena via macro. Os valores dos dados de entradas foram testados para garantir que o código esteja funcionando corretamente. Verificou-se que o código está correto, ou seja, os *inputs* são carregados no modelo.

Devido ao grande número de dados das tabelas “Matriz de tempo entre os pádios”, “Matriz de tempo entre os pádios após haver uma parada no pádio” e “Matriz de paradas (equipagem, abastecimento, *helper* em pádios)” que totalizam 70.000 dados, o tempo de inicialização do modelo era elevado (aproximadamente 1 hora). Para otimizar, foi desenvolvido um VBA que exporta as matrizes do Excel para três arquivos “.txt”, que serão

importados pelo ARENA durante a replicação. Isso reduziu o tempo de inicialização para alguns segundos.

O código em VBA foi testado, através de simulações simples e sem eventos aleatórios, e verificou-se que funciona corretamente, visto que todos tempos entre pátios dos trens são carregados corretamente pelo Arena.

Testes do modelo

Os testes apresentados a seguir foram criados com o objetivo de garantir que o modelo se comporta da maneira esperada.

- **Criação dos trens**

A primeira atividade foi testar separadamente a criação de trens (Figura 25) para cada tipo e local de criação. Foi verificado que os trens são criados adequadamente para cada tipo e local de criação. A verificação foi feita avaliando os parâmetros das entidades (variáveis e atributos) geradas pela lógica de criação.

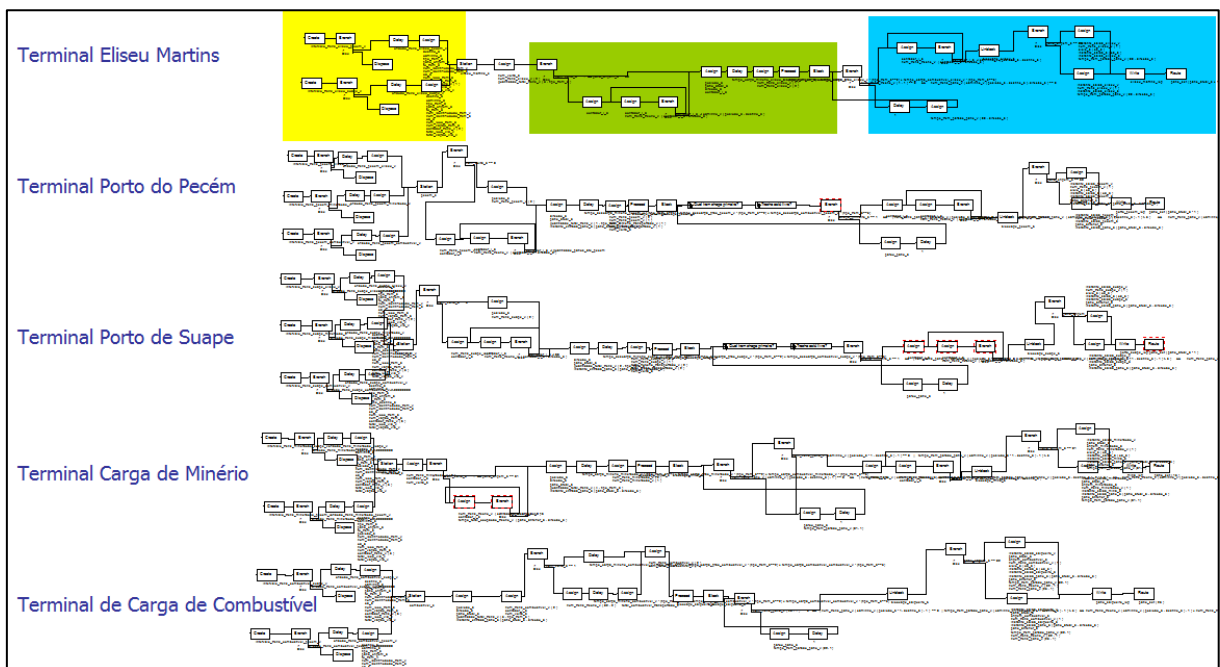


Figura 25 - Lógica da criação dos trens e dos terminais de carga e descarga simplificados (Fonte: Elaborado pelo autor)

Os terminais estão fora do escopo do estudo, porém é importante considerar um “atraso” nos terminais devido às operações de carga/descarga, manobras e revisões. Uma lógica simplificada para simular esses “atrasos” foi criada e verificou-se que funciona do modo esperado. A lógica pode ser dividida em três etapas, que se repetem para todos os

terminais: a de criação dos trens (amarelo), carregamento ou descarga (verde) e a de liberação dos trens (azul).

- **Movimentação dos trens**

Essa etapa consiste em testar separadamente a movimentação de um trem de cada tipo e local de criação percorrendo a via sem paradas. Foi verificado que cada tipo de trem faz o trajeto de ida e volta nos tempos estipulados nos dados de entrada, adotados como determinísticos durante a verificação. A Figura 26 demonstra a complexidade da lógica geral de tráfego, tanto no sentido de exportação quanto no sentido de importação.

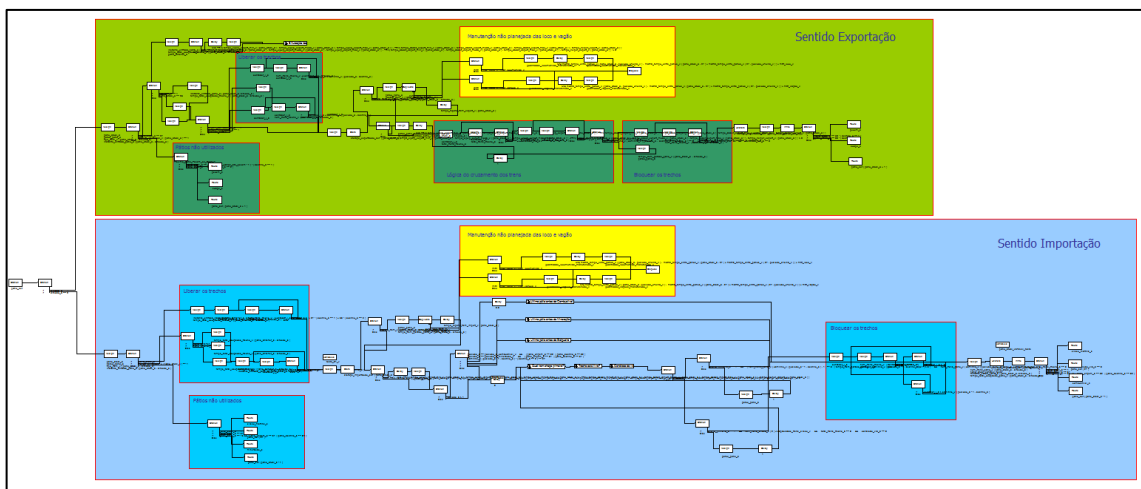


Figura 26 - Ilustração da lógica geral do modelo das movimentações sentido exportação e importação (Fonte: Elaborado pelo autor)

O próximo passo foi testar separadamente a movimentação de um trem de cada tipo e local de criação percorrendo a via realizando paradas em todos os pátios de cruzamento. Para isso, foi criado um cenário com paradas em todos os pátios e apenas um trem na via, evitando gerar cruzamentos. Além disso, os tempos entre pátios e de paradas foram determinísticos, tornando possível determinar o tempo de ciclo esperado para cada trem. Todos os trens tipo realizaram o trajeto de ida e volta nos tempos estipulados nos dados de entrada. A Figura 27 apresenta os ciclos dos trens, como resultados do modelo. A verificação foi realizada para todos os fluxos possíveis.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2	NREP	TNOW	Num identificação do trem	OD	Pátio origem	Tipo do trem	Tempo de ciclo	TU do trem
3	1	3,265	1	10	89	1	25	10,400
4	1	9,790	1	10	89	1	6,525	10,400
5	1	16,315	1	10	89	1	6,525	10,400
6	1	22,840	1	10	89	1	6,525	10,400
7	1	29,365	1	10	89	1	6,525	10,400
8	1	35,890	1	10	89	1	6,525	10,400
9	1	42,415	1	10	89	1	6,525	10,400
10	1	48,940	1	10	89	1	6,525	10,400
11	1	55,465	1	10	89	1	6,525	10,400
12	1	61,990	1	10	89	1	6,525	10,400
13	1	68,515	1	10	89	1	6,525	10,400
14	1	75,040	1	10	89	1	6,525	10,400
15	1	81,565	1	10	89	1	6,525	10,400
16	1	88,090	1	10	89	1	6,525	10,400
17	1	94,615	1	10	89	1	6,525	10,400
18	1	101,140	1	10	89	1	6,525	10,400
19	1	107,665	1	10	89	1	6,525	10,400

Figura 27 - Exemplo do output do ciclo dos trens para verificação do modelo (Fonte: Elaborado pelo autor)

Visando garantir que os tempos nos pátios para as atividades programadas como abastecimento, troca de equipe e acoplamento/desacoplamento do *helper*, foi testado utilizando um tempo fixo de parada em cada pátio. A Figura 28 apresenta a planilha utilizada para comparar os tempos de paradas da Interface e dos Resultados do modelo.


	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1											
2	NREP	num_identificacao_trem_a	direcao_a	destino_a	tipo_trem_a	Pátio	TNOW	posicao_anterior_a	posicao_a	Instante de entrada no pátio	Tempo no pátio
3	1	6	1	1	1	16	314	8	9	314	0,000
4	1	6	1	1	1	18	340	9	10	340	0,000
5	1	7	1	2	1	16	340	8	9	328	12,000
6	1	6	1	1	1	21	391	10	11	391	0,000
7	1	7	1	2	1	18	391	9	10	369	22,000
8	1	13	1	2	1	16	404	8	9	404	0,000
9	1	6	1	1	1	23	434	11	12	434	0,000
10	1	7	1	2	1	21	445	10	11	445	0,000
11	1	13	1	2	1	18	446	9	10	430	16,000
12	1	11	1	1	1	16	446	8	9	418	28,000
13	1	6	1	1	1	25	540	12	13	479	61,491
14	1	7	1	2	1	23	541	11	12	489	52,000
15	1	13	1	2	1	21	541	10	11	500	41,000
16	1	11	1	1	1	18	541	9	10	475	66,000
17	1	16	1	1	1	16	542	8	9	494	48,000

Figura 28 - Verificação dos tempos de paradas da Interface e dos Resultados do modelo (Fonte: Elaborado pelo autor)

Um dos itens mais importantes das lógicas do modelo é a lógica de cruzamento e preferência de trens. Para verificar se o comportamento está de acordo com o esperado, foram realizados diversos testes forçando cruzamentos em pontos pré-determinados. Verificou-se

que os cruzamentos são realizados de acordo com a lógica, que verifica os trechos a frente até encontrar um trem, fazendo os cálculos para avaliar se o trem chegará até o próximo pátio sem que haja cruzamento no trecho ou que o trem de maior prioridade tenha que aguardar. Os tempos considerados na análise são os tempos de paradas (abastecimento, equipagem, *helper*) e os tempos de cruzamento. Os testes de cruzamento ocorreram em diversos pontos da via e, posteriormente, foi avaliado a ocupação de todos os pátios de ida e volta. Os resultados mostraram a ocupação foi correta, conforme o esperado. A Figura 29 apresenta parte da lógica de cruzamento e a ampliação de um dos cálculos.

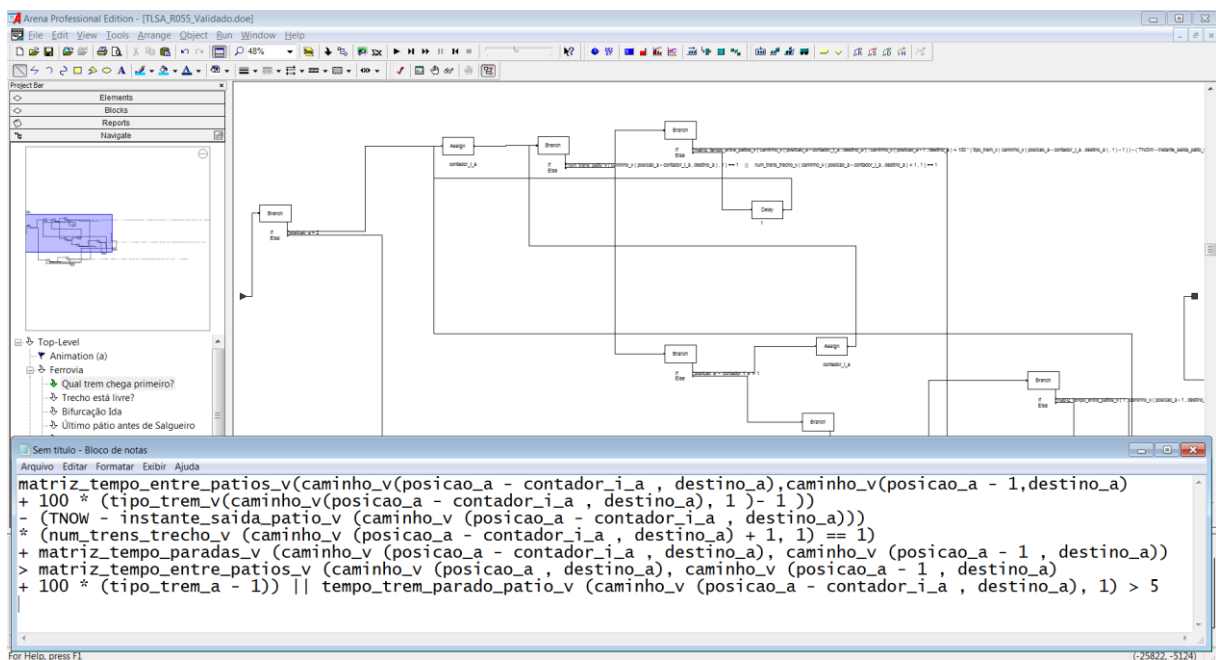


Figura 29 - Ilustração de parte da lógica de cruzamento e a fórmula para avaliação de qual trem chegará primeiro (Fonte: Elaborado pelo autor)

A medição da ocupação dos pátios e trechos é muito importante para determinar gargalos, mas também serve para a verificação da lógica do modelo como um todo. Para tanto, a lógica de ocupação dos pátios e trechos deve ser verificada. A ocupação de cada trecho é registrada a cada hora em arquivo “txt”, que é importado para a planilha Log (resultados do modelo).

Inicialmente foi simulado um trem de cada fluxo (Teste 1) e, para cada novo teste, realizado o incremento de um novo trem por fluxo. A **Figura 30** apresenta a ocupação dos trechos, que vai aumentando à medida que se aumenta a quantidade de trens na via.

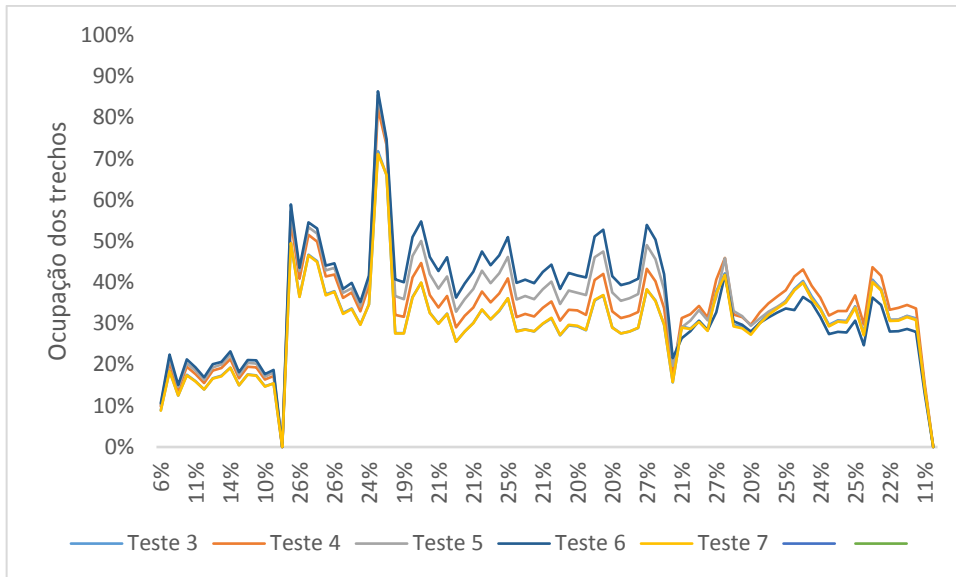


Figura 30 - Ocupação (utilização) dos trechos aumenta à medida que se aumenta a demanda

O mesmo acontece para a ocupação dos pátios. Quanto maior o fluxo na ferrovia, maior a tendência de se formar filas devido aos cruzamentos, falhas na via, acidentes e outras causas. A maioria dos trens vão carregados no sentido exportação e tem preferência na hora do cruzamento. Por isso, a ocupação dos pátios de cruzamentos por trens no sentido exportação deve ser menor que a ocupação dos pátios por trens no sentido importação. A **Figura 31** mostra a ocupação dos pátios de cruzamento no sentido exportação quando se aumenta o fluxo de trens na ferrovia.

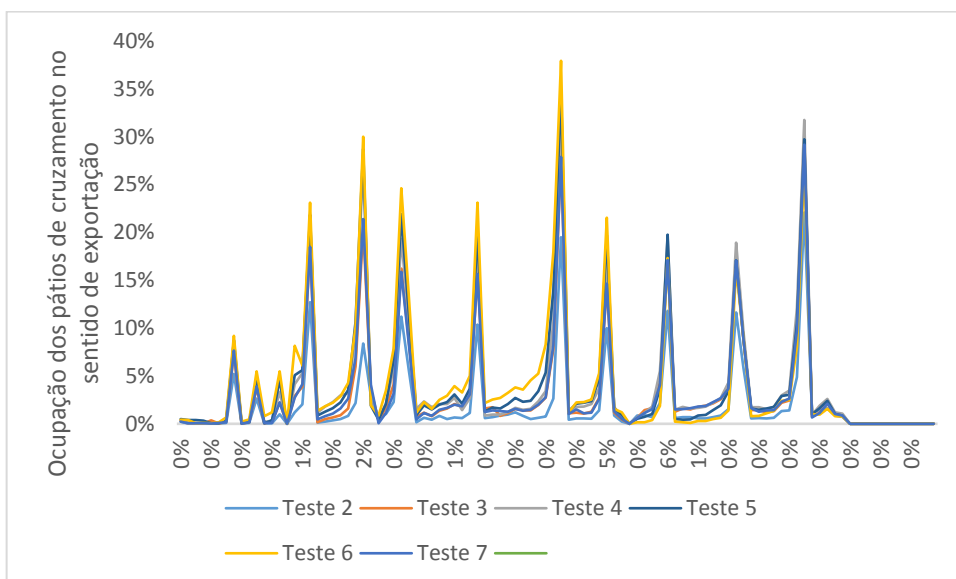


Figura 31 - Ocupação (utilização) dos pátios no sentido exportação aumenta à medida que se aumenta a demanda

Do mesmo modo, a **Figura 32** ilustra a ocupação dos pátios de cruzamento com trens no sentido importação. É possível verificar que a lógica do modelo está funcionando, uma vez que existe um aumento na ocupação com o aumento da quantidade de trens na via, além dos pátios de cruzamento com trens no sentido importação terem uma maior utilização (ou ocupação).

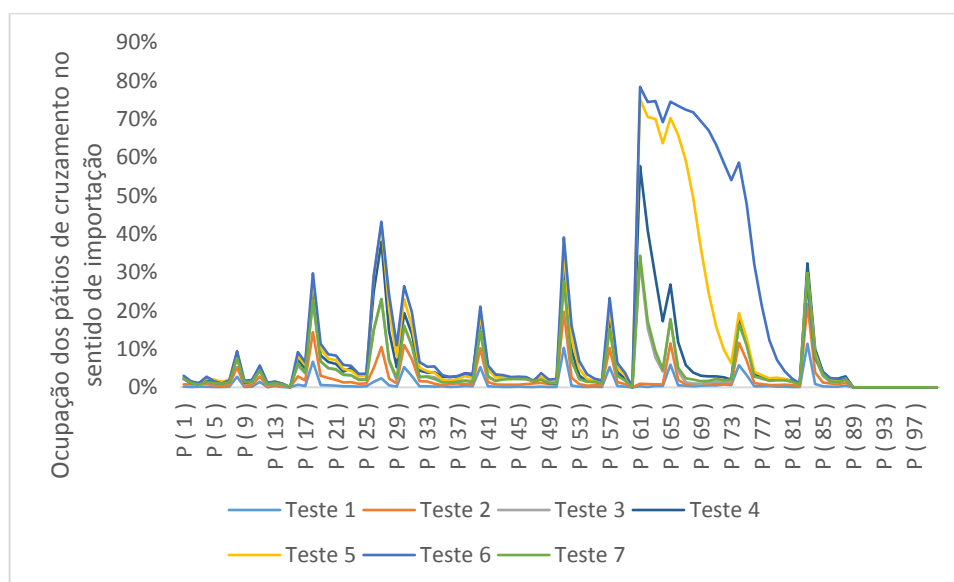


Figura 32 - Ocupação (utilização) dos pátios no sentido importação aumenta à medida que se aumenta a demanda

É possível perceber um descolamento das curvas do Teste 6 e Teste 7, entre os pátios 61 e 81. Isso é devido à lógica de prioridade dos trens. Por se tratar de trens sentido importação, ou seja, sem prioridade, espera-se uma ocupação maior dos pátios de cruzamento. Além disso, na bifurcação, tem-se três níveis de prioridade, os trens sentido exportação (maior prioridade), trens sentido importação vindos do Pecém (prioridade média) e trens sentido importação vindos de Suape (menor prioridade). Portanto, era esperado que esses últimos trens (com menor prioridade) gerassem uma maior ocupação nos pátios de cruzamento, conforme apresentado na **Figura 32**.

Falhas e acidentes

Visando verificar a lógica de falhas e acidentes, foram gerados, de maneira determinística, algumas falhas e acidentes na via, ou seja, os acidentes e falhas são colocados de maneira controlada tornando os resultados possíveis de serem determinados analiticamente para comparação. Com isso, foi possível averiguar que a lógica está de acordo com a programada. A **Figura 33** traz a ilustração de um trem aguardando a liberação da via onde ocorreu uma falha ou acidente.

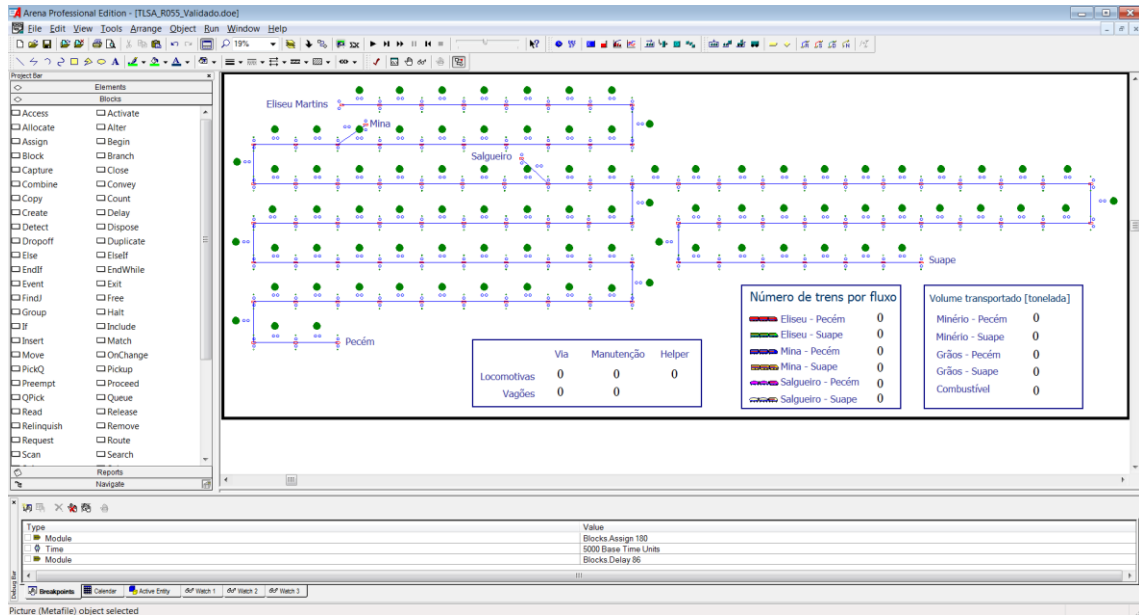


Figura 33 - Animação do modelo com a via em falha e um trem aguardando a liberação da via

Na **Figura 34** mostra de maneira mais ampliada a situação descrita anteriormente. A bolinha em vermelho significa que a via está com alguma falha que não permite que o trem prossiga sua viagem e fique aguardando no pátio de cruzamento.

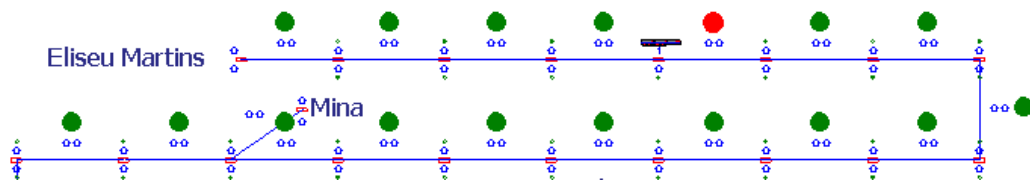


Figura 34 - Animação ampliada do modelo com via em falha e trem aguardando liberação da via

Quando ocorre um acidente grave, o trem é todo perdido e, conseqüentemente, a sua carga transportada. Para acidentes leves, o trem é atendido e segue viagem. Em ambos os casos, a via fica bloqueada durante o processo e, após a liberação, os trens tem um acréscimo no tempo de viagem, devido à restrição de velocidade. Todos esses fatores foram simulados e verificados.

Conclusão

Considerando os resultados obtidos nos testes realizados, foi verificado que o modelo se comporta da maneira desejada, ou seja, que ele está apto para simular a realidade da operação futura da ferrovia em estudo. Além disso, a lógica desenvolvida representa bem o sistema real a ser simulado.

4.4 Resultados das simulações de marcha e malha

Esse item aborda os resultados obtidos utilizando o método apresentado. Um fluxograma ilustrativo das atividades realizadas é apresentado na **Figura 35**, onde as caixas em cinza apresentam os dados de entrada que são conhecidos no projeto de uma ferrovia, as caixas em verdes são os resultados obtidos no processo e as caixas em azul são as atividades realizadas.

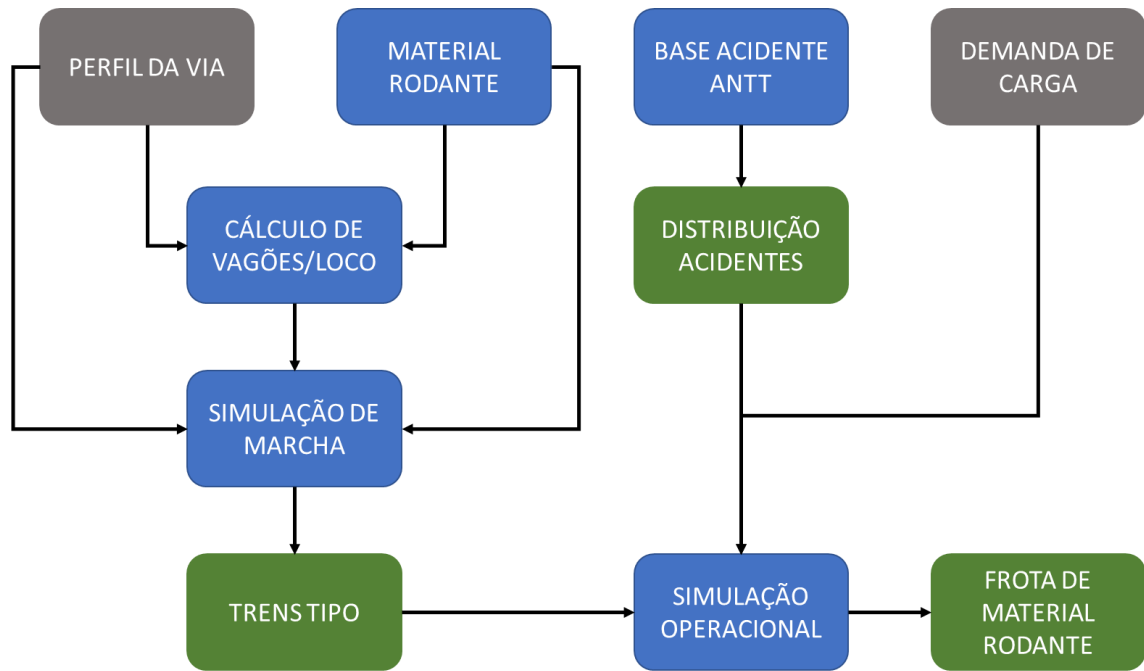


Figura 35 - Fluxograma das atividades realizadas na etapa de resultados (Fonte: Elaborado pelo autor)

4.4.1 Definição dos trens tipo

A terceira etapa da metodologia proposta é a definição dos trens tipo para cada fluxo de carga. Conforme mencionado, o trem deve ser capaz de vencer a resistência ao avanço do movimento de toda a ferrovia, ou seja, ser capaz de tracionar no pior trecho da ferrovia (trecho de maior resistência).

O dimensionamento do trem tipo passa por duas etapas. A primeira é calcular quantos vagões uma única locomotiva é capaz de tracionar no pior trecho da ferrovia, ou seja, determinar a razão de “x” vagões por locomotiva. Esse cálculo parte da premissa que o trem terá capacidade de partir de qualquer ponto da ferrovia. A segunda etapa é simular o trem tipo, que deve ser um múltiplo de “x”, por exemplo 2 locomotivas e 2 “x” vagões.

A **Figura 36** traz um fluxograma simplificado com as etapas do dimensionamento do trem tipo. Ao final da simulação de marcha, deve-se verificar se o trem tipo é capaz de percorrer toda a ferrovia de maneira segura e se não há possibilidade de tracionar mais vagões. Caso as afirmações sejam verdadeiras, o trem tipo foi dimensionado, porém se há espaço para melhorias, novas simulações devem ser geradas.

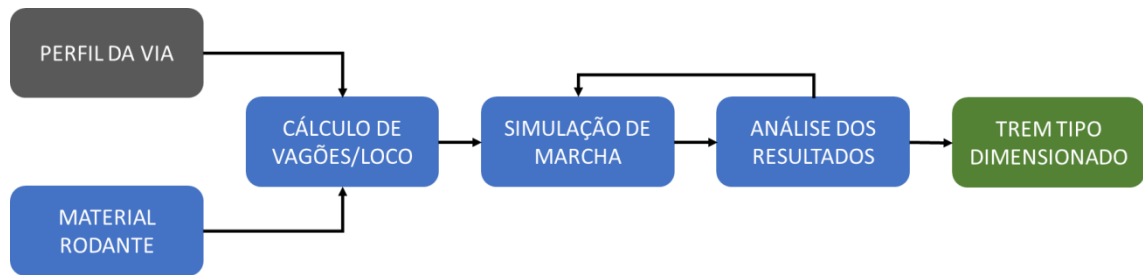


Figura 36 - Fluxograma simplificado das etapas da definição do trem tipo (Fonte: Elaborado pelo autor)

Cálculo da capacidade de tração de cada locomotiva

No estudo de caso da ferrovia Transnordestina Logística S.A., o perfil de via conta com rampas máximas de 1,00% no sentido exportação e raios de curva mínimos compensados de 400 metros. Portanto, aplicando as fórmulas apresentadas para o pior trecho, pode-se determinar a quantidade de vagões de 130 toneladas brutas que uma locomotiva é capaz de transportar.

