

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE MINAS GERAIS
Curso de Graduação em Engenharia de Produção

Isabela Cristina Borges da Silva

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE CAPACIDADE DE
TERMINAIS DE CARGA E DESGARGA FERROVIÁRIA**

Belo Horizonte
2012

Isabela Cristina Borges da Silva

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE CAPACIDADE DE
TERMINAIS DE CARGA E DESGARGA FERROVIÁRIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia de Produção como requisito
parcial para obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade
Católica de Minas Gerais.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Fernandes
Almeida

Belo Horizonte
2012

Isabela Cristina Borges da Silva

MODELAGEM E SIMULAÇÃO PARA ANÁLISE DE CAPACIDADE DE TERMINAIS DE CARGA E DESGARGA FERROVIÁRIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-Minas), campus Barreiro.

Prof^a. Maria Aparecida Fernandes Almeida, Dr^a. (Orientadora) – PUC Minas

Prof^o. Eduardo Correa de Sa Gazolla, Mestre - PUC Minas

Prof^o. Silvio Julio Cavalcanti de Freitas, Mestre - PUC Minas

Belo Horizonte, 21 de Novembro de 2012

AGRADECIMENTOS

À Deus, que me deu força para seguir este caminho.

Aos meus pais, Edilamar e José Mauro, pelo amor incondicional, por me transformarem na pessoa que sou hoje e por sempre fazerem o possível e o impossível para me oferecerem as melhores oportunidades, não medindo esforços na busca do meu sucesso.

Aos meus irmãos, Raphael e Breno, e familiares pelo companheirismo e apoio.

Ao Diogo que sempre acreditou em mim, me incentivou e me ajudou a superar os momentos difíceis.

Aos colegas e companheiros de faculdade e de trabalho por me ajudarem na construção da minha vida profissional e seguirem juntos comigo.

À minha orientadora, Professora Maria Aparecida Fernandes Almeida, pela paciência, empenho e por tornar possível a realização desse trabalho e aos membros da banca examinadora pelas sugestões e contribuições.

A VLI que me motivou e possibilitou a construção desse trabalho, proporcionando conhecimento e enriquecimento profissional.

A todos os amigos e aqueles que, de alguma forma contribuíram nessa jornada importante da minha vida.

RESUMO

Este trabalho apresenta um estudo de caso de modelagem e simulação dinâmica de um terminal ferroviário pertencente a Valor da Logística Integrada (VLI) - empresa do grupo Vale com o objetivo de avaliar o planejamento da capacidade de armazenagem e movimentação de cargas em terminais ferroviários. Foram coletadas informações sobre os processos operacionais de terminais da empresa para definir qual o tipo de operação seria padrão para o modelo. As informações envolvem dados referentes às operações de carga e descarga do terminal e são relativas à movimentação de trens e abastecimento dos armazéns por caminhões. Todo o sistema operacional do terminal alimenta diretamente um sistema de integração ferroviária da VLI. Após o tratamento de dados representativos das características de operações de terminais ferroviários estes serviram de entrada para um modelo de simulação. Foram desenvolvidos diversos cenários utilizando-se o software Arena. A simulação, como um primeiro estudo, permitiu gerar informações sobre a capacidade do terminal para uma posterior análise sobre a viabilidade econômica de investimentos da empresa em relação ao ganho de capacidade.

Palavras-chaves: Terminal Ferroviário. Modelagem. Simulação. Capacidade.

ABSTRACT

This work presents a case study of modeling and dynamic simulation of a rail terminal belonging to Valor da Logística Integrada (VLI) - Vale group company with the objective of evaluating the capacity planning for storage and cargo handling at railway terminals. Information was collected on the operational processes of the company's terminals to define what type of operation would be standard for the model. Information concerning operations involving data loading and unloading terminal and are related to the movement of trains and warehouses for supply of trucks. All terminal operating system directly feeds a system of railway integration of VLI. After processing data representative of the characteristics of these operations railheads served as input to a simulation model. Several scenarios were developed using the software Arena. The simulation, as a first study, to generate information about the terminal's capacity for further analysis on the economic viability of the company's investments in relation to the capacity gain.

Keywords: Railroader Terminal. Modeling. Simulation. Capacity.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos Sistemas de Simulação.....	15
Figura 2 - Passos de um estudo de Modelagem e Simulação.....	23
Figura 3 – Gráfico de análise de capacidade de um terminal.....	28
Figura 4 – Vista área do Terminal Integrador de Araguari	29
Figura 5 – Macrofluxo de um Terminal	30
Figura 6 – Armazém de cargas do TIA	30
Figura 7 – Fluxo de descarga de caminhões.....	32
Figura 8 – Fluxo de carregamento de trens	33
Figura 9 – Área de carregamento ferroviário	34
Figura 10 – Fluxo de armazenamento de cargas	34
Figura 11 – Fluxograma do processo de operação no terminal.....	38
Figura 12 – Modelo criado no Arena.....	40
Figura 13 – Modelo criado no Arena em funcionamento.....	42
Figura 14 – Gráfico para definição de warm up	43
Figura 15 – Histograma de frequência de tipos de caminhões.....	47
Figura 16 – Gráfico e expressão gerados pelo Input Analyzer para a chegada de caminhões no sistema	48
Figura 17 – Gráfico e expressão gerados pelo Input Analyzer para a chegada de 3% a mais caminhões no sistema	55
Figura 18 - Gráficos Cenário atual e Cenário 6: Taxa de ocupação x Servidor	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Parte do relatório de dados rodoviários	45
Tabela 2 - Parte do relatório de dados ferroviários	46
Tabela 3 – Frequência de tipos de caminhões	47
Tabela 4 – Definições dos blocos de operação rodoviária	49
Tabela 5 - Definições dos blocos de operação ferroviária	51
Tabela 6 – Resultados com tempos gerais do cenário atual	52
Tabela 7 – Principais resultados da operação rodoviária	53
Tabela 8 – Principais resultados da operação ferroviária	53
Tabela 9 – Nível do estoque	54
Tabela 10 – Resultados com tempos gerais do cenário 6	56
Tabela 11 - Principais resultados da operação rodoviária cenário 6	56
Tabela 12 - Principais resultados da operação ferroviária cenário 6	57
Tabela 13 - Nível do estoque cenário 6	57
Tabela 14 – Apuração do tempo em fila dos cenários 01 e 09 da operação rodoviária	59
Tabela 15 – Apuração do tempo em fila dos cenários 01 e 09 da operação ferroviária	59

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Justificativa.....	12
1.2	Objetivos	13
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	<i>13</i>
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	<i>13</i>
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Simulação de sistemas	14
2.1.1	<i>Classificação dos Sistemas de Simulação</i>	<i>15</i>
2.1.2	<i>Simulação de eventos discretos</i>	<i>17</i>
2.1.3	<i>Os elementos de um Modelo de Simulação Discreta.....</i>	<i>17</i>
2.1.4	<i>Software Arena</i>	<i>18</i>
2.2	Modelo adaptável.....	19
2.3	Teoria das filas	19
2.3.1	Definição	19
2.3.1.1	O que são filas?	20
2.3.1.2	Parâmetros fundamentais de um sistema de filas.....	20
2.3.2	Características das filas.....	20
3	METODOLOGIA	22
3.1	Processos para formular um estudo de Simulação e Modelagem	22
4	ESTUDO DE CASO.....	25
4.1	Definição do projeto.....	25
4.2	Descrição de Terminais ferroviários	25
4.2.1	<i>Classificação dos terminais</i>	<i>26</i>
4.2.2	<i>Operações usuais de um terminal</i>	<i>27</i>
4.2.3	<i>Capacidade dos terminais.....</i>	<i>27</i>
4.2.4	<i>Terminal Integrador de Araguari</i>	<i>28</i>
4.3	Escopo do projeto.....	29
4.3.1	<i>Premissas Operacionais, Regras e limitantes</i>	<i>30</i>
4.3.2	<i>Carga</i>	<i>30</i>
4.3.2.1	<i>Parâmetros</i>	<i>31</i>
4.4	Operações do sistema.....	31
4.4.1	<i>Descarga de caminhões</i>	<i>31</i>
4.4.2	<i>Carregamento de trens</i>	<i>33</i>
4.4.3	<i>Operação de armazenagem</i>	<i>34</i>
4.5	Plano de simulação.....	35
4.5.1	<i>Formulação e análise do problema.....</i>	<i>35</i>
4.5.2	<i>Formulação do modelo conceitual.....</i>	<i>37</i>
4.6	Modelo lógico elaborado no Arena.....	39
4.7	Coleta de dados	43
4.8	Tratamento de dados	46
4.8.1	<i>Dados rodoviários</i>	<i>47</i>

4.8.2	<i>Dados ferroviários</i>	50
4.9	<i>Análise dos resultados</i>	52
5	CONCLUSÃO	61
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	63
7	APÊNDICE A - RELATÓRIO DO CENÁRIO ATUAL GERADO PELO ARENA 65	
8	APÊNDICE B – RELATÓRIO DO CENÁRIO 6 GERADO PELO ARENA	71

1 INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje, a logística é fundamental para as empresas, para a economia e para o país. As empresas que antes visavam aperfeiçoamento nas suas plantas produtivas, hoje já enxergam que há um grande potencial de melhoria nos seus sistemas de distribuição.

A VLI é uma empresa de logística que faz distribuição dos produtos de carga geral dos clientes através de um sistema integrado de ferrovia, portos e terminais. E diante de um cenário econômico em que a rapidez de atendimento, a disponibilidade e o baixo custo passaram a ser fatores fundamentais, é imprescindível a utilização e o gerenciamento de recursos para reduzir custos, aumentar a qualidade do serviço e suportar maior volume de tráfego.

O sistema de transporte ferroviário necessita de grandes investimentos em infraestrutura, sejam eles em via permanente, em material rodante ou em outros ativos, além das despesas relativas à sua utilização, principalmente do combustível e da força de trabalho. Para conseguir essas melhorias no transporte e evitar altos investimentos, é preciso investir em ferramentas de suporte à decisão de planejamento estratégico, possibilitando a análise de diferentes cenários e o impacto dos investimentos no fator de utilização da ferrovia. Sabe-se que algumas medidas como, redução dos gastos, melhoramento de serviços e o controle de tráfego eficiente na ferrovia, podem fazer a diferença quanto às vantagens competitivas e a uma melhor posição no mercado.

Para análise de utilização de uma ferrovia, é importante a atenção no parâmetro capacidade. A capacidade ferroviária pode ser dividida em capacidade teórica e capacidade prática. Segundo Abril et al, (2007), a capacidade teórica é definida como o limite superior do número de trens cuja circulação é possível em um determinado período sob condições ideais, com os trens movimentando-se permanentemente com o menor espaçamento possível entre eles e a capacidade prática é o limite do volume de tráfego representativo que pode mover-se em uma linha com um nível razoável de segurança, levando em consideração os atrasos de operação e do licenciamento dos trens.

De acordo com Bicca (2001), a forma de obter a capacidade prática é também conhecida como Fórmula de Cólson, um método analítico que será apresentado mais a frente neste trabalho. Porém, o problema em determinar a capacidade ferroviária por métodos analíticos é a imprecisão.

Devido à importância de se conhecer a capacidade da ferrovia, além de estudos por Fórmula de Cólson para cálculo da capacidade, atualmente estão sendo aplicados na empresa em questão muitos estudos por simulação, já que a simulação permite a construção de um modelo que replica o funcionamento de um sistema real ou idealizado e na condução de experimentos computacionais com este modelo, com o objetivo de melhor entender o problema em estudo, testar diferentes alternativas para sua operação e assim propor melhores formas de operá-lo.

1.1 Justificativa

É importante destacar que a simulação computacional vem ganhando espaço nas organizações, devido a sua funcionalidade de análise do comportamento do sistema, na solução de problemas, no estudo de melhorias operacionais e nas alternativas de cenários futuros, o que é fundamental para uma empresa de logística ferroviária.

Segundo Ahuja et al (2005) citado por Fioroni (2007), nas últimas décadas houve um grande aumento de aplicações de Pesquisa Operacional na logística, porém o modal ferroviário não foi totalmente beneficiado por esses avanços. Pensando nisso e nas funcionalidades da simulação, o presente trabalho surgiu para suprir necessidades de análise de capacidade ferroviária, gerando vantagens competitivas e para auxiliar nas tomadas de decisões de âmbito de planejamento estratégico.

Atualmente, o cálculo de capacidade na área em que o projeto foi desenvolvido restringe-se à aplicação de métodos analíticos, como a Fórmula de Cólson. Contudo, deseja-se obter uma forma mais precisa de estimação da capacidade de um terminal logístico para o estudo atual, resultando em um modelo que possa eventualmente servir como base para outras demandas que venham a surgir. Com a construção de um modelo de simulação de terminal, pretende-se levantar alternativas para aumentar sua capacidade de transporte e simulá-las, analisando o impacto de cada cenário.

Ao fim da modelagem, pretende-se ter uma estrutura que poderá ser reaproveitada para realizar estudos de capacidade em outros terminais pertencentes à VLI, tornando esse estudo uma ferramenta importante nas análises de estudos de capacidade, trazendo dinamismo para as atividades da área onde o estudo foi realizado e benefícios para a empresa.

1.2 Objetivos

1.2.1 *Objetivo Geral*

O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver um modelo adaptável de simulação para terminais ferroviários. Esse modelo deve ser capaz de avaliar e auxiliar o planejamento de capacidade do terminal.

1.2.2 *Objetivos Específicos*

Desenvolver uma modelagem que poderá ser aplicada a diferentes terminais, cujos processos de carga e descarga sejam os mesmos, mudando os parâmetros de cada processo ou fazendo adaptações ao modelo.

Para o desenvolvimento, verificação e validação do modelo foi realizada uma simulação de um terminal já existente e em operação.

O estudo tem como objetivos específicos:

- Realizar revisão bibliográfica para aprofundamento do tema
- Fazer escopo da simulação de um terminal em que o modelo poderá ser utilizado para outros terminais ferroviários da empresa
- Descrever o modelo operacional Terminal em etapas fazendo um fluxograma do processo operacional
- Levantar as premissas operacionais de um terminal ferroviário para que o modelo adaptável seja real e consistente, definindo os processos que serão envolvidos na simulação
- Desenvolver a modelagem em software de simulação
- Simular fluxo de Grãos Exportação do Terminal Integrador de Araguari para validação e verificação do modelo

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Simulação de sistemas

A Simulação de Sistemas é uma ferramenta computacional proveniente da Pesquisa Operacional e considerada uma das técnicas mais importantes e úteis para analisar projetos e a operação de sistemas complexos, isso porque é capaz de simular sistemas que envolvem grande quantidade de variáveis.