Para o exemplo abaixo, foram utilizadas as características de vagões do tipo GDT e de locomotivas de 4.400 HP (como a AC44i e SD70, da GE e Progress Rail respectivamente).

Resistência normal de locomotivas e vagões dada em kgf/tf

Peso total: 195 toneladas

Número de eixos: 6

Peso por eixo: 32,5 toneladas

Velocidade mínima de regime contínuo: 14,00 km/h

Área frontal: 14,45 m²

$$R_n = 0,65 + \frac{13,16}{32,50} + 0,00938 * 14,00 + \frac{0,0046 * 14,00^2 * 14,45}{6 * 32,50} = 1,253 \text{ kgf/tf}$$

Vagão GDT

Peso total: 130 toneladas

Número de eixos: 4

Peso por eixo: 32,5 toneladas

Velocidade mínima de regime contínuo: 14,00 km/h

Área frontal: 9,50 m²

$$R_n = 0,65 + \frac{13,15}{32,50} + 0,01405 * 14,00 + \frac{0,000945 * 14,00^2 * 9,50}{4 * 32,50} = 1,265 \text{ kgf/tf}$$

Resistências acidentais de locomotivas e vagões em kgf/tf

▪ Resistência devido à curva dada em kgf/tf

$$R_c = 0,2 + (B + b + 3,8) * \frac{100}{R} = 0,2 + (4,02 + 1,60 + 3,8) * \frac{100}{25} = 2,555 \text{ kgf/tf}$$

$$R_c = \frac{500 * b}{R} = 2,000 \text{ kgf/tf}$$

▪ Resistência devido à rampa para locomotivas e vagões dada em kgf/tf

$$R_i = 10 * i$$

Sendo:

R_i: coeficiente (ou taxa) da resistência devido à rampa (kgf/tf);

i: inclinação da rampa (%).

$$R_i = 10 * 1 = 10,000 \text{ kgf/tf}$$

Resistência total dada em kgf/tf

$$R_T = (1,253 + 2,555 + 10,000) * 1 * 195,00 + (1,265 + 2,000 + 10,000) * N_{\text{vagão}} * 130$$

$$R_T = 2.692,560 + 1.724,450 * N_{\text{vagão}}$$

Força de tração da locomotiva

De acordo com Roza (2000), durante a transmissão da potência gerada pelo gerador principal e a transmitida aos trilhos existe uma perda na casa de 13% a 20%. Portanto, o rendimento da transmissão fica entre 80% e 87%. Considerando o rendimento de transmissão de 87%, tem-se que a força de tração máxima fornecida pela locomotiva é:

$$F_{tração} = \frac{Pot_{motor} * \eta * 274}{v} = \frac{4.400 * 87\% * 274}{14,00} = 74.919,429 \text{ kgf}$$

Sendo:

Pot_{motor} : potência do motor (hp);

η : rendimento da transmissão (varia entre 80% e 87%);

v : velocidade (km/h).

Como a $F_{tração}$ tem que ser igual ou maior que a R_T , a quantidade máxima de vagões ($N_{vagão}$) que uma locomotiva é capaz de tracionar em um trecho de rampa de 1,00% é 41, que gera uma $R_T = 73.394,250 \text{ kgf}$.

Lembrando, contudo, que durante a partida, a força de tração máxima é limitada pelo produto do peso da locomotiva e coeficiente de atrito entre a roda e o trilho, pois caso a força aplicada seja superior ao produto, o trem irá patinar.

Segundo Roza (2000), os valores característicos do coeficiente de atrito para locomotivas diesel-elétricas AC na partida estão entre 45 e 46%. Portanto, a força máxima de tração na partida, sem patinação das rodas, pode ser determinada da seguinte maneira:

$$F_{tração}^{partida} = P_{loco} * \mu = 195.000 * 45\% = 87.750,000 \text{ kgf}$$

Como a força é maior que a máxima potência da locomotiva ($F_{tração}^{partida} > F_{tração}$), a configuração com 41 vagões por locomotiva pode ser mantida.

4.5 Trem tipo

A definição do trem tipo deve levar em consideração se o trem consegue percorrer todo o trecho de maneira segura. Para isso, utilizou-se a simulação de marcha. A partir dos 41 vagões por locomotivas, foram simulados trens com seus múltiplos, ou seja, trens com 2

locomotivas e 80 vagões e/ou trens com 3 locomotivas e 120 vagões. No último caso, foram simuladas duas configurações, a primeira com todas as locomotivas na cabeça e a segunda com o uso da tração distribuída.

Os trens tipo definidos estão dentro dos critérios de segurança operacional, ou seja, as forças nos engates são inferiores a 180 tf e o indicador L/V abaixo de 0,70. Além disso, os trens simulados são capazes de partir de qualquer ponto da ferrovia, aumentando a segurança operacional.

A **Tabela 8** apresenta os trens tipo dimensionados para os fluxos com sentido ao Porto de Pecém. O sistema de descarga projeto no Porto de Pecém para minério de ferro é utilizando um virador de vagões duplo, portanto o vagão necessário para essa descarga é o GDT.

Tabela 8 - Trens tipo para os fluxos sentido Pecém

Condição	Produto	Locomotivas (qtde)	Vagões (qtde)	Vagões (tipo)	TU (t)	TB (t)	Comprimento (m)
Carregado	Minério de ferro	3	120	GDT	12.600	14.928	1.243
Carregado	Grãos / fertilizante	2	84	HPT	7.896	10.315	1.481
Carregado	Combustível	2	88	TCT	7.216	10.516	1.725
Vazio	Minério de ferro	3	120	GDT	0	2.328	1.243
Vazio	Grãos / fertilizante	2	84	HPT	0	2.419	1.481
Vazio	Combustível	2	88	TCT	0	3.300	1.725

Já a **Tabela 9** traz os trens tipo dimensionados para os fluxos com sentido ao Porto de Suape. A descarga de minério, por ter um volume menor, será realizada pelo fundo do vagão, demandando um vagão tipo *Hopper*, por isso a adoção do HAT.

Tabela 9 - Trens tipo para os fluxos sentido Suape

Condição	Produto	Locomotivas (qtde)	Vagões (qtde)	Vagões (tipo)	TU (t)	TB (t)	Comprimento (m)
Carregado	Minério de ferro	2	84	HAT	8.400	10.500	1.061
Carregado	Grãos / fertilizante	2	84	HPT	7.896	10.315	1.481
Carregado	Combustível	2	88	TCT	7.216	10.516	1.725
Vazio	Minério de ferro	2	84	HAT	0	2.100	1.243
Vazio	Grãos / fertilizante	2	84	HPT	0	2.419	1.481
Vazio	Combustível	2	88	TCT	0	3.300	1.725

Além dos trens tipo, outra informação importante do simulador de marcha são os tempos de trânsito, ou seja, os tempos que cada trem leva para percorrer do pátio A ao pátio B. Esses tempos serão *inputs* da simulação operacional. Os resultados podem ser encontrados no Apêndice A.

Para atender melhor a simulação operacional, devem ser simulados os tempos dos trens percorrendo os pátios sem realizar nenhuma parada e os tempos dos trens com as paradas, ou seja, o tempo total do trem reduzindo velocidade até parar completamente dentro do pátio de cruzamento e o tempo de sua partida e aceleração. Simular essa condição é fundamental para quando ocorrer qualquer parada na ferrovia durante a simulação operacional.

4.6 Acidentes

Para definir a quantidade de acidentes e o tempo de interrupção da via para cada acidente, foram analisados dados enviados pela ANTT dos acidentes das ferrovias no Brasil. A **Figura 37** ilustra quais informações são fornecidas pela agência.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I		J	K	L	M	N	O
1	Data da			Hora da					Estação					Tempo de	Nº	Nº
2	Grave	Ferrovia	Ocorrência	Ocorrência	UF	Município	Linha	km	Anterior	Posterior		Causa	Natureza	Interrupção (h)	Feridos	Óbitos
3	Não	ALLMO	01/01/2016	02:58	SP	Conchas	Mairinque - Bauru	204,500	Conchas			Interferência de Terceiro	Abalroamento	0,4	0	0
4	Não	EFC	01/01/2016	03:52	PA	Parauapebas	Ponta da Madeira - Carajás	827,220	Parauapebas			Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0
5	Não	ALLMP	01/01/2016	10:21	SP	Cubatao	Evangelista de Souza - Pereque	122,267	Vila Natal			Falha Humana	Descarrilamento	4,4	0	0
6	Sim	FCA	01/01/2016	12:00	MG	Vespasiano	General Carneiro - Monte Azul	622,000	Vespasiano			Interferência de Terceiro	Abalroamento	0,0	4	1
7	Não	ALLMS	02/01/2016	00:20	PR	Pinhais	Paranaguá - Uvaranas	101,900	Pinhais			Interferência de Terceiro	Abalroamento	1,9	0	0
8	Sim	MRS	02/01/2016	11:30	RJ	Mangaratiba	Ramal de Mangaratiba	8,900	Sai	Vila Muriqui		Interferência de Terceiro	Atropelamento	0,0	1	0

Figura 37 - Planilha de acidentes ferroviários enviada pela ANTT (fonte: ANTT 2017)

Para melhor representar a realidade futura da Ferrovia Transnordestina Logística SA (TLSA), foi escolhida a ferrovia da MRS como parâmetro devido às suas características físicas e operacionais, julgadas mais semelhantes ao caso em estudo.

A MRS conta como principal carga de transporte o minério de ferro, oriundo do triângulo mineiro para os portos no Rio de Janeiro e São Paulo. O trem tipo da MRS para transporte do minério de ferro é parecido com o trem tipo adotado no trabalho e, por último, a via possui características geométricas semelhantes.

Após uma primeira análise dos dados enviados pela ANTT, percebe-se uma queda na quantidade de acidentes nas concessionárias, passando de um total absoluto de 1.028 acidentes em 2011 para 689 em 2016. O **Gráfico 1** mostra a evolução dos acidentes entre 2011 e 2016.

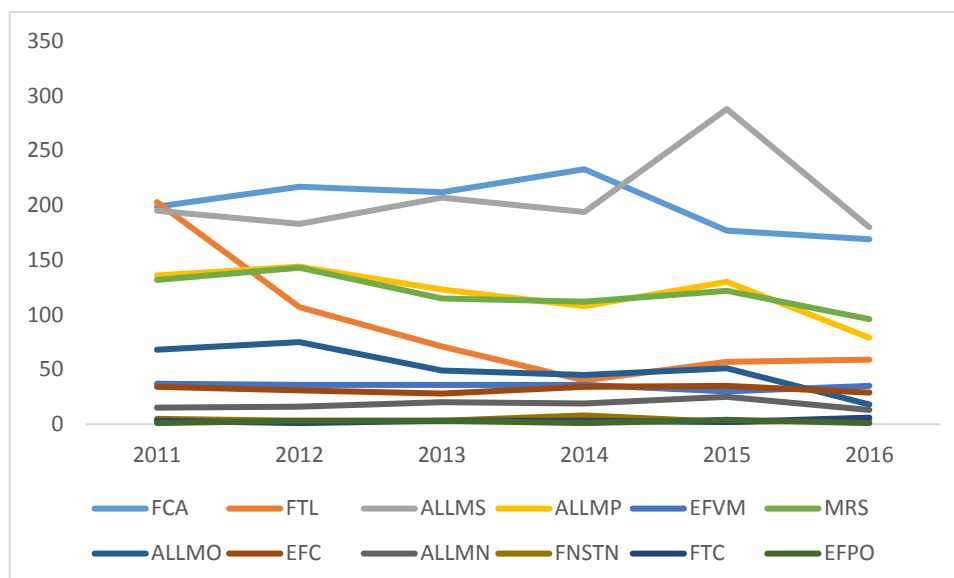


Gráfico 1 - Quantidade de acidentes por ferrovia (fonte: ANTT)

Com base nessa informação e por se tratar de um a ferrovia nova, foram utilizados, neste trabalho, apenas os dados de acidentes de 2016 da MRS. Todos os acidentes referentes ao ano de 2016 fornecidos pela ANTT encontram-se no Anexo A. Os acidentes da MRS foram divididos em dois grupos de acidentes, graves e não graves. Acidentes graves são aqueles onde o tempo de interrupção da via são superiores a 12 horas.

A amostra é pequena, composta por 96 valores, sendo 95 não graves, ou seja, com tempo de interrupção inferior a 12 horas, e 1 grave. Utilizando, como auxílio, a ferramenta “*input analyzer*” da Rockwell, foi encontrado que a melhor distribuição para representar o tempo de interrupção dos acidentes não graves é a Beta.

Tabela 10 - Resultados do “*Input Analyzer*” do Arena

Resumo da distribuição	
Distribuição:	Beta
Expressão:	$-0.001 + 4.51 * \text{BETA}(1.09, 2.31)$
Teste Qui-Quadrado	
Número de intervalos	6
Graus de liberdade	3
Teste estatístico	8,61
p-valor correspondente	0,0371
Teste Kolmogorov-Smirnov	
Teste estatístico	0,101
p-valor correspondente	> 0.15
Resumo dos Dados	
Número de pontos	95
Valor mínimo	0
Valor máximo	4,1
Média da amostra	1,45
Desvio padrão da amostra	1
Resumo do Histograma	
Faixa do histograma	-0.001 to 4.51
Número de intervalos	9

Fonte: Elaborado pelo autor

Com os resultados obtidos pelo “*Input Analyzer*”, foi possível criar a curva de distribuição dos tempos de interrupção da via em caso de um acidente não grave. A curva está representada no **Gráfico 2**.

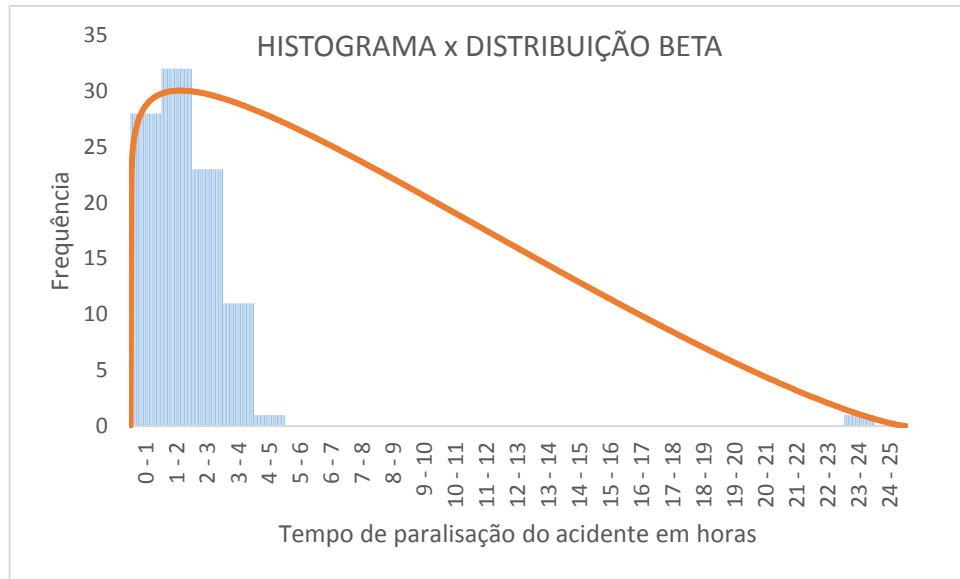


Gráfico 2 - Histograma e distribuição Beta para determinar a duração do acidente não grave

A quantidade de acidentes por ano será proporcional à TKU transportada pela ferrovia, já que esse indicador leva em consideração o volume transportado e a distância percorrida. Segundo o relatório anual da MRS de 2016, foram transportados 66,8 bilhões de TKU, gerando uma taxa de acidentes não graves de 1,422 acidentes/bilhão de TKU e uma taxa de acidentes graves de 0,015 acidentes/bilhão de TKU.

A partir das taxas determinadas e do TKU calculado, é possível determinar a quantidade de acidentes por ano de operação.

Tabela 11 - Quantidade de acidentes graves e não graves por ano determinados pela TKU

	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2034	2038	2042	2047	2050	2054
10 ³ TKU/ANO	2.599	5.655	13.332	14.362	16.907	23.062	23.332	23.958	24.625	25.487	26.033	26.796
NÃO GRAVES	4	9	19	21	25	33	34	35	36	37	38	39
GRAVES	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Fonte: Elaborado pelo autor

Vale ressaltar que os dados de entrada podem ser divididos em dois grupos (graves e não graves), assim pode-se obter duas distribuições distintas para os acidentes ao invés de uma, como foi realizado nesse trabalho.

4.7 Simulação de malha

A simulação de malha considera todos os eventos aleatórios que ocorrem durante a operação dos trens na ferrovia durante o período de um ano. Diversos cenários foram criados e verificou-se que os cenários 2, 3, 5, 6, 7, 9 e 11 atendem à evolução da demanda.

A **Tabela 12** traz a quantidade de trens simulada para cada fluxo de carga. Para atender à demanda de 2057, serão necessários 8 trens de minério partindo de Serra Vermelha sentido Pecém, 6 trens de grãos de Eliseu Martins destino Pecém e 1 trem de combustível de Pecém para Salgueiro. Para a demanda de Suape, são necessários 1, 3 e 2 trens respectivamente.

Tabela 12 - Quantidade de trem para cada fluxo de carga

Cenário	Minério	PECÉM		Minério	SUAPE	
		Grãos	Combustível		Grãos	Combustível
1	0	1	1	0	0	0
2	0	2	1	0	0	0
3	0	4	1	0	0	0
4	8	4	1	0	0	0
5	4	4	1	0	0	0
6	5	4	1	0	0	0
7	5	5	1	1	1	1
8	7	6	1	1	1	1
9	8	5	1	1	2	1
10	8	6	1	1	4	2
11	8	6	1	1	3	2

Fonte: Elaborado pelo autor

Para cada um dos cenários simulados, foi determinada a capacidade de transporte da ferrovia para o quantitativo de material rodante. Os resultados estão apresentados na **Tabela 13**. Comparando as respostas com a demanda de carga, é possível verificar que a demanda foi atendida.

Tabela 13 - Capacidade de transporte para cada cenário

Cenário	Minério Pecém	Minério Suape	Grãos Pecém	Grãos Suape	Combustível Salgueiro
1	0	0	1.018.584	0	639.639
2	0	0	2.052.960	0	639.639
3	0	0	4.098.024	0	632.452
4	16.909.200	0	3.742.704	0	603.705
5	8.971.200	0	3.924.312	0	625.266
6	11.012.400	0	3.908.520	0	618.079
7	10.823.400	2.142.000	4.792.872	963.312	1.236.157
8	14.540.400	2.091.600	5.582.472	947.520	1.221.783
9	16.480.800	2.053.800	4.587.576	1.895.040	1.221.783
10	16.153.200	2.016.000	5.448.240	3.663.744	1.818.301
11	16.178.400	2.028.600	5.432.448	2.779.392	1.818.301

Fonte: Elaborado pelo autor

O tempo de ciclo dos trens é um *output* muito importante para a operação de uma ferrovia. Quanto mais trens na malha, maiores as interferências e falhas, elevando o tempo de ciclo dos ativos. O **Gráfico 3** apresenta o tempo de ciclo, em horas, dos trens que vão ao

Porto do Pecém e o **Gráfico 4** traz dos trens com destino ao Porto de Suape. É possível verificar o acréscimo de tempo mencionado anteriormente.

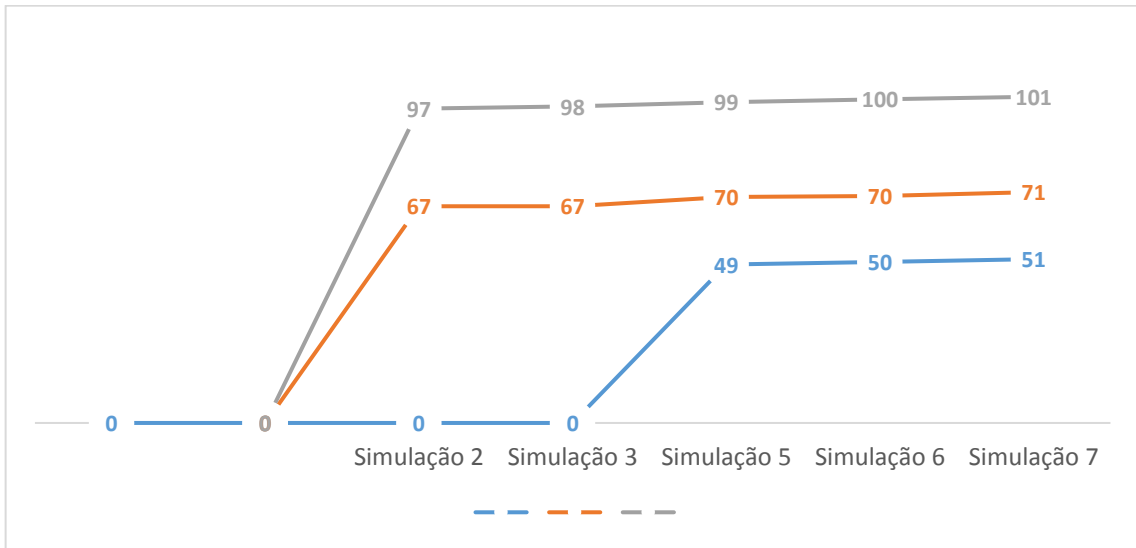


Gráfico 3 - Tempo de ciclo dos trens com destino ao Porto do Pecém

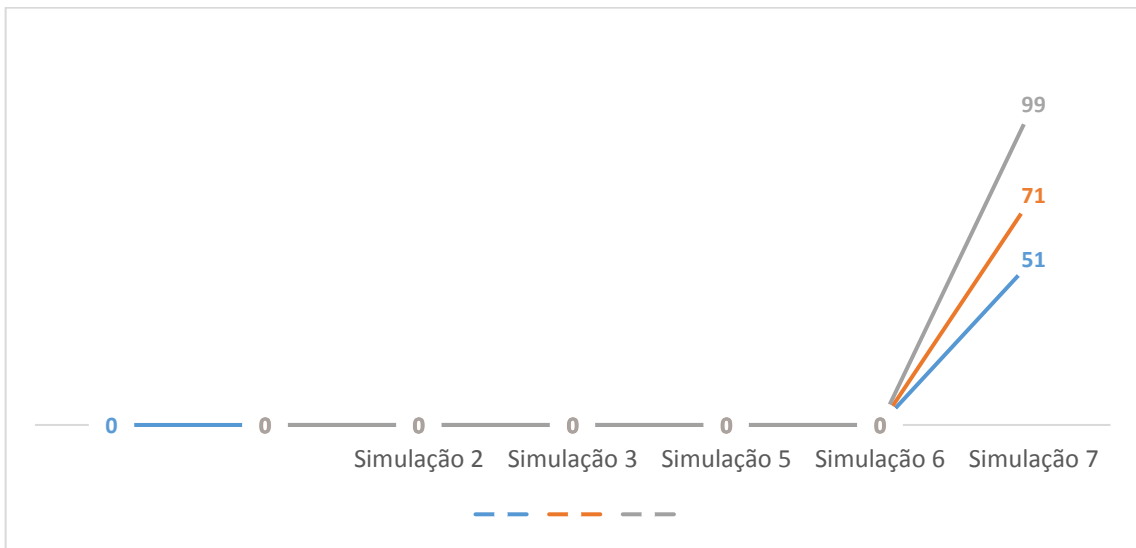


Gráfico 4 - Tempo de ciclo dos trens com destino ao Porto de Suape

O aumento dos tempos de ciclos é mais uma evidência da coerência dos dados e resultados obtidos. Para obter-se um bom dimensionamento da frota de material rodante, é necessário observar a saturação do sistema. Um sistema com grande fluxo de trens gera muitas filas e perdas operacionais, trazendo perdas econômicas ao operador.

Com o objetivo de verificar se o sistema comporta a frota estipulada, foi verificada a ocupação e utilização tanto dos pátios de cruzamento quanto dos trechos

ferroviários. O **Gráfico 5** ilustra a ocupação de cada trecho entre pátios para cada uma das simulações realizadas.

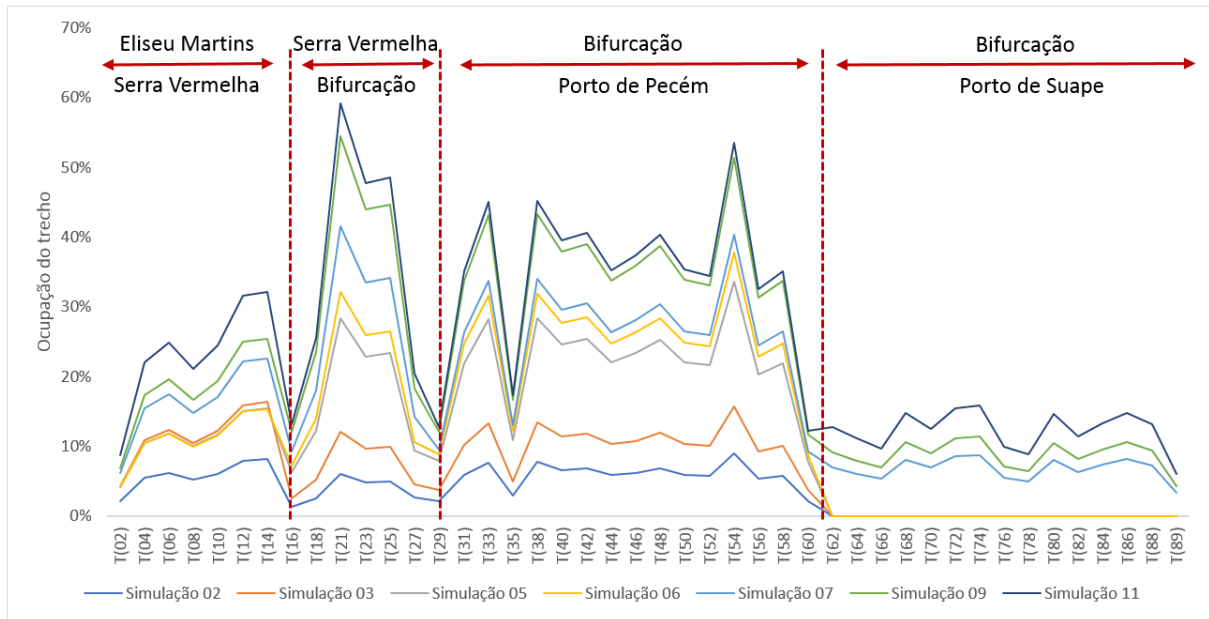


Gráfico 5 - Evolução da ocupação dos trechos entre pátios por cenário simulado

Nota-se um aumento dessa utilização à medida que se tem mais trens circulando na via. Devido ao baixo fluxo de trens sentido Suape, em relação à quantidade de trens sentido Pecém, verifica-se uma baixa utilização das linhas, ao contrário do que ocorre nos trechos entre Eliseu Martins e Pecém.

Os trens carregados, indo sentido exportação, tem preferência nos cruzamentos, portanto praticamente não param para realizar cruzamentos, somente em casos de quebras, falhas, abastecimento e troca de equipe. O reflexo disso é a baixa utilização dos pátios de cruzamento dos trens sentido exportação, conforme o **Gráfico 6**.

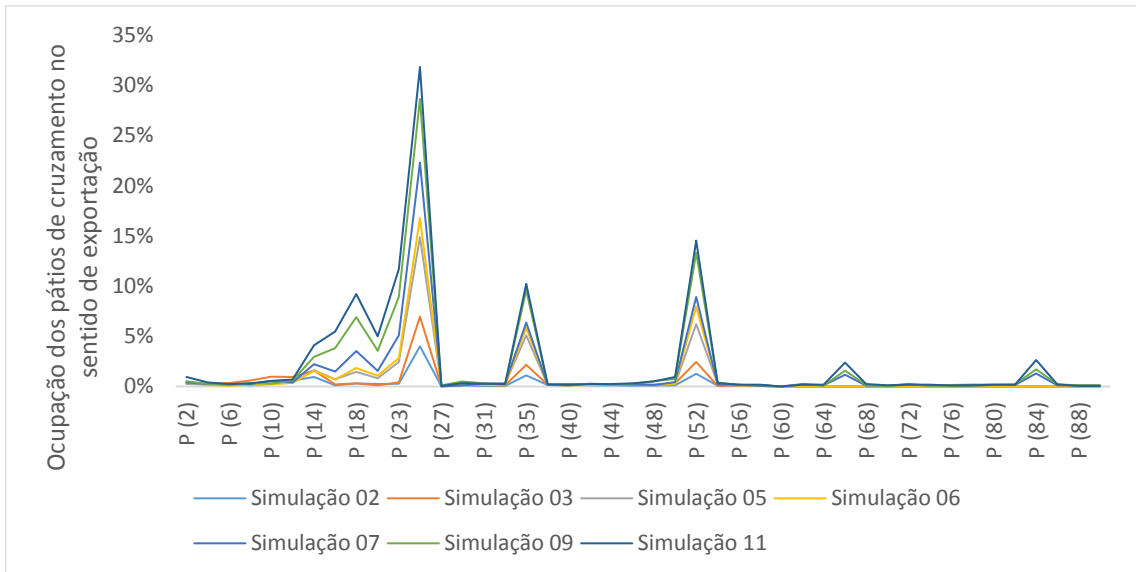


Gráfico 6 - Ocupação dos pátios de cruzamento sentido exportação

No caso dos pátios sentido importação é bem diferente. Os trens não possuem prioridade e devem sempre parar nos cruzamentos com outros trens, elevando a utilização dos pátios de cruzamento. O efeito é facilmente verificado no **Gráfico 7**.

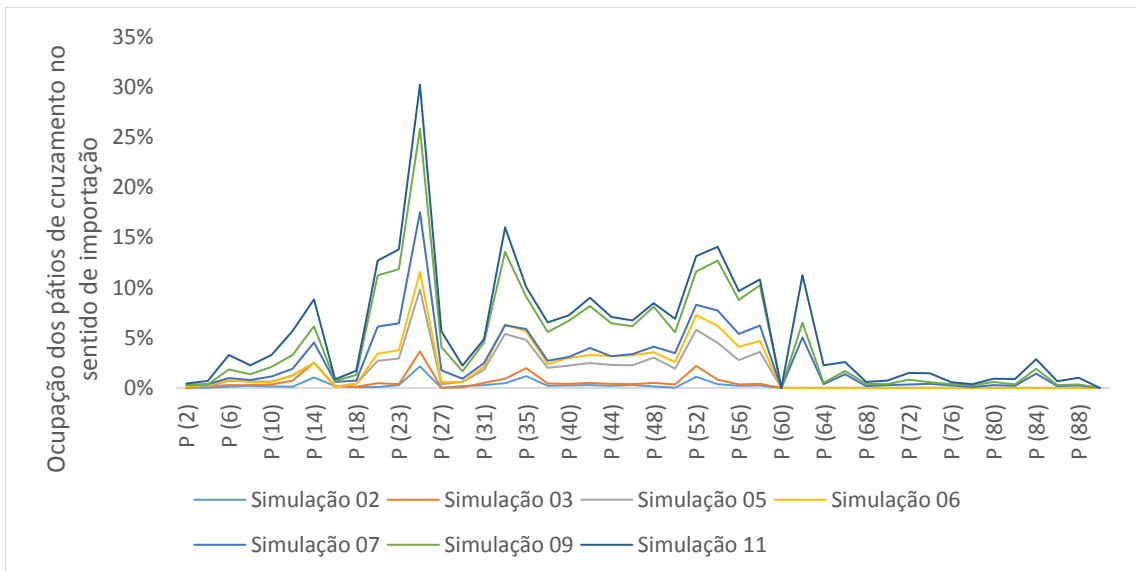


Gráfico 7 - Ocupação dos pátios de cruzamento sentido importação

Para os dois casos, a utilização dos pátios no trecho da ferrovia que vai da bifurcação até o Porto de Suape é muito pequena, devido ao baixo volume de transporte de carga para este destino.

Nenhuma simulação mostrou um grande descolamento das curvas ou qualquer ponto de atenção, com uma ocupação muito elevada. Isso significa que o dimensionamento

realizado é suportado pela infraestrutura existente, não sendo necessária nenhuma alteração, seja dos trens tipo definidos, seja na infraestrutura existente (quantidade de pátios).

A fórmula de Colson, apresentada por Brina (1992), determina a capacidade de uma ferrovia a partir dos tempos de trânsito, de exportação e importação, tempo de manutenção de via e de um fator operacional k.

$$C = k * \frac{1440 - t_{vp}}{t_e + t_i + t_l} \quad (16)$$

- C Capacidade (pares de trem / dia)
 k Fator de eficiência operacional (%)
 t_{vp} Tempo médio diário de manutenção da via permanente (minutos)
 t_e Tempo de viagem entre os dois pátios de cruzamento sentido exportação (minutos)
 t_i Tempo de viagem entre os dois pátios de cruzamento sentido importação (minutos)
 t_l Tempo de licenciamento de trens (minutos)

É importante ressaltar que o fator operacional (k), presente na fórmula de Colson, representa como os trens estão performando, considerando todas os eventos aleatórios que interferem na operação, em relação à operação teórica, sem nenhuma parada. Segundo Brina (1988), esse valor varia entre 60% e 80%. É possível verificar no **Gráfico 8** que a eficiência diminui com o aumento da quantidade de trens na via.

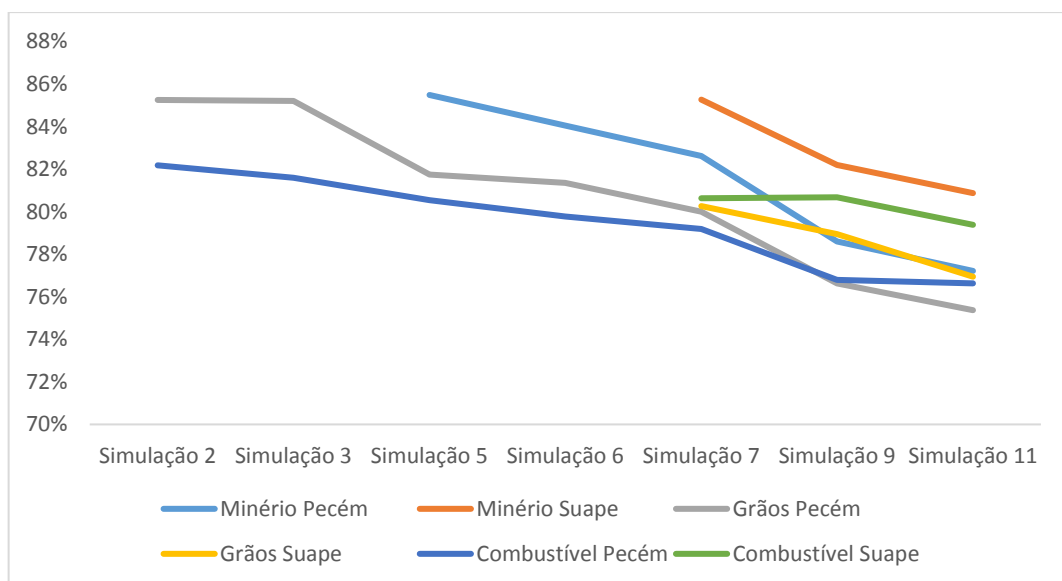


Gráfico 8 - Evolução da eficiência operacional dos trens simulados (k de Colson)

Verifica-se que, em alguns cenários, o coeficiente k assume valores superiores à 80%. Esse fato é devido à operação nos terminais e portos, onde existem grandes ocorrências de filas e atrasos. As filas, principalmente nos terminais portuários, são usuais, visando minimizar a ociosidade dos equipamentos, tais como viradores de vagões. Como os terminais estão fora do escopo do estudo, esses eventos não estão representados, trazendo um ganho operacional. Outro fator é a baixa utilização da capacidade da ferrovia, principalmente nos cenários iniciais, com menor volume de carga.

4.8 Quantitativo de material rodante

Conforme mencionado no texto, um dos objetivos desse trabalho era tratar do dimensionamento de locomotivas e não apenas da frota de vagões. Locomotivas e vagões possuem manutenções distintas, tanto de frequência quanto de duração. Por isso, o quantitativo desses ativos não é diretamente proporcional.

Para cada cenário simulado, foram definidas a quantidade necessária de cada ativo para a operação, manutenção preventiva e manutenção corretiva. O **Gráfico 9** traz a quantidade necessária de locomotivas para cada um dos cenários.

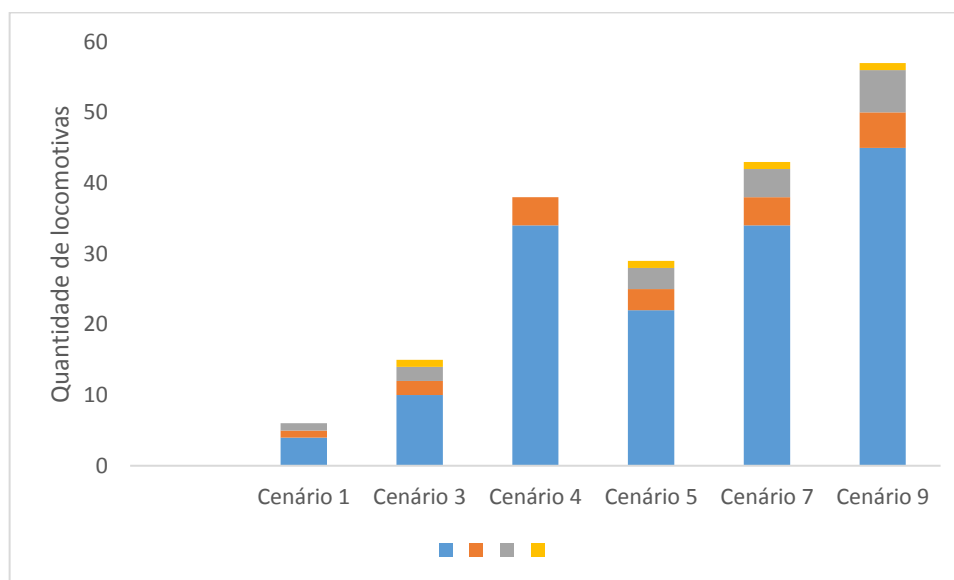


Gráfico 9 - Quantitativo de locomotiva para cada cenário

Do mesmo modo, o **Gráfico 10** apresenta a quantidade de vagões necessários para o transporte de carga da ferrovia.

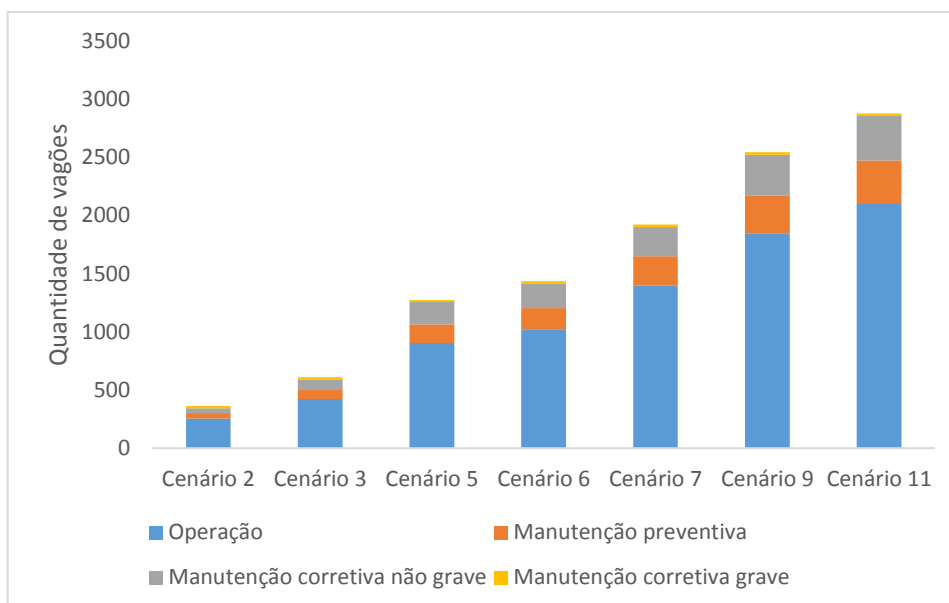


Gráfico 10 - Quantitativo de vagões para cada simulação

Para o caso dos vagões, é necessário definir o quantitativo pelo tipo do vagão. O **Gráfico 11** apresenta a frota de cada tipo de vagão necessária para atender a demanda futura de carga, já considerando a operação, manutenções corretivas e preventivas.

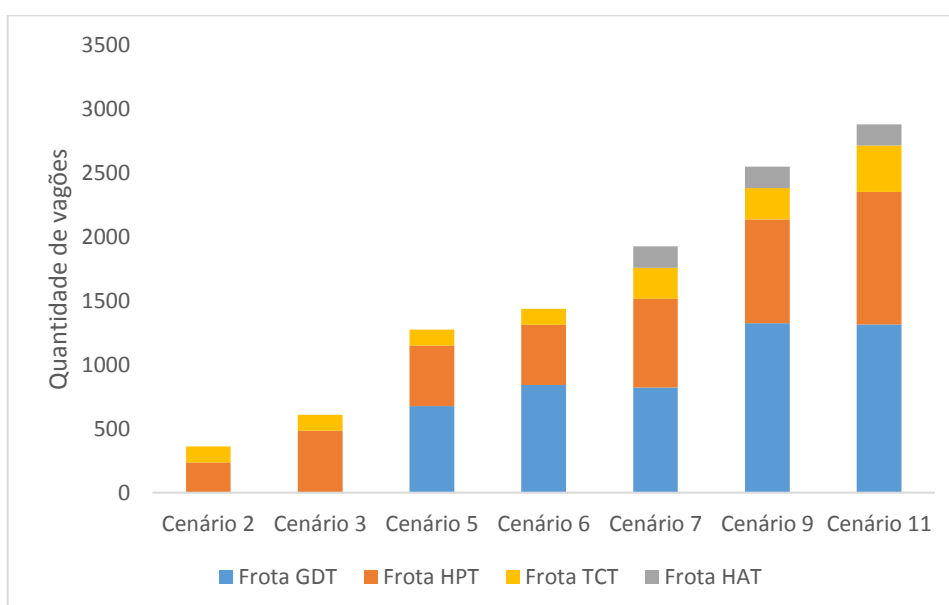


Gráfico 11 - Quantitativo de vagões por tipo para cada cenário

Este item apresentou o estudo de caso da Transnordestina Logística, uma ferrovia que está em fase de projeto e implantação. O método proposto foi aplicado e todas as etapas realizadas com resultados satisfatórios.

Inicialmente foi realizada a caracterização do sistema a ser modelado, visando uma boa compreensão do funcionamento e entendimento das principais características. Na primeira etapa foi visto: o perfil da ferrovia, de via singela, o modelo operacional, como estão previstas as seções de bloqueio, quais as principais cargas e seus fluxos dentro do sistema e como serão os processos de carga e descarga de cada mercadoria em cada terminal.

A segunda etapa consistiu na definição das ferramentas para o desenvolvimento do trabalho. A simulação dinâmica aparece como a ferramenta mais apropriada, dada a complexidade do sistema. A partir da escolha pela simulação dinâmica, foram escolhidos os softwares FTOPS, para a simulação de marcha, e o Arena, para a simulação de malha.

O dimensionamento dos trens tipo foi realizado com sucesso, uma vez que os trens definidos conseguem percorrer toda a ferrovia de maneira segura, ou seja, dentro dos limites operacionais determinados para as forças de tração e compressão nos engates, choques de tração e compressão na composição e valores de L/V nas curvas. Além disso, o software trouxe como output os tempos de trânsito para cada fluxo, com e sem paradas nos pátios de cruzamento.

Com os trens tipo dimensionados, a quarta etapa foi a modelagem do sistema em Arena. Com o modelo pronto e verificado, através das verificações dos seus subsistemas, foram realizadas as simulações de malha, que trouxeram como resposta a frota de material rodante necessária para a operação. O modelo permitiu verificar que a frota dimensionada opera dentro da capacidade da ferrovia, sem gerar nenhum gargalo operacional.

A frota foi dimensionada, considerando todos os principais eventos que interferem na operação, de maneira desagregada, mostrando a quantidade de locomotivas operando e em manutenção e a quantidade de vagões, por tipo de vagão, também trazendo os vagões em operação e em manutenção, atingindo o objetivo principal do trabalho.

5 CONCLUSÃO

O trabalho visou propor um método para dimensionar a frota de material rodante de uma ferrovia em fase de projeto, onde existem diversos fatores e variáveis em definição. Para atingir o objetivo principal, foram propostos quatro objetivos específicos.

Um dos objetivos específicos foi apresentar uma proposta para dimensionamento do trem-tipo em ferrovia em fase de projeto, ou seja, dado o traçado da ferrovia e as cargas a serem transportadas, quais os trens tipo para cada fluxo que poderiam ser utilizados na operação futura. Para atender a esse objetivo, foi realizada uma pesquisa bibliográfica e visitas técnicas às operadoras ferroviárias. Um método foi proposto e utilizado para o estudo de caso, onde mostrou-se capaz de dimensionar os trens tipo para cada fluxo, capazes de operar de maneira segura, ou seja, dentro dos limites de indicadores operacionais.

A simulação de marcha apresentou-se como boa ferramenta para definir um trem tipo seguro, já que além de dimensionar um trem tipo seguro, foi capaz de avaliar os tempos de trânsito entre pátios de cruzamentos e o consumo de combustível, um importante indicador para análises de eficiência energética.

Visando um dimensionamento de frota mais robusto, verificou-se a necessidade de determinar quais efeitos aleatórios impactam na operação ferroviária, já que podem interferir no tempo de ciclo das composições e, conseqüentemente, na quantidade de material rodante necessária para atender a demanda de carga.

Os efeitos foram identificados a partir de uma revisão teórica e, exceto os acidentes, foram representados dentro da modelagem no simulador Arena. A geração de cruzamentos, filas nos terminais, paradas obrigatórias para abastecimento e troca de equipe, entre outros, aparecem como resultado das regras de movimentação dos trens. O único efeito externo (os acidentes) foi considerado como um dado de entrada.

Com todos os eventos inseridos na modelagem foi possível investigar como a interferência de tais efeitos afetam o ciclo de produção da ferrovia, aumentando os tempos de ciclo das composições devido aos THP's gerados, dado que o modelo de simulação foi capaz de apresentar cada THP de forma desagregada.

O método proposto foi aplicado ao estudo de caso da Transnordestina Logística SA com resultados satisfatórios. O modelo foi capaz de dimensionar a frota de material rodante para atender a demanda futura de carga, tanto em termos de operação e manutenção,

seja preventiva ou corretiva, ou seja, apresenta a quantidade de vagões, aberto por tipo de vagão, e locomotivas em operação e em manutenção.

Os trens tipo dimensionados permitem uma operação segura, dentro dos limites operacionais de forças e choques de tração e compressão e de indicadores como L/V. Operacionalmente, foi verificado que o fluxo de trem está abaixo da capacidade do sistema, não havendo necessidade de alterar o trem tipo ou mesmo a infraestrutura da ferrovia.

Portanto, verificou-se que a simulação dinâmica é uma poderosa ferramenta para esse tipo de análise (sistemas complexos) trazendo indicadores importantes (tais como utilização da via e pátios de cruzamento, tempos de ciclos com as paradas, quantitativo de locomotivas e vagões em manutenção, entre outras) para o entendimento da operação futura da ferrovia, auxiliando a tomada de decisão voltada ao dimensionamento da frota de material rodante.

5.1 Recomendações

Visando aprimorar os resultados obtidos com o método proposto, recomenda-se criar ou utilizar um modelo de previsão de acidentes para uma ferrovia em fase de projeto, tornando essa variável de entrada mais robusta e, conseqüentemente, tornando os resultados das simulações mais assertivos. Pode-se, também, trabalhar os dados de acidentes, dividindo-os em dois grupos e gerando duas distribuições, uma para cada tipo de acidente (grave e não grave), conforme mencionado.

A definição do trem tipo foi realizada de maneira que o trem fosse capaz de percorrer toda a ferrovia de maneira segura, ou seja, dentro dos limites operacionais dos engates e outros indicadores de segurança, tal como o L/V. Recomenda-se, porém, um estudo mais aprofundado para verificar ganhos operacionais de outros trens tipo, ou seja, um trem tipo que além de seguro, ele tenha boa eficiência energética ou menor tempo entre pátios, dependendo do modelo de operação da ferrovia.

Na modelagem do sistema, recomenda-se, sempre que possível, modelar em conjunto com os terminais de carga e descarga, pois a operação deles pode interferir na operação da ferrovia, gerando THP, por exemplo. Unificando todos os sistemas em um único modelo pode aumentar a assertividade do dimensionamento.

REFERÊNCIAS

- ABERG, L. Driver behavior at flashing-light, rail-highway crossings. **Accident Analysis & Prevention**, v. 22, n. 3, 1990.
- ANANDARAO, S.; MARTLAND, C. D. **Level crossing safety on East Japan Railway Company: Application of probabilistic risk assessment techniques**. C.D. Transportation, 1998.
- BANKS, J. **Discrete event simulation**. Winter Simulation Conference, ed. P.A. Farrington, H.B. Nembhard, D.T. Sturrock, G.W. Evans, p. 7-13, 1999.
- BARBOSA, R. S. **Estudo da dinâmica longitudinal do trem**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Departamento de Projeto Mecânico, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.
- BARBOSA, R. S. **Aplicação de sistemas multicorpos na dinâmica de veículos guiados**. 1999. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- BARBOSA, R. S.; KASSAB JUNIOR, F.; NISHIMOTO, K.; PADOVESE, L. R.; MARQUES, R. P.; TANIGUCHI, D. **Sistemas de Realidade Virtual para Simulação de Equipamentos de Movimentação e Treinamento de Operadores**. II Encontro de Ferrovias, 2010, Vitória, 2010.
- BARBOSA, R. S.; KASSAB JUNIOR, F.; MARQUES, R. P.; NISHIMOTO, K.; MAKIYAMA, H. S. **Sistema de Realidade Virtual de Simulação Multiusuários de Trens em Malha Ferroviária para Treinamento de Operadores**. III Encontro de Ferrovias realizado em Juiz de Fora, 2011.
- BEAUJON, G. J.; TURNQUIST, M. A. A Model for Fleet Sizing and Vehicle Allocation. **Transportation Science**, v 25, n 1, p. 19-45, 1991.
- BOJOVIC, N. **A general system theory approach to rail freight car fleet sizing**. 2000.
- BOJOVIC, N.; MILENKOVIC, M. The best rail fleet mix problem. **Operational Research International Journal**, 2008.
- BOJOVIC, N.; BOSKOVIC, B.; MILENKOVIC, M.; SUNJIC, A. A two-level approach to the problem of rail freight car fleet composition. **Transport**, v. 25, n2, p. 186-192, 2010.
- BRINA, H. L. **Estradas de Ferro. Livros Técnicos e Científicos**. v. 1. Rio de Janeiro - RJ, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editoras S.A., 1988.
- BRINA, H. L. **Estradas de Ferro. Livros Técnicos e Científicos**. v. 2. Rio de Janeiro - RJ, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editoras S.A., 1992.
- COLE, C.; SUN, Y. Q. Simulated comparisons of wagon coupler systems in heavy haul trains. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: **Journal of Rail and Rapid Transit**, v. 220, n. 3, p. 247-256, 2006.

CREMONESE, D. T., **Desenvolvimento e aplicação de metodologia para estudos de simulação dinâmica na cadeia do minério de ferro**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas e de Petróleo) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CSN. Companhia Siderúrgica Nacional. Disponível em <http://www.csn.com.br/conteudo_pti.asp?idioma=0&conta=45&tipo=59542>. Acesso em: 3 ago. 2017.

DIAS, T. F. **Avaliação de indicadores operacionais: estudo de caso de uma empresa do setor ferroviário**. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

DINGLER, H.; LAI, Y. C.; BARKAN, C. P. L. Effect of train-type heterogeneity on single-track heavy haul railway line capacity. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: **Journal of Rail and Rapid Transit**. n. 228, p. 845-856, 2013.

FIORONI, M. M. **Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no Brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições**. 2008. Tese (Doutorado em Engenharia Naval e Oceânica) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

FTL. **Manual de Operações Ferroviárias**. 2017

FUKASAWA, R.; ARAGÃO, M. P.; PORTO, O.; UCHOA, E. **Solving the freight car flow problem to optimality**. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, v. 66, n 6, p. 42-52, 2002.

GE. Disponível em <<https://www.ge.com/digital/sites/default/files/GE-Transportation-LOCOTROL-20160824.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

GONÇALVES, I. M.; LAZZARINI, C. M. C.; FARIA, C. A. **Dimensionamento dos trens no corredor centro-leste**. In: Anais do XXVI Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte, ANPET, Joinville, Santa Catarina, 2012.

GOVERDE, R.; HANSEN, I. A. **Performance indicators for railway timetables**. IEEE ICIRT 2013 - Proceedings: IEEE International Conference on Intelligent Rail Transportation, p. 301-306, 2013.

GRANT, L. G. Application of State of the Art Simulation Technology to Railway Driver Training. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: **Journal of Automobile Engineering**, v. 200, n. 3, p. 159-165, 1986.

HIGGINS, A.; KOZAN, E.; FERREIRA, L. **Optimal scheduling of trains on a single line track**. Transportation Research - Part B, v. 30B, n 2, p. 147-161, 1996.

IHHA - International Heavy Haul Association. About IHHA. Disponível em <<https://www.ihha.net/about-ihha>>. Acesso em: 09 set. 2017.

JORDAN, C. W.; TURNQUIST, M. A. **A Stochastic, Dynamic Network Model for Railroad Car Distribution**. Transportation Science, v. 17, n. 2, p. 123-145, 1983.

KIVIAT, P. J. **Digital Computer Simulation: Modeling Concepts**, RAND Memo RM-5378-PR, RAND Corporation, 1967.

LAW, A. M.; KELTON, W. D. **Simulation modeling & analysis**. 2nd ed. Singapura. McGraw-Hill, 1991.

LERNER, N.; RATTE, D.; WALKER, J. **Driver behavior at rail-highway crossings. Final report**, 1990.

LESYNA, W. R. **Sizing industrial rail car fleets using discrete event simulation**. 1999.

MA, W.; LUOA, S.; SONGB, R. Coupler dynamic performance analysis of heavy haul locomotives. **Vehicle System Dynamics**, v. 50, n. 9, 2012.

MAGALHÃES, P. C. B. **Limites para tração múltipla**. Tratado de estradas de ferro, ORG Castello Branco e Ferreira. Ed. Reflexus estúdio de produção gráfica, 2000.

MAJOLA, L. **The optimisation of train make-up and train handling - simulating longitudinal train dynamics**. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Natal, Durban, África do Sul, 2000.

MARTÍNEZ, F. E. M. **Application of SIMAN ARENA Discrete Event Simulation Tool in the Operational Planning of a Rail System**. 2001.

MCGINTY, J. T. **Simulation Modeling for System Design and Analysis**. Part I: Principles and Guidelines. 2001.

MEIRELES, R. P. L., **Modelagem e simulação da malha ferroviária em circuito fechado da estrada de ferro Vitória a Minas**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil - Transportes) – Centro Tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2010.

MENDIRATTA, V.B. **A Dynamic Optimization Model of the Empty Car Distribution Process**. 1981.

MENDIRATTA, V.B.; TURNQUIST, M. A. **A model for management of empty freight cars**. 1982.

MILENKOVIC, M.; BOJOVIC, N. **A fuzzy random model for rail freight car fleet sizing problem**. 2013.

MILENKOVIĆ, M. S.; BOJOVIĆ, N. J.; ŠVADLENKA, L.; MELICHAR, V. **A stochastic model predictive control to heterogeneous rail freight car fleet sizing problem**. In *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 82, p. 162-198, 2015.

MORTIMER, R. G. **Visual factors in rail-highway grade crossing accidents**. 1991.

MRS. Disponível em <<https://www.mrs.com.br/post-newsletter/voce-conhece-o-sistema-locotrol/>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

NOVAES, A.G. **Sistemas de transportes**. Volume 2, 1986 apud MAGALHÃES, P. C. B. **Limites para tração múltipla**. Tratado de estradas de ferro - Material rodante, Rio de Janeiro, 2000.

OH, J.; WASHINGTON, S. P.; NAM, D. **Accident prediction model for railway-highway interfaces**. *Accident Analysis & Prevention*, v. 38, n. 2, p. 346-356, 2005.

OYAN, C. **Dynamic Simulation of Taipei EMU Train**. *Vehicle System Dynamics: International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility*, v. 30, n. 2, p. 143-167, 1998.

PARAGON. Disponível em < <http://www.paragon.com.br/software/arena/>>. Acesso em: 18 fev. 2017.

PEREIRA, B. H. **Aumento da produtividade sistema cremalheira**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Transportes Ferroviário de Carga, Instituto Militar de Engenharia. Rio de Janeiro, 2008.

PETERSEN, E. R.; TAYLOR, A. J. **A structural model for rail line simulation and optimization**. *Transportation science*, v. 16, p. 192-205, 1982.

PETERSEN, E. R.; TAYLOR, A. J.; MARTLAND, C. D. An introduction to computer-assisted train dispatch. **Journal of Advanced Transportation**, v. 20, n. 1, p. 63-72, 1986.

PORTO, T. G. **PTR 2501 – Transporte Ferroviário e Transporte Aéreo**. Disponível em <<http://sites.poli.usp.br/d/ptr0540/download/aula5.pdf>>. Acesso em: 20 fev. 2017.

POWELL, J. P.; PALACÍN, R. A comparison of modelled and real-life driving profiles for the simulation of railway vehicle operation. **Transportation Planning and Technology**, v. 38, n. 1, p. 78-93, 2014.

RATCLIFFE, L.L., VINOD, B., SPARROW, F.T. Optimal prepositioning of empty freight cars. **Simulation**, v. 42, n. 6, p. 269-275, 1984.

ROZA, L. C. **Teoria da tração e da frenagem**. In Tratado de estradas de ferro, ORG Castello Branco e Ferreira. Ed. Reflexus estúdio de produção gráfica, 2000.

SAHIN, I. Railway traffic control and train scheduling based on inter-rail conflict management. **Transportation Research**. – Part B, v. 33, n. 7, p. 511-534, 1999.

SCHLAKE, B. W.; BARKAN, C. P. L.; EDWARDS J. R. Train Delay and Economic Impact of In-Service Failures of Railroad Rolling Stock. **Journal of the Transportation Research Board**, v. 2261, p. 124-133, 2011.

TEY, L. S.; WALLIS, G.; CLOETE, S.; FERREIRA, L.; ZHU, S. Evaluating Driver Behavior Toward Innovative Warning Devices at Railway Level Crossings Using a Driving Simulator. **Journal of Transportation Safety & Security**, v. 5, n. 2, p. 118-130, 2013.

VALE. Disponível em <<http://www.vale.com/brasil/PT/initiatives/innovation/carajas-railway/Paginas/default.aspx>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

VALEC. Normas técnicas. Disponível em <<http://www.valec.gov.br/ConhecaNormasTecnicas.php>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

WHITE, W. W.; BOMBERAULT, A. M. **A network algorithm for empty freight car allocation.** 1969.

YAGHINI, M; KHANDAGHABADI, K. A hybrid metaheuristic algorithm for dynamic rail car fleet sizing problem, **Applied Mathematical Modelling**, v. 37, 2012.

YAGHINI, M; NIKOO, N; AHADI, H, R. An integer programming model for analysing impacts of different train types on railway line capacity, **Transport**, v. 29, n. 1, p. 28-35, 2014.