Segundo Prado (2004), a simulação é uma técnica que permite imitar o funcionamento de um sistema real em um computador. Pode-se ver, na tela do computador, o funcionamento de uma linha de produção, o tráfego nas ruas de uma cidade ou o funcionamento de uma agência bancária. A grande vantagem da simulação reside no fato de permitir a análise de diversas alterações no cenário virtual, sem o custo e o risco de atuar no cenário real.

Para modelar um sistema real é preciso criar uma analogia por meio digital de tal sistema, de acordo com Almeida (2009) pode-se explicar da seguinte maneira:

Modelar computacionalmente um sistema do mundo real significa criar uma espécie de analogia digital deste sistema. Esta deve possuir a capacidade de se comportar de maneira semelhante ao sistema original de tal forma que, ao interagir com o usuário, permita a este a realização de experimentos com a intenção final de um maior entendimento e compreensão do sistema real. (ALMEIDA, 2009, p. 25)

Segundo Pedgen (1995) citado por Faria (2010), a simulação é uma das mais poderosas ferramentas de análise disponíveis para os responsáveis por projeto e operação de processos complexos ou sistemas, sendo uma metodologia indispensável na solução de problemas.

A simulação pode prever determinado cenário baseada em um conjunto de premissas e ser capaz de, juntamente com uma ferramenta de otimização, prever um resultado “ótimo” e auxiliar na tomada de decisões, o que beneficia principalmente áreas de planejamento estratégico de muitas empresas.

Chrispim (2007) citado por Faria (2010), avalia a capacidade de processamento de vagões (carga e descarga), simulando e comparando dois modelos ferroviários: um cenário que representa a atual situação e um cenário futuro com algumas alterações na infraestrutura. O objetivo é analisar indicadores operacionais como a formação de filas, a capacidade do tráfego, o tempo de cruzamento e manobra dos trens, dentre outros, a fim de poder dizer qual é o modelo mais eficiente do ponto de vista logístico.

Já Alvim (2009), utilizando o software de simulação Arena, analisa se um determinado trecho da Ferrovia Centro Atlântica (FCA) deve ou não ser duplicado, tendo em vista mudanças no transporte de minério, carga e passageiros. Definindo, assim, a viabilidade econômica dos investimentos propostos frente aos ganhos com a capacidade estimada.

Em sua tese, Fioroni (2007) buscou desenvolver uma série de algoritmos e técnicas para avaliar a complexidade do comportamento dos trens em um ciclo fechado que possam ser posteriormente aplicados a outras ferrovias brasileiras. O nível de detalhes utilizado neste estudo permite avaliar qual é o impacto no desempenho do sistema quando há a ampliação dos pátios de cruzamento e dos pátios e terminais de carga ou descarga, duplicação de linhas, aumento de trens em circulação e aquisição de novas locomotivas. Além disso, cita diversos autores e detalha tais estudos que utilizam modelos analíticos e de simulação.

2.1.1 Classificação dos Sistemas de Simulação

De acordo com Freitas (2008), os sistemas de simulação podem ser classificados como: estáticos ou dinâmicos, contínuos ou discretos, determinísticos ou aleatórios:

Figura 1 - Classificação dos Sistemas de Simulação



Fonte: Freitas (2008)

Os modelos dinâmicos são aqueles em que as variáveis de estado que os representam modificam-se com o tempo.

Os sistemas determinísticos descrevem o comportamento dinâmico do sistema, assumindo que não existem efeitos aleatórios, enquanto os sistemas aleatórios descrevem o comportamento dinâmico do sistema quando existem efeitos aleatórios. A distinção entre estas duas

classificações depende das condições operacionais do processo e do conhecimento que se tem sobre.

A diferença entre as mudanças de estado determina se ocorrem pontos discretos ou de forma contínuo ao longo do tempo. Quando os valores das variáveis se alteram de forma suave, o modelo é contínuo, caso contrário, ele é discreto. No âmbito da simulação computacional, a separação entre os modelos contínuos e discretos é mais artificial, pois os computadores operam apenas com quantidades discretas. A diferença resume-se ao fato de que as variáveis contínuas sofrem alterações em seu valor em intervalos de tempo menores que as variáveis discretas, o que causará um aumento no tempo de simulação.

Segundo Freitas (2008), os modelos de simulação podem ser classificados de acordo com o comportamento de suas variáveis:

- Modelos de mudança discreta ou modelos discretos: suas variáveis de estado mantêm-se inalteradas ao longo do tempo e seus valores mudam somente quando há ocorrência de um evento;
- Modelos de mudança contínua ou modelos contínuos: suas variáveis de estado mudam ao longo do tempo de forma contínua.

Outra forma de classificação concentra-se de acordo com o propósito do modelo ou processo decisório envolvido, dentre os quais, destaca-se:

- Modelos voltados à previsão: estes modelos são utilizados para prever o comportamento de um sistema no futuro, baseado na caracterização do sistema atual;
- Modelos voltados à investigação: estes estão voltados à busca de informações e desenvolvem hipóteses sobre o comportamento do sistema;
- Modelos voltados à comparação: avalia mudanças nas variáveis de controle, comparando diferentes rodadas de simulação.

Podemos detalhar ainda mais a classificação dos modelos de acordo com as necessidades, propósitos e aplicações, que podem ser divididos em modelos ainda mais específicos:

- Modelos de curta utilização: é empregado apenas uma vez. São para avaliar as tomadas de decisão em situações específicas;
- Modelos adaptáveis: longa utilização. São utilizados periodicamente por longos períodos pelas organizações.

Esse último modelo citado, será o foco desse trabalho, desenvolver modelo adaptável que possa ser utilizado em diversos estudos e por um longo tempo, auxiliando nas tomadas de decisões estratégicas e dando suporte à implementação de projetos.

2.1.2 *Simulação de eventos discretos*

A simulação de eventos discretos é uma das mais estudadas em simulação de sistemas. Kelton; Law (2008) citado por Alvim (2009), afirma que ela é definida juntamente à noção de eventos da seguinte forma:

A simulação de eventos discretos relaciona-se à modelagem de um sistema conforme ele evolui no tempo através de uma representação na qual as variáveis de estado se alteram instantaneamente em intervalos de tempo distintos. Estes intervalos de tempo são aqueles onde ocorrem os eventos. (KELTON; LAW, 2000)

Sistemas que se ajustam muito bem a esse tipo de simulação são os sistemas e filas. Para exemplificar, podemos citar uma fila de trens à espera da liberação de um trecho singelo da ferrovia ocupado por outro trem.

2.1.3 *Os elementos de um Modelo de Simulação Discreta*

Um modelo de Simulação Discreta apresenta alguns elementos característicos. Abaixo tem-se alguns desses elementos e também alguns exemplos práticos que são associados a eles em trabalhos de simulação realizados na empresa onde o trabalho será realizado:

Entidades: são os elementos do sistema sendo simulado que podem ser identificados e processados individualmente. São elementos que se movem através do sistema e são os responsáveis por causar mudanças nesse sistema. Podem ser elementos físicos ou mesmo abstratos, podendo ser classificados como temporários ou permanentes, dependendo se permanecem com a mesma identidade durante todo o sistema ou não;

Ex.: trens e caminhões em um terminal que podem ser representados por entidades permanentes ou temporárias, dependendo das características operacionais.

Atributos: são características específicas das entidades e que as individualizam. São fundamentais para a compreensão do desempenho e a função de entidades na simulação;

Ex.: trem pode ter um atributo indicando sua prioridade de passagem nos trechos, outro atributo indicando o tipo de carga que ele transporta, e tantos outros quanto for necessário.

Atividades e eventos: são os processos e a lógica na simulação. Eventos são condições que ocorrem em um dado momento e causam uma mudança no estado do sistema. Uma entidade interage com as atividades e assim, criam os eventos.

Ex.: trem chegando a um terminal para carregamento.

Variáveis: são como partes de uma informação que refletem características de um sistema. Ao contrário dos atributos, as variáveis não estão vinculadas a uma entidade, mas sim, pertencem ao sistema como um todo;

Ex.: variável para mensurar o limite máximo de caminhões em um pátio de um terminal.

Recursos: representa tudo aquilo que possui capacidade limitada. As entidades competem entre si por recursos como equipamentos, espaço nos estoques, pessoal para atendimento, etc.;

Ex.: balança rodoviária de um terminal, tombadores, etc.

Filas: quando uma entidade não pode se mover por falta de recursos ou condição do sistema, elas ficam paradas e ordenadas em filas;

Ex.: fila de caminhões aguardando em um pátio de um terminal para realizar a descarga.

Estatísticas: são os dados referentes à simulação. Permite detalhar o sistema em estudo, a partir da coleta de informações como tempo de utilização e capacidade de cada recurso, o tempo de fila, dentre outros.

Ex.: tratamento de dados para inserir ao sistema computacional.

2.1.4 *Software Arena*

O Software Arena foi lançado pela *Systems Modeling* (USA) em 1993, baseado na linguagem de programação SIMAN, permitindo a visão integrada entre animação e sistema simulado e depois comprado pela *Rockwell* em 2000.

Trata-se de um ambiente de simulação que contém todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados. O processo de modelagem, totalmente gráfico e orientado a objetos, é feito a partir das conexões de módulos, em que cada um contribui para definição da lógica do sistema.

Uma função importantíssima do Arena é o Input Analyser. Essa ferramenta do software é descrita pelo ARENA USER'S GUIDE (2010) como:

- Input Analyser: permite determinar qual é a melhor distribuição teórica de probabilidades que se adéqua aos dados reais coletados, construindo histogramas das amostras e realizando vários testes para ver se tais distribuições possuem boa aderência;

Neste trabalho será utilizada a ferramenta Input Analyser para determinar a melhor distribuição a ser inserida no modelo.

2.2 Modelo adaptável

O principal objetivo de se construir um modelo adaptável de simulação é que ele possa ser aplicado não somente em um estudo de análise de capacidade, mas sim em diversos outros estudos que envolvam o mesmo processo operacional.

Trata-se de um modelo adaptável que poderá ser utilizado periodicamente, sendo flexível com relação aos dados de entrada e adaptável em relação aos blocos que compõem o sistema.

Para que o modelo adaptável tenha seu uso prolongado, tenha um bom aproveitamento e resultados de boa qualidade, é imprescindível fornecer dados também de boa qualidade. Os resultados da simulação só terão validade para análise de um cenário real caso os dados de entrada fornecidos no modelo tenham sido coletados e tratados de forma adequada, não bastando apenas que a representação do sistema em análise seja precisa.

De acordo com Freitas (2008), as principais razões para a utilização de modelos de simulação são:

- Caso o sistema real que se quer simular ainda não exista, a simulação poderá prever o funcionamento deste sistema no futuro;
- Experimentar com o sistema real é dispendioso: o modelo de simulação poderá indicar quais serão os benefícios que algumas alternativas poderão trazer ao sistema real;
- Experimentar com o sistema real não é apropriado: em situações de emergência que envolve risco de vida, por exemplo, não são apropriadas de serem testadas no sistema real, entretanto são viáveis nos modelos de simulação.

2.3 Teoria das filas

2.3.1 Definição

Ao efetuar certos tipos de estudos de planejamento, é comum depararmos com problemas de dimensionamento ou fluxo cuja solução é aparentemente complexa. Como é o cenário de cálculo e planejamento de capacidade de algum sistema.

Segundo Andrade (2004), “A Teoria das Filas trata de problemas de congestionamento de sistemas, onde a característica principal é a presença de ‘clientes’ solicitando ‘serviços’ de alguma forma”.

De acordo com Almeida (2009), a Teoria de Filas é um método analítico que engloba problemas de congestionamento através de formulação matemática.

2.3.1.1 O que são filas?

As experiências diárias e rotineiras trazem o exato conceito de fila, em um supermercado, banco, cinema, shoppings, e tantas outras situações. As filas também existem em ambientes de produção, em atendimentos bancários, em aviões sobrevoando um aeroporto esperando pela vez de aterrissar, como também em um trem aguardando em um pátio de cruzamento aguardando o momento de cruzar e partir, como em outros processos logísticos.

Um sistema de filas pode ser interpretado como clientes que chegam para serem atendidos, mas quando não há atendimento imediato, é necessário formar uma fila de espera.

2.3.1.2 Parâmetros fundamentais de um sistema de filas

Segundo Almeida (2009), alguns parâmetros fundamentais de um sistema de filas são:

- Taxa de chegadas;
- Capacidade (taxa de atendimento);
- Tempo entre chegadas sucessivas;
- Tempos de atendimento;
- Capacidade da fila (—finito□ vs. —infinita□);
- Disciplina (FIFO/FCFS, SIRO, LIFO, prioridades);
- Outros fatores (efeitos de —feedback□, etc.).

2.3.2 *Características das filas*

Para avaliar e usufruir das técnicas da Teoria das Filas é preciso atentar para algumas características importantes e considerá-las na análise dos estudos. Segundo Almeida (2009) essas características são:

- Processo de chegada: ritmo médio de chegadas e os intervalos de chegadas
- Processo de atendimento: tempo médio de atendimento/processamento no sistema

- Número de servidores: quantidade de recursos disponíveis para atendimento/processamento
- Disciplina da fila: ordem de atendimento
- Tamanho médio da fila: média do tamanho da fila do sistema
- Tamanho máximo da fila: quantidade máxima de clientes em espera
- Tempo médio de espera na fila: somatório do tempo de atendimento dos clientes que estão sendo processados no sistema

3 METODOLOGIA

Para elaboração de um Trabalho de Conclusão de Curso, segundo Bertucci (2008), é preciso definir metodologias, tais como, o tipo de pesquisa que será realizada, os procedimentos que serão adotados na pesquisa, a maneira como os dados serão tratados e posteriormente analisados, dentre outros aspectos que poderão ser relevantes para garantir cientificidade ao trabalho que será realizado.

Para realização deste trabalho foi utilizada a metodologia experimental com uma pesquisa de natureza quantitativa representada pela coleta de dados, posteriormente padronização dos dados, seguida de aplicação no modelo, análise e após comparação dos resultados.

Este trabalho teve como unidade de análise o nível da organização, que segundo Bertucci (2008), são estudos realizados em um departamento da empresa ou uma unidade qualquer, que tem como objetivo identificar, descrever e analisar alguma situação organizacional, apontando questões que possam ser relevantes e/ou até propor alternativas que vão contribuir no sistema analisado.

No tópico abaixo, são apresentadas as etapas que envolveram este trabalho.