**APÊNDICE A – TEMPOS DE TRÂNSITO ENTRE PÁTIOS DOS TRENS
SIMULADOS PARA CADA FLUXO DE CARGA**

Tabela 14 - Tempos de trânsito para os trens de minério, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém

TRECHO VERTICAL - EXPORTAÇÃO (GDT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
AEM	ARG	0,000	43,360	43,360	00:44:17	00:53:46
ARG	ARP	43,360	86,010	42,650	00:54:43	01:04:12
ARP	ASM	86,010	128,463	42,453	01:07:52	01:17:21
ASM	AS2	128,463	171,995	43,532	00:51:04	01:00:34
AS2	ANS	171,995	216,760	44,765	01:10:23	01:19:52
ANS	APA	216,760	282,858	66,098	01:18:21	01:27:50
APA	ABP	282,858	324,038	41,180	00:54:30	01:03:59
ABP	ASV	324,038	341,888	17,850	00:27:36	00:37:06
ASV	CRA	341,888	370,368	28,480	00:44:02	00:53:31
CRA	COR	370,368	426,626	56,258	00:59:34	01:09:03
COR	CPA	426,626	468,860	42,234	00:48:12	00:57:41
CPA	CSA	468,860	510,808	41,948	00:47:30	00:56:59
CSA	CAC	510,808	527,628	16,820	00:15:38	00:25:07
CAC	CPP	527,628	535,468	7,840	00:14:45	00:24:14
CPP	BJA	535,468	571,448	35,980	00:43:19	00:52:48
BJA	BQM	571,448	620,338	48,890	00:53:07	01:02:37
BQM	BAO	620,338	633,252	12,914	00:19:10	00:28:39
BAO	BLM	633,252	682,195	48,943	00:54:12	01:03:41
BLM	BIG	682,195	725,951	43,756	00:49:54	00:59:23
BIG	BAC	725,951	772,192	46,241	00:51:22	01:00:51
BAC	BPQ	772,192	807,862	35,670	00:44:46	00:54:15
BPQ	BQU	807,862	848,358	40,496	00:46:43	00:56:12
BQU	BQQ	848,358	894,179	45,821	00:49:58	00:59:28
BQQ	BQ1	894,179	935,239	41,060	00:44:27	00:53:56
BQ1	BTA	935,239	969,516	34,277	00:39:22	00:48:51
BTA	BCA	969,516	1.021,226	51,710	01:07:34	01:17:03
BCA	BC4	1.021,226	1.054,971	33,745	00:37:17	00:46:46
BC4	BC3	1.054,971	1.091,915	36,944	00:43:14	00:52:43
BC3	BPP	1.091,915	1.149,235	57,320	00:29:04	00:38:33
Total					22:31:56	27:07:01

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 15 - Tempos de trânsito para os trens de minério, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém

TRECHO VERTICAL - IMPORTAÇÃO (GDT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
BPP	BC3	1.149,235	1.091,915	57,320	00:30:52	00:41:19
BC3	BC4	1.091,915	1.054,971	36,944	00:44:43	00:55:10
BC4	BCA	1.054,971	1.021,226	33,745	00:44:51	00:55:18
BCA	BTA	1.021,226	969,516	51,710	01:01:50	01:12:17
BTA	BQ1	969,516	935,239	34,277	00:43:38	00:54:05
BQ1	BQQ	935,239	894,179	41,060	00:43:26	00:53:54
BQQ	BQU	894,179	848,358	45,821	00:50:19	01:00:46
BQU	BPQ	848,358	807,862	40,496	00:47:46	00:58:13
BPQ	BAC	807,862	772,192	35,670	00:42:52	00:53:19
BAC	BIG	772,192	725,951	46,241	00:50:29	01:00:56
BIG	BLM	725,951	682,195	43,756	00:49:26	00:59:53
BLM	BAO	682,195	633,252	48,943	00:56:10	01:06:38
BAO	BQM	633,252	620,338	12,914	00:20:36	00:31:04
BQM	BJA	620,338	571,448	48,890	00:58:30	01:08:57
BJA	CPP	571,448	535,468	35,980	00:44:54	00:55:21
CPP	CAC	535,468	527,628	7,840	00:16:35	00:27:02
CAC	CSA	527,628	510,808	16,820	00:16:17	00:26:44
CSA	CPA	510,808	468,860	41,948	00:47:42	00:58:09
CPA	COR	468,860	426,626	42,234	00:49:59	01:00:27
COR	CRA	426,626	370,368	56,258	01:02:12	01:12:39
CRA	ASV	370,368	341,888	28,480	00:35:32	00:46:00
ASV	ABP	341,888	324,038	17,850	00:23:28	00:33:56
ABP	APA	324,038	282,858	41,180	00:47:10	00:57:37
APA	ANS	282,858	216,760	66,098	01:19:08	01:29:35
ANS	AS2	216,760	171,995	44,765	00:50:40	01:01:07
AS2	ASM	171,995	128,463	43,532	00:55:32	01:05:59
ASM	ARP	128,463	86,010	42,453	01:00:38	01:11:05
ARP	ARG	86,010	43,360	42,650	00:57:05	01:07:32
ARG	AEM	43,360	0,000	43,360	00:46:36	00:57:03
Total					22:18:58	27:22:05

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 16 - Tempos de trânsito para os trens de minério, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape

TRECHO HORIZONTAL - EXPORTAÇÃO (GDT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
AEM	ARG	0,000	43,360	43,360	00:44:17	00:53:46
ARG	ARP	43,360	86,010	42,650	00:54:43	01:04:12
ARP	ASM	86,010	128,463	42,453	01:07:52	01:17:21
ASM	AS2	128,463	171,995	43,532	00:51:04	01:00:34
AS2	ANS	171,995	216,760	44,765	01:10:23	01:19:52
ANS	APA	216,760	282,858	66,098	01:18:21	01:27:50
APA	ABP	282,858	324,038	41,180	00:54:30	01:03:59
ABP	ASV	324,038	341,888	17,850	00:27:36	00:37:06
ASV	CRA	341,888	370,368	28,480	00:44:02	00:53:31
CRA	COR	370,368	426,626	56,258	00:59:34	01:09:03
COR	CPA	426,626	468,860	42,234	00:48:12	00:57:41
CPA	CSA	468,860	510,808	41,948	00:47:30	00:56:59
CSA	CAC	510,808	527,628	16,820	00:15:38	00:25:07
CAC	CVE	527,628	558,754	31,126	00:50:06	00:59:35
CVE	CSJ	558,754	590,554	31,800	00:41:22	00:50:51
CSJ	CS1	590,554	632,854	42,300	00:53:33	01:03:02
CS1	CFL	632,854	668,725	35,871	00:57:28	01:06:57
CFL	CCS	668,725	707,022	38,297	00:47:01	00:56:30
CCS	CSE	707,022	747,682	40,660	00:56:18	01:05:47
CSE	CPS	747,682	801,733	54,051	01:26:54	01:36:23
CPS	CML	801,733	832,112	30,379	00:52:48	01:02:17
CML	CSB	832,112	848,012	15,900	00:22:12	00:31:41
CSB	CAL	848,012	880,230	32,218	00:33:16	00:42:45
CAL	CBM	880,230	911,525	31,295	00:38:23	00:47:52
CBM	CA1	911,525	953,625	42,100	00:43:39	00:53:08
CA1	CPI	953,625	988,117	34,492	00:47:36	00:57:05
CPI	CCR	988,117	1.030,277	42,160	00:43:35	00:53:04
CCR	CSU	1.030,277	1.038,969	8,692	00:12:37	00:22:06
Total					22:30:29	26:56:05

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 17 - Tempos de trânsito para os trens de minério, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape

TRECHO HORIZONTAL - IMPORTAÇÃO (GDT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
CSU	CCR	1.038,969	1.030,277	8,692	00:46:36	00:57:03
CCR	CPI	1.030,277	988,117	42,160	00:57:05	01:07:32
CPI	CA1	988,117	953,625	34,492	01:00:38	01:11:05
CA1	CBM	953,625	911,525	42,100	00:55:32	01:05:59
CBM	CAL	911,525	880,230	31,295	00:50:40	01:01:07
CAL	CSB	880,230	848,012	32,218	01:19:08	01:29:35
CSB	CML	848,012	832,112	15,900	00:47:10	00:57:37
CML	CPS	832,112	801,733	30,379	00:23:28	00:33:56
CPS	CSE	801,733	747,682	54,051	00:35:32	00:46:00
CSE	CCS	747,682	707,022	40,660	01:02:12	01:12:39
CCS	CFL	707,022	668,725	38,297	00:49:59	01:00:27
CFL	CS1	668,725	632,854	35,871	00:47:42	00:58:09
CS1	CSJ	632,854	590,554	42,300	00:16:17	00:26:44
CSJ	CVE	590,554	558,754	31,800	00:40:46	00:51:13
CVE	CAC	558,754	527,628	31,126	00:42:39	00:53:06
CAC	CSA	527,628	510,808	16,820	00:48:16	00:58:43
CSA	CPA	510,808	468,860	41,948	00:43:54	00:54:21
CPA	COR	468,860	426,626	42,234	00:43:57	00:54:24
COR	CRA	426,626	370,368	56,258	00:49:14	00:59:41
CRA	ASV	370,368	341,888	28,480	01:14:57	01:25:24
ASV	ABP	341,888	324,038	17,850	00:39:52	00:50:19
ABP	APA	324,038	282,858	41,180	00:25:48	00:36:15
APA	ANS	282,858	216,760	66,098	00:43:27	00:53:54
ANS	AS2	216,760	171,995	44,765	00:40:02	00:50:29
AS2	ASM	171,995	128,463	43,532	01:02:09	01:12:36
ASM	ARP	128,463	86,010	42,453	00:41:56	00:52:23
ARP	ARG	86,010	43,360	42,650	00:46:00	00:56:27
ARG	AEM	43,360	0,000	43,360	00:15:22	00:25:49
Total					21:30:19	26:22:58

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 18 - Tempos de trânsito para os trens de grãos, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém

TRECHO VERTICAL - EXPORTAÇÃO (HPT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
AEM	ARG	0,000	43,360	43,360	00:43:44	00:56:26
ARG	ARP	43,360	86,010	42,650	00:54:46	01:07:28
ARP	ASM	86,010	128,463	42,453	01:07:36	01:20:18
ASM	AS2	128,463	171,995	43,532	00:52:36	01:05:17
AS2	ANS	171,995	216,760	44,765	01:13:04	01:25:45
ANS	APA	216,760	282,858	66,098	01:20:56	01:33:38
APA	ABP	282,858	324,038	41,180	00:53:48	01:06:29
ABP	ASV	324,038	341,888	17,850	00:29:47	00:42:29
ASV	CRA	341,888	370,368	28,480	00:44:38	00:57:19
CRA	COR	370,368	426,626	56,258	01:00:25	01:13:07
COR	CPA	426,626	468,860	42,234	00:50:24	01:03:05
CPA	CSA	468,860	510,808	41,948	00:46:09	00:58:50
CSA	CAC	510,808	527,628	16,820	00:16:15	00:28:56
CAC	CPP	527,628	535,468	7,840	00:14:12	00:26:53
CPP	BJA	535,468	571,448	35,980	00:44:10	00:56:51
BJA	BQM	571,448	620,338	48,890	00:52:29	01:05:10
BQM	BAO	620,338	633,252	12,914	00:19:31	00:32:12
BAO	BLM	633,252	682,195	48,943	00:55:26	01:08:08
BLM	BIG	682,195	725,951	43,756	00:49:59	01:02:40
BIG	BAC	725,951	772,192	46,241	00:51:29	01:04:11
BAC	BPQ	772,192	807,862	35,670	00:45:44	00:58:26
BPQ	BQU	807,862	848,358	40,496	00:46:53	00:59:35
BQU	BQQ	848,358	894,179	45,821	00:50:39	01:03:20
BQQ	BQ1	894,179	935,239	41,060	00:44:57	00:57:39
BQ1	BTA	935,239	969,516	34,277	00:39:24	00:52:05
BTA	BCA	969,516	1.021,226	51,710	01:07:21	01:20:03
BCA	BC4	1.021,226	1.054,971	33,745	00:36:46	00:49:27
BC4	BC3	1.054,971	1.091,915	36,944	00:42:24	00:55:05
BC3	BPP	1.091,915	1.149,235	57,320	00:28:28	00:41:10
Total					22:43:58	28:52:04

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 19 - Tempos de trânsito para os trens de grãos, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém

TRECHO VERTICAL - IMPORTAÇÃO (HPT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
BPP	BC3	1.149,235	1.091,915	57,320	00:32:10	00:41:59
BC3	BC4	1.091,915	1.054,971	36,944	00:43:56	00:53:44
BC4	BCA	1.054,971	1.021,226	33,745	00:42:18	00:52:07
BCA	BTA	1.021,226	969,516	51,710	01:00:41	01:10:29
BTA	BQ1	969,516	935,239	34,277	00:42:24	00:52:13
BQ1	BQQ	935,239	894,179	41,060	00:43:52	00:53:41
BQQ	BQU	894,179	848,358	45,821	00:52:30	01:02:19
BQU	BPQ	848,358	807,862	40,496	00:45:07	00:54:56
BPQ	BAC	807,862	772,192	35,670	00:43:05	00:52:54
BAC	BIG	772,192	725,951	46,241	00:50:13	01:00:01
BIG	BLM	725,951	682,195	43,756	00:48:14	00:58:03
BLM	BAO	682,195	633,252	48,943	00:56:18	01:06:07
BAO	BQM	633,252	620,338	12,914	00:18:14	00:28:03
BQM	BJA	620,338	571,448	48,890	01:00:45	01:10:34
BJA	CPP	571,448	535,468	35,980	00:43:17	00:53:06
CPP	CAC	535,468	527,628	7,840	00:16:35	00:26:24
CAC	CSA	527,628	510,808	16,820	00:16:10	00:25:58
CSA	CPA	510,808	468,860	41,948	00:48:30	00:58:18
CPA	COR	468,860	426,626	42,234	00:47:24	00:57:12
COR	CRA	426,626	370,368	56,258	01:01:26	01:11:15
CRA	ASV	370,368	341,888	28,480	00:34:03	00:43:51
ASV	ABP	341,888	324,038	17,850	00:22:55	00:32:44
ABP	APA	324,038	282,858	41,180	00:45:01	00:54:50
APA	ANS	282,858	216,760	66,098	01:17:23	01:27:12
ANS	AS2	216,760	171,995	44,765	00:49:18	00:59:06
AS2	ASM	171,995	128,463	43,532	00:53:10	01:02:59
ASM	ARP	128,463	86,010	42,453	00:56:59	01:06:47
ARP	ARG	86,010	43,360	42,650	00:55:16	01:05:04
ARG	AEM	43,360	0,000	43,360	00:46:34	00:56:22
Total					21:53:47	26:38:17

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 20 - Tempos de trânsito para os trens de grãos, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape

TRECHO HORIZONTAL - EXPORTAÇÃO (HPT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
AEM	ARG	0,000	43,360	43,360	00:43:44	00:56:26
ARG	ARP	43,360	86,010	42,650	00:54:46	01:07:28
ARP	ASM	86,010	128,463	42,453	01:07:36	01:20:18
ASM	AS2	128,463	171,995	43,532	00:52:36	01:05:17
AS2	ANS	171,995	216,760	44,765	01:13:04	01:25:45
ANS	APA	216,760	282,858	66,098	01:20:56	01:33:38
APA	ABP	282,858	324,038	41,180	00:53:48	01:06:29
ABP	ASV	324,038	341,888	17,850	00:29:47	00:42:29
ASV	CRA	341,888	370,368	28,480	00:44:38	00:57:19
CRA	COR	370,368	426,626	56,258	01:00:25	01:13:07
COR	CPA	426,626	468,860	42,234	00:50:24	01:03:05
CPA	CSA	468,860	510,808	41,948	00:46:09	00:58:50
CSA	CAC	510,808	527,628	16,820	00:16:15	00:28:56
CAC	CVE	527,628	558,754	31,126	00:54:03	01:06:44
CVE	CSJ	558,754	590,554	31,800	00:42:18	00:55:00
CSJ	CS1	590,554	632,854	42,300	00:53:12	01:05:54
CS1	CFL	632,854	668,725	35,871	00:59:46	01:12:28
CFL	CCS	668,725	707,022	38,297	00:47:02	00:59:44
CCS	CSE	707,022	747,682	40,660	00:57:05	01:09:47
CSE	CPS	747,682	801,733	54,051	01:26:41	01:39:23
CPS	CML	801,733	832,112	30,379	00:52:54	01:05:36
CML	CSB	832,112	848,012	15,900	00:22:03	00:34:45
CSB	CAL	848,012	880,230	32,218	00:33:35	00:46:17
CAL	CBM	880,230	911,525	31,295	00:36:23	00:49:04
CBM	CA1	911,525	953,625	42,100	00:42:33	00:55:15
CA1	CPI	953,625	988,117	34,492	00:49:13	01:01:55
CPI	CCR	988,117	1.030,277	42,160	00:42:23	00:55:05
CCR	CSU	1.030,277	1.038,969	8,692	00:12:07	00:24:49
Total					22:45:25	28:40:50

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 21 - Tempos de trânsito para os trens de grãos, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape

TRECHO HORIZONTAL - IMPORTAÇÃO (HPT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
CSU	CCR	1.038,969	1.030,277	8,692	00:46:34	00:56:22
CCR	CPI	1.030,277	988,117	42,160	00:55:16	01:05:04
CPI	CA1	988,117	953,625	34,492	00:56:59	01:06:47
CA1	CBM	953,625	911,525	42,100	00:53:10	01:02:59
CBM	CAL	911,525	880,230	31,295	00:49:18	00:59:06
CAL	CSB	880,230	848,012	32,218	01:17:23	01:27:12
CSB	CML	848,012	832,112	15,900	00:45:01	00:54:50
CML	CPS	832,112	801,733	30,379	00:22:55	00:32:44
CPS	CSE	801,733	747,682	54,051	00:34:03	00:43:51
CSE	CCS	747,682	707,022	40,660	01:01:26	01:11:15
CCS	CFL	707,022	668,725	38,297	00:47:24	00:57:12
CFL	CS1	668,725	632,854	35,871	00:48:30	00:58:18
CS1	CSJ	632,854	590,554	42,300	00:16:10	00:25:58
CSJ	CVE	590,554	558,754	31,800	00:44:12	00:54:01
CVE	CAC	558,754	527,628	31,126	00:48:03	00:57:51
CAC	CSA	527,628	510,808	16,820	00:51:27	01:01:15
CSA	CPA	510,808	468,860	41,948	00:43:14	00:53:03
CPA	COR	468,860	426,626	42,234	00:48:43	00:58:32
COR	CRA	426,626	370,368	56,258	00:52:11	01:02:00
CRA	ASV	370,368	341,888	28,480	01:17:58	01:27:47
ASV	ABP	341,888	324,038	17,850	00:40:17	00:50:06
ABP	APA	324,038	282,858	41,180	00:29:01	00:38:50
APA	ANS	282,858	216,760	66,098	00:45:46	00:55:35
ANS	AS2	216,760	171,995	44,765	00:43:10	00:52:59
AS2	ASM	171,995	128,463	43,532	01:06:56	01:16:45
ASM	ARP	128,463	86,010	42,453	00:44:17	00:54:06
ARP	ARG	86,010	43,360	42,650	00:46:11	00:56:00
ARG	AEM	43,360	0,000	43,360	00:15:40	00:25:29
Total					21:51:14	26:25:56

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 22 - Tempos de trânsito para os trens de combustível, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém

TRECHO VERTICAL - EXPORTAÇÃO (TCT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
AEM	ARG	0,000	43,360	43,360	00:43:45	00:56:21
ARG	ARP	43,360	86,010	42,650	00:56:03	01:08:39
ARP	ASM	86,010	128,463	42,453	01:06:53	01:19:29
ASM	AS2	128,463	171,995	43,532	00:53:01	01:05:37
AS2	ANS	171,995	216,760	44,765	01:11:35	01:24:11
ANS	APA	216,760	282,858	66,098	01:18:47	01:31:23
APA	ABP	282,858	324,038	41,180	00:56:02	01:08:38
ABP	ASV	324,038	341,888	17,850	00:29:12	00:41:48
ASV	CRA	341,888	370,368	28,480	00:44:23	00:57:00
CRA	COR	370,368	426,626	56,258	01:00:04	01:12:40
COR	CPA	426,626	468,860	42,234	00:49:08	01:01:44
CPA	CSA	468,860	510,808	41,948	00:50:35	01:03:11
CSA	CAC	510,808	527,628	16,820	00:19:01	00:31:37
CAC	CPP	527,628	535,468	7,840	00:22:44	00:35:20
CPP	BJA	535,468	571,448	35,980	00:44:06	00:56:42
BJA	BQM	571,448	620,338	48,890	01:00:27	01:13:03
BQM	BAO	620,338	633,252	12,914	00:21:50	00:34:26
BAO	BLM	633,252	682,195	48,943	00:54:49	01:07:25
BLM	BIG	682,195	725,951	43,756	00:49:26	01:02:02
BIG	BAC	725,951	772,192	46,241	00:51:58	01:04:34
BAC	BPQ	772,192	807,862	35,670	00:44:55	00:57:31
BPQ	BQU	807,862	848,358	40,496	00:47:42	01:00:18
BQU	BQQ	848,358	894,179	45,821	00:50:13	01:02:49
BQQ	BQ1	894,179	935,239	41,060	00:45:10	00:57:46
BQ1	BTA	935,239	969,516	34,277	00:40:00	00:52:36
BTA	BCA	969,516	1.021,226	51,710	01:07:58	01:20:34
BCA	BC4	1.021,226	1.054,971	33,745	00:36:58	00:49:34
BC4	BC3	1.054,971	1.091,915	36,944	00:42:49	00:55:25
BC3	BPP	1.091,915	1.149,235	57,320	00:28:30	00:41:06
Total					23:08:02	29:13:28

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 23 - Tempos de trânsito para os trens de combustível, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto do Pecém

TRECHO VERTICAL - IMPORTAÇÃO (TCT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
BPP	BC3	1.149,235	1.091,915	57,320	00:32:07	00:39:50
BC3	BC4	1.091,915	1.054,971	36,944	00:46:49	00:54:32
BC4	BCA	1.054,971	1.021,226	33,745	00:44:05	00:51:49
BCA	BTA	1.021,226	969,516	51,710	01:03:05	01:10:48
BTA	BQ1	969,516	935,239	34,277	00:45:12	00:52:56
BQ1	BQQ	935,239	894,179	41,060	00:44:16	00:51:59
BQQ	BQU	894,179	848,358	45,821	00:50:38	00:58:21
BQU	BPQ	848,358	807,862	40,496	00:48:46	00:56:30
BPQ	BAC	807,862	772,192	35,670	00:44:25	00:52:09
BAC	BIG	772,192	725,951	46,241	00:49:24	00:57:08
BIG	BLM	725,951	682,195	43,756	00:50:01	00:57:44
BLM	BAO	682,195	633,252	48,943	00:56:51	01:04:34
BAO	BQM	633,252	620,338	12,914	00:20:37	00:28:21
BQM	BJA	620,338	571,448	48,890	01:00:23	01:08:07
BJA	CPP	571,448	535,468	35,980	00:45:55	00:53:38
CPP	CAC	535,468	527,628	7,840	00:16:09	00:23:53
CAC	CSA	527,628	510,808	16,820	00:16:09	00:23:53
CSA	CPA	510,808	468,860	41,948	00:48:15	00:55:59
CPA	COR	468,860	426,626	42,234	00:50:20	00:58:03
COR	CRA	426,626	370,368	56,258	01:02:30	01:10:13
CRA	ASV	370,368	341,888	28,480	00:33:54	00:41:38
ASV	ABP	341,888	324,038	17,850	00:23:53	00:31:37
ABP	APA	324,038	282,858	41,180	00:45:41	00:53:25
APA	ANS	282,858	216,760	66,098	01:20:53	01:28:36
ANS	AS2	216,760	171,995	44,765	00:48:58	00:56:42
AS2	ASM	171,995	128,463	43,532	00:55:38	01:03:21
ASM	ARP	128,463	86,010	42,453	01:01:33	01:09:17
ARP	ARG	86,010	43,360	42,650	00:58:21	01:06:04
ARG	AEM	43,360	0,000	43,360	00:47:08	00:54:52
Total					22:31:57	26:15:58

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 24 - Tempos de trânsito para os trens de combustível, sentido exportação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape

TRECHO HORIZONTAL - EXPORTAÇÃO (TCT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
AEM	ARG	0,000	43,360	43,360	00:43:45	00:56:21
ARG	ARP	43,360	86,010	42,650	00:56:03	01:08:39
ARP	ASM	86,010	128,463	42,453	01:06:53	01:19:29
ASM	AS2	128,463	171,995	43,532	00:53:01	01:05:37
AS2	ANS	171,995	216,760	44,765	01:11:35	01:24:11
ANS	APA	216,760	282,858	66,098	01:18:47	01:31:23
APA	ABP	282,858	324,038	41,180	00:56:02	01:08:38
ABP	ASV	324,038	341,888	17,850	00:29:12	00:41:48
ASV	CRA	341,888	370,368	28,480	00:44:23	00:57:00
CRA	COR	370,368	426,626	56,258	01:00:04	01:12:40
COR	CPA	426,626	468,860	42,234	00:49:08	01:01:44
CPA	CSA	468,860	510,808	41,948	00:50:35	01:03:11
CSA	CAC	510,808	527,628	16,820	00:19:01	00:31:37
CAC	CVE	527,628	558,754	31,126	00:52:18	01:04:54
CVE	CSJ	558,754	590,554	31,800	00:42:41	00:55:17
CSJ	CS1	590,554	632,854	42,300	00:52:49	01:05:25
CS1	CFL	632,854	668,725	35,871	00:57:21	01:09:57
CFL	CCS	668,725	707,022	38,297	00:47:26	01:00:02
CCS	CSE	707,022	747,682	40,660	00:55:34	01:08:10
CSE	CPS	747,682	801,733	54,051	01:25:03	01:37:39
CPS	CML	801,733	832,112	30,379	00:52:19	01:04:55
CML	CSB	832,112	848,012	15,900	00:22:30	00:35:06
CSB	CAL	848,012	880,230	32,218	00:33:22	00:45:58
CAL	CBM	880,230	911,525	31,295	00:37:40	00:50:16
CBM	CA1	911,525	953,625	42,100	00:44:12	00:56:48
CA1	CPI	953,625	988,117	34,492	00:46:37	00:59:13
CPI	CCR	988,117	1.030,277	42,160	00:44:41	00:57:17
CCR	CSU	1.030,277	1.038,969	8,692	00:12:49	00:25:25
Total					22:45:51	28:38:40

Fonte: Elaborado pelo autor

Tabela 25 - Tempos de trânsito para os trens de combustível, sentido importação, no trecho Eliseu Martins até Porto de Suape

TRECHO HORIZONTAL - IMPORTAÇÃO (TCT)						
INI	FIM	KM INI	KM FIM	DIST.	TEMPO S/ PARADAS	TEMPO C/ PARADAS
CSU	CCR	1.038,969	1.030,277	8,692	00:47:08	00:54:52
CCR	CPI	1.030,277	988,117	42,160	00:58:21	01:06:04
CPI	CA1	988,117	953,625	34,492	01:01:33	01:09:17
CA1	CBM	953,625	911,525	42,100	00:55:38	01:03:21
CBM	CAL	911,525	880,230	31,295	00:48:58	00:56:42
CAL	CSB	880,230	848,012	32,218	01:20:53	01:28:36
CSB	CML	848,012	832,112	15,900	00:45:41	00:53:25
CML	CPS	832,112	801,733	30,379	00:23:53	00:31:37
CPS	CSE	801,733	747,682	54,051	00:33:54	00:41:38
CSE	CCS	747,682	707,022	40,660	01:02:30	01:10:13
CCS	CFL	707,022	668,725	38,297	00:50:20	00:58:03
CFL	CS1	668,725	632,854	35,871	00:48:15	00:55:59
CS1	CSJ	632,854	590,554	42,300	00:16:09	00:23:53
CSJ	CVE	590,554	558,754	31,800	00:40:12	00:47:55
CVE	CAC	558,754	527,628	31,126	00:43:17	00:51:00
CAC	CSA	527,628	510,808	16,820	00:52:27	01:00:10
CSA	CPA	510,808	468,860	41,948	00:42:42	00:50:25
CPA	COR	468,860	426,626	42,234	00:45:30	00:53:13
COR	CRA	426,626	370,368	56,258	00:48:58	00:56:41
CRA	ASV	370,368	341,888	28,480	01:14:41	01:22:24
ASV	ABP	341,888	324,038	17,850	00:38:01	00:45:44
ABP	APA	324,038	282,858	41,180	00:24:25	00:32:08
APA	ANS	282,858	216,760	66,098	00:43:42	00:51:25
ANS	AS2	216,760	171,995	44,765	00:40:00	00:47:43
AS2	ASM	171,995	128,463	43,532	01:04:00	01:11:43
ASM	ARP	128,463	86,010	42,453	00:42:52	00:50:35
ARP	ARG	86,010	43,360	42,650	00:46:38	00:54:21
ARG	AEM	43,360	0,000	43,360	00:15:44	00:23:27
Total					21:36:22	25:12:40

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DA MODELAGEM E PRINCIPAIS ELEMENTOS DO MODELO

1 DESCRIÇÃO DO MODELO

1.1 Entidades

A entidade pode ser definida como qualquer item distinguível. No caso do Arena, as entidades são tudo que circula pelo modelo e sofre ação nos processos.

A principal entidade desse modelo é o trem. Existem outras entidades, mas são secundários. Elas são utilizadas para representarem as falhas e coletarem dados do modelo.

1.2 Atributos

Os atributos são as características das entidades, uma variável local para uma entidade individual. Os trens, principal entidade do modelo, contam com diversas características (atributos). Abaixo a lista dos principais atributos do modelo:

1. Instante de entrada em cada pátio ou terminal;
2. Instante de saída de cada pátio ou terminal;
3. Número do pátio anterior;
4. Número do pátio atual;
5. Origem/destino do trem;
6. Quantidade de locomotivas no trem;
7. Quantidade de vagões no trem;
8. Caminho (sequência de pátios) que o trem deve seguir;
9. Posição do trem (posição dentro do caminho);
10. Tipo do trem;
11. Material transportado;
12. TU do trem;
13. TU do vagão;
14. TB do trem;
15. TB do vagão;
16. Número de identificação do trem;
17. Número da volta do trem.

1.3 Recursos

Os recursos são insumos ou materiais necessários para a realização de um processo. O Arena, ao executar um processo, ele verifica os estados dos recursos necessário e avalia se aquele processo pode ou não ser realizado devido a disponibilidade dos recursos.

No modelo em questão, não foi utilizado nenhum recurso. Eles foram substituídos por variáveis. Por exemplo, a via poderia ser um recurso necessário ao trem para realizar o movimento de ir de um pátio ao outro, porém, ao invés de recurso, foi utilizada uma variável. Caso exista um trem na via, essa variável recebe o valor 1, caso contrário, 0.

No processo decisório, o valor dessa variável é analisada para saber se o trem pode ou não prosseguir.

1.4 Variáveis

As variáveis do modelo podem ser divididas em três grupos: variáveis do modelo, variáveis de controle e análise. As variáveis do modelo são aquelas necessárias para realizar as lógicas dentro do modelo, porém não são visualizadas pelo usuário, elas são “invisíveis”. Já as variáveis de controle, conhecidas como *inputs* do modelo, são as variáveis que podem ser alteradas pelo usuário para criar novos cenários. As variáveis de saída, chamadas de *outputs*, são aquelas que o modelo traz como resposta da simulação e que o usuário irá utilizar para realizar as suas análises.

1.4.1 Variáveis de entrada (*inputs*)

As variáveis de entrada do modelo servem para o usuário poder criar novos cenários. O usuário pode alterar os tempos nos terminais, os períodos entre falhas, localização da oficina, pátios a serem utilizados, os *transit time* e diversos outros parâmetros.

É muito importante analisar qual o impacto de cada parâmetro no cenário. Não se deve alterar de maneira aleatória, pois o modelo vai gerar dados de qualquer maneira, porém o usuário deve saber o que esperar e procurar dentro desses dados.

1.4.1.1 Tempo de descarga dos trens de minério no terminal de Pecém

Tempo, em minutos, para os trens de minério descarregarem em Pecém. Uma vez que o trem tenha sido descarregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.2 Tempo de descarga dos trens de grãos no terminal de Pecém

Tempo, em minutos, para os trens de grãos descarregarem em Pecém. Uma vez que o trem tenha sido descarregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.3 Tempo de carregamento dos trens de combustível no terminal de Pecém

Tempo, em minutos, para os trens de combustível carregarem em Pecém. Uma vez que o trem tenha sido carregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.4 Tempo de descarga dos trens de minério no terminal de Suape

Tempo, em minutos, para os trens de minério descarregarem em Suape. Uma vez que o trem tenha sido descarregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.5 Tempo de descarga dos trens de grãos no terminal de Suape

Tempo, em minutos, para os trens de grãos descarregarem em Suape. Uma vez que o trem tenha sido descarregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.6 Tempo de carregamento dos trens de combustível no terminal de Suape

Tempo, em minutos, para os trens de combustível carregarem em Suape. Uma vez que o trem tenha sido carregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.7 Tempo de carregamento dos trens de minério em Eliseu

Tempo, em minutos, para os trens de minério carregarem em Eliseu. Uma vez que o trem tenha sido carregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.8 Tempo de carregamento dos trens de grãos em Eliseu

Tempo, em minutos, para os trens de grão carregarem em Eliseu. Uma vez que o trem tenha sido carregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.9 Tempo de carregamento dos trens de combustível em Eliseu

Tempo, em minutos, para os trens de combustível descarregarem em Eliseu. Uma vez que o trem tenha sido descarregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.10 Tempo de carregamento dos trens de minério na Mina

Tempo, em minutos, para os trens de minério carregarem na Mina. Uma vez que o trem tenha sido carregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.11 Tempo de carregamento dos trens de grãos na Mina

Tempo, em minutos, para os trens de grãos carregarem na Mina. Uma vez que o trem tenha sido carregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.12 Tempo de carregamento dos trens de combustível na Mina

Tempo, em minutos, para os trens de combustível descarregarem na Mina. Uma vez que o trem tenha sido descarregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.13 Tempo de carregamento dos trens de minério em Salgueiro

Tempo, em minutos, para os trens de minério carregarem em Salgueiro. Uma vez que o trem tenha sido carregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.14 Tempo de carregamento dos trens de grãos em Salgueiro

Tempo, em minutos, para os trens de grão carregarem em Salgueiro. Uma vez que o trem tenha sido carregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.15 Tempo de descarga dos trens de combustível em Salgueiro

Tempo, em minutos, para os trens de combustível descarregarem em Salgueiro. Uma vez que o trem tenha sido descarregado, ele está pronto para partir, portando deve ser considerada, nesse tempo, todas as manobras e outras perdas de tempo.

1.4.1.16 Capacidade de trens no terminal de Eliseu Martins

É a quantidade de trens que o terminal de Eliseu Martins suporta. Caso o terminal esteja com sua capacidade máxima, nenhum outro trem pode entrar no terminal, gerando fila de trens na ferrovia.

1.4.1.17 Capacidade de trens no Porto de Pecém

É a quantidade de trens que o Porto de Pecém suporta. Caso o porto esteja com sua capacidade máxima, nenhum outro trem pode entrar no porto, gerando fila de trens na ferrovia.

1.4.1.18 Capacidade de trens no Porto de Suape

É a quantidade de trens que o Porto de Suape suporta. Caso o porto esteja com sua capacidade máxima, nenhum outro trem pode entrar no porto, gerando fila de trens na ferrovia.

1.4.1.19 Capacidade de trens na Mina

É a quantidade de trens que o terminal da Mineração suporta. Caso o terminal esteja com sua capacidade máxima, nenhum outro trem pode entrar no terminal, gerando fila de trens na ferrovia.

1.4.1.20 Capacidade de trens em Salgueiro

É a quantidade de trens que o terminal de Salgueiro suporta. Caso o terminal esteja com sua capacidade máxima, nenhum outro trem pode entrar no terminal, gerando fila de trens na ferrovia.

1.4.1.21 Tempo médio entre falhas dos trens

É o tempo, em minutos, entre as falhas da composição. Essa falha é aleatória e gera trem hora parado (THP). Para cada pátio, existe um tempo médio de reparo da composição. Após a falha ser reparada, o trem retorna para operação usual.

1.4.1.22 Tempo médio entre falhas das locomotivas

Uma vez que o trem sofreu uma falha, pode ser que a locomotiva tenha que ir para a oficina. Essa probabilidade é dada pelo tempo médio entre falhas das locomotivas, que gera uma quantidade mensal/anual da quantidade de locomotivas que devem sofrer esse tipo de falha. O tempo para essa locomotiva ser liberada da oficina depende da localização da oficina e do tempo médio de reparo das locomotivas.

1.4.1.23 Tempo médio entre falhas dos vagões

Uma vez que o trem sofreu uma falha, pode ser que um vagão tenha que ir para a oficina. Essa probabilidade é dada pelo tempo médio entre falhas dos vagões, que gera uma quantidade mensal/anual da quantidade de vagões que devem sofrer esse tipo de falha. O tempo para esse vagão ser liberado da oficina depende da localização da oficina e do tempo médio de reparo dos vagões.

1.4.1.24 Tempo médio de reparo das locomotivas

É o tempo médio, em minutos, que a locomotiva fica na oficina para ser consertada (manutenção corretiva) após sofrer uma falha.

1.4.1.25 Tempo médio de reparo dos vagões

É o tempo médio, em minutos, que o vagão fica na oficina para ser consertado (manutenção corretiva) após sofrer uma falha.

1.4.1.26 Localização da oficina

A localização da oficina é dada pelo número do pátio no qual ela se localiza. Sua localização vai influenciar no tempo que os vagões e locomotivas levam para ser consertados e liberados, gerando uma maior ou menor frota necessária de material rodante.

1.4.1.27 Tempo médio entre falhas da via

É o tempo médio, em minutos, entre as falhas que pode apresentar na via. Essa falha influencia a condição da via e na liberação dos trens de seus pátios. A falha bloqueia a possibilidade de qualquer trem seguir viagem na via.

1.4.1.28 Tempo médio de reparo da via

É o tempo médio, em minutos, de reparo (manutenção corretiva) na via.

1.4.1.29 Pátio de anexação da helper

Posição do pátio onde a helper será anexada.

1.4.1.30 Pátio de desanexação da helper

Posição do pátio onde a helper será desanexada.

1.4.1.31 Matriz de tempo entre pátios

A matriz de tempo entre pátios tem uma dimensão de 100x300, onde as linhas são os pátios de origem e as colunas os pátios de destino. Notar que as 100 primeiras colunas são para os trens de minério, as 100 próximas são para os trens de grãos e as 100 últimas são para

os trens de combustível, ou seja, o tempo que o trem de grão leva para ir do pátio 5 ao 6 estará na linha 5, coluna 106. Todos os tempos devem ser dados em minutos.

1.4.2 Variáveis de saída (outputs)

As variáveis de saída, também conhecidas como *outputs*, são aquelas utilizadas pelo usuário para a realização das análises. O modelo pode prover diversos dados, porém é necessário saber o que procurar e como obter cada dado.

Os *outputs* são gerados em arquivos “.txt” e, então, carregados em uma planilha de Excel. Como variáveis de saída, tem-se:

1.4.2.1 Ocupação dos pátios no sentido exportação

O modelo traz a ocupação de cada pátio no sentido exportação, isto é, o tempo total de trem parado no pátio pelo tempo total da simulação.

1.4.2.2 Ocupação dos pátios no sentido importação

O modelo traz a ocupação de cada pátio no sentido importação, isto é, o tempo total de trem parado no pátio pelo tempo total da simulação.

1.4.2.3 Ocupação dos trechos

O modelo traz a ocupação de cada trecho, isto é, o tempo total de trem utilizando o trecho pelo tempo total da simulação.

1.4.2.4 Total de minério transportado até o Porto de Pecém

O modelo traz o volume total de minério transportado, em toneladas, até o Porto de Pecém. É possível, ainda, rastrear a origem da carga.

1.4.2.5 Total de grão transportado até o Porto de Pecém

O modelo traz o volume total de grão transportado, em toneladas, até o Porto de Pecém. É possível, ainda, rastrear a origem da carga.

1.4.2.6 Total de minério transportado até o Porto de Suape

O modelo traz o volume total de minério transportado, em toneladas, até o Porto de Suape. É possível, ainda, rastrear a origem da carga.

1.4.2.7 Total de grão transportado até o Porto de Suape

O modelo traz o volume total de grão transportado, em toneladas, até o Porto de Suape. É possível, ainda, rastrear a origem da carga.

1.4.2.8 Total de combustível transportado até o Pátio de Salgueiro

O modelo traz o volume total de combustível transportado, em toneladas, até o Pátio de Salgueiro. É possível, ainda, rastrear a origem da carga.

1.4.2.9 Tempo de ciclo

O modelo traz o tempo total do ciclo dos trens aberto por cada origem/destino dos trens. O tempo de ciclo é essencial para a determinação da frota de material rodante. O tempo de ciclo já considera todas as perdas por paradas geradas ao longo da operação do trem.

1.4.2.10 Quantidade de locomotivas utilizada

O modelo traz a quantidade total necessária de locomotivas utilizadas para realizar o transporte das cargas.

1.4.2.11 Quantidade de vagões utilizados

O modelo traz a quantidade total necessária de vagões utilizados para realizar o transporte das cargas.

1.4.2.12 Quantidade de locomotivas em manutenção

O modelo traz a quantidade total de locomotivas em manutenção ao longo do tempo. Os dados são gerados a cada hora.

1.4.2.13 Quantidade de vagões em manutenção

O modelo traz a quantidade total de vagões em manutenção ao longo do tempo. Os dados são gerados a cada hora.

1.4.2.14 Quantidade de locomotivas como helper

O modelo traz a quantidade total de locomotivas como helper ao longo do tempo. Os dados são gerados a cada hora.

1.4.3 Variáveis de controle do modelo

As variáveis de controle do modelo são aquelas utilizadas para verificar as regras de operação. São diversas variáveis e serão apresentadas as mais importantes.

1.4.3.1 Caminho

Como a ferrovia está em fase de projeto, existem diversas opções de configuração da via, realizada através das escolhas dos pátios de cruzamento que serão simulados. Cada configuração cria um caminho distinto para cada fluxo de carga. Essa variável diz ao trem quais pátios e em qual ordem ele deve percorrer.

1.4.3.2 Quantidade de trens no trecho

Esse vetor conta quantos trens estão circulando em cada trecho. Como a ferrovia é de via singela e as seções de bloqueio são entre pátios, o valor máximo que ela pode assumir é 1, ou seja, pode haver no máximo um único trem em cada trecho, independentemente do sentido do trem.

1.4.3.3 Quantidade de trens no pátio de cruzamento

Essa matriz mostra a quantidade de trens em cada pátio de cruzamento e o sentido do trem. Além disso, diz ainda se o trem se encontra na linha secundária ou principal do pátio.

1.4.3.4 Instante de saída do pátio de cruzamento

Essa matriz guarda o instante de saída de cada um dos pátios de cruzamento e o sentido do trem, ou seja, se o trem partiu do pátio indo no sentido exportação ou importação.

1.4.3.5 Instante de saída do terminal de Eliseu Martins

Essa variável guarda o instante de saída dos trens do terminal de Eliseu Martins.

1.4.3.6 Instante de saída do terminal de carregamento da mina

Essa variável guarda o instante de saída dos trens do terminal de carregamento de minério de ferro.

1.4.3.7 Instante de saída do Porto de Pecém

Essa variável guarda o instante de saída dos trens do terminal portuário de Pecém.

1.4.3.8 Instante de saída do Porto de Suape

Essa variável guarda o instante de saída dos trens do terminal portuário de Suape.

1.4.3.9 Condição da via

Essa variável apresenta a condição de cada trecho da ferrovia, se está livre, ocupada, em manutenção ou falha. Cada estado tem um valor definido e auxilia na tomada de decisão do trem, dado que uma das condições para o trem seguir viagem é que a via esteja livre.

2 FORMULAÇÃO DO MODELO

A estrutura geral do modelo por ser dividida em três grandes áreas, sendo a primeira a lógica da ferrovia como um todo, a segunda a lógica dos terminais de carga e descarga e a última as lógicas de apoio, que geram as falhas, quebras, manutenção e outputs.

O modelo é foi criado para auxiliar na fase de projeto e construção da ferrovia. Essa fase é repleta de indefinições de projeto, tais como quantidade e localização dos pátios de cruzamento, por esse motivo, foi concebido um modelo onde esses pátios podem ser

alterados facilmente, simplesmente colocando-se 0 ou 1 nos pátios da planilha de apoio do Excel.

Tendo isso em vista, o modelo deve ser genérico o bastante para acomodar essas alterações sem perder as características e funcionalidade.

A **Figura 38** apresenta como ficou a lógica geral da ferrovia construída no Arena.

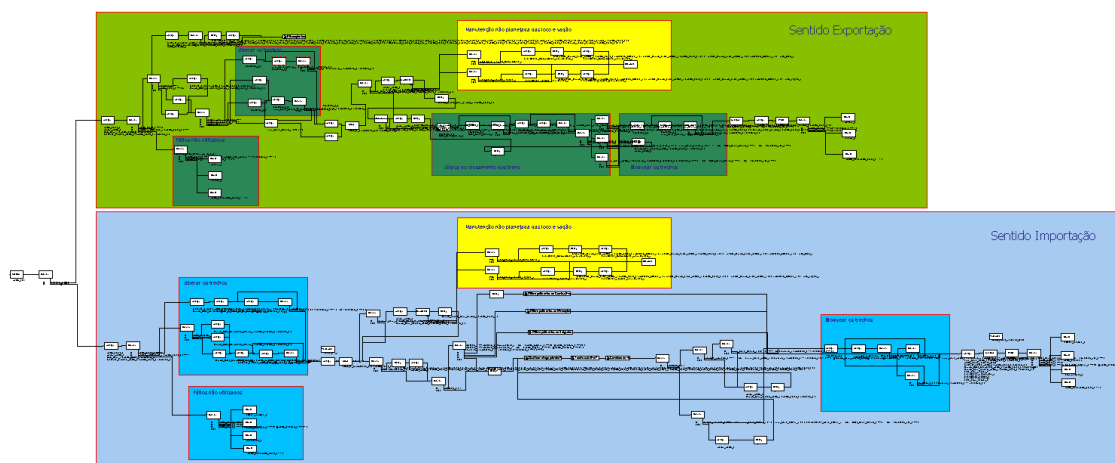


Figura 38 - Lógica geral da ferrovia

A lógica geral da ferrovia pode ser subdividida em duas partes, a lógica do sentido de exportação e a lógica do sentido de importação. Elas agregam tanto a lógica de cruzamento de trens quanto as lógicas de bloqueio e desbloqueio das vias e manutenção não planejada das locomotivas e vagões. A **Figura 39** e a **Figura 40** ilustram as lógicas de exportação e importação, respectivamente.

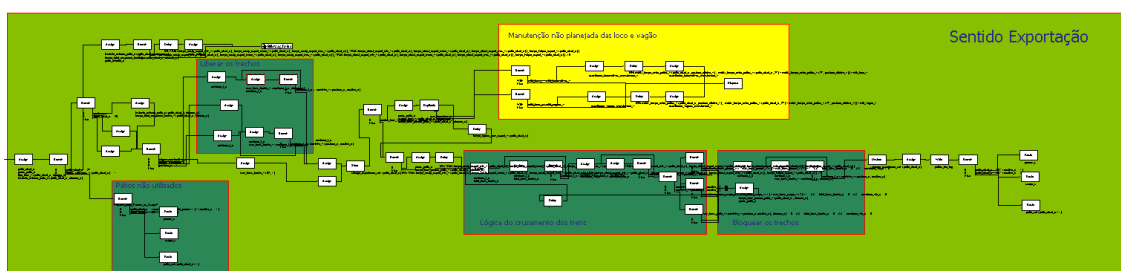


Figura 39 - Lógica do sentido exportação da ferrovia

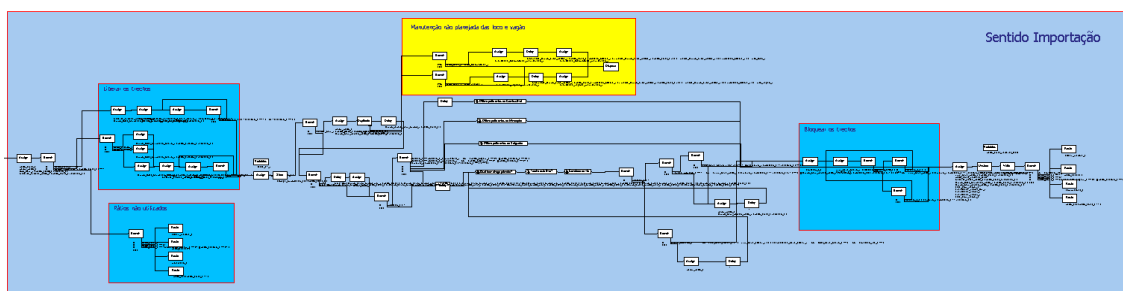


Figura 40 - Lógica do sentido importação da ferrovia

A lógica do cruzamento dos trens pode ser considerada o *core* do modelo, já que ela determina se um trem pode ou não ocupar o trecho desejado. Para os trens com prioridade, essa lógica é mais simples, porém os trens que não possuem prioridade, devem calcular se chegam ao próximo pátio antes de qualquer outro trem. Elas serão analisadas de maneira mais detalhada adiante.

2.1 Lógica dos cruzamentos com prioridade (exportação)

A **Figura 41** ilustra como está a lógica de cruzamento de trens no sentido exportação no modelo. Esses trens têm, por premissa, prioridade sobre os trens no sentido importação. Isso porque, em sua maioria, são trens carregados.

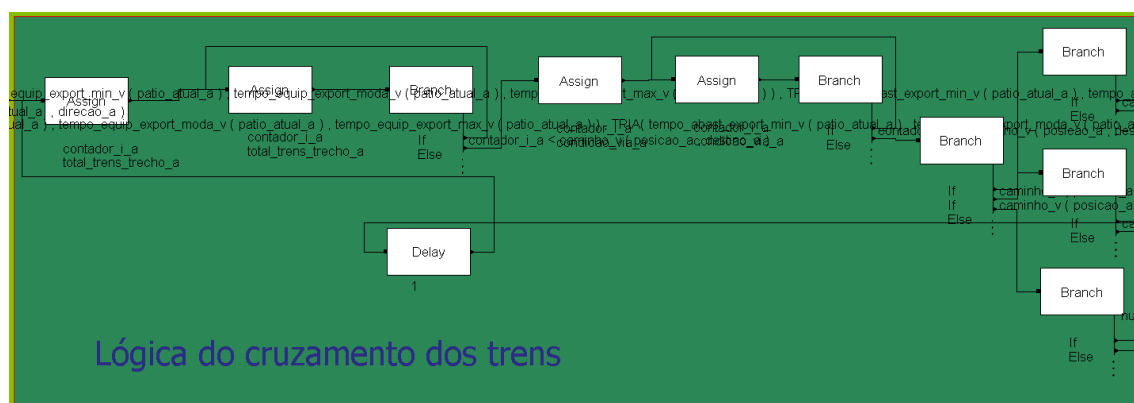


Figura 41 - Lógica do cruzamento dos trens com prioridade

Por eles terem prioridade, sua lógica é mais simples. Eles só precisam verificar se no pátio de destino tem espaço suficiente para ele entrar, ou seja, se o pátio no sentido exportação está vazio. Se sim, eles verificam a condição da via e se o trecho está vazio. Caso todas essas condições forem satisfeitas, o trem pode prosseguir viagem.

A condição da via mostra se o trecho o qual o trem vai ocupar está sem falhas ou manutenção.

A **Figura 42** mostra o fluxograma dessa lógica. Enquanto as condições não forem satisfeitas, o trem permanece no pátio, ele não tem autorização para seguir viagem.

Os pátios foram considerados com capacidade unitária. Foi sugerido, pela DynaMine, que a capacidade dos pátios fosse uma variável e que o usuário pudesse realizar alterações e criar um pátio com capacidade para dois ou mais trens.

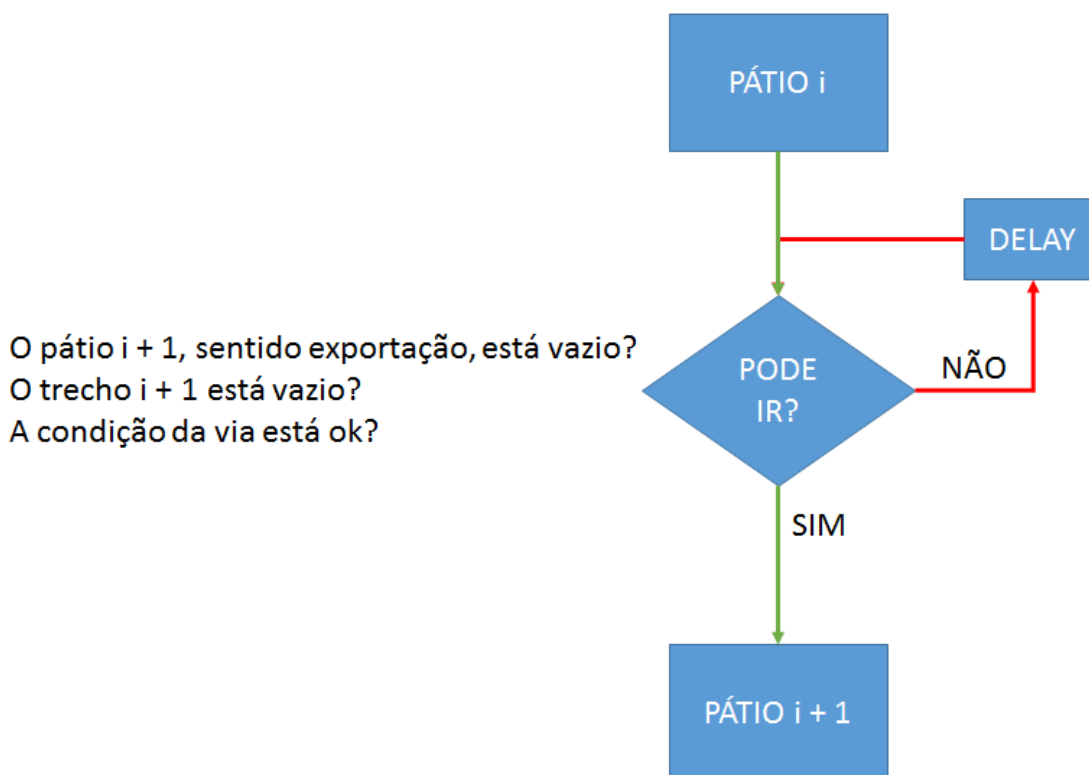


Figura 42 - Fluxograma do cruzamento de trens para os trens com prioridade

A ideia é que, caso todas as condições sejam atendidas, o trem prossiga viagem para o próximo pátio existente. Quando o trem chega a um pátio não existente, ele passa direto e não sofre nenhuma alteração.

2.2 Lógica dos cruzamentos sem prioridade (importação)

A **Figura 43** ilustra como está a lógica de cruzamento de trens no sentido importação no modelo. Por não ter prioridade, as entidades devem seguir uma série maior de regras, o que gera uma lógica mais complexa. Foram utilizados submodelos para deixar a lógica principal mais limpa, facilitando a compreensão.

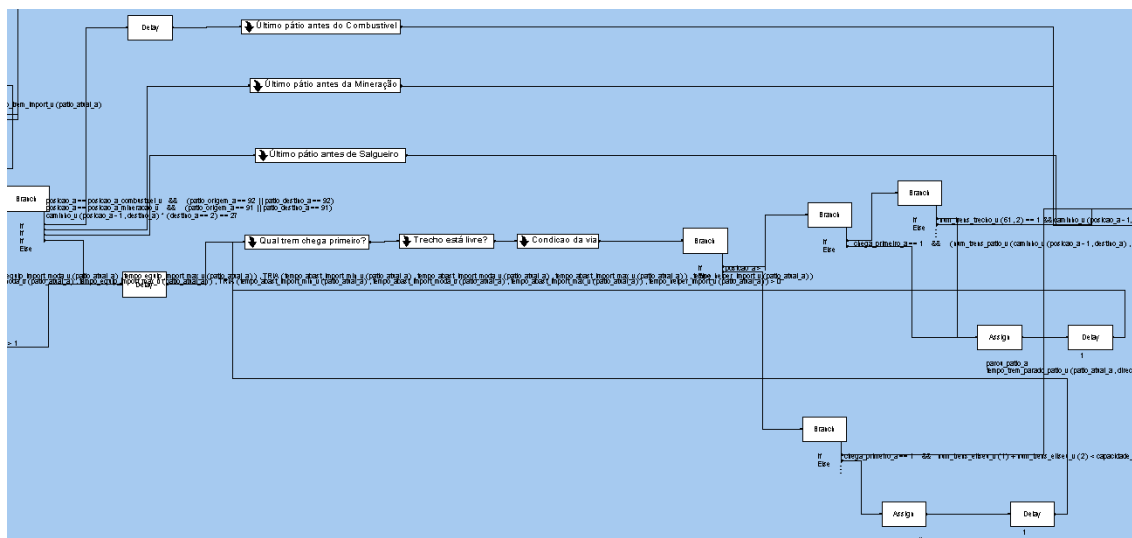


Figura 43 - Lógica do cruzamento dos trens sem prioridade

A lógica vai testar se o pátio de destino está vazio, ou seja, se não há nenhum trem no sentido importação (ocupando o lugar) e nenhum trem no sentido exportação (preparado para partir). Além disso, ele deve verificar se o trem chega ao pátio de destino antes do trem com prioridade chegar, conforme ilustrado na **Figura 44**.

Para isso, ele utiliza a matriz de tempo. Ele verifica se o tempo entre seu pátio de origem até o pátio de destino é menor que o tempo que o trem com prioridade leva para ir de seu pátio até o pátio de destino, somando-se as paradas que serão realizadas por este trem.

Caso a lógica encontre um trem no sentido contrário parado em um pátio a mais de 5 minutos, ela vai liberar o trem para seguir viagem. Assim, caso o trem com prioridade seja liberado, ele terá que aguardar o trem no sentido importação chegar ao seu pátio de destino.

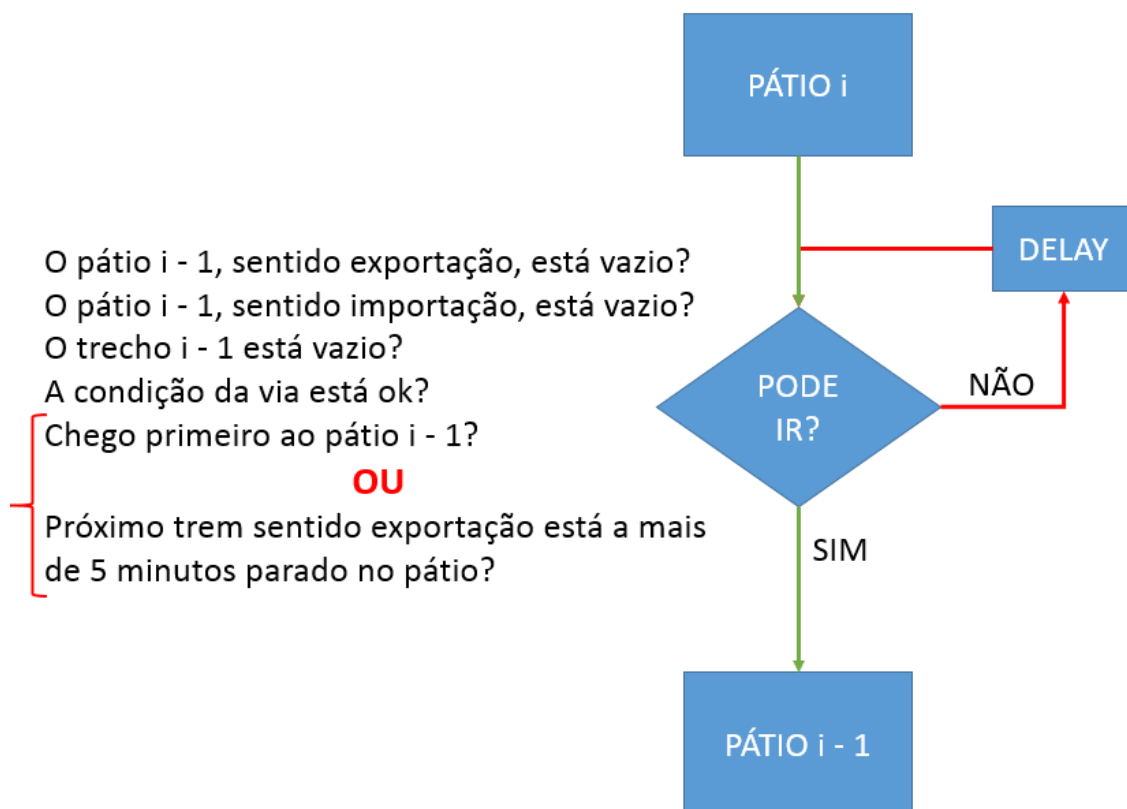


Figura 44 - Fluxograma do cruzamento de trens para os trens sem prioridade

Novamente a ideia é que o trem atenda à todas as condições antes de prosseguir sua viagem, porém nesse caso a lista de condições é mais extensa, visto que o trem não tem prioridade, então ele deve verificar se chegará ao pátio de destino antes do trem com prioridade.