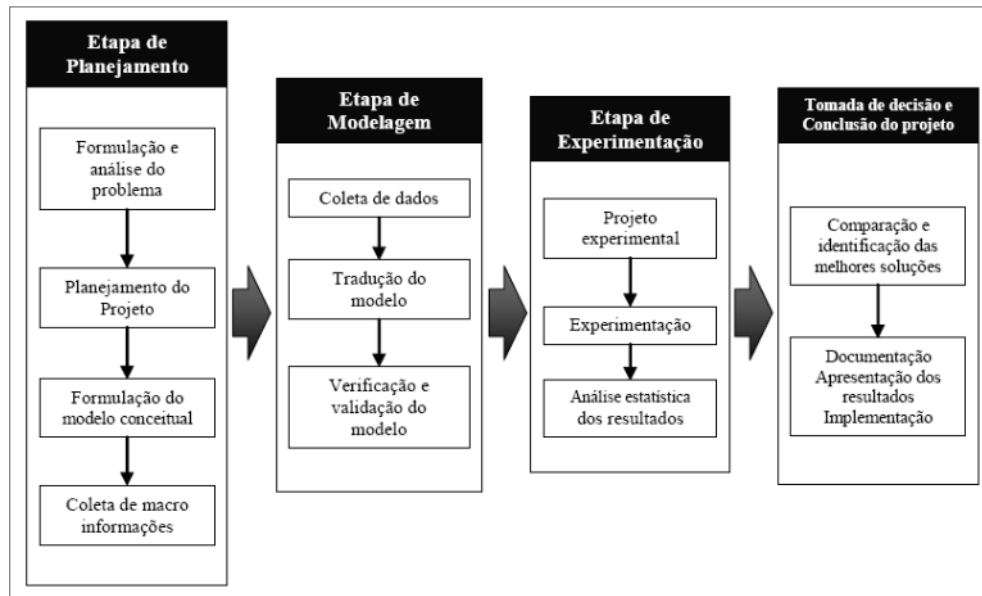
3.1 Processos para formular um estudo de Simulação e Modelagem

A metodologia experimental deve ser baseada na execução de alguns passos de forma lógica para se concluir a simulação e assim gerar resultados. Segundo Pedgen (1991) citado por Faria (2012), de forma geral, a simulação é um processo amplo e compreende o método experimental como:

- Descrever o comportamento do sistema
- Construir teorias e hipóteses considerando as observações efetuadas
- Usar o modelo para prever o comportamento futuro, isto é, os efeitos produzidos por alterações no sistema ou nos métodos empregados em sua operação.

Para criar um modelo de simulação é necessário seguir alguns passos de ações básicas, sugeridos por autores que tratam do assunto. Banks (1984) citado por Freitas (2008), formula quais são os passos para estudos de Simulação:

Figura 2 - Passos de um estudo de Modelagem e Simulação



Fonte: Freitas (2008)

Com base nos passos para um estudo de Simulação, foram definidas as seguintes etapas que fazem parte deste estudo:

- **Formulação e análise do problema:** definir claramente os propósitos e objetivos do que serão abordados pelo estudo de simulação;
- **Seleção da Metodologia, das Técnicas e do Software:** foi utilizada a Simulação de Sistemas, que corresponde à simulação do sistema operacional da empresa do Estudo de caso; as técnicas serão as de Simulação Discreta e Teoria das Filas, isto é, os valores das variáveis de estado são alterados apenas em pontos bem definidos; o software utilizado foi o ARENA;
- **Construção de um modelo do processo estudado:** construção de um fluxograma que representa todos os processos envolvidos no sistema a ser modelado;
- **Coleta de macro-informações e dados:** informações coletadas em conversas com empregados da empresa, em experiência e arquivos históricos da organização;
- **Coleta de dados:** a coleta dos dados em forma documental com dados retirados de fontes primárias da empresa por meio de relatórios. Dados referentes a um mês de operação do sistema, levando-se em consideração o mês pico do ano, para que assim seja representada a situação mais crítica da operação. Após coleta, realizar análise e conferência dos dados para estudo estatístico dos mesmos;

- Tradução do modelo: codificar o modelo definido em fluxograma em uma linguagem de simulação. Inserir os dados no software ARENA de acordo com os caracteres exigidos pelo programa. A partir dos dados, alguns valores coletados foram inseridos na ferramenta do Input Analyzer para gerar as expressões de distribuição de probabilidade, já outros dados históricos foram inseridos como distribuição triangular. Desta forma, as expressões foram inseridas no software de acordo com o solicitado em cada bloco;
- Revisão o processo elaborado no software ARENA: avaliar se o modelo representa o processo real e se os dados estão inseridos corretamente;
- Execução da simulação: executar as simulações para obtenção dos resultados. Após a validação do modelo, inicia-se a primeira simulação utilizando o sistema computacional, observando o comportamento do sistema a partir da avaliação do movimento das cargas no decorrer do processo e visualização dos indicadores de funcionamento da simulação presente nos blocos;
- Geração de relatórios: gerar relatórios pelo software referentes à simulação. São apresentados dados numéricos e gráficos referente ao comportamento do sistema em cada setor do processo;
- Interpretação e análise dos resultados: inferir sobre os resultados obtidos nas simulações, verificando a necessidade de um maior número de replicações para melhorar a precisão estatística;
- Comparação de sistemas e identificação das melhores soluções: comparar a simulação obtida com modelos já existentes, verificando qual oferece o melhor resultado;
- Documentação, apresentação dos resultados e implementação: todos os passos de realização do trabalho foram documentados, inseridos e apresentados neste estudo.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Definição do projeto

O trabalho foi realizado em uma empresa de logística que faz a distribuição das cargas dos clientes de maneira integrada, unindo portos, terminais e ferrovia em todo o território nacional. Este trabalho terá como foco a operação de carga e descarga de terminais ferroviários, em há circulação de trens e caminhões.

Conforme já citado anteriormente, no trabalho foi realizado um modelo adaptável de simulação utilizando o software ARENA, que possa servir como ferramenta importantíssima para o planejamento estratégico da empresa. O trabalho servirá como modelo para futuros estudos de análise de capacidade de outros terminais da empresa. Para fazer a modelagem deste projeto foi necessário utilizar como base as premissas operacionais de um terminal já existente e os dados utilizados na construção do modelo apresentados neste estudo, por uma questão de sigilo empresarial, serão apresentados de maneira hipotética, isto é, todos os dados foram multiplicados por uma constante “x”.

Para o desenvolvimento do trabalho, foram analisados os dados do modelo operacional de terminais pertencentes à empresa onde foi realizado. Foi considerado modelo de operação de carga e descarga padrão da empresa, aquele ao qual, instalações futuras serão baseadas nele, facilitando a adaptação para outras simulações de terminais diferentes, cujo processo operacional é o mesmo, porém os parâmetros da simulação serão modificados ou poderão ser feitas pequenas adaptações em casos de operações diferentes.

Para que o modelo represente o sistema real e tenha de fato aplicação, foram utilizados os processos e dados do Terminal Integrador de Araguari (TIA), pertencente à empresa VLI. Foi utilizado para a verificação e validação do modelo o processo de Exportação de Grãos do Terminal em questão, o qual será explicado à frente neste trabalho.

Para entender melhor como o projeto se baseia, abaixo segue a descrição de terminal ferroviário, como é o seu funcionamento e suas características.

4.2 Descrição de Terminais ferroviários

Segundo Rosa (2012) é utilizada a nomenclatura “Terminais”, pois eram pontos iniciais ou finais das rotas de diversos meios de transporte. Tempos atrás os terminais eram

tidos apenas como uma área de armazenagem, com função de administrar o espaço necessário para manter o estoque da empresa. Hoje, essa visão já é totalmente diferente. Os terminais vão muito além de apenas um espaço de armazenagem, eles são considerados locais da via de uma modalidade de transporte em que fluxos têm origem, destino ou transbordo (transferência da carga de um modo de transporte para outro). Eles deixam de ser apenas espaço de armazenagem para serem elos fundamentais da cadeia logística, transformando-se em centros de distribuições e facilitando a transferência de produtos ao longo de toda a cadeia.

Para gerir um terminal, é preciso observar questões relacionadas ao dimensionamento de área, arranjo físico, movimentação de cargas e configuração do terminal e são envolvidos altos custos para sua construção, operação e manutenção, que impactam diretamente nos custos da empresa.

4.2.1 Classificação dos terminais

De acordo com Rosa (2012), os terminais podem ser classificados em relação à propriedade, à tipologia de cargas e ao seu objetivo funcional. Dentro dessas classificações, podem ser subclassificados conforme abaixo:

- Em relação à propriedade:
 - o ao transportador;
 - o ao prestador de serviço de armazenagem;
 - o ao governo;
 - o aos produtores.
- Em relação à tipologia das cargas:
 - o gerais: operam qualquer carga;
 - o tipológicos: operam um tipo de carga;
 - o específico: especializados em um única carga.
- Em relação ao objetivo funcional:
 - o concentradores de produção: situam-se produtoras de carga;
 - o beneficiadores: concentram cargas e as beneficiam;
 - o reguladores: armazenam grande quantidade de carga para amenizar o efeito de sazonalidade;
 - o distribuidores: concentram cargas provenientes da produção para distribuí-las posteriormente.

4.2.2 Operações usuais de um terminal

As operações de um terminal, além de gerar custos, podem gerar receitas, já que podem ser cobradas dos clientes. De acordo com Rosa (2012), as operações mais usuais realizadas em um terminal são:

- recepção de carga;
- pesagem de controle;
- classificação do produto;
- pré-tratamento;
- armazenagem;
- conservação;
- retirada para embarque;
- contrapesagem e controle;
- manejo e carregamento;
- emissão de documentos;
- despacho de veículos.

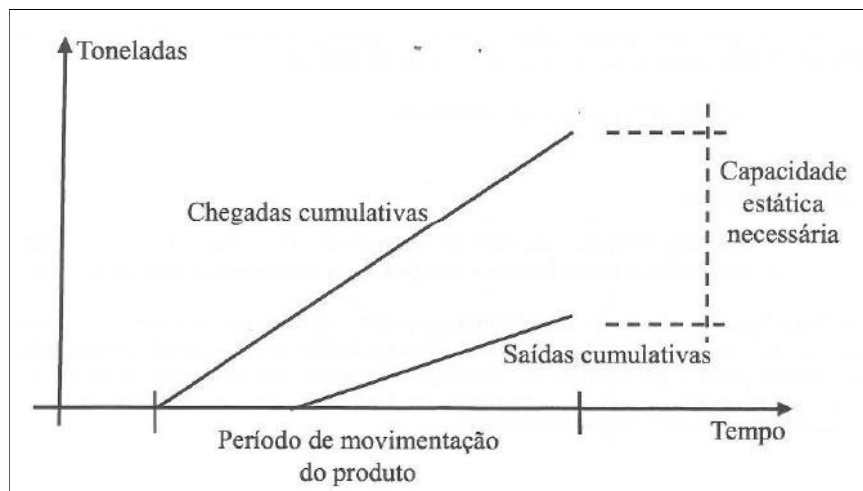
Nesse estudo não serão consideradas todas as atividades que usualmente ocorrem nos terminais. Serão envolvidas apenas aquelas que geram tempo significativo no sistema, conforme será explicado à frente, nos itens de Escopo do projeto e Fluxograma do processo.

4.2.3 Capacidade dos terminais

A capacidade de um terminal pode ser analisada sobre dois aspectos, a capacidade estática e a capacidade dinâmica. A capacidade estática é a área que o terminal possui em metros quadrados ou metros cúbicos, calculada no projeto de instalação. Já a capacidade dinâmica é a mais importante e a que foi analisada neste estudo.

Conforme o gráfico da Figura 3, à medida que as cargas a serem armazenadas chegam ao terminal, elas ocupam a capacidade estática, e em contrapartida, simultaneamente ou não, as cargas são retiradas do terminal.

Figura 3 – Gráfico de análise de capacidade de um terminal



Fonte: Rosa (2012)

Analizando o gráfico da Figura 3, se o ritmo de saída de carga do terminal for menor que o ritmo de chegada, maior foi a necessidade de capacidade estática, visto que a carga irá se acumular. Segundo Rosa (2012), pode-se chegar à situação na qual o ritmo de chegada seja igual ao de saída, obtendo assim capacidade estática igual a zero, e essa situação não está relacionada ao volume armazenado e sim à sua capacidade de receber e expedir as cargas rapidamente.

4.2.4 Terminal Integrador de Araguari

O TIA, conforme dito anteriormente, pertence à VLI e recebe as cargas de seus clientes por meio do transporte rodoviário, armazena tais cargas e carrega os trens para que sigam pela ferrovia permitindo o escoamento ou abastecimento com destino aos portos para que os produtos sejam exportados.

A empresa tem o compromisso com o crescimento dos clientes, para isso a companhia empreende investimentos para aumentar a capacidade de escoamento de grãos da região, por meio do terminal para captação, armazenagem e distribuição. Sendo assim, fica clara a importância de estudos para verificação e análise de capacidade dos terminais da empresa, para que sejam fornecidas informações que auxiliaram nas tomadas decisões estratégicas da empresa.

O TIA é localizado em Araguari, no estado de Minas Gerais. O Terminal começou suas operações em 2012 e foi construído em uma área superior a 460 mil metros quadrados, o que o torna em um dos maiores terminais de transbordo da América Latina.

O TIA foi construído para realizar operações de transbordo e armazenamento de grãos, soja, farelo, milho e fertilizantes. Com sua estrutura e seu potencial, o terminal pode receber e expedir produtos por meio dos modais rodoviário e ferroviário. As principais operações do Terminal são o recebimento de grãos e envio para o porto de Tubarão, em Vitória-ES, e recebimento de fertilizantes do porto de Santos-SP, para distribuição por meio do modal rodoviário. Neste trabalho serão consideradas apenas as operações de exportação de grãos.

Figura 4 – Vista área do Terminal Integrador de Araguari

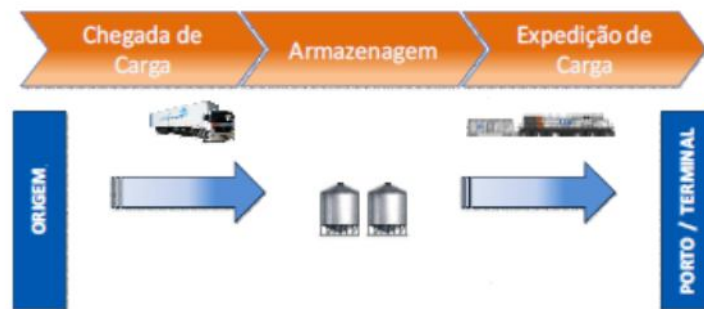


Fonte: Arquivos internos da empresa VLI

4.3 Escopo do projeto

A simulação do terminal compreende as seguintes operações de recebimento de cargas, de armazenagem e expedição de cargas, considerando a chegada/ fila/ tempo em fila, a utilização de estoques/ capacidade de armazenagem e a saída /fila/ tempo em fila, respectivamente, conforme ilustrado na figura 5:

Figura 5 – Macrofluxo de um Terminal



Fonte: Elaborada pela autora

4.3.1 Premissas Operacionais, Regras e limitantes

No presente trabalho, layout e os fluxos de processo também não são alvo principal das análises advindas dos resultados gerados pelo modelo. Não farão parte do escopo do projeto falhas e manutenções pertinentes aos equipamentos e ferrovias pertinentes ao processo, bem como questões financeiras.