ANEXO A – DADOS DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS ENVIADOS PELA ANTT PARA O ANO DE 2016

Tabela 26 - Dados dos acidentes ferroviários do ano de 2016

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMO	01/01/2016	02:58	SP	Conchas	Mairinque - Bauru	204,500	Interferência de Terceiro	Abalroamento	0,4	0	0	10,4
EFC	01/01/2016	03:52	PA	Parauapebas	Ponta da Madeira - Carajás	827,220	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	47
ALLMP	01/01/2016	10:21	SP	Cubatao	Evangelista de Souza - Pereque	122,267	Falha Humana	Descarrilamento	4,4	0	0	13,3
FCA	01/01/2016	12:00	MG	Vespasiano	General Carneiro - Monte Azul	622,000	Interferência de Terceiro	Abalroamento	0,0	4	1	13,9
ALLMS	02/01/2016	00:20	PR	Pinhais	Paranaguá - Uvaranas	101,900	Interferência de Terceiro	Abalroamento	1,9	0	0	14,5
MRS	02/01/2016	11:30	RJ	Mangaratiba	Ramal de Mangaratiba	8,900	Interferência de Terceiro	Atropelamento	0,0	1	0	15,9
ALLMP	02/01/2016	17:43	SP	Sao Carlos	Itirapina - Colômbia	199,158	Interferência de Terceiro	Atropelamento	2,0	2	0	13,3
FTL	03/01/2016	19:10	MA	Sao Luis	Tronco São Luis	5,000	Via Permanente	Descarrilamento	2,0	0	0	0
EFVM	04/01/2016	09:40	ES	Serra	Porto Velho - Itabira	41,790	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	05/01/2016	20:26	PR	Lapa	Eng. Bley - Mafra	18,517	Interferência de Terceiro	Abalroamento	1,6	4	0	14,5
FCA	06/01/2016	17:13	MG	Itumirim	Angra dos Reis - Eng. Bhering	340,100	Via Permanente	Descarrilamento	3,0	0	0	13,9
ALLMS	06/01/2016	21:45	PR	Marialva	Ourinhos - Cianorte	316,625	Interferência de Terceiro	Abalroamento	0,6	0	0	14,5
ALLMS	07/01/2016	02:12	SP	Tatui	Ipero - Pinhalzinho	161,600	Interferência de Terceiro	Atropelamento	4,8	0	1	14,5
ALLMS	07/01/2016	19:00	PR	Piraquara	Paranaguá - Uvaranas	91,400	Interferência de Terceiro	Atropelamento	1,0	1	0	14,5
EFC	08/01/2016	09:10	MA	Acailandia	Ponta da Madeira - Carajás	385,000	Via Permanente	Descarrilamento	26,0	0	0	47
ALLMS	08/01/2016	19:00	SC	Sao Bento do Sul	Mafra - Francisco do Sul	124,650	Via Permanente	Descarrilamento	7,0	0	0	14,5
FCA	08/01/2016	21:48	MG	Itauna	Garças de Minas - Calafate	795,527	Interferência de Terceiro	Abalroamento	0,0	2	0	13,9
FCA	09/01/2016	19:10	MG	Santo Antonio do Monte	Garças de Minas - Calafate	673,300	Via Permanente	Descarrilamento	22,0	0	0	13,9
ALLMO	10/01/2016	03:33	SP	Botucatu	Mairinque - Bauru	277,800	Interferência de Terceiro	Abalroamento	0,9	0	0	10,4
ALLMP	11/01/2016	05:34	SP	Pindorama	Araraquara - Ponte	125,772	Material Rodante	Incêndio	5,4	0	0	13,3

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	12/01/2016	02:07	PR	Imbau	Uvaranas - Apucarana	430,822	Material Rodante	Descarrilamento	11,7	0	0	14,5
FCA	12/01/2016	14:30	SP	Orlandia	Casa Branca - Uberaba	370,606	Via Permanente	Descarrilamento	5,0	0	0	13,9
FCA	13/01/2016	08:47	GO	Orizona	Roncador Novo - Moinho Goiás	246,571	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
FNSTN	14/01/2016	07:25	MA	Imperatriz	Açailândia - Porto Nacional	77,000	Interferência de Terceiro	Atropelamento	0,0	1	0	17,6
EFVM	14/01/2016	14:58	MG	Conselheiro Pena	Porto Velho - Itabira	266,300	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
MRS	15/01/2016	22:09	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	274,590	Interferência de Terceiro	Atropelamento	3,1	0	1	15,9
MRS	17/01/2016	01:13	MG	Brumadinho	Variante do Paraopeba	585,120	Outras Causas	Descarrilamento	3,3	0	0	15,9
ALLMP	17/01/2016	19:40	SP	Sao Roque	Canguera - Evangenlista de Souza	91,000	Interferência de Terceiro	Abalroamento	1,6	0	0	13,3
ALLMS	18/01/2016	15:24	RS	Cacequi	Triângulo - Cacequi	418,495	Via Permanente	Descarrilamento	20,6	0	0	14,5
ALLMS	19/01/2016	08:55	RS	Cruz Alta	Cruz Alta - Santo Ângelo	2,313	Interferência de Terceiro	Abalroamento	1,0	2	0	14,5
FCA	20/01/2016	03:10	MG	Mateus Leme	Garças de Minas - Calafate	838,940	Via Permanente	Descarrilamento	72,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	21/01/2016	01:27	BA	Tanhacu	Mapele - Monte Azul	604,540	Via Permanente	Descarrilamento	23,0	0	0	13,9
ALLMS	21/01/2016	13:13	RS	Serafina Correa	Roca Sales - Passo Fundo	75,088	Interferência de Terceiro	Abalroamento	1,2	0	0	14,5
ALLMO	21/01/2016	16:01	MS	Corumba	Ramal de Ladário	2,400	Via Permanente	Descarrilamento	6,5	0	0	10,4
ALLMS	21/01/2016	16:40	PR	Pinhais	Paranaguá - Uvaranas	100,500	Interferência de Terceiro	Abalroamento	1,8	1	0	14,5
FTL	22/01/2016	00:30	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	540,000	Material Rodante	Descarrilamento	5,4	0	0	0
FTL	22/01/2016	03:12	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	299,000	Via Permanente	Descarrilamento	10,3	0	0	0
FCA	22/01/2016	17:55	MG	Pedro Leopoldo	General Carneiro - Monte Azul	654,000	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
FTL	22/01/2016	20:40	CE	Tururu	Tronco Norte Fortaleza	121,000	Material Rodante	Descarrilamento	5,5	0	0	0
FCA	23/01/2016	11:50	GO	Pires do Rio	Roncador Novo - Moinho Goiás	223,805	Via Permanente	Descarrilamento	30,0	0	0	13,9
MRS	25/01/2016	14:14	RJ	Sao Joao de Meriti	Ligação à Arará	27,004	Interferência de Terceiro	Abalroamento	1,2	0	0	15,9
ALLMN	25/01/2016	19:16	MS	Costa Rica	Marco Inicial - Rondonópolis	368,500	Interferência de Terceiro	Abalroamento	19,0	0	0	13,3
ALLMN	25/01/2016	22:48	MS	Chapadao do Sul	Marco Inicial - Rondonópolis	339,620	Casos Fortuitos ou de Força	Abalroamento	0,7	0	0	13,3

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
FCA	26/01/2016	07:30	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	851,800	Outras Causas	Descarrilamento	30,0	0	0	13,9
EFC	26/01/2016	22:30	MA	Cidelandia	Ponta da Madeira - Carajás	583,400	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,9	0	0	47
FCA	27/01/2016	07:00	MG	Monte Azul	General Carneiro - Monte Azul	1.343,900	Outras Causas	Descarrilamento	48,0	0	0	13,9
FTL	27/01/2016	16:36	CE	Fortaleza	Tronco Norte Fortaleza	22,000	Via Permanente	Descarrilamento	8,6	0	0	0
FCA	28/01/2016	17:40	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	865,800	Atos de vandalismo	Abalroamento	0,0	1	0	13,9
ALLMS	28/01/2016	20:08	RS	Bage	Bagé - Rio Grande	209,264	Interferência de Terceiro	Abalroamento	0,8	0	0	14,5
MRS	29/01/2016	06:08	RJ	Mendes	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	94,334	Interferência de Terceiro	Atropelamento	3,4	0	1	15,9
FTL	29/01/2016	15:55	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	603,000	Material Rodante	Descarrilamento	4,2	0	0	0
MRS	29/01/2016	17:27	RJ	Paraíba do Sul	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	191,940	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,1	1	0	15,9

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
MRS	30/01/2016	00:00	MG	Itabirito	Ferrovia do Aço	343,512	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,3	1	0	15,9
MRS	30/01/2016	01:34	RJ	Itaguaí	Ramal de Mangaratiba	32,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,5	0	0	15,9
ALLMP	30/01/2016	12:00	SP	Catanduva	Araraquara - Ponte	137,000	Interferência de Terceiro	Atropelamento	0,1	0	1	13,3
ALLMP	31/01/2016	02:39	SP	Vinhedo	Jundiaí - Itirapina	25,742	Interferência de Terceiro	Atropelamento	1,0	1	0	13,3
ALLMS	31/01/2016	05:40	PR	Pinhais	Paranaguá - Uvaranas	105,400	Interferência de Terceiro	Abalroamento	1,0	0	0	14,5
FCA	31/01/2016	17:30	BA	Marcionílio Souza	Mapele - Monte Azul	413,532	Via Permanente	Descarrilamento	26,3	0	0	13,9
FCA	31/01/2016	19:59	MG	Candeias	Eng. Bhering - Garças de Minas	541,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
FTL	01/02/2016	01:40	CE	Reriutaba	Tronco Norte Fortaleza	307,000	Via Permanente	Descarrilamento	5,0	0	0	0
FCA	01/02/2016	06:50	MG	Varzea da Palma	Ramal de Pirapora	920,000	Outras Causas	Descarrilamento	32,1	0	0	13,9
ALLMP	01/02/2016	10:10	SP	Araraquara	Araraquara - Ponte	25,200	Via Permanente	Descarrilamento	83,2	0	0	13,3

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	03/02/2016	05:50	MG	Itauna	Garças de Minas - Calafate	799,750	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	1	0	13,9
FCA	03/02/2016	19:57	MG	Patrocínio	Garças de Minas - Araguari	927,857	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9
ALLMP	04/02/2016	00:13	SP	Campinas	Jundiai - Itirapina	37,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	4,1	1	0	13,3
ALLMO	04/02/2016	17:58	SP	Coroados	Bauru - Corumbá	207,050	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,8	0	0	10,4
ALLMS	04/02/2016	22:24	PR	Irati	Desvio Ribas - Eng. Gutierrez	329,400	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,2	0	0	14,5
FTL	05/02/2016	02:29	MA	Sao Luis	Tronco São Luis	1,000	Falha Humana	Descarrilamento	0,0	0	0	0
FTL	05/02/2016	06:50	MA	Sao Luis	Tronco São Luis	26,000	Falha Humana	Colisão	0,0	0	0	0
FTL	05/02/2016	12:45	PI	Agua Branca	Tronco Norte Fortaleza	542,000	Via Permanente	Descarrilamento	18,0	0	0	0
ALLMS	05/02/2016	20:05	PR	Curitiba	Ramal de Curitiba	107,340	Casos Fortuitos ou de Força	Abalroamento	1,3	0	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
ALLMP	06/02/2016	04:18	SP	Hortolandia	Jundiai - Itirapina	62,690	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	5,4	1	0	13,3
FCA	06/02/2016	18:45	MG	Bom Jardim de Minas	Angra dos Reis - Eng. Bhering	203,773	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
ALLMN	07/02/2016	16:46	MT	Alto Taquari	Marco Inicial - Rondonópolis	434,939	Via Permanente	Descarrilamento	13,8	0	0	13,3
MRS	07/02/2016	17:30	RJ	Valenca	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	133,310	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	15,9
ALLMS	07/02/2016	17:45	SC	Santa Cecilia	Mafra - Lages	151,160	Via Permanente	Descarrilamento	11,3	0	0	14,5
MRS	07/02/2016	18:56	RJ	Mangaratiba	Ramal de Mangaratiba	15,760	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	1	0	15,9
ALLMP	08/02/2016	06:40	SP	Sao Carlos	Itirapina - Colômbia	203,980	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,9	1	0	13,3
FTC	08/02/2016	14:30	SC	Tubarao	Linha Principal	55,600	Via Permanente	Descarrilamento	23,5	0	0	0

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	08/02/2016	16:21	PR	Paranagua	Paranaguá - Uvaranas	2,310	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,4	0	0	14,5
ALLMS	08/02/2016	19:29	PR	Ortigueira	Uvaranas - Apucarana	487,697	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,3	0	0	14,5
ALLMP	09/02/2016	16:36	SP	Indaiatuba	Canguera - Boa Vista Nova	224,350	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,6	0	0	13,3
FTL	09/02/2016	20:13	PI	Castelo do Piauí	Tronco Norte Fortaleza	578,000	Atos de vandalismo	Descarrilamento	6,0	0	0	0
MRS	10/02/2016	01:13	RJ	Rio de Janeiro	Ligação à Arará	13,700	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	15,9
ALLMN	10/02/2016	22:45	MT	Alto Araguaia	Marco Inicial - Rondonópolis	497,531	Material Rodante	Descarrilamento	11,3	0	0	13,3
ALLMN	11/02/2016	04:40	MT	Alto Araguaia	Marco Inicial - Rondonópolis	497,531	Via Permanente	Descarrilamento	14,8	0	0	13,3
ALLMS	12/02/2016	06:59	RS	Cruz Alta	Triângulo - Cruz Alta	137,028	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	5,3	0	1	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
MRS	13/02/2016	00:45	RJ	Mangaratiba	Ramal de Mangaratiba	3,700	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,2	0	1	15,9
ALLMS	13/02/2016	02:20	PR	Ponta Grossa	Desvio Ribas - Eng. Gutierrez	263,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,1	1	0	14,5
FCA	13/02/2016	14:30	BA	Licinio de Almeida	Mapele - Monte Azul	774,400	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Descarrilamento	30,0	0	1	13,9
FCA	13/02/2016	22:59	GO	Luziania	Roncador Novo - Brasília	109,169	Via Permanente	Descarrilamento	17,0	0	0	13,9
ALLMP	14/02/2016	14:38	SP	Cordeiropolis	Jundiai - Itirapina	114,431	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,9	0	0	13,3
MRS	15/02/2016	15:40	SP	Aparecida	Linha de São Paulo	296,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,6	0	1	15,9
ALLMP	15/02/2016	16:50	SP	Fernandópolis	Araraquara - Ponte	338,691	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	1	0	13,3
MRS	17/02/2016	02:40	MG	Carandai	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	434,642	Casos Fortuitos ou de Força	Atropelamento	2,1	0	1	15,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
ALLMP	18/02/2016	13:00	SP	Hortolandia	Jundiai - Itirapina	62,931	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,7	0	0	13,3
ALLMP	18/02/2016	13:11	SP	Embu-Guacu	Canguera - Evangelista de Souza	133,960	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,4	0	0	13,3
ALLMS	19/02/2016	06:55	PR	Curitiba	Ramal de Curitiba	108,689	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,6	1	0	14,5
EFVM	19/02/2016	15:10	MG	Governador Valadares	Porto Velho - Itabira	342,932	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	24,2
ALLMP	20/02/2016	08:05	SP	Embu-Guacu	Canguera - Evangelista de Souza	140,454	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,7	1	0	13,3
ALLMP	20/02/2016	10:13	SP	Itirapina	Ramal Itirapina - Panorama	175,687	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,3	0	0	13,3
ALLMS	21/02/2016	10:50	PR	Morretes	Paranaguá - Uvaranas	45,080	Material Rodante	Descarrilamento	3,4	0	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
EFC	21/02/2016	15:52	MA	Santa Ines	Ponta da Madeira - Carajás	207,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	47
ALLMS	21/02/2016	19:55	PR	Pinhais	Paranaguá - Uvaranas	100,390	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,2	0	0	14,5
ALLMS	22/02/2016	17:35	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	104,838	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,4	0	0	14,5
FTC	23/02/2016	11:35	SC	Laguna	Linha Principal	29,313	Falha Humana	Abalroamento	0,8	0	0	0
FCA	25/02/2016	06:25	MG	Perdoes	Eng. Bhering - Garças de Minas	437,800	Falha Humana	Abalroamento	0,0	1	0	13,9
FCA	25/02/2016	08:15	MG	Montes Claros	General Carneiro - Monte Azul	1.097,500	Falha Humana	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMP	25/02/2016	21:44	SP	Sao Paulo	Ramal Varginha - Evangelista de Souza	54,900	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,8	1	0	13,3
ALLMN	25/02/2016	22:44	MS	Cassilandia	Marco Inicial - Rondonópolis	186,942	Via Permanente	Descarrilamento	15,6	0	0	13,3
FCA	27/02/2016	11:30	MG	Ribeirao Vermelho	Eng. Bhering - Garças de Minas	422,500	Falha Humana	Abalroamento	0,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMP	27/02/2016	14:15	SP	Sao Carlos	Itirapina - Colômbia	204,130	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,7	2	0	13,3
EFVM	27/02/2016	14:52	MG	Resplendor	Porto Velho - Itabira	223,860	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	24,2
FTL	27/02/2016	15:00	MA	Rosario	Tronco São Luis	92,000	Atos de vandalismo	Descarrilamento	2,0	0	0	0
ALLMS	27/02/2016	23:51	RS	Restinga Seca	Rio Pardo - Triângulo	276,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	7,5	0	1	14,5
FCA	28/02/2016	16:50	MG	Augusto de Lima	General Carneiro - Monte Azul	869,597	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
ALLMP	29/02/2016	03:14	SP	Sao Vicente	Evangelista de Souza - Pereque	81,437	Material Rodante	Descarrilamento	7,2	0	0	13,3
ALLMS	29/02/2016	06:12	SC	Corupa	Mafra - Francisco do Sul	96,480	Via Permanente	Descarrilamento	5,8	0	0	14,5
EFC	29/02/2016	17:18	PA	Maraba	Ponta da Madeira - Carajás	729,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	47

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	29/02/2016	17:20	BA	Santo Amaro	Mapele - Monte Azul	64,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	4	0	13,9
ALLMS	29/02/2016	19:45	PR	Pinhais	Paranaguá - Uvaranas	100,286	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,6	1	0	14,5
ALLMS	01/03/2016	08:10	PR	Paranagua	Paranaguá - Uvaranas	2,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	10,6	1	0	14,5
MRS	01/03/2016	13:55	RJ	Belford Roxo	Ligação à Arará	35,440	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Descarrilamento	0,5	0	0	15,9
ALLMS	02/03/2016	13:16	RS	Ijuí	Cruz Alta - Santo Ângelo	42,888	Via Permanente	Descarrilamento	30,1	0	0	14,5
FCA	02/03/2016	16:12	BA	Camacari	Salvador - Propriá	57,249	Falha Humana	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMN	02/03/2016	18:38	MS	Aparecida do Taboado	Marco Inicial - Rondonópolis	3,920	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	4,1	0	2	13,3
ALLMP	03/03/2016	06:39	SP	Americana	Jundiaí - Itirapina	82,270	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,1	1	0	13,3

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
MRS	04/03/2016	06:48	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	276,195	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	1	0	15,9
ALLMS	05/03/2016	18:45	PR	Paranagua	Paranaguá - Uvaranas	2,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,2	1	0	14,5
ALLMS	07/03/2016	03:49	SC	Rio Negrinho	Mafra - Francisco do Sul	159,800	Via Permanente	Descarrilamento	9,8	0	0	14,5
FCA	07/03/2016	12:30	BA	Sao Felix	Mapele - Monte Azul	140,070	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
FCA	07/03/2016	17:30	MG	Mateus Leme	Garças de Minas - Calafate	830,456	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
ALLMP	08/03/2016	09:20	SP	Rio Claro	Ramal de Rio Claro Velho	132,986	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,7	0	0	13,3
FNSTN	08/03/2016	17:50	MA	Porto Franco	Açailândia - Porto Nacional	276,983	Material Rodante	Descarrilamento	36,0	0	0	17,6
FCA	08/03/2016	19:05	ES	Viana	Visconde de Itaboraí - Vitória	630,000	Material Rodante	Abalroamento	0,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FTC	08/03/2016	19:30	SC	Criciúma	Ramal de Rio Fiorita	3,077	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	0	1	0
FTL	10/03/2016	13:20	CE	Ipu	Tronco Norte Fortaleza	333,000	Via Permanente	Descarrilamento	21,0	0	0	0
EFVM	11/03/2016	11:09	MG	Resplendor	Porto Velho - Itabira	218,761	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	24,2
EFC	11/03/2016	21:40	MA	Vitoria do Mearim	Ponta da Madeira - Carajás	161,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,0	0	1	47
FCA	12/03/2016	04:07	GO	Pires do Rio	Roncador Novo - Brasília	17,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Descarrilamento	168,0	1	0	13,9
MRS	12/03/2016	05:50	MG	Matias Barbosa	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	254,937	Atos de vandalismo	Atropelamento	0,3	1	0	15,9
ALLMP	13/03/2016	02:21	SP	Cubatão	Evangelista de Souza - Pereque	124,220	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,7	0	0	13,3
FCA	13/03/2016	12:45	MG	Iguatama	Garças de Minas - Calafate	618,324	Via Permanente	Descarrilamento	19,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMP	15/03/2016	22:57	SP	Sao Vicente	Evangelista de Souza - Pereque	84,894	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Descarrilamento	10,6	0	0	13,3
FCA	16/03/2016	06:14	MG	Arantina	Angra dos Reis - Eng. Bhering	209,600	Via Permanente	Descarrilamento	33,0	0	0	13,9
FCA	16/03/2016	11:30	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	862,666	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
FCA	16/03/2016	16:24	RJ	Rio Bonito	Visconde de Itaboraí - Vitória	105,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
ALLMS	17/03/2016	10:35	PR	Balsa Nova	Paranaguá - Uvaranas	162,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	0	0	14,5
FCA	18/03/2016	05:23	MG	Patrocínio	Garças de Minas - Araguari	897,953	Falha Humana	Abalroamento	0,0	1	0	13,9
MRS	18/03/2016	13:10	RJ	Barra do Pirai	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	108,760	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,5	0	0	15,9
FCA	18/03/2016	17:24	MG	Sao Vicente de Minas	Angra dos Reis - Eng. Bhering	274,642	Via Permanente	Descarrilamento	6,0	0	0	13,9

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	19/03/2016	04:11	BA	Santaluz	São Francisco - Petrolina	325,800	Via Permanente	Descarrilamento	5,0	0	0	13,9
ALLMS	19/03/2016	07:48	PR	Cambe	Ourinhos - Cianorte	224,700	Via Permanente	Descarrilamento	8,2	0	0	14,5
FCA	19/03/2016	11:22	SP	Ituverava	Casa Branca - Uberaba	401,008	Via Permanente	Descarrilamento	3,0	0	0	13,9
FTL	19/03/2016	14:22	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	437,000	Via Permanente	Descarrilamento	9,0	0	0	0
EFVM	20/03/2016	09:20	ES	Joao Neiva	Piraqueaçu - Aracruz	0,100	Falha Humana	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
MRS	20/03/2016	22:07	MG	Ressaquinha	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	409,717	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	1	15,9
ALLMS	21/03/2016	09:50	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	108,747	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,0	1	0	14,5
ALLMS	21/03/2016	14:01	SP	Tatui	Ipero - Pinhalzinho	174,574	Via Permanente	Descarrilamento	17,0	0	0	14,5
ALLMS	21/03/2016	23:24	RS	Triunfo	Pátio Industrial - Rio Pardo	79,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	0	0	14,5
MRS	23/03/2016	15:45	RJ	Mangaratiba	Ramal de Mangaratiba	16,600	Casos Fortuitos ou de Força	Atropelamento	0,5	1	0	15,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
ALLMS	23/03/2016	21:26	PR	Campo do Tenente	Eng. Bley - Mafra	47,589	Via Permanente	Descarrilamento	3,5	0	0	14,5
ALLMP	24/03/2016	07:14	SP	Praia Grande	Evangelista de Souza - Pereque	107,572	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,3	0	0	13,3
FCA	25/03/2016	01:46	MG	Lassance	Ramal de Pirapora	885,300	Via Permanente	Descarrilamento	41,0	0	0	13,9
FCA	26/03/2016	07:28	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	861,960	Falha Humana	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
FCA	26/03/2016	11:52	MG	Passa-Vinte	Angra dos Reis - Eng. Bhering	163,750	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	27/03/2016	15:15	PR	Almirante Tamandare	Sub-Ramal de Rio Branco do Sul	11,857	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,9	0	0	14,5
EFVM	27/03/2016	20:31	MG	Conselheiro Pena	Porto Velho - Itabira	260,420	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
ALLMP	28/03/2016	18:40	SP	Bauru	Ramal Itirapina - Panorama	336,553	Atos de vandalismo	Descarrilamento	19,5	0	0	13,3
FTL	31/03/2016	03:33	PI	Castelo do Piauí	Tronco Norte Fortaleza	562,000	Via Permanente	Descarrilamento	17,0	0	0	0
FCA	31/03/2016	04:56	MG	Corinto	Ramal de Pirapora	852,500	Via Permanente	Descarrilamento	2,0	0	0	13,9

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	31/03/2016	15:40	PR	Ponta Grossa	Uvaranas - Apucarana	262,320	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	1	0	14,5
FCA	01/04/2016	00:10	MG	Cordisburgo	General Carneiro - Monte Azul	741,500	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9
MRS	01/04/2016	19:14	RJ	Volta Redonda	Linha de São Paulo	136,024	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	1	0	15,9
ALLMS	02/04/2016	08:17	SC	Papanduva	Mafra - Lages	77,104	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,5	0	0	14,5
ALLMS	03/04/2016	02:25	SC	Sao Francisco do Sul	Mafra - Francisco do Sul	0,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	6,1	0	0	14,5
ALLMS	03/04/2016	05:28	PR	Reserva	Uvaranas - Apucarana	398,506	Material Rodante	Descarrilamento	2,7	0	0	14,5
FCA	03/04/2016	08:00	SP	Sales Oliveira	Casa Branca - Uberaba	330,873	Falha Humana	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
MRS	03/04/2016	16:32	MG	Ouro Branco	Ferrovia do Aço	337,873	Sinalização, Telecomunicações e Eletrotécnica	Descarrilamento	23,9	0	0	15,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FTL	04/04/2016	08:54	PI	Altos	Tronco São Luis	480,000	Via Permanente	Descarrilamento	12,0	0	0	0
FTL	04/04/2016	13:50	CE	Fortaleza	Ramal de Mucuripe	21,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	1	0	0
ALLMP	06/04/2016	21:28	SP	Indaiatuba	Canguera - Boa Vista Nova	217,130	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	5,0	0	1	13,3
ALLMP	07/04/2016	01:39	SP	Sao Roque	Canguera - Evangelista de Souza	83,820	Via Permanente	Descarrilamento	2,5	0	0	13,3
FCA	07/04/2016	14:00	BA	Agua Fria	São Francisco - Petrolina	198,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	13,9
ALLMS	08/04/2016	19:15	PR	Lapa	Eng. Bley - Mafra	36,246	Via Permanente	Descarrilamento	3,6	0	0	14,5
ALLMS	09/04/2016	11:20	SC	Itaiopolis	Mafra - Lages	33,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,5	0	0	14,5
FTL	09/04/2016	13:30	CE	Fortaleza	Ramal de Mucuripe	16,000	Via Permanente	Descarrilamento	15,0	0	0	0
EFVM	09/04/2016	22:26	MG	Governador Valadares	Porto Velho - Itabira	310,977	Via Permanente	Descarrilamento	6,0	0	0	24,2

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	10/04/2016	01:53	SC	Mafra	Mafra - Francisco do Sul	205,208	Via Permanente	Descarrilamento	10,0	0	0	14,5
FCA	10/04/2016	11:44	MG	Formiga	Eng. Bhering - Garças de Minas	543,786	Via Permanente	Descarrilamento	8,0	0	0	13,9
FCA	10/04/2016	11:58	GO	Goiandira	Araguari - Roncador Novo	89,200	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9
EFC	10/04/2016	18:24	MA	Acailandia	Ponta da Madeira - Carajás	474,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	1	0	47
ALLMP	11/04/2016	19:11	SP	Jales	Araraquara - Ponte	374,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,3	0	1	13,3
ALLMS	12/04/2016	07:00	SC	Jaragua do Sul	Mafra - Francisco do Sul	74,450	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,2	0	0	14,5
ALLMP	12/04/2016	13:58	SP	Sao Vicente	Evangelista de Souza - Pereque	110,900	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,5	0	0	13,3
ALLMS	13/04/2016	23:15	PR	Pinhais	Paranaguá - Uvaranas	102,100	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,2	0	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMP	14/04/2016	01:15	SP	Santa Fe do Sul	Araraquara - Ponte	422,750	Via Permanente	Descarrilamento	7,8	0	0	13,3
FCA	14/04/2016	10:49	BA	Sao Goncalo dos Campos	Mapele - Monte Azul	109,200	Via Permanente	Descarrilamento	6,0	0	0	13,9
FCA	15/04/2016	00:14	MG	Mateus Leme	Garças de Minas - Calafate	838,933	Material Rodante	Descarrilamento	1,0	0	0	13,9
ALLMS	15/04/2016	02:47	PR	Lapa	Paranaguá - Uvaranas	171,000	Via Permanente	Descarrilamento	10,0	0	0	14,5
FCA	15/04/2016	03:46	MG	Espinosa	Mapele - Monte Azul	354,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	13,9
ALLMS	16/04/2016	10:11	SC	Joinville	Mafra - Francisco do Sul	35,501	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,9	1	0	14,5
ALLMS	18/04/2016	12:20	PR	Morretes	Paranaguá - Uvaranas	60,000	Material Rodante	Descarrilamento	14,0	0	0	14,5
ALLMS	18/04/2016	16:35	SC	Jaragua do Sul	Mafra - Francisco do Sul	76,805	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,2	0	0	14,5
EFC	18/04/2016	16:50	MA	Bacabeira	Ponta da Madeira - Carajás	22,350	Via Permanente	Descarrilamento	7,7	0	0	47

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	19/04/2016	13:00	MG	Corinto	General Carneiro - Monte Azul	849,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
EFVM	19/04/2016	22:38	MG	Catas Altas	Ramal de Fábrica	88,000	Falha Humana	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
FCA	20/04/2016	18:34	MG	Divinópolis	Garças de Minas - Calafate	745,699	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	0	0	13,9
EFVM	20/04/2016	21:15	MG	Conselheiro Pena	Porto Velho - Itabira	260,244	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	24,2
MRS	21/04/2016	11:11	RJ	Itaguaí	Ramal de Mangaratiba	21,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	1	0	15,9
MRS	21/04/2016	20:36	RJ	Rio de Janeiro	Ligação à Arará	4,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,2	1	0	15,9
FCA	22/04/2016	20:30	BA	Serrinha	São Francisco - Petrolina	226,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	13,9
ALLMS	22/04/2016	22:50	PR	Paranaguá	Paranaguá - Uvaranas	2,310	Casos Fortuitos ou de Força	Abalroamento	5,1	0	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
FCA	23/04/2016	06:30	MG	Divinópolis	Garças de Minas - Calafate	738,781	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	3	0	13,9
ALLMP	23/04/2016	19:42	SP	Sao Vicente	Evangelista de Souza - Pereque	114,220	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,6	0	0	13,3
MRS	24/04/2016	17:06	MG	Carandai	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	440,362	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,0	0	1	15,9
FCA	25/04/2016	02:15	MG	Pirapora	Ramal de Pirapora	978,000	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
FTL	25/04/2016	14:06	PI	Castelo do Piauí	Tronco Norte Fortaleza	576,000	Via Permanente	Descarrilamento	10,0	0	0	0
ALLMS	25/04/2016	19:20	RS	Rio Grande	Bagé - Rio Grande	471,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,6	0	0	14,5
ALLMO	26/04/2016	10:00	SP	Cerquilha	Mairinque - Bauru	162,411	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,2	0	1	10,4
MRS	26/04/2016	15:58	MG	Ressaquinha	Posto km 64 - 452 (Linha do	411,730	Casos Fortuitos ou	Abalroamento	0,5	1	0	15,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
					Centro)		de Força Maior					
ALLMO	26/04/2016	19:55	SP	Sao Manuel	Mairinque - Bauru	304,827	Material Rodante	Descarrilamento	17,5	0	0	10,4
FCA	26/04/2016	20:37	MG	Sete Lagoas	General Carneiro - Monte Azul	716,590	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
FCA	27/04/2016	06:45	MG	Tapirai	Garças de Minas - Araguari	694,500	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	27/04/2016	07:00	RS	Cacequi	Triângulo - Cacequi	420,600	Via Permanente	Descarrilamento	11,4	1	0	14,5
ALLMS	27/04/2016	21:57	SP	Campina do Monte Alegre	Ipero - Pinhalzinho	255,500	Material Rodante	Incêndio	6,1	0	0	14,5
ALLMP	28/04/2016	20:40	SP	Ibate	Itirapina - Colômbia	215,300	Falha Humana	Colisão	8,0	0	0	13,3
FTL	29/04/2016	04:38	CE	Fortaleza	Ramal de Mucuripe	19,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	4,0	0	0	0
FTL	29/04/2016	14:10	CE	Fortaleza	Ramal de Mucuripe	24,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	0
ALLMP	29/04/2016	18:19	SP	Votuporanga	Araraquara - Ponte	300,520	Casos Fortuitos ou de Força	Abalroamento	1,4	1	0	13,3