4.3.2 Carga

No projeto foi abordado o processo que envolve os granéis sólidos exportação. Os produtos chegam em caminhões provenientes dos clientes e são descarregados em armazéns para, posteriormente serem carregados em trens destinados aos portos.

Figura 6 – Armazém de cargas do TIA



Fonte: Arquivos internos da empresa VLI

4.3.2.1 Parâmetros

As cargas movimentadas no modelo, que chegam pelo transporte de caminhões, têm como parâmetros os seguintes itens:

- Matriz de Carga anual (volume total movimentado no ano a ser simulado);
- Sazonalidade mensal.

A geração e consumo de cargas no terminal foram regidos por distribuições estatísticas que representam de chegada de trens e caminhões. Os dados históricos dessas chegadas, que serão apresentados à frente neste trabalho, serviram como *inputs* do modelo. Para a chegada de caminhões com cargas, foi utilizada uma distribuição exponencial com média baseada nos parâmetros supracitados, segundo a seguinte fórmula:

$$(X) / ((Y \times Z) / W)$$

Onde:

X = Número de dias no mês

Y = Matriz de Carga anual (volume)

Z = Sazonalidade mensal

W = Tamanho médio de caminhão/trem

4.4 Operações do sistema

A seguir, serão apresentadas as lógicas de modelagem para as operações de carga e descarga, para o grupo definido no item anterior, que envolve a descarga de caminhões para a chegada de carga e carregamento de trens para o consumo destas. Também serão abordados os *inputs* necessários em cada etapa da simulação.

4.4.1 *Descarga de caminhões*

A descarga dos caminhões, ilustrada pela figura 7, foi modelada conforme descrito a seguir:

- Os caminhões chegam cheios e entram em uma fila de tipo FIFO onde aguardam o início da operação;
- Posteriormente, passam por uma pesagem;
- Seguem, então, para a descarga. Esta é realizada em tombadores de caminhões.

D. Finalizada a descarga, os caminhões deixam o sistema vazios.

Figura 7 – Fluxo de descarga de caminhões



Fonte: Elaborada pela autora

Para esta operação os *inputs* foram:

- Taxa de chegada dos caminhões;
- Tipos de caminhões definidos por tamanhos;
- Tempos de posicionamento dos caminhões entre as etapas do processo;
- O número de balanças;
- Número máximo de caminhões que cada *buffer* suporta;
- Número de tombadores de caminhão;
- Taxa de descarga
- Limite da capacidade do estoque;

A operação de descarga dos caminhões está sujeita à disponibilidade de espaço do armazém/pátio. Entretanto, o ponto onde esta verificação é realizada é variável de uma operação para outra. Foi definida esta verificação sendo feita após a pesagem dos caminhões.

Conforme citado anteriormente neste trabalho, em uma operação de terminal ferroviário há outras atividades que podem ocorrer antes da pesagem de caminhões, como classificação de cargas, conferência de carga e nota, dentre outras. Porém neste trabalho esses processos não serão considerados e foi adotada a simplificação de que a fila formada antes da pesagem está distribuída entre as atividades, já que os tempos das operações anteriores não gerarão impactos ao resultado final.

4.4.2 Carregamento de trens

O carregamento dos trens, conforme ilustrado pela figura 8, foi modelado conforme descrito a seguir:

- A. Os trens chegam vazios e entram em uma fila de atendimento – esta fila representará os trens ao longo da ferrovia;
- B. Posteriormente, seguem para a operação de carregamento;
- C. Após o carregamento, os trens deixam o sistema cheios.

Figura 8 – Fluxo de carregamento de trens



Fonte: Elaborada pela autora

A operação de carregamento dos trens está sujeita à disponibilidade de carga no armazém/pátio. Entretanto, o ponto onde esta verificação é realizada é variável de uma operação para outra. Foi definido que esta verificação foi feita antes de o trem ocupar a linha de carregamento.

Ao entrar no sistema, o trem segue para estrutura de carregamento, que é realizado por uma tulha de carregamento. Nela, o carregamento é efetuado com material dos armazéns.

Para esta operação os *inputs* foram:

- Taxa de chegada dos trens;
- Tempos de posicionamento dos trens na estrutura (inclui manobra de entrada, puxada de vagões e manobra de saída);
- Taxa de carregamento;

Figura 9 – Área de carregamento ferroviário

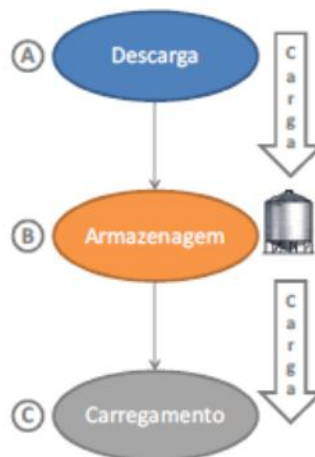


Fonte: Arquivos internos da empresa VLI

4.4.3 Operação de armazenagem

A seguir, serão apresentadas as lógicas de modelagem para a operação de armazenamento de cargas, conforme ilustrada pela figura 10. Também serão abordados os *inputs* necessários nesta etapa.

Figura 10 – Fluxo de armazenamento de cargas



Fonte: Elaborada pela autora

A. Sempre que houver uma operação de descarga no terminal, o estoque do mesmo aumentará.

B. As cargas permanecerão no estoque até que haja demanda e trens para retirá-las. O nível de estoque foi controlado e não deverá ultrapassar o limite máximo de capacidade estática definida para cada armazém/pátio – sendo esta variável um *input* do modelo;

C. Sempre que houver uma operação de carregamento no terminal, o nível de estoque do mesmo reduzirá.

4.5 Plano de simulação

O plano de simulação serve como um roteiro para estudo que visa orientar no desenvolvimento da simulação. Segundo Harrel citado por Almeida (2009), o plano de simulação é uma forma de se planejar as experiências. Dessa maneira, é essencial e proveitoso que seja elaborado o plano para garantir maior eficácia durante a execução do projeto.

4.5.1 Formulação e análise do problema

O primeiro ponto do plano de simulação consiste na formulação e análise do problema. Neste trabalho é apresentado o estudo do processo de um terminal ferroviário, mostrando os macroprocessos de descarga de caminhões, o armazenamento das cargas e o carregamento ferroviário.

O processo de descarga de caminhões é constituído pela chegada dos caminhões de diversos pesos diferentes, podendo ser de 30, 35, 40 ou 50 toneladas, que ao chegarem devem passar pela balança para conferência do peso da carga. Para o processo de pesagem, o sistema conta com duas balanças. Para chegarem até a balança precisam passar por um pátio destinado à espera, caso necessário, por isso ao entrarem no sistema passam por uma verificação de espaço no pátio que tem a capacidade de alocar 36 caminhões. Após o processo de pesagem é verificado se há espaço no estoque para que seja armazenada a carga do caminhão e também verifica se há tombadores livres para que possa ser feita a descarga. Os tombadores são os recursos utilizados para realizar o tombamento da carga dentro do armazém e o sistema tem disponíveis quatro tombadores. Quando liberado para tombar, o caminhão posiciona no tombador e após efetua a descarga. Após realizar a descarga e carregar o estoque, o caminhão segue novamente para a área da balança para realizar a contra pesagem e conferir o peso do caminhão. Depois de aferido o peso o caminhão está liberado e sai do sistema, retornando para o cliente.

O processo de carregamento ferroviário é constituído pela chegada de trens composto por 82 vagões com média de peso médio de 66,5 toneladas, totalizando um trem de 5.443 toneladas. Ao chegarem no sistema os trens aguardam para poderem ocupar a linha de carregamento, denominada de pêra que é uma linha com o formato de próprio nome, que elimina a necessidade de manobras para embarque de carga, aumentando assim a capacidade e eficiência no carregamento dos grãos. Após tal liberação deve ser verificado se o estoque tem capacidade igual ou maior ao tamanho do trem, caso não haja, o trem deve aguardar até que o estoque atinja a capacidade mínima para carregamento ferroviário. Depois da liberação do estoque o trem ocupa a pêra para que seja realizado o carregamento, diminuindo assim o estoque. O carregamento é realizado com o trem posicionado na pêra e os vagões vão sendo carregados com a tulha de carregamento (ferramenta utilizada para transporta a carga do armazém até o vagão). Enquanto o caminhão é carregado, acontecem interrupções para que sejam realizadas as puxadas dos vagões, isto é, à medida que os vagões que estão próximos à tulha já foram carregados, eles são puxados para frente e são posicionados outros em seus lugares, e assim segue o processo até o final. No modelo, os tempos de carregamento efetivo e de puxada de vagões serão considerados separadamente em dois processos distintos, já que quando ocorrem as puxadas é medido o tempo das mesmas e interrompido o tempo de carregamento, tendo assim o tempo de cada operação. Ao final do processo de carregamento, ocorre o abastecimento das seis locomotivas do trem. Após o abastecimento ocorre o processo de liberação do trem, em que é realizado a pesagem, conferência dos vagões e de freios, e o tempo de desocupação do trem da pêra. Ao final de todos esses processos o trem segue sentido porto para que as cargas sigam para exportação.

O processo de armazenamento de cargas está diretamente relacionado aos dois processos descritos acima. O armazém é o elo entre os processos e é ele quem fará a ligação entre os dois processos no modelo, já que ele foi alimentado pelo processo de descarga de caminhões e foi reduzido pelo processo de carregamento ferroviário, tendo como capacidade máxima de 120.000 toneladas.

De acordo esses processos e utilizando os dados do Terminal Integrador de Araguari que serviram para validar o modelo, foi elaborada uma simulação utilizando o software Arena versão 13.90.00000, a partir de um modelo geral do sistema, para que pudesse ser verificada a taxa de chegada, as taxas de atendimento de cada processo, os tempos em espera e o limite de capacidade do estoque.

a) Por que o problema está sendo estudado?

O propósito é criar um modelo que seja capaz de simular processos de terminais ferroviários, estudando fluxos de exportação de grãos e que a simulação seja capaz de fornecer a taxa de atendimento, processamento, chegada de entidades e utilização dos recursos em um período de 24 horas diárias de funcionamento no período de 31 dias.

b) Quais serão as respostas que o estudo espera alcançar?

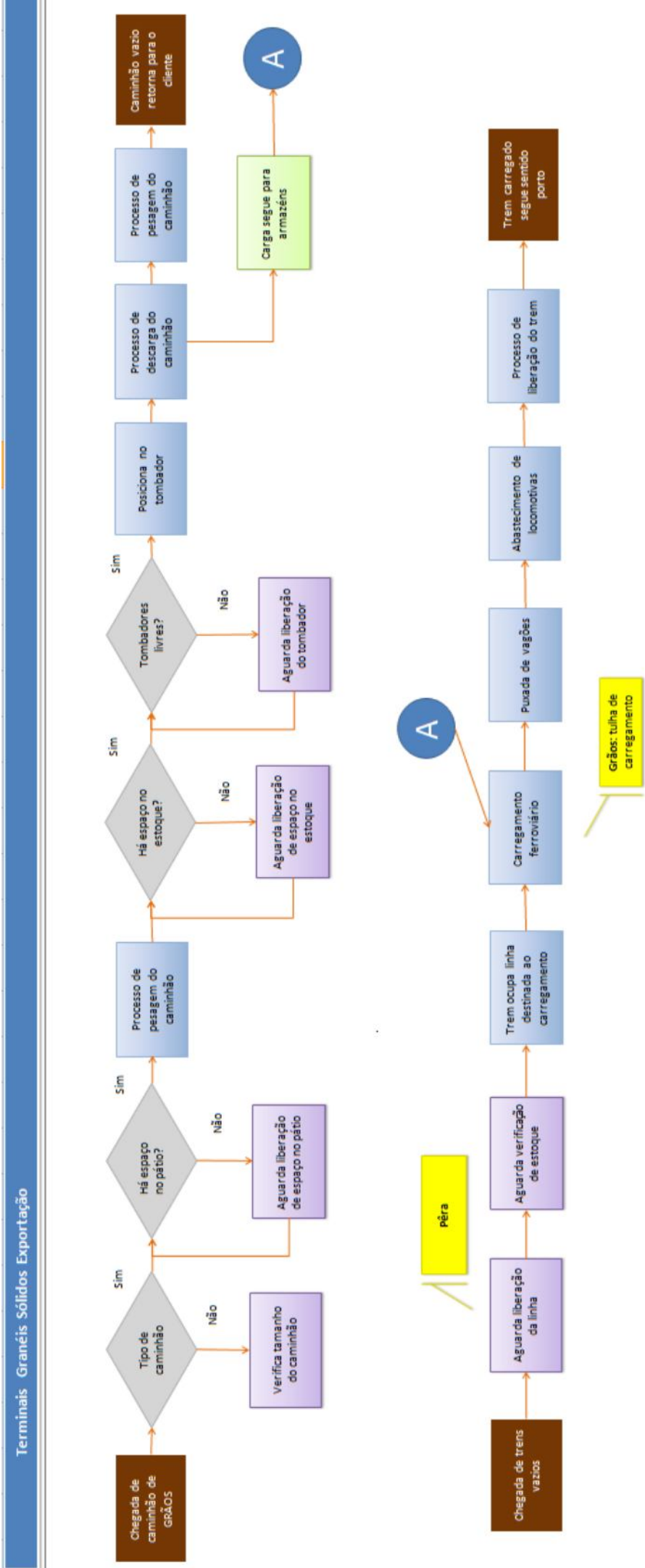
A partir da elaboração deste estudo, e de acordo com os conceitos da teoria das filas e com os relatórios gerados ao final da simulação, espera-se verificar os seguintes resultados:

- Tempo médio de espera em fila tanto de caminhões quanto de trens
- Tempo médio em processamento
- Taxa de chegadas
- Taxa de ocupação dos servidores
- Número de servidores necessários para o equilíbrio do sistema
- Número de entidades de saída antes e depois dos experimentos

4.5.2 *Formulação do modelo conceitual*

Para melhor entendimento do processo estudado, foi elaborado um fluxograma conforme apresentado na figura 11, que representa o todo o processo, envolvendo os processos de descarga de caminhões, a armazenagem das cargas e carregamento de trens.

Figura 11 – Fluxograma do processo de operação no terminal



Fonte: Elaborada pela autora

A partir do fluxograma da figura 11 e utilizando os blocos existentes no software Arena, todos os elementos foram representados logicamente conforme será apresentado mais a frente neste trabalho. As caixas de entrada e saída do sistema foram representadas logicamente no Arena com bloco *create* e *dispose*, respectivamente. As decisões foram representadas por blocos *decides*, enquanto suas esperas e verificações foram representadas por blocos *hold*. Por fim, os processos do sistema foram representadas por blocos *process*. Além dessas criações, o modelo também tem blocos *assign* em meio aos processos que servem para contagem de caminhões no pátio, contagem do estoque e para travamento e destravamento da pêra, este último, pois só há espaço para um trem a cada vez, então se chegar um trem e já houver outro carregando será preciso aguardar.

4.6 Modelo lógico elaborado no Arena

A figura 12 ilustra o modelo original construído no software Arena. Para que seja entendida a interação entre os elementos do modelo e que possa ser visualizada algumas funções do sistema, além das animações computacionais originais do sistema em que é apresentada ao usuário a quantidade de cada entidade que percorre o sistema, bem como a formação de filas durante o processo, foram utilizadas algumas ferramentas de animação identificadas abaixo:

- Entidades representadas por caminhões percorrendo o sistema;
- Marcador contando o número de caminhões no pátio;
- Marcador indicando a quantidade de carga no estoque;
- Um desenho de armazém indicando o nível do estoque;
- Gráfico representando a curva do armazém;
- Caixas indicando ocupação da balança e dos tombadores (quando vermelho significa que está ocupado e quando incolor está livre)

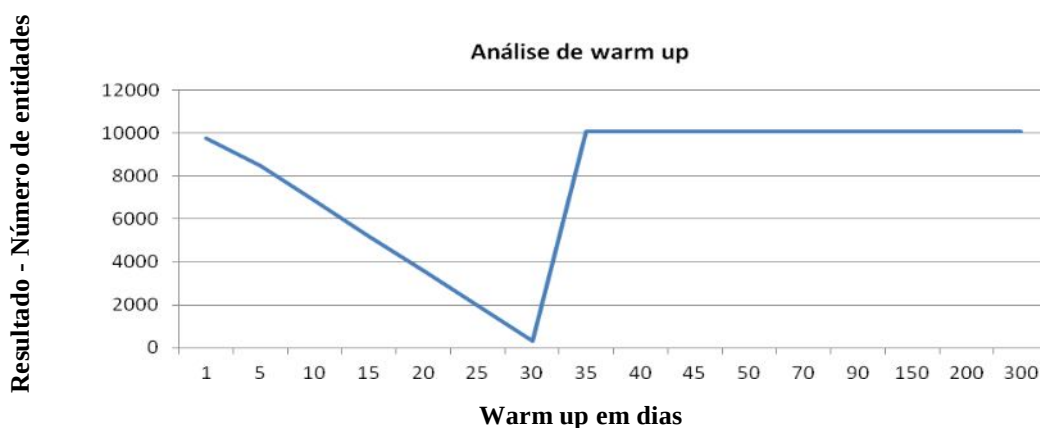
Para demonstrar tais animações, abaixo na figura 13 pode-se ver uma imagem do modelo em funcionamento:

Para configurar o modelo de maneira que ele represente ao máximo o sistema real, é preciso estabelecer algumas definições. Sendo assim foi definido que o número de replicações seria igual a 20 para que fosse garantido resultado confiável e suficiente em resultados. Além disso, foi inserido no sistema um período de warm up, que nada mais é do que um período em dias para aquecimento da simulação, em que esse período é desconsiderado dos resultados apresentando somente aqueles após warm up, o que elimina o período de variação do sistema.

Visto que no processo estudado neste trabalho, é preciso que chegue diversos caminhões até que um trem possa ser carregado, é essencial o período de warm up, pois sem ele a simulação geraria uma fila muito alta de trens a espera de estoque, portanto com o aquecimento foi retirado do resultado esses períodos iniciais de variação.

Para definir o período ideal de warm up, foram realizados testes no Arena com diversos valores com o objetivo de identificar em qual ponto os resultados não seriam mais afetados. Os testes consistiram em utilizar o modelo já elaborado no simulador e os dados já inseridos, porém alterando em cada rodada os valores de warm up na configuração do Arena e analisando ao final de cada rodada o número de entidades que chegaram ao sistema. Dessa maneira, foram colocados na configuração do modelo elaborado no simulador os valores de warm up especificados na figura 14. Sendo assim, o warm up definido foi de 45 dias, de acordo com a figura 14 podemos perceber como foi a variação desse tempo na simulação.

Figura 14 – Gráfico para definição de warm up



Fonte: Elaborada pela autora

4.7 Coleta de dados

A fase de coleta e dados é uma das mais importantes no estudo e indispensável para garantir bons resultados, já que a qualidade dependerá diretamente do tratamento dos dados

coletados. Esta etapa é essencial para identificar as distribuições de probabilidade que serão aplicadas aos dados para assim serem inseridas como *inputs* no modelo, representando mais adequadamente o sistema real. Além disso, essa fase pode ser importante para identificar possíveis melhorias nas medições dos processos, visto que nem sempre todos os dados que são fundamentais ao modelo são medidos pela empresa ou sua coleta pode ser muito complexa e/ou de difícil acesso.

Todos os dados de entrada utilizados neste trabalho para a simulação foram obtidos por meio de relatórios gerados pela operação do próprio Terminal e representam um mês de operação. Tomou-se o cuidado de utilizar os dados do mês pico de operação, isto é, o mês considerado como o de maior movimentação de cargas, sendo assim a simulação representará o cenário mais crítico.

Os dados obtidos são gerados em relatórios em Excel, ferramenta muito utilizada para produção e organização de planilhas, possibilitando o armazenamento de inúmeros dados e execução de uma variedade de funções a fim de obter a melhor análise e posterior tratamento dos seus dados.

Foram utilizados dois relatórios distintos. O primeiro relatório é referente a todo o processo de descarga rodoviária, em que foram obtidas informações referentes a 10.291 descargas de caminhões no Terminal no período de um mês. Este relatório contém diversas informações sobre a descarga dos caminhões, mas foram utilizadas aquelas que têm real importância no modelo e que foram analisadas e tratadas para *inputs* no modelo, são elas:

- Identificação da descarga (denomina-se romaneio)
- Data
- Peso bruto do caminhão (Kg)
- Peso da tara (Kg)
- Peso líquido da carga (Kg)

É apresentada uma pequena parte do relatório rodoviário para exemplificar as informações contidas no mesmo na tabela 1. Por questão de segurança das informações e sigilo da empresa, todos os dados foram multiplicados por uma constante “x” a fim de não revelar os dados reais.

Tabela 1 – Parte do relatório de dados rodoviários

Romaneio	Data	Peso Bruto	Peso tara	Peso líquido
45743	01/07/2012	56740	19320	37420
45746	01/07/2012	56640	19170	37470
45755	01/07/2012	56800	18970	37830
45756	01/07/2012	56760	19010	37750
45757	01/07/2012	74090	22980	51110
45758	01/07/2012	56880	19620	37260
45759	01/07/2012	57010	19650	37360
45760	01/07/2012	56420	20550	35870
45761	01/07/2012	56310	19140	37170
45762	01/07/2012	56790	19260	37530
45777	01/07/2012	56330	19710	36620
45778	01/07/2012	56660	20060	36600

Fonte: Dados da pesquisa

O segundo relatório obtido com a operação do Terminal contém informações sobre o carregamento ferroviário e foram obtidas para o período de análise 93 detalhamentos de carregamento. Assim como o relatório rodoviário, este contém diversas informações e nem todas são relevantes ao projeto, sendo assim as informações necessárias para a realização do estudo são:

- Data
- Formação final de vagões
- Tamanho da composição
- Hora de chegada na pera
- Hora de saída da pera
- Tempo total na pera
- Hora de posicionamento na tulha
- Hora de saída da tulha
- Tempo total na tulha
- Tempo de carregamento
- Tempo de puxada de vagões
- Tempo de abastecimento de locomotivas
- Tempo de entrada na pera
- Tempo de saída da pera

- Vagão/Hora
- Volume (t)
- Peso Médio
- Taxa efetiva (t/h)
- Meta de tempo de carregamento.
- Meta de tempo de puxada de vagões
- Meta de tempo de abastecimento de locomotivas
- Meta de tempo total de movimentação na pera

É importante ressaltar que nem todos os dados descritos acima serviram como entrada propriamente ditas no modelo, mas auxiliaram nas análises dos dados para que o sistema modelado represente a realidade do processo e também permitiram uma posterior análise dos resultados, servindo de comparação com os resultados gerados pela simulação.

Abaixo é apresentada na tabela 2, parte do relatório com as informações sobre o carregamento ferroviário para exemplificar:

Tabela 2 - Parte do relatório de dados ferroviários

Data	Formação Final	Tamanho composicao	Chegada Pera	Saida Pera	Tempo total Pera	Posic. Tulha	Fim Tulha	Tempo total Tulha	Tempo Carregamento	Tempo Puxada	Tempo Abastec.	Entrada na Pera	Saida da Pera	Vagão/Hora	Volume (t)	Peso Médio	Taxa efetiva (t/h)	Meta Carreg.	Meta Puxada	Meta Abastec.	Meta Mov Pera
01/07/2012	45	< 85	23:10	03:19	04:09	23:38	02:33	02:55	1,74	0,95	0	0,47	0,77	16,54	3.188,58	70,86	1.832,52	1,88	0,75	1,00	2,00
02/07/2012	45	< 85	00:40	09:40	09:00	02:50	05:44	02:54	1,93	0,9	0	2,17	3,92	16,79	3.110,30	69,12	1.611,55	1,88	0,75	1,00	2,00
02/07/2012	44	< 85	03:00	17:00	14:00	06:14	11:40	05:26	2,19	0,95	0	3,23	5,67	9,42	2.977,75	67,68	1.359,70	1,83	0,73	1,00	2,00
02/07/2012	40	< 85	06:15	21:30	15:15	12:34	19:30	06:56	2,43	0,87	0	6,15	2	5,91	2.384,92	59,62	981,45	1,67	0,67	1,00	2,00
02/07/2012	45	< 85	17:00			20:14	01:50	05:36	2,63	1,05	0	3,23		8,52	2.783,39	61,85	1.058,32	1,88	0,75	1,00	2,00
03/07/2012	42	< 85	04:13	23:00	18:47	18:23	21:59	03:36	1,9	0,88	0	14,17	1,02	12,65	2.799,07	66,64	1.473,19	1,75	0,70	1,00	2,00
03/07/2012	44	< 85	20:17	10:00	13:43	01:57	05:22	03:25	1,83	1,13	0,3	5,67	4,63	14,46	2.820,37	64,10	1.541,19	1,83	0,73	1,00	2,00
03/07/2012	83	< 85	21:00	16:40	19:40	23:10	08:43	09:33	3,86	2,1	0,87	2,17	7,95	12,51	5.604,78	67,53	1.452,02	3,46	1,38	1,50	2,00
03/07/2012	43	< 85	22:23	22:35	00:12	05:50	10:42	04:52	2,96	1,22	0	7,45	11,88	10,17	2.952,14	68,65	1.250,91	1,79	0,72	1,00	2,00
04/07/2012	90	>85	08:30	01:00	16:30	15:34	23:44	08:10	4,39	2,23	0,23	7,07	1,2	13,60	5.738,70	63,76	1.307,22	3,75	1,50	1,50	2,00

Fonte: Dados da pesquisa

4.8 Tratamento de dados

Segundo Brito (2007) citado por Alvim (2009), em uma modelagem utilizando dados obtidos após coleta, é preciso tratá-los para identificar possíveis inconsistências e até mesmo falhas que podem vir a prejudicar o resultado final e, após o tratamento os mesmos devem ser utilizados para definir as distribuições de probabilidade que melhor se encaixam no modelo.

Após a coleta dos dados, o primeiro passo foi verificar se haviam inconsistências e discrepâncias entre os dados. É preciso ter discernimento e atenção para identificar exatamente as informações que estão de acordo com o objetivo do estudo e que ajudarão na busca pelos melhores resultados. Foram identificados entre os dados aqueles em que havia

erros de coleta durante a operação, isto é, foram excluídos todos aqueles em que não havia informação necessária em algum processo.

4.8.1 Dados rodoviários

No relatório de informações rodoviárias foi analisada a coerência das informações, em que com o auxílio da ferramenta Excel, foi feita a conferência entre os pesos, já que o peso líquido é o resultado da diferença entre o peso bruto e o peso da tara e também a unificação de romaneios, obtendo assim um único peso final para cada romaneio. Após tal conferência foram obtidos os dados finais que servirão para tratamento estatístico, obtendo uma amostra de 10.233 descargas rodoviárias.

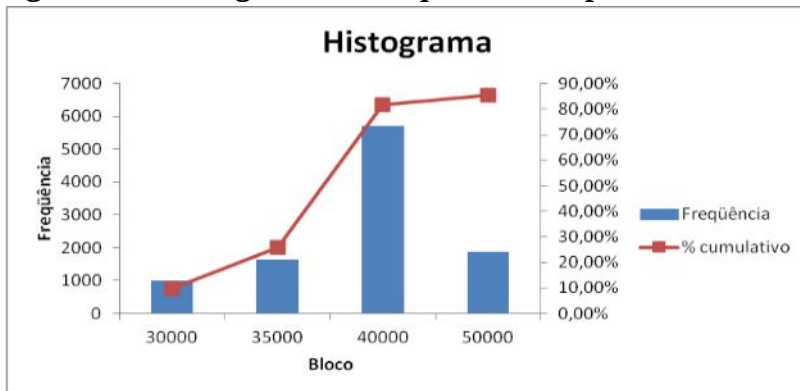
Estes dados finais serviram para análise da frequência de chegada dos tipos de caminhões de acordo com o peso. Estes serviram de entrada no modelo para definição do tipo de caminhão. Neste tratamento de dados, foram definidos quatro tipos de caminhões separados por blocos, conforme mostrado na tabela 3, e posteriormente para melhor análise de frequência foi elaborado um histograma, conforme apresentado na figura 15.