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
ALLMS	29/04/2016	19:15	RS	Rio Grande	Bagé - Rio Grande	482,190	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,4	1	0	14,5
FCA	30/04/2016	04:00	MG	Uberaba	Uberaba - Araguari	553,957	Via Permanente	Descarrilamento	1,0	0	0	13,9
ALLMS	30/04/2016	08:00	PR	Pinhais	Paranaguá - Uvaranas	102,235	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	0	1	14,5
FCA	30/04/2016	17:48	MG	Curvelo	General Carneiro - Monte Azul	760,100	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9
ALLMS	30/04/2016	19:30	PR	Guarapuava	Eng. Gutierrez - Guarapuava	136,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,9	0	0	14,5
FCA	01/05/2016	06:58	MG	Aracai	General Carneiro - Monte Azul	708,800	Via Permanente	Descarrilamento	20,0	0	0	13,9
ALLMP	01/05/2016	07:37	SP	Rio Claro	Jundiai - Itirapina	131,000	Material Rodante	Incêndio	1,2	0	0	13,3
ALLMS	01/05/2016	16:18	RS	Tupancireta	Triângulo - Cruz Alta	106,000	Material Rodante	Descarrilamento	63,0	0	0	14,5
FCA	02/05/2016	06:25	GO	Catalao	Goiandira - Posto Eyc	856,000	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	02/05/2016	19:30	PR	Pinhais	Paranaguá - Uvaranas	99,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,6	0	0	14,5
ALLMP	03/05/2016	13:18	SP	Sao Vicente	Evangelista de Souza - Pereque	109,920	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,5	0	0	13,3
ALLMS	04/05/2016	14:10	SC	Mafra	Mafra - Lages	1,802	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,8	0	0	14,5
MRS	04/05/2016	18:02	RJ	Itaguaí	Ramal de Mangaratiba	32,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,5	2	0	15,9
EFC	05/05/2016	00:02	MA	Moncao	Ponta da Madeira - Carajás	179,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,0	1	1	47
ALLMS	05/05/2016	07:45	PR	Morretes	Paranaguá - Uvaranas	46,800	Material Rodante	Descarrilamento	2,4	0	0	14,5
ALLMP	05/05/2016	14:35	SP	Americana	Jundiai - Itirapina	80,025	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,6	1	0	13,3
FCA	06/05/2016	11:16	GO	Luziania	Roncador Novo - Brasília	186,405	Casos Fortuitos ou de Força	Atropelamento	0,0	1	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
ALLMP	07/05/2016	07:52	SP	Campinas	Jundiai - Itirapina	53,875	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,4	1	0	13,3
MRS	09/05/2016	14:50	RJ	Itaguaí	Ramal de Mangaratiba	20,570	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,1	1	1	15,9
ALLMS	09/05/2016	16:45	RS	Sao Gabriel	Cacequi - Bagé	82,260	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,5	0	1	14,5
FCA	10/05/2016	05:39	MG	Patrocínio	Garças de Minas - Araguari	912,200	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
MRS	10/05/2016	18:50	RJ	Pinheiral	Linha de São Paulo	131,025	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,2	0	0	15,9
FCA	12/05/2016	22:43	MG	Belo Horizonte	Calafate - General Carneiro	642,825	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	13,9
FCA	13/05/2016	01:00	MG	Carmo do Cajuru	Garças de Minas - Calafate	774,487	Material Rodante	Descarrilamento	3,0	0	0	13,9

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMP	13/05/2016	01:37	SP	Embu-Guacu	Canguera - Evangenlista de Souza	133,860	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,4	0	1	13,3
ALLMP	13/05/2016	03:07	SP	Taquaritinga	Araraquara - Ponte	75,220	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,9	1	0	13,3
FCA	13/05/2016	11:10	MG	Pedro Leopoldo	General Carneiro - Monte Azul	646,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	13,9
ALLMO	13/05/2016	21:52	SP	Lins	Bauru - Corumbá	130,731	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	20,4	1	0	10,4
MRS	14/05/2016	01:52	MG	Sao Joao Del Rei	Ferrovia do Aço	224,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	0	0	15,9
ALLMS	14/05/2016	04:22	RS	Pelotas	Bagé - Rio Grande	417,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,6	0	0	14,5
ALLMP	14/05/2016	08:44	SP	Cotia	Canguera - Evangenlista de Souza	102,440	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,8	1	0	13,3

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
EFVM	14/05/2016	10:55	ES	Fundao	Porto Velho - Itabira	46,971	Falha Humana	Abalroamento	0,0	1	0	24,2
ALLMS	14/05/2016	18:01	SC	Jaragua do Sul	Mafra - Francisco do Sul	73,063	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,5	1	0	14,5
ALLMS	15/05/2016	00:55	PR	Ortigueira	Uvaranas - Apucarana	467,600	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	5,0	0	1	14,5
FCA	15/05/2016	08:30	MG	Iguatama	Garças de Minas - Araguari	603,100	Material Rodante	Descarrilamento	5,0	0	0	13,9
MRS	15/05/2016	17:31	MG	Belo Horizonte	Variante do Paraopeba	619,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	1	0	15,9
EFC	15/05/2016	22:22	MA	Tufilandia	Ponta da Madeira - Carajás	232,700	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	0	1	47
ALLMS	15/05/2016	23:10	PR	Araucaria	Paranaguá - Uvaranas	132,963	Via Permanente	Descarrilamento	17,9	0	0	14,5
MRS	16/05/2016	22:35	RJ	Pinheiral	Linha de São Paulo	134,952	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,0	0	1	15,9

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	17/05/2016	04:38	MG	Janauba	General Carneiro - Monte Azul	1.246,300	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	17/05/2016	17:44	SC	Guaramirim	Mafra - Francisco do Sul	59,618	Material Rodante	Descarrilamento	2,9	0	0	14,5
FCA	18/05/2016	18:06	BA	Iramaia	Mapele - Monte Azul	483,435	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9
ALLMS	19/05/2016	12:00	RS	SANT'ANA DO LIVRAMENTO	Entroncamento - Livramento	100,380	Via Permanente	Descarrilamento	0,5	0	0	14,5
FCA	19/05/2016	17:43	SP	Aguai	Boa Vista Nova - Casa Branca	394,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMP	20/05/2016	04:20	SP	Sao Vicente	Evangelista de Souza - Pereque	78,870	Falha Humana	Descarrilamento	14,8	0	0	13,3
FCA	20/05/2016	14:34	MG	Contagem	Ferrugem - Eldorado	627,608	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
FCA	21/05/2016	04:30	MG	Sete Lagoas	General Carneiro - Monte Azul	720,600	Via Permanente	Descarrilamento	23,0	0	0	13,9
FCA	21/05/2016	06:30	MG	Santo Antonio do	Garças de Minas -	674,500	Casos Fortuitos ou	Atropelamento	0,0	2	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
				Monte	Calafate		de Força Maior					
MRS	21/05/2016	07:22	MG	Congonhas	Variante do Paraopeba	488,101	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,0	0	1	15,9
EFVM	23/05/2016	01:25	ES	Baixo Guandu	Porto Velho - Itabira	170,500	Falha Humana	Colisão	0,0	0	0	24,2
FTL	23/05/2016	11:12	CE	Miraima	Tronco Norte Fortaleza	177,000	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	0
MRS	23/05/2016	15:34	SP	Sao Jose dos Campos	Linha de São Paulo	378,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	0	0	15,9
FCA	23/05/2016	16:22	GO	Ipameri	Araguari - Roncador Novo	120,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	25/05/2016	20:22	PR	Arapongas	Ourinhos - Cianorte	250,100	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,5	0	0	14,5
ALLMS	26/05/2016	03:00	PR	Londrina	Ourinhos - Cianorte	218,984	Falha Humana	Descarrilamento	13,8	0	0	14,5
ALLMS	26/05/2016	08:49	RS	Santa Maria	Triângulo - Cacequi	340,590	Material Rodante	Incêndio	2,6	0	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	26/05/2016	19:43	PR	Irati	Eng. Gutierrez - Guarapuava	36,102	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,0	1	0	14,5
ALLMO	27/05/2016	08:50	SP	Mairinque	Mairinque - Bauru	69,500	Material Rodante	Incêndio	2,0	0	0	10,4
ALLMP	27/05/2016	13:16	SP	Santa Gertrudes	Jundiai - Itirapina	125,840	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,2	1	0	13,3
FTL	28/05/2016	17:41	PI	Teresina	Tronco São Luis	456,000	Material Rodante	Descarrilamento	1,4	0	0	0
ALLMP	28/05/2016	22:00	SP	Hortolandia	Jundiai - Itirapina	62,810	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	1	0	13,3
EFC	29/05/2016	08:20	PA	Maraba	Ponta da Madeira - Carajás	766,342	Material Rodante	Descarrilamento	20,8	0	0	47
FCA	29/05/2016	13:41	MG	Mateus Leme	Garças de Minas - Calafate	841,800	Via Permanente	Descarrilamento	1,0	0	0	13,9
ALLMP	30/05/2016	10:57	SP	Rio Claro	Ramal de Rio Claro Velho	133,840	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,6	0	0	13,3
ALLMS	31/05/2016	02:50	PR	Paranagua	Paranaguá - Uvaranas	2,310	Casos Fortuitos ou de Força	Abalroamento	0,8	0	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
FCA	31/05/2016	12:21	MG	Mateus Leme	Garças de Minas - Calafate	841,700	Via Permanente	Descarrilamento	1,0	0	0	13,9
FCA	01/06/2016	22:57	BA	Queimadas	São Francisco - Petrolina	352,300	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
FTL	02/06/2016	09:41	CE	Sobral	Tronco Norte Fortaleza	193,000	Via Permanente	Descarrilamento	7,5	0	0	0
FCA	02/06/2016	17:46	MG	Campos Altos	Garças de Minas - Araguari	699,966	Via Permanente	Descarrilamento	48,0	0	0	13,9
FCA	03/06/2016	00:41	MG	Patrocínio	Garças de Minas - Araguari	910,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	04/06/2016	07:50	PR	Morretes	Paranaguá - Uvaranas	50,000	Material Rodante	Descarrilamento	3,9	0	0	14,5
ALLMS	04/06/2016	21:02	SC	Mafra	Mafra - Francisco do Sul	199,618	Via Permanente	Descarrilamento	7,2	0	0	14,5
ALLMS	05/06/2016	01:34	RS	Cruz Alta	Cruz Alta - Santo Ângelo	0,729	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	0	0	14,5

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	05/06/2016	23:35	SC	Araquari	Mafra - Francisco do Sul	19,800	Falha Humana	Colisão	6,0	0	0	14,5
ALLMP	06/06/2016	11:38	SP	Sao Carlos	Itirapina - Colômbia	199,840	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	2	0	13,3
FCA	06/06/2016	14:50	SP	Sao Simao	Casa Branca - Uberaba	238,600	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	1	13,9
FTL	07/06/2016	05:35	CE	Fortaleza	Ramal de Mucuripe	20,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,2	0	0	0
ALLMS	07/06/2016	12:10	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	118,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,7	0	0	14,5
EFC	08/06/2016	12:37	PA	Bom Jesus do Tocantins	Ponta da Madeira - Carajás	689,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	1	0	47
ALLMS	09/06/2016	05:55	PR	Paranagua	Paranaguá - Uvaranas	18,000	Via Permanente	Descarrilamento	9,6	0	0	14,5
FCA	09/06/2016	11:32	BA	Iacu	Mapele - Monte Azul	262,800	Casos Fortuitos ou de Força	Abalroamento	0,0	0	0	13,9

Ferrovias	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maiores					
ALLMS	10/06/2016	02:51	SC	Mafra	Mafra - Lages	0,900	Via Permanente	Descarrilamento	5,3	0	0	14,5
FCA	10/06/2016	10:23	MG	Varzea da Palma	Ramal de Pirapora	966,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	10/06/2016	12:21	PR	Bandeirantes	Ourinhos - Cianorte	84,566	Material Rodante	Descarrilamento	13,2	0	0	14,5
FTL	10/06/2016	15:39	CE	Fortaleza	Tronco Norte Fortaleza	92,000	Via Permanente	Descarrilamento	8,4	0	0	0
ALLMS	11/06/2016	01:40	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	104,796	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,5	0	0	14,5
ALLMP	11/06/2016	13:06	SP	Sumare	Jundiai - Itirapina	70,610	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,7	0	0	13,3
ALLMS	11/06/2016	18:35	PR	Marilandia do Sul	Uvaranas - Apucarana	544,739	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,5	0	0	14,5
ALLMP	11/06/2016	23:03	SP	Sao Roque	Canguera - Evangelista de Souza	82,355	Via Permanente	Descarrilamento	11,4	0	0	13,3

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	12/06/2016	01:05	PR	Cambe	Ourinhos - Cianorte	223,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,2	0	0	14,5
ALLMS	12/06/2016	11:25	PR	Piraquara	Paranaguá - Uvaranas	87,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,1	0	0	14,5
FCA	12/06/2016	15:51	MG	Campos Altos	Garças de Minas - Araguari	718,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	2	0	13,9
ALLMS	13/06/2016	05:57	SC	Jaragua do Sul	Mafra - Francisco do Sul	75,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,9	0	0	14,5
MRS	15/06/2016	00:51	MG	Carandai	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	425,330	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	0	0	15,9
ALLMS	15/06/2016	10:50	PR	California	Uvaranas - Apucarana	560,160	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	0	1	14,5
EFC	16/06/2016	21:03	PA	Maraba	Ponta da Madeira - Carajás	717,000	Sinalização, Telecomunicações e Eletrotécnica	Descarrilamento	8,0	0	0	47

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMO	17/06/2016	14:03	SP	Sorocaba	Mairinque - Bauru	93,450	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,1	1	0	10,4
MRS	19/06/2016	13:01	RJ	Paraíba do Sul	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	186,715	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,4	1	1	15,9
MRS	19/06/2016	15:07	SP	Suzano	Variante Rio Grande da Serra - Suzano	14,840	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,2	1	0	15,9
ALLMS	20/06/2016	11:00	RS	Rio Grande	Bagé - Rio Grande	470,400	Falha Humana	Descarrilamento	8,9	0	0	14,5
FCA	21/06/2016	04:21	MG	Perdizes	Garças de Minas - Araguari	854,500	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9
FCA	22/06/2016	03:36	BA	Brumado	Mapele - Monte Azul	663,300	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
EFVM	22/06/2016	14:50	MG	Resplendor	Porto Velho - Itabira	215,000	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
MRS	22/06/2016	23:49	RJ	Itaguaí	Ramal de Mangaratiba	35,295	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,2	0	0	15,9
FCA	23/06/2016	16:34	BA	Iramaia	Mapele - Monte Azul	446,700	Via Permanente	Descarrilamento	3,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	24/06/2016	04:22	GO	Luziania	Roncador Novo - Brasília	230,199	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	25/06/2016	05:30	SC	Sao Bento do Sul	Mafra - Francisco do Sul	140,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,1	2	3	14,5
ALLMS	25/06/2016	08:07	PR	Almirante Tamandare	Sub-Ramal de Rio Branco do Sul	13,300	Material Rodante	Descarrilamento	10,6	0	0	14,5
EFVM	26/06/2016	01:49	MG	Antonio Dias	Porto Velho - Itabira	487,000	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
FCA	26/06/2016	17:05	MG	Pirapora	Ramal de Pirapora	980,110	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	28/06/2016	09:16	RS	Cruz Alta	Triângulo - Cruz Alta	124,432	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,9	0	0	14,5
FCA	28/06/2016	22:28	MG	Campos Altos	Garças de Minas - Araguari	718,092	Atos de vandalismo	Descarrilamento	1,0	0	0	13,9
FTC	29/06/2016	09:50	SC	Jaguaruna	Linha Principal	66,500	Falha Humana	Abalroamento	0,8	0	0	0
ALLMS	29/06/2016	12:20	PR	Ponta Grossa	Uvaranas - Apucarana	258,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FTL	29/06/2016	16:30	CE	Sobral	Tronco Norte Fortaleza	238,000	Via Permanente	Descarrilamento	13,4	0	0	0
ALLMN	29/06/2016	23:35	MT	Alto Araguaia	Marco Inicial - Rondonópolis	565,523	Material Rodante	Descarrilamento	12,7	0	0	13,3
EFVM	02/07/2016	05:31	ES	Serra	Porto Velho - Itabira	24,951	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
ALLMP	02/07/2016	11:43	SP	Embu-Guacu	Canguera - Evangenlista de Souza	135,423	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,3	1	0	13,3
ALLMO	02/07/2016	18:35	SP	Avai	Bauru - Corumbá	42,208	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,8	0	0	10,4
ALLMS	02/07/2016	22:18	PR	Ponta Grossa	Uvaranas - Apucarana	258,100	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,4	0	0	14,5
ALLMS	03/07/2016	11:57	PR	Araucaria	Paranaguá - Uvaranas	152,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,2	0	0	14,5
FCA	03/07/2016	14:15	BA	Muritiba	Mapele - Monte Azul	153,863	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9
ALLMS	03/07/2016	17:29	PR	Sarandi	Ourinhos - Cianorte	319,906	Via Permanente	Descarrilamento	4,9	0	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	03/07/2016	18:37	RS	Tupancireta	Triângulo - Cruz Alta	89,899	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,4	1	0	14,5
FTL	04/07/2016	13:18	CE	Sobral	Tronco Norte Fortaleza	282,000	Via Permanente	Descarrilamento	6,4	0	0	0
ALLMS	04/07/2016	17:26	PR	Bandeirantes	Ourinhos - Cianorte	70,800	Via Permanente	Descarrilamento	18,6	0	0	14,5
ALLMP	04/07/2016	18:14	SP	Campinas	Jundiai - Itirapina	39,788	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,2	1	0	13,3
FCA	05/07/2016	21:50	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	868,896	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	06/07/2016	08:48	PR	Cambara	Ourinhos - Cianorte	33,935	Via Permanente	Descarrilamento	16,0	0	0	14,5
ALLMS	06/07/2016	12:38	SC	Monte Castelo	Mafra - Lages	94,920	Via Permanente	Descarrilamento	27,4	0	0	14,5
ALLMS	08/07/2016	02:50	PR	Paranagua	Paranaguá - Uvaranas	2,310	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	4,2	0	0	14,5
FCA	08/07/2016	02:57	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	869,891	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
MRS	08/07/2016	18:30	RJ	Tres Rios	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	197,390	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	15,9
ALLMS	08/07/2016	21:00	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	108,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,9	1	0	14,5
FCA	09/07/2016	14:08	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	858,000	Via Permanente	Descarrilamento	2,0	0	0	13,9
ALLMS	09/07/2016	18:28	PR	Jandaia do Sul	Ourinhos - Cianorte	291,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	1	0	14,5
EFPO	10/07/2016	05:45	PR	Guaraniacu	Guarapuava - Cascavel	205,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,3	0	1	0
ALLMP	11/07/2016	09:29	SP	Sao Paulo	Canguera - Evangenlista de Souza	147,130	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,7	1	0	13,3
ALLMS	11/07/2016	12:07	SC	Joinville	Mafra - Francisco do Sul	40,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	0	1	14,5
FTL	12/07/2016	07:33	MA	Sao Luis	Tronco São Luis	116,000	Casos Fortuitos ou	Abalroamento	0,1	3	0	0

Ferrovias	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							de Força Maior					
ALLMS	13/07/2016	21:10	PR	Morretes	Paranaguá - Uvaranas	70,000	Via Permanente	Descarrilamento	21,6	0	0	14,5
MRS	14/07/2016	09:41	MG	Congonhas	Variante do Paraopeba	482,980	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	15,9
MRS	15/07/2016	13:05	RJ	Barra Mansa	Linha de São Paulo	155,200	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	15,9
ALLMS	15/07/2016	20:47	RS	Santa Maria	Triângulo - Cruz Alta	3,247	Material Rodante	Descarrilamento	16,4	0	0	14,5
ALLMN	15/07/2016	22:09	MS	Cassilandia	Marco Inicial - Rondonópolis	198,000	Via Permanente	Descarrilamento	38,4	0	0	13,3
MRS	16/07/2016	08:05	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	276,030	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	0	1	15,9
ALLMS	16/07/2016	15:05	PR	Arapongas	Ourinhos - Cianorte	249,400	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,9	0	0	14,5
FCA	17/07/2016	02:53	MG	Patrocínio	Garças de Minas - Araguari	900,634	Via Permanente	Descarrilamento	7,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FTL	18/07/2016	15:05	CE	Fortaleza	Ramal de Mucuripe	22,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,1	0	0	0
EFC	19/07/2016	07:44	MA	Acailandia	Ponta da Madeira - Carajás	530,093	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	47
FCA	19/07/2016	11:54	MG	Patrocínio	Garças de Minas - Araguari	895,380	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	1	0	13,9
EFC	19/07/2016	15:39	MA	Bacabeira	Ponta da Madeira - Carajás	46,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,9	0	1	47
ALLMS	19/07/2016	22:11	SC	Guaramirim	Mafra - Francisco do Sul	67,430	Material Rodante	Descarrilamento	11,7	0	0	14,5
FTL	21/07/2016	14:30	CE	Sobral	Tronco Norte Fortaleza	315,000	Via Permanente	Descarrilamento	5,4	0	0	0
ALLMS	21/07/2016	16:30	PR	Morretes	Paranaguá - Uvaranas	64,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,4	1	0	14,5
ALLMP	21/07/2016	18:51	SP	Itu	Canguera - Boa Vista Nova	183,442	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,0	1	0	13,3

Ferrovias	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	22/07/2016	02:20	SC	Corupa	Mafra - Francisco do Sul	97,200	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,2	1	0	14,5
ALLMS	23/07/2016	02:30	PR	Ponta Grossa	Paranaguá - Uvaranas	249,760	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,2	1	0	14,5
ALLMN	23/07/2016	12:25	MS	Inocencia	Marco Inicial - Rondonópolis	144,224	Material Rodante	Incêndio	4,7	0	0	13,3
EFVM	23/07/2016	13:10	MG	Coronel Fabriciano	Porto Velho - Itabira	446,350	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	1	0	24,2
ALLMS	23/07/2016	20:51	RS	Teutonia	General Luz - Roca Sales	68,510	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,0	1	0	14,5
FCA	24/07/2016	02:20	MG	Itumirim	Angra dos Reis - Eng. Bhering	335,900	Via Permanente	Descarrilamento	20,0	0	0	13,9
MRS	24/07/2016	03:17	RJ	Mangaratiba	Ramal de Mangaratiba	12,600	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,3	0	0	15,9
FCA	24/07/2016	09:21	MG	Tapirai	Garças de Minas - Araguari	690,969	Via Permanente	Descarrilamento	16,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
MRS	24/07/2016	14:41	SP	Cruzeiro	Linha de São Paulo	249,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	0	0	15,9
FTL	25/07/2016	20:15	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	632,000	Via Permanente	Descarrilamento	15,3	0	0	0
EFC	26/07/2016	07:25	MA	Buriticupu	Ponta da Madeira - Carajás	410,000	Falha Humana	Colisão	0,0	0	0	47
FCA	27/07/2016	09:28	MG	Sabara	Calafate - General Carneiro	645,200	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
MRS	27/07/2016	10:24	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	272,998	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,4	0	1	15,9
FTC	28/07/2016	06:21	SC	Criciúma	Ramal de Rio Fiorita	4,400	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,2	0	1	0
EFC	28/07/2016	23:36	MA	Arari	Ponta da Madeira - Carajás	116,200	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	47
ALLMP	29/07/2016	15:23	SP	Campinas	Canguera - Boa Vista Nova	249,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,9	1	0	13,3

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	29/07/2016	19:40	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	861,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	13,9
MRS	30/07/2016	02:35	MG	Antonio Carlos	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	362,760	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	4,1	1	0	15,9
FCA	31/07/2016	00:56	MG	Pirapora	Ramal de Pirapora	1.000,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
FCA	31/07/2016	02:10	MG	Curvelo	General Carneiro - Monte Azul	793,093	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMP	31/07/2016	23:02	SP	Rio Claro	Jundiai - Itirapina	136,893	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,9	0	1	13,3
MRS	01/08/2016	11:35	SP	Aparecida	Linha de São Paulo	300,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,0	1	0	15,9
ALLMO	02/08/2016	03:10	SP	Lins	Bauru - Corumbá	130,692	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,1	1	0	10,4

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	02/08/2016	15:22	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	881,135	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
ALLMS	03/08/2016	22:15	PR	Rolandia	Ourinhos - Cianorte	235,084	Via Permanente	Descarrilamento	2,4	0	0	14,5
FCA	05/08/2016	16:00	SP	Aramina	Casa Branca - Uberaba	415,035	Via Permanente	Descarrilamento	1,0	0	0	13,9
ALLMS	05/08/2016	16:39	RS	Teutonia	General Luz - Roca Sales	76,783	Falha Humana	Abalroamento	5,0	1	1	14,5
ALLMP	05/08/2016	18:14	SP	Hortolandia	Jundiai - Itirapina	67,335	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	1	0	13,3
ALLMN	06/08/2016	09:10	MS	Aparecida do Taboado	Marco Inicial - Rondonópolis	33,732	Material Rodante	Descarrilamento	7,1	0	0	13,3
ALLMS	06/08/2016	12:00	PR	Araucaria	Paranaguá - Uvaranas	136,146	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,8	0	0	14,5
EFVM	06/08/2016	19:02	MG	Resplendor	Porto Velho - Itabira	233,607	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	24,2
FCA	07/08/2016	17:28	SP	Tambau	Casa Branca - Uberaba	194,798	Via Permanente	Descarrilamento	12,0	0	0	13,9

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
EFC	07/08/2016	23:24	MA	Cidelandia	Ponta da Madeira - Carajás	562,000	Falha Humana	Descarrilamento	5,4	0	0	47
MRS	08/08/2016	13:43	RJ	Itaguaí	Ramal de Mangaratiba	30,510	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	1	0	15,9
FCA	08/08/2016	14:09	MG	Mateus Leme	Garças de Minas - Calafate	838,100	Atos de vandalismo	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
ALLMN	08/08/2016	15:14	MT	Alto Taquari	Marco Inicial - Rondonópolis	397,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	3,8	0	1	13,3
ALLMO	11/08/2016	08:57	MS	Corumbá	Bauru - Corumbá	1.295,160	Via Permanente	Descarrilamento	12,4	0	0	10,4
FCA	11/08/2016	12:20	MG	Janauba	General Carneiro - Monte Azul	1.261,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMO	11/08/2016	19:36	SP	Ipero	Mairinque - Bauru	126,096	Material Rodante	Incêndio	16,4	0	0	10,4
ALLMP	11/08/2016	21:50	SP	Sao Vicente	Evangelista de Souza - Pereque	116,700	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,1	1	0	13,3
ALLMS	12/08/2016	01:30	PR	Paranaguá	Paranaguá - Uvaranas	4,884	Casos Fortuitos ou de Força	Atropelamento	2,0	0	1	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
FTL	12/08/2016	09:43	MA	Sao Luis	Tronco São Luis	28,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	0	0	0
ALLMP	12/08/2016	22:15	SP	Hortolandia	Jundiai - Itirapina	62,764	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,8	0	1	13,3
FTL	12/08/2016	22:20	CE	Sobral	Tronco Norte Fortaleza	235,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,5	0	0	0
ALLMS	13/08/2016	02:40	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	103,240	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,3	0	0	14,5
MRS	13/08/2016	12:44	RJ	Seropédica	Ramal de Mangaratiba	51,187	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,1	0	1	15,9
FCA	13/08/2016	13:10	MG	Vespasiano	General Carneiro - Monte Azul	631,100	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	13,9
ALLMP	14/08/2016	08:30	SP	Bauru	Ramal Itirapina - Panorama	339,999	Casos Fortuitos ou de Força	Incêndio	0,5	0	0	13,3

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
FCA	14/08/2016	14:46	BA	Marcionilio Souza	Mapele - Monte Azul	387,500	Via Permanente	Descarrilamento	20,0	0	0	13,9
ALLMP	16/08/2016	17:11	SP	Jales	Araraquara - Ponte	372,000	Material Rodante	Incêndio	2,1	0	0	13,3
ALLMS	17/08/2016	08:50	RS	Cacequi	Triângulo - Cacequi	428,723	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,2	0	0	14,5
ALLMS	17/08/2016	10:06	PR	Curitiba	Ramal de Curitiba	103,806	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	1	0	14,5
FCA	18/08/2016	04:13	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	867,821	Material Rodante	Descarrilamento	1,0	0	0	13,9
ALLMS	18/08/2016	04:23	PR	Ortigueira	Uvaranas - Apucarana	481,384	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,5	0	0	14,5
ALLMP	18/08/2016	23:32	SP	Rio Claro	Jundiai - Itirapina	130,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	0	0	13,3
MRS	21/08/2016	03:14	RJ	Barra do Pirai	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	102,920	Casos Fortuitos ou de Força	Atropelamento	0,4	1	0	15,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
FCA	21/08/2016	09:07	MG	Varzea da Palma	Ramal de Pirapora	967,472	Via Permanente	Descarrilamento	3,0	0	0	13,9
FTL	21/08/2016	13:25	MA	Timbiras	Tronco São Luis	281,000	Via Permanente	Descarrilamento	8,4	0	0	0
FCA	21/08/2016	14:25	BA	Brumado	Mapele - Monte Azul	631,700	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
FCA	21/08/2016	19:55	BA	Iacu	Mapele - Monte Azul	310,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	1	0	13,9
ALLMS	22/08/2016	08:30	PR	Araucaria	Paranaguá - Uvaranas	132,422	Via Permanente	Descarrilamento	9,8	0	0	14,5
EFVM	22/08/2016	10:05	ES	Cariacica	Porto Velho - Itabira	1,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	2	24,2
ALLMP	22/08/2016	15:40	SP	Valentim Gentil	Araraquara - Ponte	316,816	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,3	0	0	13,3
MRS	22/08/2016	20:21	MG	Mario Campos	Variante do Paraopeba	589,890	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	0	0	15,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	22/08/2016	22:31	MG	Itauna	Garças de Minas - Calafate	799,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
FCA	23/08/2016	03:36	MG	Candeias	Eng. Bhering - Garças de Minas	486,200	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	23/08/2016	18:00	PR	Andira	Ourinhos - Cianorte	45,307	Via Permanente	Descarrilamento	2,1	0	0	14,5
EFC	24/08/2016	19:45	PA	Curionópolis	Ponta da Madeira - Carajás	788,510	Material Rodante	Descarrilamento	8,0	0	0	47
FCA	25/08/2016	22:40	BA	Santo Amaro	Mapele - Monte Azul	80,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMN	26/08/2016	01:30	MT	Rondonópolis	Marco Inicial - Rondonópolis	705,407	Via Permanente	Descarrilamento	19,5	0	0	13,3
ALLMS	26/08/2016	14:56	PR	Ipiranga	Uvaranas - Apucarana	354,450	Via Permanente	Descarrilamento	19,6	0	0	14,5
ALLMS	26/08/2016	15:06	PR	Araucaria	Paranaguá - Uvaranas	156,900	Via Permanente	Descarrilamento	2,2	0	0	14,5
MRS	27/08/2016	06:39	RJ	Barra Mansa	Linha de São Paulo	155,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	1	0	15,9