Tabela 3 – Frequência de tipos de caminhões

Bloco (Toneladas)	Frequência	Frequência em %
30000	986	9,64%
35000	1650	16,12%
40000	5723	55,93%
50000	1874	18,31%
Total	10233	100%

Fonte: Dados da pesquisa

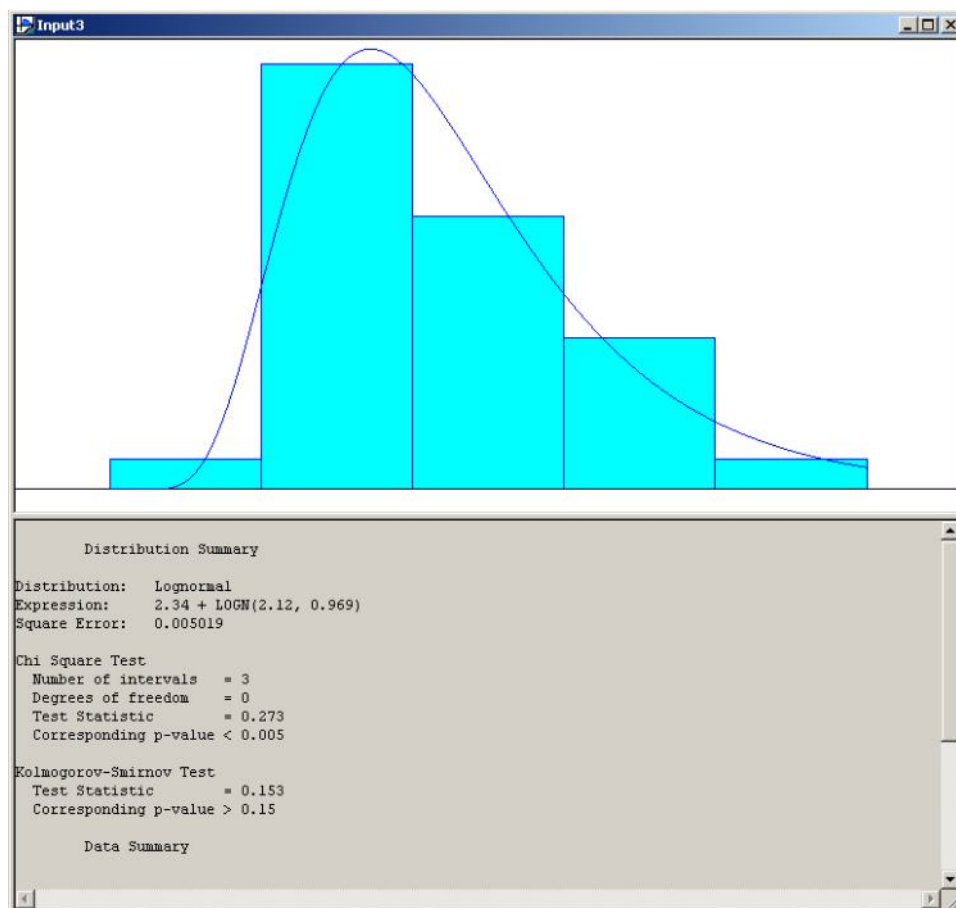
Figura 15 – Histograma de frequência de tipos de caminhões



Fonte: Elaborada pela autora

Para a definição da distribuição de probabilidade para a chegada de caminhões no sistema foram utilizadas todas as 10.233 chegadas do mês coletado e com o auxílio do Excel, por meio de uma tabela dinâmica, os dados foram agrupados por dia. Dessa maneira foi identificada a quantidade de caminhões que chegaram por dia no terminal e com essa informação foi possível definir em quantos minutos em média chegava um caminhão no sistema para cada dia. Após obter as médias diárias foi definida a média geral e o desvio padrão para assim serem retirados dos dados aqueles *outliers*, isto é, aqueles dados que estavam fora do padrão, considerados casos especiais. Tendo essas médias diárias, foi possível inseri-las no Input Analyzer para determinar a melhor forma de distribuição de probabilidade a partir da extração do gráfico da distribuição e da expressão que a determina. O gráfico e a expressão são apresentados pela figura 16.

Figura 16 – Gráfico e expressão gerados pelo Input Analyzer para a chegada de caminhões no sistema



Fonte: Dados da pesquisa

Os outros componentes que constituem o modelo, são eles o processo de pesagem, o posicionamento no tombador, o processo de descarga e o de contra pesagem, não são medidos pela empresa. Segundo Almeida (2009) “Na ausência de dados, é preciso observar os

parâmetros das principais distribuições e suas características que se adaptam a muitos tipos de modelos [...]”, portanto para definição dos parâmetros desses processos foi utilizada a distribuição triangular, que ainda segundo a autora a triangular é ideal para representar duração de atividades, isto é, o tempo de atendimento de cada processo, em que se conhece a moda (valor que mais ocorre), o menor valor e o maior valor. Sendo assim, os dados dos processos foram definidos com distribuição triangular com base em estimativas de tempos.

Na tabela 4 são apresentados todos os parâmetros utilizados nos processos de descarga rodoviária, bem como o tipo de bloco utilizado no Arena e sua unidade de medição.

Tabela 4 – Definições dos blocos de operação rodoviária

DEFINIÇÕES DOS BLOCOS DE OPERAÇÃO RODOVIÁRIA				
Bloco	Tipo de bloco	Distribuição de probabilidade/ Condição	Expressão/ Valor	Unidade
Chegada de caminhão	Create	Lognormal	$2.34 + \text{LOGN}(2.12, 0.969)$	Minutos
Tamanho do caminhão	Decide	-	-	-
Caminhão 30	Assign	-	-	Toneladas
Caminhão 35	Assign	-	-	Toneladas
Caminhão 40	Assign	-	-	Toneladas
Caminhão 50	Assign	-	-	Toneladas
Pátio com espaço	Decide	-	-	-
Espera pátio	Hold	-	-	-
Pesagem caminhões	Process	Triangular	TRIA(1.5,2.5,4)	Minutos
Soma caminhões pátio	Assign	-	-	Caminhões
Há espaço no estoque?	Decide	-	-	-
Espera espaço estoque	Hold	-	-	-
Tombadores livres	Decide	-	-	-
Espera tombadores	Hold	-	-	-
Reduz caminhões pátio	Assign	-	-	Caminhões
Posiciona no tombador	Process	Triangular	TRIA(3,3.5,5)	Minutos
Descarga caminhão	Process	Triangular	TRIA(6.5,7,9)	Minutos
Carrega estoque	Assign	-	-	Toneladas
Contra pesagem do caminhão	Process	Triangular	TRIA(1.5,2.5,4)	Minutos
Caminhão vazio retorna para o cliente	Dispose	-	-	-

Fonte: Elaborada pela autora

4.8.2 Dados ferroviários

Para se definir a chegada de trens ao sistema foi coletado com a área de Planejamento da empresa os dados de matriz de carga anual (volume do ano) e a sazonalidade mensal dessa carga, ambos multiplicados por um coeficiente “x” a fim de se manter o sigilo empresarial. Tais parâmetros foram aplicados à fórmula:

$$\frac{(X)}{((Y \times Z)/W)}$$

Onde:

X = Número de dias no mês = 31

Y = Matriz de Carga anual (volume) = 4.381.126 ton

Z = Sazonalidade mensal = 12%

W = Tamanho médio de caminhão/trem = 5443 ton

Dessa maneira obteve-se que a cada 7,454248063 horas chega um trem ao sistema para ser carregado. Esse valor foi adicionado a uma distribuição exponencial, que segundo Almeida (2009) é uma distribuição adequada para representar intervalos de chegada. Além de definir a distribuição para a chegada de trens, no bloco que representa tal processo no modelo, foi inserida uma condição de que só chega trens vazios se no sistema tiver menos que dois trens, pois há uma restrição no tamanho da linha ferroviária que suporta o tamanho de dois trens.

Assim como no relatório de informações rodoviárias, no relatório ferroviário também foi realizada análise de coerência das informações com o auxílio do Excel.

No relatório constatou-se que havia diversas formações de trens com números de vagões diferentes, dessa maneira foram considerados os dados de trens com formação final maiores de 40 vagões, sendo assim o número de dados de chegadas de trens vazios analisados foram de 75. Após este filtro, foram definidos os tempos por vagão do processo de carregamento, de abastecimento e de liberação do trem e depois multiplicados por 82, já que esse é número definido de vagões para o modelo. Depois de chegar ao tempo de cada processo citado acima para o trem completo, foi calculada a média de cada um e o desvio padrão. Com os resultados desses cálculos foram retirados os *outliers* do processo para que os dados representassem resultados com boa qualidade e também foram definidos os valores para as distribuições triangulares, representando o tempo de atendimento de cada processo (TA).

Os outros processos, ocupação da linha e puxada de vagões, foram utilizados distribuições triangulares com estimativas de tempos definidas no projeto do terminal para representar o tempo de atendimento dos processos, pois os dados coletados para tais processos não estavam coerentes, portanto poderiam prejudicar na qualidade dos resultados.

Na tabela 5 são apresentados todos os parâmetros utilizados nos processos de carregamento ferroviário, bem como o tipo de bloco utilizado no Arena e sua unidade de medição.

Tabela 5 - Definições dos blocos de operação ferroviária

DEFINIÇÕES DOS BLOCOS DE OPERAÇÃO FERROVIÁRIA				
Bloco	Tipo de bloco	Distribuição de probabilidade/ Condição	Expressão/ Valor	Unidade
Chegada de trens vazios	Create	Exponencial	EXPO(7.702722999)	Horas
Aguarda liberação para entrar na pêra	Hold	-	-	-
Trava pêra	Assign	-	-	-
Aguarda verificação de estoque	Hold	-	-	Toneladas
Trem ocupa pêra para carregamento	Process	Triangular	TRIA(0.2, 0.25 ,0.5)	Horas
Carregamento ferroviário	Process	Triangular	TRIA(2.726189273,3.605672866,4.48515646)	Horas
Descarrega estoque	Assign	-	-	-
Puxada de vagões	Process	Triangular	TRIA(0.5, 0.75 ,1)	Horas
Abastecimento de locomotivas	Process	Triangular	TRIA(0.029745455, 0.230078714, 0.430411972)	Horas
Processo de liberação do trem	Process	Triangular	TRIA(1.25, 1.75, 2.25)	Horas
Destrava pêra	Assign	-	-	-
Trem carregado segue sentido porto	Dispose	-	-	-

Fonte: Elaborada pela autora

4.9 Análise dos resultados

Para atingir ao objetivo geral deste trabalho, isto é, criar um modelo e validá-lo realizando uma simulação real envolvendo todos os processos de carga e descarga ferroviária, foi preciso diversos estudos, coletas e análises. Após essas análises e de inserir todas as variáveis e expressões de distribuição de probabilidade no modelo, foi realizada uma simulação para o cenário atual da operação do Terminal Integrador de Araguari, utilizando o tempo de 24 horas, que corresponde ao número de horas trabalhadas/dia, com 31 replicações que corresponde aos dias trabalhados/mês, utilizando um warm up de 45 dias e com essas definições o cenário foi rodado por 20 vezes.

Ao final dessa simulação do cenário atual foi possível gerar o relatório de resultados apresentados pelo próprio Arena em 6 páginas (apêndice A), mostrando tempos de processamento, tempos de espera, taxa de utilização dos recursos, gráficos e tabelas, dentre diversos outros resultados que indicam como está o funcionamento do processo do terminal, se ele está adequado ou se necessita de modificações.

Na tabela 6 estão ilustrados os resultados gerais da simulação mostrados em média, representando os tempos de processamento total, de espera total e tempo total da operação, bem como a quantidade de entidades que entraram e saíram do sistema:

Tabela 6 – Resultados com tempos gerais do cenário atual

	Resultados gerais do processo	
	Operação rodoviária	Operação ferroviária
Entidades de entrada	10.004,60	98,65
Entidades de saída	9.999,35	97,10
Entidades em processamento (WIP)	5,58	1,83
VA time (horas)	0,23	6,65
TF time (wait time - horas)	0,14	11,90
TS time (horas)	0,41	18,55

Fonte: Elaborada pela autora

Legenda: VA Time = tempo de valor agregado

TF = tempo em fila

TS = tempo total no sistema

Para uma melhor análise dos resultados obtidos na tabela 7 são apresentados os tempos específicos relacionados ao processo de descarga rodoviária:

Tabela 7 – Principais resultados da operação rodoviária

PRINCIPAIS RESULTADOS OPERAÇÃO RODOVIÁRIA								
Processos			Recursos		Verificações e esperas			
	Processo de pesagem	Processo de descarga	Processo de contra pesagem	Balança	Tombadores	Liberação do pátio	Verificação de estoque	Liberação do tombador
NF (Nº)	1,2466	0,0000	0,5911	-	-	0,0000	0,0000	0,0041
TF (Horas)	0,0927	0,0000	0,0440	-	-	0,0000	0,0000	0,0169
M (Nº)	-	-	-	2	4	-	-	-
TOS (%)	-	-	-	0,8959 (89,59%)	0,4201 (42,01%)	-	-	-

Fonte: Elaborada pela autora

Legenda: NF = número de clientes em fila

TF = tempo em fila

M = número de servidores

TOS = taxa de ocupação dos servidores

Na tabela 8 são apresentados os tempos específicos relacionados ao processo de carregamento ferroviário:

Tabela 8 – Principais resultados da operação ferroviária

PRINCIPAIS RESULTADOS OPERAÇÃO FERROVIÁRIA						
Processos		Recursos		Verificações e esperas		
	Processo de carregamento	Processo de liberação	Balança trem	Tulha de carregamento	Liberação para entrar na pêra	Verificação de estoque
NF (Nº)	0,0000	0,0000	-	-	0,9286	0,2499
TF (Horas)	0,0000	0,0000	-	-	9,3921	2,5527
M (Nº)	-	-	1	1	-	-
TOS (%)	-	-	0,1698 (16,98%)	0,3516 (35,16%)	-	-

Fonte: Elaborada pela autora

Os resultados de estoque podem ser conferidos na tabela 9:

Tabela 9 – Nível do estoque

	Estoque
Média (toneladas)	7.107,48
Máximo (toneladas)	42.390

Fonte: Elaborada pela autora

Com esses resultados constata-se que o sistema está em equilíbrio, não havendo gargalos, pois consegue atender às chegadas de caminhões e trens presentes no sistema sem ultrapassar seus limites de estoque e taxa de ocupação dos servidores.

Contudo, percebem-se algumas análises pertinentes aos resultados que podem ser modificadas para melhor aproveitamento e produtividade do sistema. Em relação ao processo de descarga rodoviária, foi constatado que não há filas representativas no sistema e os tombadores têm uma taxa de ocupação de cerca de apenas 42%, o que mostra certa ociosidade do recurso, enquanto as balanças têm uma ocupação de cerca de 89%. Analisando essas questões, pode-se propor novos cenários aumentando a chegada de caminhões e a ocupação dos tombadores, porém atentando para a ocupação da balança, certificando de que ela não ultrapasse 95% de ocupação.

Com os resultados da operação ferroviária, constatou-se que há um tempo em fila muito alto, representado pelo tempo de espera para entrar na pêra e aguardando verificação de estoque, enquanto os recursos de balança e tulha de carregamento ficaram ociosos. Esse tempo em fila do trem, apesar de ser relativamente alto, representa a realidade, já que esse tempo é o tempo de espera de um trem enquanto outro está em operação. Os tempos de processamento também estão de acordo com a realidade, transitando por uma faixa entre cerca de 5 horas e 30 minutos e 8 horas de operação, tempos esses dentro da meta proposta para o terminal.

Outro resultado importante apresentado pelo modelo é o limite do estoque, que identificou que ele está superestimado, já que o máximo atingido de cerca de 43000 toneladas.

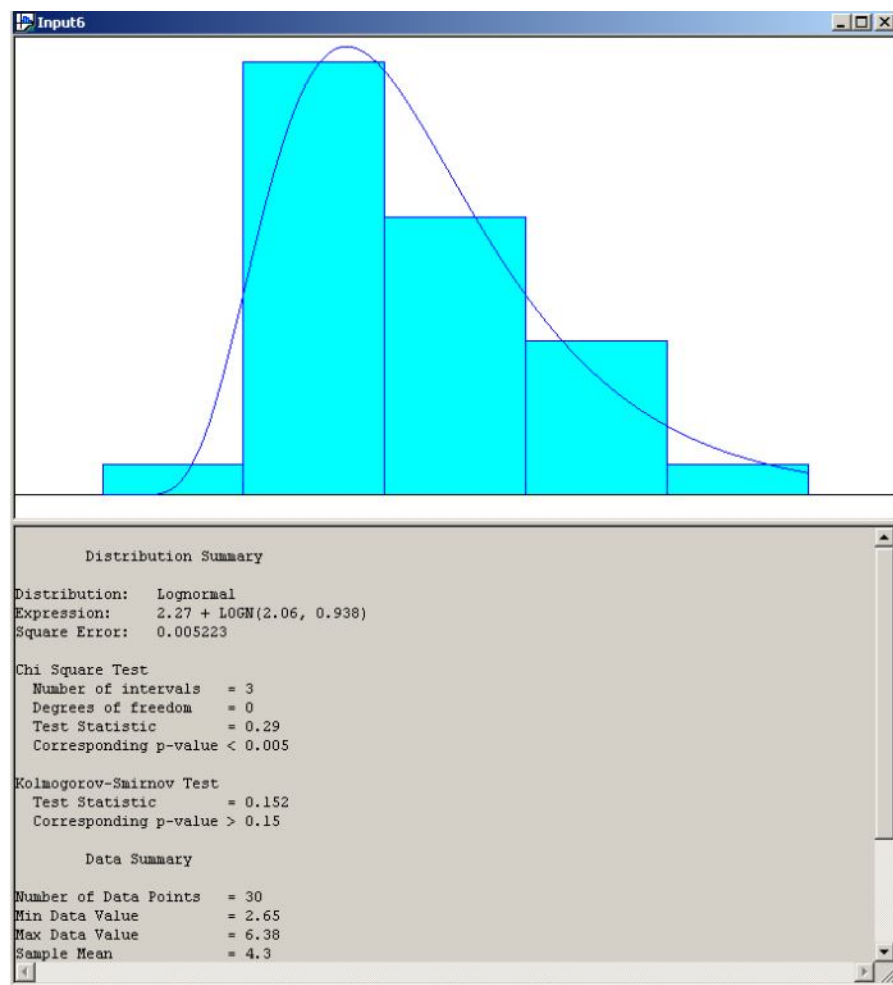
Após as análises e verificação dos tempos, constatou-se que novos cenários poderiam melhorar o macroprocesso do terminal. A partir desses resultados, a simulação do modelo apresentado neste trabalho teve continuidade, de forma experimental, na criação de outros 8 cenários rodados, consecutivamente, alterando-se a chegada de caminhões (colocando demanda mais alta) e simultaneamente diminuindo o limite do estoque até chegar a um cenário ideal, a fim

de diminuir as filas de trens e aumentar a ocupação dos recursos, bem como dimensionar o estoque.

Por uma questão prática, não foi possível apresentar todos os cenários estimados neste trabalho, porém ao concluir as novas rodadas, o cenário 6 foi considerado o melhor para os objetivos propostos acima e será mostrado os seus resultados. Veja no apêndice B o relatório completo.

Para definição dos novos parâmetros do cenário 6, foram realizadas alterações nos dados de chegadas de caminhões, em que as médias diárias de chegada foram aumentadas em 3%. Com os novos valores, foi possível inserir no Input Analyzer e gerar uma nova distribuição, conforme mostrada na figura 17.

Figura 17 – Gráfico e expressão gerados pelo Input Analyzer para a chegada de 3% a mais caminhões no sistema



Fonte: Dados da pesquisa

Além da alteração de chegada de caminhões o estoque foi redimensionado para 60.000 toneladas. Dessa maneira, após rodar este novo cenário, obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 10 – Resultados com tempos gerais do cenário 6

	Resultados gerais do processo cenário 6	
	Operação rodoviária	Operação ferroviária
Entidades de entrada	10.311,10	95,95
Entidades de saída	10.304,20	94,40
Entidades em processamento (WIP)	7,05	1,63
VA time (horas)	0,28	6,64
TF time (wait time - horas)	0,23	9,71
TS time (horas)	0,51	16,35

Fonte: Elaborada pela autora

Analisando os resultados gerais do processo no cenário 6, percebe-se que houve um aumento no número de caminhões e consequentemente nos tempos de atendimento e de espera das entidades, porém nada que afete significativamente os resultados do sistema. Já na operação ferroviária, constatou-se que o número de entidades diminuiu e como consequência o tempo de atendimento teve uma mudança praticamente imperceptível e o de espera teve uma grande melhora, diminuindo para 9,71 horas, causando uma redução de cerca de 18% no tempo em fila e no tempo total.

Tabela 11 - Principais resultados da operação rodoviária cenário 6

	PRINCIPAIS RESULTADOS OPERAÇÃO RODOVIÁRIA CENÁRIO 6							
	Processos			Recursos		Verificações e esperas		
	Processo de pesagem	Processo de descarga	Processo de contra pesagem	Balança	Tombadores	Liberação do pátio	Verificação de estoque	Liberação do tombador
NF (Nº)	2,2528	0,0000	0,9202	-	-	0,0000	0,0000	0,0248
TF (Horas)	0,1625	0,0000	0,0664	-	-	0,0000	0,0000	0,0218
M (Nº)	-	-	-	2	4	-	-	-
TOS (%)	-	-	-	0,9237 (92,37%)	0,4330 (43,30%)	-	-	-

Fonte: Elaborada pela autora

Avaliando os tempos específicos do processo de operação rodoviária, constatou-se que houve um aumento nos tempos de atendimento e também de espera, porém não muito significativo no sistema. Percebe-se também que houve um aumento da taxa de ocupação dos servidores em relação ao cenário atual. Dessa maneira as balanças tiveram uma taxa de cerca de 92%, aumentando 3% em relação ao cenário atual, e os tombadores tiveram uma pequena alteração, passando a ter uma taxa de ocupação de cerca de 43%.

Tabela 12 - Principais resultados da operação ferroviária cenário 6

	PRINCIPAIS RESULTADOS OPERAÇÃO FERROVIÁRIA CENÁRIO 6					
	Processos		Recursos		Verificações e esperas	
	Processo de carregamento	Processo de liberação	Balança trem	Tulha de carregamento	Liberação para entrar na pêra	Verificação de estoque
NF (Nº)	0,0000	0,0000	-	-	0,7902	0,1840
TF (Horas)	0,0000	0,0000	-	-	7,8664	1,8420
M (Nº)	-	-	1	1	-	-
TOS (%)	-	-	0,1729 (17,29%)	0,3559 (35,59%)	-	-

Fonte: Elaborada pela autora

Na comparação da operação ferroviária é possível perceber um grande ganho em relação ao tempo em fila. No cenário atual o tempo total em fila era de quase 12 horas, enquanto no cenário 6 esse tempo diminui para cerca de 10 horas, representando um ganho de 18% de tempo no sistema, em que houve diminuição dos tempos tanto de espera para entrar na pêra quanto de verificação do estoque, já que com a chegada de caminhões maior, o estoque também aumentou.

Tabela 13 - Nível do estoque cenário 6

	Estoque
Média (toneladas)	9.568,78
Máximo (toneladas)	45.183

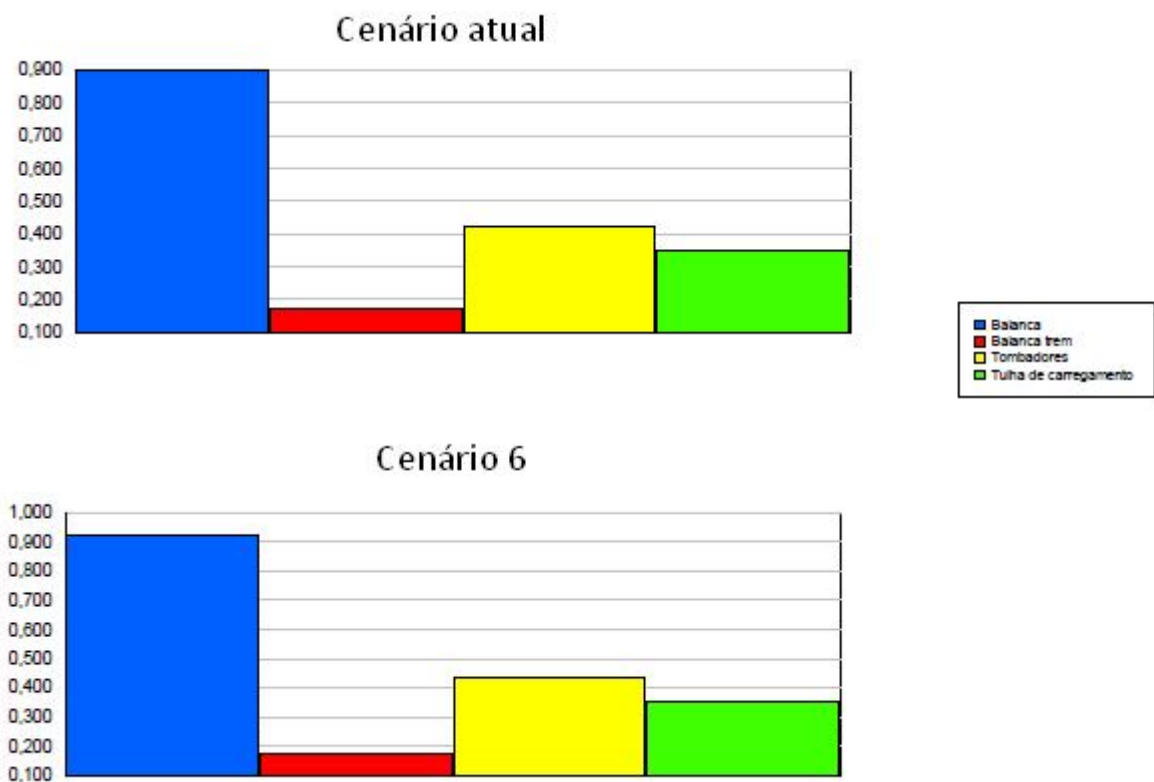
Fonte: Elaborada pela autora

Analisando o estoque do sistema, pôde-se perceber que com o aumento da chegada de cargas pelos caminhões o estoque também aumentou, chegando a atingir o máximo de cerca de 45.000 toneladas. Dessa maneira, fica comprovado que com o estoque estabelecido em

60.000 toneladas, é possível atender à demanda e ainda manter uma quantidade de segurança, caso necessário.

Para uma análise visual, segue uma representação gráfica gerada pelo software Arena, comparando os resultados obtidos para a taxa de ocupação entre os recursos do sistema do cenário atual e do cenário 6.

Figura 18 - Gráficos Cenário atual e Cenário 6: Taxa de ocupação x Servidor



Fonte: Dados da pesquisa

Visualizando os gráficos acima, pode-se perceber que o único recurso com uma taxa de ocupação alta é a balança, enquanto a balança de trem, os tombadores e tuiha de carregamento não atingem nem 50% de utilização. Isso se dá devido ao número de balanças, apenas duas, para o fluxo muito alto de caminhões, enquanto para o processo de descarga conta-se com 4 servidores para atender ao mesmo fluxo. Já no caso dos recursos ferroviários, pode-se atribuir a essa ociosidade dos recursos o fato de que o número de entidades que chegam ao processo é relativamente pequeno e o tempo de atendimento nos outros processos é alto, o que faz o recurso ficar livre por um período maior de tempo.

Neste trabalho, é de extrema importância a análise dos tempos em fila das entidades, já que esses influenciam diretamente em todo o sistema. Para melhor visualização das diferenças entre os tempos de espera dos dois cenários, abaixo está ilustrado pela tabela 14 a comparação de cenários para os processos rodoviários e na tabela 15 a comparação para os processos ferroviários.

Tabela 14 – Apuração do tempo em fila dos cenários 01 e 09 da operação rodoviária

Operação rodoviária						
Processos			Verificações e esperas			
Processo de pesagem	Processo de descarga	Processo de contra pesagem	Liberação do pátio	Verificação de estoque	Liberação do tombador	
Cenário atual						
TF (Horas)	0,0927	0,0000	0,0440	0,0000	0,0000	0,0169
Cenário 6						
TF (Horas)	0,1625	0,0000	0,0664	0,0000	0,0000	0,0218

Fonte: Elaborada pela autora

Por meio da tabela acima, constata-se que os tempos em fila dos caminhões aumentaram em todo o sistema. Isso porque o número de chegadas também aumentou, o que gerou mais filas, já que os tempos de atendimento permaneceram os mesmos. Porém, apesar do aumento deste tempo, esse fato não foi prejudicial para o cenário 6, pois o impacto foi muito pequeno no sistema total, aumentando aproximadamente 4 minutos no processo de pesagem, 1 minuto na contra pesagem e nem 1 minuto na espera pela liberação do tombador.

Tabela 15 – Apuração do tempo em fila dos cenários 01 e 09 da operação ferroviária

Operação ferroviária				
Processos		Verificações e esperas		
Processo de carregamento	Processo de liberação	Liberação para entrar na pêra	Verificação de estoque	
Cenário atual				
TF (Horas)	0,0000	0,0000	9,3921	2,5527
Cenário 6				
TF (Horas)	0,0000	0,0000	7,8664	1,8420

Fonte: Elaborada pela autora

Já na tabela de tempos em fila dos trens, nota-se uma diferença significativa nos tempos do sistema, diferença essa positiva, pois o tempo de espera para entrar na pêra e aguardando verificação do estoque diminuíram aproximadamente 1,5 horas e 1 hora, respectivamente. Essa diminuição do tempo em fila é bastante representativa, pois significa uma diminuição do tempo total do sistema o que afeta toda a logística integrada da empresa, já que os trens ficarão menos tempo parados e poderão circular mais pelas ferrovias, aumentando a rotação dos ativos da empresa.

Nesse sentido, seria benéfico para a empresa um estudo posterior envolvendo análises financeiras, representando o ganho real financeiro quando os tempos de espera são diminuídos e quando o seu estoque é redimensionado, já que é investido um alto capital para construção e manutenção de um terminal.

Com a realização deste trabalho e com a análise dos resultados, a proposta é que a empresa aumente a chegada de caminhões, aumentando consequentemente a sua carga de estoque para que os recursos disponíveis no terminal sejam mais aproveitados. Com esse aumento de cargas chegando ao terminal, notou-se que beneficiaria também à operação ferroviária, uma vez que o trem terá que esperar menos para efetuar todo o processo e sair do sistema. Outra proposta é que o armazém seja redimensionado, diminuindo sua capacidade para 60.000 toneladas, pois foi constatada que de fato não é utilizada toda a sua capacidade de 120.000 toneladas e, de acordo com os resultados da simulação o máximo atingido foi aproximadamente 45.000 toneladas, sendo assim o estoque atenderia a demanda e teria uma margem para segurança e casos especiais.