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
MRS	27/08/2016	15:59	RJ	Seropedica	Ramal de Mangaratiba	47,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	15,9
FCA	28/08/2016	15:13	BA	Tanhacu	Mapele - Monte Azul	601,400	Via Permanente	Descarrilamento	1,0	0	0	13,9
EFVM	28/08/2016	18:35	MG	Belo Oriente	Porto Velho - Itabira	402,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
FTL	28/08/2016	23:25	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	545,000	Via Permanente	Descarrilamento	1,5	0	0	0
FCA	29/08/2016	14:53	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	864,474	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
MRS	31/08/2016	05:19	MG	Carandai	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	427,723	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,2	0	1	15,9
FTL	31/08/2016	10:50	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	558,000	Via Permanente	Descarrilamento	21,2	0	0	0
FTL	31/08/2016	14:50	CE	Fortaleza	Ramal de Mucuripe	18,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	0
ALLMS	01/09/2016	17:35	PR	Marialva	Ourinhos - Cianorte	312,610	Via Permanente	Descarrilamento	7,5	0	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	01/09/2016	18:48	RS	Cacequi	Triângulo - Cacequi	428,733	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,4	1	0	14,5
FCA	02/09/2016	16:23	MG	Tapirai	Garças de Minas - Araguari	681,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	2	0	13,9
ALLMS	03/09/2016	11:04	PR	Almirante Tamandare	Sub-Ramal de Rio Branco do Sul	14,144	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,2	1	0	14,5
ALLMS	03/09/2016	12:55	SC	Jaragua do Sul	Mafra - Francisco do Sul	75,446	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,8	0	0	14,5
ALLMP	04/09/2016	14:30	SP	Cubatao	Evangelista de Souza - Pereque	121,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,3
FTL	05/09/2016	12:26	PI	Teresina	Tronco São Luis	452,000	Via Permanente	Descarrilamento	6,0	0	0	0
ALLMS	05/09/2016	13:31	PR	Cornelio Procopio	Ourinhos - Cianorte	123,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,9	0	0	14,5
ALLMS	05/09/2016	16:00	PR	Ponta Grossa	Uvaranas - Apucarana	271,849	Casos Fortuitos ou de Força	Abalroamento	0,8	0	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
MRS	06/09/2016	09:11	MG	Carandai	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	430,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	1	0	15,9
EFVM	06/09/2016	19:30	ES	Fundao	Porto Velho - Itabira	51,100	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,1	0	1	24,2
ALLMS	06/09/2016	22:50	PR	Lapa	Eng. Bley - Mafra	6,500	Via Permanente	Descarrilamento	18,7	0	0	14,5
ALLMS	07/09/2016	06:20	PR	Apucarana	Uvaranas - Apucarana	573,974	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	1	0	14,5
ALLMS	07/09/2016	07:11	RS	Pelotas	Bagé - Rio Grande	416,986	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	5,0	0	0	14,5
MRS	07/09/2016	10:04	RJ	Itaguaí	Ramal de Mangaratiba	31,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,5	1	0	15,9
FCA	07/09/2016	11:28	BA	Iramaia	Mapele - Monte Azul	489,700	Via Permanente	Descarrilamento	7,0	0	0	13,9
FCA	07/09/2016	17:30	MG	Araguari	Uberaba - Araguari	684,000	Via Permanente	Descarrilamento	6,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FTL	08/09/2016	00:20	CE	Fortaleza	Ramal de Mucuripe	13,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	0
EFVM	08/09/2016	15:30	ES	Ibiracu	Porto Velho - Itabira	65,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,5	1	0	24,2
FCA	08/09/2016	20:15	MG	Candeias	Eng. Bhering - Garças de Minas	486,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	7,0	0	0	13,9
ALLMP	09/09/2016	02:00	SP	Campinas	Alça de Viracópos	52,472	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	5,0	0	1	13,3
ALLMS	09/09/2016	06:20	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	105,100	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,4	0	0	14,5
EFVM	09/09/2016	22:30	MG	Belo Oriente	Porto Velho - Itabira	398,050	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,5	0	1	24,2
ALLMP	10/09/2016	02:55	SP	Embu-Guacu	Canguera - Evangenlista de Souza	133,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	1	0	13,3

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
MRS	10/09/2016	19:54	RJ	Nova Iguaçu	Ligação à Arará	34,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,5	1	0	15,9
ALLMP	11/09/2016	21:10	SP	Mairinque	Canguera - Boa Vista Nova	171,700	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,2	0	1	13,3
FTL	12/09/2016	04:10	PI	Teresina	Tronco São Luis	474,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,4	1	0	0
MRS	12/09/2016	11:10	MG	Barbacena	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	388,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	3,0	0	0	15,9
FTL	12/09/2016	15:53	CE	Sobral	Tronco Norte Fortaleza	264,000	Via Permanente	Descarrilamento	13,4	0	0	0
ALLMS	12/09/2016	16:50	PR	Piraquara	Paranaguá - Uvaranas	80,790	Via Permanente	Descarrilamento	1,2	0	0	14,5
ALLMS	12/09/2016	16:55	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	112,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,1	0	1	14,5
FCA	13/09/2016	10:10	MG	Bambui	Garças de Minas - Araguari	625,200	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
MRS	13/09/2016	12:26	MG	Carandai	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	435,020	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,5	0	0	15,9
MRS	13/09/2016	14:52	RJ	Itaguaí	Ramal de Mangaratiba	32,290	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	0	0	15,9
MRS	14/09/2016	13:15	MG	Conselheiro Lafaiete	Posto km 452 - Miguel Burnier (Linha do Centro)	463,473	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	0	0	15,9
ALLMS	14/09/2016	17:32	RS	Vacaria	Roca Sales - Lages	244,870	Via Permanente	Descarrilamento	45,6	0	0	14,5
MRS	15/09/2016	18:38	MG	Conselheiro Lafaiete	Posto km 452 - Miguel Burnier (Linha do Centro)	465,078	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	4	0	15,9
ALLMO	15/09/2016	22:02	SP	Bauru	Bauru - Corumbá	0,430	Atos de vandalismo	Incêndio	0,7	0	0	10,4
EFVM	16/09/2016	01:07	ES	Baixo Guandu	Porto Velho - Itabira	172,440	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
FCA	16/09/2016	03:00	MG	Divinópolis	Garças de Minas - Calafate	747,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	13,9
FCA	16/09/2016	06:20	MG	Itauna	Garças de Minas -	784,551	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
					Calafate							
ALLMP	16/09/2016	23:30	SP	Embu-Guacu	Canguera - Evangenlista de Souza	142,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,8	2	0	13,3
ALLMP	18/09/2016	21:23	SP	Itirapina	Itirapina - Colômbia	176,580	Material Rodante	Descarrilamento	16,8	0	0	13,3
EFC	18/09/2016	23:30	MA	Vitoria do Mearim	Ponta da Madeira - Carajás	162,000	Material Rodante	Descarrilamento	3,2	0	0	47
ALLMS	19/09/2016	20:00	PR	Cornelio Procopio	Ourinhos - Cianorte	80,820	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	1	0	14,5
FCA	19/09/2016	20:20	SP	Mogi Guacu	Boa Vista Nova - Casa Branca	325,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
ALLMS	20/09/2016	21:16	PR	Sarandi	Ourinhos - Cianorte	324,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,7	0	0	14,5
FCA	21/09/2016	12:00	SP	Mogi Guacu	Boa Vista Nova - Casa Branca	362,340	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMP	21/09/2016	17:50	SP	Sao Vicente	Evangelista de Souza - Pereque	113,100	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	0	1	13,3
ALLMP	22/09/2016	15:52	SP	Cordeiropolis	Jundiai - Itirapina	119,396	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,9	0	0	13,3
FCA	22/09/2016	16:50	MG	Sao Vicente de Minas	Angra dos Reis - Eng. Bhering	279,100	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9
MRS	24/09/2016	00:15	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	264,250	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	1	0	15,9
FCA	24/09/2016	12:33	GO	Goiandira	Araguari - Roncador Novo	85,258	Via Permanente	Descarrilamento	52,0	0	0	13,9
MRS	25/09/2016	01:41	MG	Jeceaba	Variante do Paraopeba	503,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,3	1	0	15,9
FCA	26/09/2016	17:45	MG	Aracai	General Carneiro - Monte Azul	710,648	Via Permanente	Descarrilamento	2,0	0	0	13,9
FTL	28/09/2016	13:07	CE	Miraima	Tronco Norte Fortaleza	171,000	Material Rodante	Descarrilamento	34,0	0	0	0
MRS	29/09/2016	07:53	RJ	Paraíba do Sul	Posto km 64 - 452 (Linha do	193,300	Casos Fortuitos ou	Atropelamento	3,5	0	1	15,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
					Centro)		de Força Maior					
ALLMS	29/09/2016	11:20	SP	Quata	Rubião Junior - Presidente Epitácio	622,080	Via Permanente	Descarrilamento	0,2	0	0	14,5
FCA	29/09/2016	21:46	SP	Moji Mirim	Boa Vista Nova - Casa Branca	322,550	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
FCA	30/09/2016	03:42	BA	Santo Amaro	Mapele - Monte Azul	98,100	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
MRS	01/10/2016	20:58	SP	Suzano	Variante Rio Grande da Serra - Suzano	15,400	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,0	1	0	15,9
ALLMS	02/10/2016	21:49	SC	Joinville	Mafra - Francisco do Sul	39,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,5	0	0	14,5
MRS	02/10/2016	21:55	SP	Itaquaquecetuba	Linha de São Paulo	458,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	1	0	15,9
EFVM	02/10/2016	22:40	MG	Conselheiro Pena	Porto Velho - Itabira	249,250	Material Rodante	Descarrilamento	1,0	0	0	24,2
MRS	03/10/2016	16:50	RJ	Itaguaí	Ramal de Mangaratiba	32,290	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,5	3	0	15,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
MRS	04/10/2016	09:18	MG	Congonhas	Variante do Paraopeba	492,600	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	1	0	15,9
ALLMP	05/10/2016	06:28	SP	Araraquara	Araraquara - Ponte	23,490	Falha Humana	Descarrilamento	11,5	0	0	13,3
FCA	05/10/2016	07:57	MG	Sabara	General Carneiro - Monte Azul	646,954	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	13,9
ALLMS	05/10/2016	11:49	PR	Arapongas	Ourinhos - Cianorte	250,516	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	4,9	2	0	14,5
EFVM	07/10/2016	07:50	MG	Santana do Paraíso	Porto Velho - Itabira	407,370	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
ALLMP	07/10/2016	22:59	SP	Indaiatuba	Canguera - Boa Vista Nova	216,360	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,9	0	1	13,3
ALLMS	08/10/2016	08:50	PR	Morretes	Paranaguá - Uvaranas	43,490	Material Rodante	Descarrilamento	2,9	0	0	14,5
FNSTC	09/10/2016	07:33	TO	Porto Nacional	Porto Nacional - Ouro Verde de Goiás	722,152	Material Rodante	Descarrilamento	36,0	0	0	0
FNSTN	09/10/2016	07:33	TO	Porto Nacional	Açailândia - Porto Nacional	722,038	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	17,6

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
EFVM	09/10/2016	11:00	ES	Vitoria	Ramal Tubarão	12,000	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
ALLMS	09/10/2016	13:23	PR	Ortigueira	Uvaranas - Apucarana	442,270	Via Permanente	Descarrilamento	23,0	0	0	14,5
ALLMO	10/10/2016	03:42	SP	Mirandópolis	Bauru - Corumbá	332,474	Via Permanente	Descarrilamento	18,2	0	0	10,4
FTL	11/10/2016	04:50	CE	Caucaia	Tronco Norte Fortaleza	45,000	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	0
FCA	11/10/2016	05:55	MG	Buenopolis	General Carneiro - Monte Azul	929,400	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
MRS	11/10/2016	09:54	SP	Taubate	Linha de São Paulo	339,352	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,2	0	1	15,9
ALLMS	11/10/2016	12:56	RS	Vacaria	Roca Sales - Lages	283,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,1	1	0	14,5
ALLMS	11/10/2016	18:36	PR	Curitiba	Sub-Ramal de Rio Branco do Sul	10,208	Material Rodante	Incêndio	2,8	0	0	14,5
ALLMO	11/10/2016	20:30	MS	Corumba	Bauru - Corumbá	1.295,590	Material Rodante	Colisão	19,5	0	0	10,4
ALLMP	12/10/2016	10:46	SP	Sao Vicente	Evangelista de Souza - Pereque	104,779	Casos Fortuitos ou de Força	Abalroamento	0,9	2	0	13,3

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
FTC	13/10/2016	10:59	SC	Jaguaruna	Linha Principal	66,500	Falha Humana	Abalroamento	1,6	0	0	0
MRS	13/10/2016	16:00	RJ	Rio de Janeiro	Ligação à Arará	16,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	1	0	15,9
ALLMS	15/10/2016	02:30	PR	Paranagua	Paranaguá - Uvaranas	42,100	Falha Humana	Descarrilamento	13,0	0	0	14,5
MRS	16/10/2016	18:05	MG	Itabirito	Ferrovia do Aço	342,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	3,0	5	0	15,9
ALLMS	16/10/2016	20:31	PR	Cambe	Ourinhos - Cianorte	222,615	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	1	0	14,5
ALLMS	16/10/2016	21:20	PR	Porto Amazonas	Paranaguá - Uvaranas	195,702	Material Rodante	Descarrilamento	3,3	0	0	14,5
ALLMS	17/10/2016	14:19	PR	Araucaria	Paranaguá - Uvaranas	143,250	Via Permanente	Descarrilamento	12,9	0	0	14,5
ALLMS	19/10/2016	13:25	PR	Morretes	Paranaguá - Uvaranas	65,240	Material Rodante	Descarrilamento	5,3	0	0	14,5
FCA	19/10/2016	14:58	BA	Marcionilio Souza	Mapele - Monte Azul	322,392	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	0	1	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	19/10/2016	17:58	PR	Almirante Tamandare	Sub-Ramal de Rio Branco do Sul	13,411	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,8	1	0	14,5
FCA	20/10/2016	19:00	MG	Araguari	Araguari - Roncador Novo	20,041	Falha Humana	Descarrilamento	7,0	0	0	13,9
MRS	21/10/2016	10:19	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	283,150	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,0	0	1	15,9
MRS	21/10/2016	14:14	MG	Conselheiro Lafaiete	Posto km 452 - Miguel Burnier (Linha do Centro)	450,477	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,3	1	0	15,9
FCA	22/10/2016	01:49	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	851,600	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
MRS	22/10/2016	14:58	RJ	Mendes	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	96,122	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	1	0	15,9
MRS	23/10/2016	20:15	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	275,150	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,2	1	0	15,9
EFC	24/10/2016	10:00	MA	Alto Alegre do Pindare	Ponta da Madeira -	252,262	Falha Humana	Descarrilamento	2,0	0	0	47

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
					Carajás							
ALLMS	25/10/2016	17:36	PR	Pinhais	Paranaguá - Uvaranas	98,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,9	0	0	14,5
ALLMS	26/10/2016	02:40	PR	Quatro Barras	Paranaguá - Uvaranas	74,980	Material Rodante	Descarrilamento	10,3	0	0	14,5
FCA	26/10/2016	15:30	GO	Goiandira	Araguari - Roncador Novo	46,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Descarrilamento	32,0	0	0	13,9
MRS	26/10/2016	18:19	MG	Mario Campos	Variante do Paraopeba	592,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,9	0	0	15,9
EFC	28/10/2016	03:19	MA	Acailandia	Ponta da Madeira - Carajás	513,000	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	47
FTL	28/10/2016	06:33	MA	Sao Luis	Tronco São Luis	7,000	Atos de vandalismo	Descarrilamento	2,0	0	0	0
MRS	28/10/2016	13:03	MG	Santos Dumont	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	324,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	1	0	15,9
EFC	29/10/2016	05:37	MA	Acailandia	Ponta da Madeira - Carajás	513,000	Falha Humana	Descarrilamento	0,0	0	0	47

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	29/10/2016	07:00	PR	Paranagua	Paranaguá - Uvaranas	7,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,3	1	0	14,5
MRS	29/10/2016	08:41	RJ	Japeri	Ligação à Arará	58,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	15,9
FTL	29/10/2016	15:05	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	480,000	Via Permanente	Descarrilamento	2,4	0	0	0
EFC	30/10/2016	16:55	PA	Maraba	Ponta da Madeira - Carajás	723,200	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,5	0	0	47
FCA	30/10/2016	23:48	SP	Orlandia	Casa Branca - Uberaba	357,100	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
FTL	31/10/2016	05:10	CE	Croata	Tronco Norte Fortaleza	79,000	Via Permanente	Descarrilamento	28,0	0	0	0
FTL	03/11/2016	13:35	MA	Itapecuru Mirim	Tronco São Luis	128,000	Via Permanente	Descarrilamento	5,2	0	0	0
MRS	03/11/2016	18:12	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	282,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,9	0	1	15,9
MRS	03/11/2016	18:36	RJ	Volta Redonda	Linha de São Paulo	132,000	Casos Fortuitos ou	Abalroamento	2,0	0	0	15,9

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							de Força Maior					
ALLMS	03/11/2016	21:22	PR	Ortigueira	Uvaranas - Apucarana	444,470	Material Rodante	Descarrilamento	10,6	0	0	14,5
ALLMP	03/11/2016	23:11	SP	Campinas	Jundiai - Itirapina	37,712	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,0	1	0	13,3
MRS	04/11/2016	15:44	MG	Congonhas	Variante do Paraopeba	486,125	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,0	1	0	15,9
ALLMS	04/11/2016	17:08	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	117,031	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,1	1	0	14,5
ALLMS	04/11/2016	22:34	PR	Arapongas	Ourinhos - Cianorte	249,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,8	0	0	14,5
ALLMP	05/11/2016	10:30	SP	Dois Corregos	Ramal Itirapina - Panorama	253,102	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,2	1	0	13,3
ALLMS	07/11/2016	20:00	PR	Curitiba	Ramal de Curitiba	108,771	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,8	0	0	14,5

Ferrovia	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	08/11/2016	09:40	MG	Itumirim	Angra dos Reis - Eng. Bhering	356,012	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
EFVM	09/11/2016	07:43	MG	Antonio Dias	Porto Velho - Itabira	490,100	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
FTL	09/11/2016	13:03	CE	Croata	Tronco Norte Fortaleza	61,000	Via Permanente	Descarrilamento	14,4	0	0	0
FCA	10/11/2016	10:55	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	876,887	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
MRS	10/11/2016	12:19	SP	Cruzeiro	Linha de São Paulo	250,390	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	1	0	15,9
EFC	10/11/2016	13:15	MA	Bacabeira	Ponta da Madeira - Carajás	37,500	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,3	2	0	47
EFC	10/11/2016	17:42	MA	Cidelandia	Ponta da Madeira - Carajás	546,788	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	47
MRS	10/11/2016	21:15	MG	Congonhas	Posto km 452 - Miguel Burnier (Linha do Centro)	484,030	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,5	0	0	15,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
EFVM	10/11/2016	23:14	MG	Rio Piracicaba	Ramal de Fábrica	30,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	24,2
FCA	11/11/2016	19:03	BA	Contendas do Sincora	Mapele - Monte Azul	518,700	Via Permanente	Descarrilamento	7,0	0	0	13,9
MRS	11/11/2016	19:28	RJ	Tres Rios	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	199,985	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,3	1	0	15,9
EFC	12/11/2016	21:15	MA	Vitoria do Mearim	Ponta da Madeira - Carajás	148,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,8	0	0	47
EFC	13/11/2016	00:01	MA	Sao Luis	Ponta da Madeira - Carajás	0,000	Material Rodante	Colisão	0,0	0	0	47
EFC	15/11/2016	09:13	MA	Vitoria do Mearim	Ponta da Madeira - Carajás	305,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,3	0	0	47
MRS	15/11/2016	16:01	RJ	Pinheiral	Linha de São Paulo	132,911	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,2	0	0	15,9
FTL	18/11/2016	20:50	CE	Sobral	Tronco Norte Fortaleza	282,000	Material Rodante	Descarrilamento	3,5	0	0	0

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FTL	18/11/2016	21:50	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	579,000	Via Permanente	Descarrilamento	7,6	0	0	0
ALLMS	19/11/2016	12:15	PR	Quatro Barras	Paranaguá - Uvaranas	71,050	Material Rodante	Descarrilamento	6,1	0	0	14,5
ALLMS	19/11/2016	22:05	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	105,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,7	0	0	14,5
FCA	21/11/2016	02:10	MG	Perdoes	Eng. Bhering - Garças de Minas	402,800	Material Rodante	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9
ALLMS	21/11/2016	18:30	PR	Inacio Martins	Eng. Gutierrez - Guarapuava	47,500	Material Rodante	Descarrilamento	25,5	0	0	14,5
FCA	22/11/2016	09:14	SP	Aguai	Boa Vista Nova - Casa Branca	386,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
ALLMS	23/11/2016	21:35	PR	Irati	Desvio Ribas - Eng. Gutierrez	328,767	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,4	1	0	14,5
ALLMS	24/11/2016	21:27	RS	Bage	Cacequi - Bagé	199,300	Via Permanente	Descarrilamento	19,5	0	0	14,5
ALLMS	25/11/2016	09:00	SP	Tatui	Ipero - Pinhalzinho	157,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	0	1	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FTL	25/11/2016	09:30	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	472,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,5	1	0	0
MRS	26/11/2016	00:28	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	279,935	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,3	0	1	15,9
MRS	26/11/2016	10:48	SP	Lorena	Linha de São Paulo	279,870	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	1	0	15,9
FTL	27/11/2016	01:10	MA	Santa Rita	Tronco São Luis	93,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,0	0	1	0
ALLMS	27/11/2016	08:46	PR	Andira	Ourinhos - Cianorte	47,440	Via Permanente	Descarrilamento	14,0	0	0	14,5
FCA	27/11/2016	13:21	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	851,600	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	1	0	13,9
ALLMS	27/11/2016	15:24	PR	Araucaria	Paranaguá - Uvaranas	147,900	Via Permanente	Descarrilamento	20,3	0	0	14,5
ALLMS	28/11/2016	15:18	PR	Apucarana	Uvaranas - Apucarana	578,109	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,9	2	0	14,5

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FCA	29/11/2016	19:30	MG	Perdoes	Eng. Bhering - Garças de Minas	421,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	1	0	13,9
ALLMP	29/11/2016	23:03	SP	Itapecerica da Serra	Canguera - Evangenlista de Souza	122,463	Via Permanente	Descarrilamento	15,9	0	0	13,3
EFVM	30/11/2016	03:11	ES	Serra	Porto Velho - Itabira	18,206	Material Rodante	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
ALLMS	02/12/2016	05:11	PR	Curitiba	Ramal de Curitiba	103,497	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,8	0	1	14,5
ALLMP	02/12/2016	07:48	SP	Catanduva	Araraquara - Ponte	139,317	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,5	0	0	13,3
ALLMS	02/12/2016	23:26	RS	Restinga Seca	Rio Pardo - Triângulo	277,950	Via Permanente	Descarrilamento	8,5	0	0	14,5
MRS	03/12/2016	00:40	MG	Carandai	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	431,330	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,0	0	0	15,9
EFVM	03/12/2016	01:20	MG	Ipaba	Porto Velho - Itabira	417,100	Falha Humana	Atropelamento	0,0	1	0	24,2
ALLMO	03/12/2016	05:31	SP	Valparaiso	Bauru - Corumbá	290,390	Casos Fortuitos ou de Força	Atropelamento	2,8	0	1	10,4

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
FTL	03/12/2016	09:30	MA	Sao Luis	Tronco São Luis	109,000	Material Rodante	Descarrilamento	18,0	0	0	0
MRS	03/12/2016	18:30	RJ	Barra Mansa	Linha de São Paulo	155,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,0	0	0	15,9
MRS	05/12/2016	07:30	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	283,150	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,3	0	1	15,9
FCA	05/12/2016	17:12	MG	Perdoes	Eng. Bhering - Garças de Minas	439,500	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
EFVM	05/12/2016	18:35	MG	Santana do Paraiso	Porto Velho - Itabira	407,200	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
ALLMS	06/12/2016	16:40	PR	Morretes	Paranaguá - Uvaranas	59,044	Via Permanente	Descarrilamento	6,3	0	0	14,5
FCA	06/12/2016	21:57	MG	Sao Sebastiao do Oeste	Eng. Bhering - Divinópolis	524,588	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	08/12/2016	02:10	PR	Rolandia	Ourinhos - Cianorte	233,540	Via Permanente	Descarrilamento	5,3	0	0	14,5
EFVM	08/12/2016	06:45	MG	Sabara	Costa Lacerda - Pedreira Rio das Velhas	76,500	Falha Humana	Descarrilamento	11,0	0	0	24,2

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMP	08/12/2016	11:37	SP	Americana	Jundiai - Itirapina	81,891	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	3,0	0	1	13,3
FCA	08/12/2016	12:22	MG	Candeias	Eng. Bhering - Garças de Minas	512,700	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
FCA	09/12/2016	04:03	MG	Monte Azul	Mapele - Monte Azul	873,743	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
MRS	09/12/2016	05:55	RJ	Mendes	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	92,994	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	0	1	15,9
FCA	09/12/2016	19:20	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	878,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	3	0	13,9
FCA	09/12/2016	23:17	DF	Brasília	Roncador Novo - Brasília	234,300	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	1	0	13,9
ALLMP	10/12/2016	04:00	SP	Hortolandia	Boa Vista Nova - Cnaga	3,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,6	1	0	13,3
ALLMS	10/12/2016	19:00	SP	Itapetininga	Ipero - Pinhalzinho	208,620	Falha Humana	Descarrilamento	26,4	0	0	14,5

Ferrovias	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMS	11/12/2016	08:45	PR	Curitiba	Paranaguá - Uvaranas	114,060	Sinalização, Telecomunicações e Eletrotécnica	Descarrilamento	10,2	0	0	14,5
MRS	11/12/2016	17:15	RJ	Mendes	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	93,170	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	0	1	15,9
FCA	11/12/2016	17:56	BA	Santo Amaro	Mapele - Monte Azul	88,600	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
FTL	12/12/2016	01:45	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	443,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,6	0	1	0
FCA	12/12/2016	01:50	MG	Passa Tempo	Angra dos Reis - Eng. Bhering	149,650	Via Permanente	Descarrilamento	5,0	0	0	13,9
ALLMS	12/12/2016	02:25	PR	Jandaia do Sul	Ourinhos - Cianorte	291,201	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	7,8	0	0	14,5
ALLMP	12/12/2016	12:47	SP	Cotia	Canguera - Evangenlista de Souza	98,420	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,4	1	0	13,3
FCA	12/12/2016	17:58	SP	Tambau	Casa Branca - Uberaba	192,879	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
MRS	12/12/2016	22:19	MG	Juiz de Fora	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	283,960	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	1,5	0	1	15,9
FCA	14/12/2016	09:47	MG	Monte Azul	General Carneiro - Monte Azul	1.343,744	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Descarrilamento	48,0	0	0	13,9
FCA	14/12/2016	16:40	MG	Passa-Vinte	Angra dos Reis - Eng. Bhering	176,993	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9
EFVM	14/12/2016	22:03	MG	Governador Valadares	Porto Velho - Itabira	310,400	Material Rodante	Descarrilamento	1,8	0	0	24,2
ALLMS	15/12/2016	15:06	PR	Almirante Tamandare	Sub-Ramal de Rio Branco do Sul	18,838	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,7	0	0	14,5
EFVM	16/12/2016	00:00	MG	Galileia	Porto Velho - Itabira	274,750	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	24,2
FCA	17/12/2016	04:43	MG	Divinópolis	Garças de Minas - Calafate	753,039	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
FCA	17/12/2016	16:28	DF	Brasília	Roncador Novo - Brasília	234,020	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	0,0	1	0	13,9
MRS	17/12/2016	18:08	RJ	Mendes	Posto km 64 - 452 (Linha do Centro)	95,617	Casos Fortuitos ou de Força	Atropelamento	0,0	0	1	15,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
							Maior					
FNSTN	18/12/2016	10:47	MA	Acailandia	Açailândia - Porto Nacional	3,774	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	17,6
FCA	18/12/2016	20:20	MG	Betim	Garças de Minas - Calafate	868,900	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	1	0	13,9
FCA	19/12/2016	03:03	MG	Janauba	General Carneiro - Monte Azul	1.273,958	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	19/12/2016	05:46	PR	Almirante Tamandare	Sub-Ramal de Rio Branco do Sul	26,800	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,2	0	0	14,5
FTL	19/12/2016	11:20	CE	Fortaleza	Ramal de Mucuripe	23,000	Via Permanente	Descarrilamento	6,2	0	0	0
FCA	19/12/2016	16:32	MG	Santa Luzia	General Carneiro - Monte Azul	607,655	Via Permanente	Descarrilamento	7,0	0	0	13,9
FCA	20/12/2016	00:43	BA	Santaluz	São Francisco - Petrolina	288,300	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
MRS	20/12/2016	21:28	MG	Congonhas	Variante do Paraopeba	485,356	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Atropelamento	2,5	1	0	15,9
EFVM	21/12/2016	16:50	ES	Colatina	Porto Velho - Itabira	131,826	Falha Humana	Colisão	0,0	0	0	24,2

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
FTL	21/12/2016	21:45	CE	Crateus	Tronco Norte Fortaleza	322,000	Via Permanente	Descarrilamento	14,4	0	0	0
FTL	22/12/2016	16:25	MA	Caxias	Tronco São Luis	331,000	Material Rodante	Descarrilamento	2,0	0	0	0
FCA	22/12/2016	17:55	MG	Pedro Leopoldo	General Carneiro - Monte Azul	654,000	Via Permanente	Descarrilamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	23/12/2016	02:25	RS	Tupancireta	Triângulo - Cruz Alta	97,229	Via Permanente	Descarrilamento	10,5	0	0	14,5
FCA	23/12/2016	04:13	MG	Pedro Leopoldo	General Carneiro - Monte Azul	642,461	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	0,0	0	0	13,9
ALLMS	23/12/2016	13:50	PR	Arapongas	Ourinhos - Cianorte	248,700	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	2,5	1	0	14,5
FCA	24/12/2016	16:26	RJ	Barra Mansa	Angra dos Reis - Eng. Bhering	129,751	Via Permanente	Descarrilamento	25,0	0	0	13,9
FCA	26/12/2016	18:15	MG	Mateus Leme	Garças de Minas - Calafate	830,575	Via Permanente	Descarrilamento	2,0	0	0	13,9
ALLMS	27/12/2016	00:29	PR	Morretes	Paranaguá - Uvaranas	49,950	Via Permanente	Descarrilamento	8,4	0	0	14,5
FCA	27/12/2016	16:35	MG	Formiga	Eng. Bhering - Garças de Minas	529,087	Via Permanente	Descarrilamento	4,0	0	0	13,9

Ferrovía	Data	Hora	UF	Município	Linha	km	Causa	Natureza	Tempo de Interrupção (h)	Nº Feridos	Nº Óbitos	Velocidade comercial (km/h)
ALLMO	28/12/2016	12:18	SP	Conchas	Mairinque - Bauru	205,830	Via Permanente	Descarrilamento	17,7	0	0	10,4
FTL	30/12/2016	02:45	PI	Altos	Tronco São Luis	481,000	Casos Fortuitos ou de Força Maior	Abalroamento	1,2	0	1	0
FCA	30/12/2016	14:09	MG	Andrelandia	Angra dos Reis - Eng. Bhering	262,815	Via Permanente	Descarrilamento	3,0	0	0	13,9

Fonte: ANTT (2017)