Outra proposta é que sejam feitos outros estudos posteriores para o terminal em questão, levando em consideração aspectos financeiros tanto de ativos da empresa, que seriam representados pelo número de vagões e locomotivas e qual a relação financeira desses ativos com o tempo em que ficam parados, quanto de recursos do terminal (armazém, balanças, tulha e tombadores) e investimentos feitos no terminal.

Por fim, e não menos importante e de acordo com o objetivo deste trabalho de se obter um modelo adaptável que possa ser utilizado em diversas simulações para benefício da empresa, recomenda-se que o modelo criado seja utilizado para simulações de outros terminais com operações semelhantes, a fim de obter resultados que ajudarão nas tomadas de decisões estratégicas da empresa, possibilitando assim que a empresa continue a crescer e obter melhores resultados.

5 CONCLUSÃO

Diante de um cenário econômico competitivo em que empresas investem cada vez mais em melhorias nos processos logísticos para suportar maior volume de tráfego e armazenamento, rapidez de atendimento e disponibilidade, torna-se muito benéfica a utilização de ferramentas que auxiliem no planejamento estratégico e nas tomadas de decisões gerenciais. Dessa maneira, o uso de simulação de sistemas torna-se muito efetivo e necessário para garantir uma maior confiabilidade do processo real, que no caso deste trabalho a proposta foi voltada para análises de capacidades dos processos dos terminais ferroviários da empresa em estudo.

Neste estudo, buscou-se criar um modelo computacional que pudesse simular os processos de carga e descarga em terminais ferroviários com o objetivo de identificar e possibilitar análises referentes à capacidade do sistema. O objetivo foi criar um modelo que pudesse servir para diversas simulações de diferentes terminais com processos similares operados atualmente pela VLI e também futuramente, tratando-se de um modelo mais generalista possível que sirva como uma importante ferramenta para os estudos e planejamento da empresa, o que tornou o trabalho bem desafiador. Para validar e certificar que o modelo representa a realidade foi preciso simular um sistema real, dessa maneira o trabalho envolveu a simulação da operação do Terminal Integrador de Araguari, pertencente à empresa VLI, abrangendo o processo de descarga de caminhões, armazenamento das cargas e carregamento ferroviário.

Na realização do estudo foi utilizada a metodologia experimental, que envolveu a coleta de dados e os devidos tratamentos para assegurar bons resultados, elaboração do modelo conceitual em forma de fluxograma, modelagem computacional em Arena e por fim a análise dos resultados.

Com as análises dos resultados foi possível observar que o cenário atual do terminal avaliado está em equilíbrio e consegue atender à capacidade designada a ele sem comprometer a taxa de ocupação dos recursos necessários para a descarga de caminhões e também para o carregamento de trens, assim como o armazenamento de cargas que fica abaixo do limite especificado.

Entretanto, foi constatado que há uma grande fila de trens, ociosidade de alguns recursos e o armazém está com taxa de utilização baixa para a sua capacidade atual. Como proposta e sugestão, foram gerados novos cenários a fim de identificar o possível melhor, aquele que os

recursos teriam uma produtividade maior, o sistema gerasse menores filas e o armazém não fosse pouco utilizado. Portanto, para que o sistema seja mais produtivo, agregue mais valor para empresa e ofereça melhores resultados em ganhos de tempos e eficiência em distribuição, propõe-se que o armazém seja redimensionado, passando de 120.000 toneladas para 60.000 e que a chegada de caminhões aumente 3% ao dia, o que geraria mais carga no sistema, maior ocupação dos recursos disponíveis e conseqüentemente menores filas no processo ferroviário.

Durante o estudo não foram consideradas questões financeiras, que envolvem o capital de investimento em recursos do terminal, ativos da empresa (vagões e locomotivas) e nos processamentos do terminal. Recomenda-se que posteriormente, sejam realizados trabalhos futuros para que sejam feitas análises paralelamente à simulação que sejam capazes de identificar e quantificar os ganhos em tempos de espera de trens.

Em cumprimento com os objetivos deste trabalho, recomenda-se que o modelo criado seja utilizado em outras simulações de terminais da empresa para que sejam identificados possíveis gargalos e soluções de melhorias, a fim de obter resultados significativos que ajudarão nas tomadas de decisões e no planejamento da empresa, servindo de modelo adaptável.

Apesar das dificuldades e limitações durante a realização do estudo, a realização deste trabalho contribuiu para um aperfeiçoamento e aprofundamento sobre simulação de sistemas, um amplo e importante tema da área de Pesquisa Operacional e de extremo valor para engenheiros de produção. O trabalho auxiliou no desenvolvimento profissional, proporcionando novos conhecimentos e análises críticas a respeito do tema em um campo prático. Dessa maneira, entende-se que foi cumprido o grande papel deste estudo que era aplicar os conhecimentos aprendidos em engenharia de produção em um estudo de caso prático.

Por meio deste trabalho, conclui-se que a prática de estudos de simulações em organizações podem proporcionar grandes ganhos de desempenho, eficiência e quando aplicável, financeiros também. E, de acordo com Pedgen (1995) citado por Faria (2010), a simulação pode ser uma poderosa ferramenta de análise para processos ou sistemas complexos, podendo ser uma metodologia fundamental na solução de problemas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIL, M. et al. ***An assessment of railway capacity. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review***, v. 44(5), p. 774;806, Janeiro 2007.

ALMEIDA, Maria A.F. ***Simulação de Sistemas***, notas de Aula. Belo Horizonte, 2009.

ALMEIDA, Maria A.F. ***Introdução à teoria das filas***, notas de Aula. Belo Horizonte, 2009.

ALVIM, Rafael Soares Pissolato, ***Planejamento de Capacidade Ferroviária Via Simulação***. Trabalho de Monografia, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2009.

ARENA USER'S GUIDE, Publication Arena – UM001F-EM-P – April 2010

BERTUCCI, Janete L. de O. ***Metodologia básica para elaboração de trabalhos de conclusão de cursos***. Editora Atlas S.A. São Paulo, 2008

BICCA, A. J. ***Metodologia para estudo de pré-viabilidade de um projeto ferroviário***. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

BRINA, H. L. ***Estradas de ferro 2***. Belo Horizonte: Editora UFMG, 1988. Segunda edição. 215p.

DREYFUS, S. E.; LAW, A. M., ***The Art and Theory of Dynamic Programming***, USA. 1977.

FARIA, Carlos Henrique Fernandes, ***Análise da Capacidade de um Sistema Ferroviário via Simulação***. Trabalho de Monografia, Universidade Federal de Minas Gerais. Minas Gerais, 2010.

FARIA, Danielle Brey-Gil, ***Modelagem e simulação da manufatura em uma indústria de embalagens plásticas***. Trabalho de conclusão de curso, Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Minas Gerais, 2012.

FIORONI, Marcelo Moretti, ***Simulação em ciclo fechado de malhas ferroviárias e suas aplicações no Brasil: avaliação de alternativas para direcionamento de campo***. São Paulo, 2007.

FRANK, O., ***Two-way Traffic on a Single Line of Rail-way***. Operations Research, Suécia, 1965.

FREITAS Filho, Paulo José de, ***Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com Aplicações em Arena***. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008. 384 p.

PRADO, Darci Santos do. ***Usando o Arena em Simulação. Série Pesquisa Operacional***. 3. Ed. INDG Tecnologia e Serviços. Belo Horizonte. MG. 2004. 286p.

PRADO, Darci Santos do. ***Teoria das Filas e da Simulação: série pesquisa operacional***. 2. Ed. INDG Tecnologia e Serviços. Belo Horizonte. MG. 2006. 127p.

ROSA, Rodrigo de Alvarenga. ***Curso de atualização em logística integrada. Noções de portos e terminais.*** Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. IEC – Instituto de Educação Continuada. Belo Horizonte, 2012.

7 APÊNDICE A - RELATÓRIO DO CENÁRIO ATUAL GERADO PELO ARENA

16:45:56

Category Overview

novembro 6, 2012

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 20

Time Units: Hours

Key Performance Indicators

System

Average

Number Out

10,071

16:45:56

Category Overview

novembro 6, 2012

Values Across All Replications

Unnamed Project

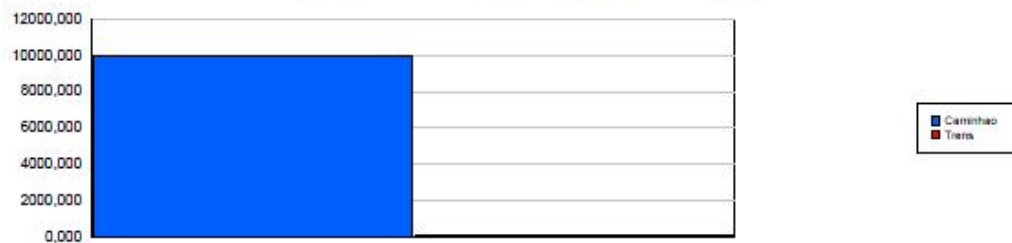
Replications: 20 Time Units: Hours

Entity**Time**

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.2778	0,00	0.2774	0.2780	0.2178	0.3504
Trens	6.6473	0,02	6.6659	6.7364	5.3752	8.0136
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trens	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.1370	0,00	0.1233	0.1519	0.00	0.8075
Trens	11.9004	1,00	6.3616	14.9372	0.00	24.7310
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trens	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trens	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.4147	0,00	0.4008	0.4298	0.2246	1.0715
Trens	18.5477	1,00	13.0078	21.5823	5.8028	31.9042

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Caminhao	10004.60	10,50	9961.00	10044.00
Trens	98.6500	3,78	80.0000	108.00



16:45:56

Category Overview

novembro 6, 2012

*Values Across All Replications***Unnamed Project**

Replications: 20 Time Units: Hours

Entity**Other**

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Caminhao	9999.35	10,64	9955.00	10038.00		
Trens	97.1000	3,77	80.0000	107.00		
WIP	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	5.5756	0,05	5.3642	5.7966	0.00	15.0000
Trens	1.8257	0,10	1.3049	2.1447	0.00	4.0000

16:45:56

Category Overview

novembro 6, 2012

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 20 Time Units: Hours

Queue**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Aguarda liberacao para entrar na pera.Queue	9.3921	0,70	5.6393	11.4531	0.00	21.5185
Aguarda verificacao de estoque.Queue	2.5527	0,31	0.9100	3.5154	0.00	10.8903
Carregamento ferroviario.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contra pesagem do caminhao.Queue	0.04397261	0,00	0.03989744	0.04827029	0.00	0.3704
Descarga caminhao.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espera tombadores.Queue	0.01692541	0,00	0.01515050	0.02012666	0.00000810	0.0952
Pesagem de caminhao.Queue	0.0927	0,00	0.08317446	0.1032	0.00	0.5576
Processo de liberacao do trem.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Aguarda liberacao para entrar na pera.Queue	0.9286	0,07	0.5609	1.1487	0.00	2.0000
Aguarda verificacao de estoque.Queue	0.2499	0,03	0.0919	0.3449	0.00	1.0000
Carregamento ferroviario.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contra pesagem do caminhao.Queue	0.5911	0,01	0.5340	0.6509	0.00	6.0000
Descarga caminhao.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espera espaco estoque.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espera patio.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espera tombadores.Queue	0.00407830	0,00	0.00267567	0.00605964	0.00	2.0000
Pesagem de caminhao.Queue	1.2466	0,03	1.1135	1.3919	0.00	9.0000
Processo de liberacao do trem.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

16:45:56

Category Overview

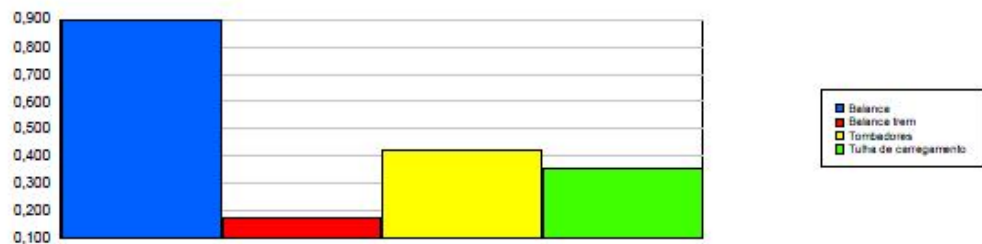
novembro 6, 2012

*Values Across All Replications***Unnamed Project**

Replications: 20 Time Units: Hours

Resource**Usage**

Instantaneous Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Balanca	0.8959	0,00	0.8906	0.9000	0.00	1.0000
Balanca trem	0.1698	0,00	0.1661	0.1772	0.00	1.0000
Tombadores	0.4201	0,00	0.4177	0.4223	0.00	1.0000
Tulha de carregamento	0.3516	0,00	0.3424	0.3585	0.00	1.0000
Number Busy						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Balanca	1.7918	0,00	1.7812	1.7999	0.00	2.0000
Balanca trem	0.1698	0,00	0.1661	0.1772	0.00	1.0000
Tombadores	1.6805	0,00	1.6710	1.6891	0.00	4.0000
Tulha de carregamento	0.3516	0,00	0.3424	0.3585	0.00	1.0000
Number Scheduled						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Balanca	2.0000	0,00	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Balanca trem	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Tombadores	4.0000	0,00	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
Tulha de carregamento	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Balanca	0.8959	0,00	0.8906	0.9000		
Balanca trem	0.1698	0,00	0.1661	0.1772		
Tombadores	0.4201	0,00	0.4177	0.4223		
Tulha de carregamento	0.3516	0,00	0.3424	0.3585		



16:45:56

Category Overview

novembro 6, 2012

*Values Across All Replications***Unnamed Project**

Replications: 20 Time Units: Hours

Resource**Usage**

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Balanca	30006.45	31,33	29875.00	30120.00
Balanca trem	72.2000	0,39	70.0000	73.0000
Tombadores	10002.00	10,43	9958.00	10039.00
Tulha de carregamento	72.8000	0,35	71.0000	73.0000

**User Specified****Time Persistent**

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estoque	7107.48	1.434,10	4824.25	15325.12	0.00	42390.00

8 APÊNDICE B – RELATÓRIO DO CENÁRIO 6 GERADO PELO ARENA

19:09:01		Category Overview		novembro 6, 2012	
		Values Across All Replications			
Unnamed Project					
Replications: 20		Time Units: Hours			
Key Performance Indicators					
System		Average			
Number Out		10,377			

19:09:01

Category Overview

novembro 6, 2012

*Values Across All Replications***Unnamed Project**

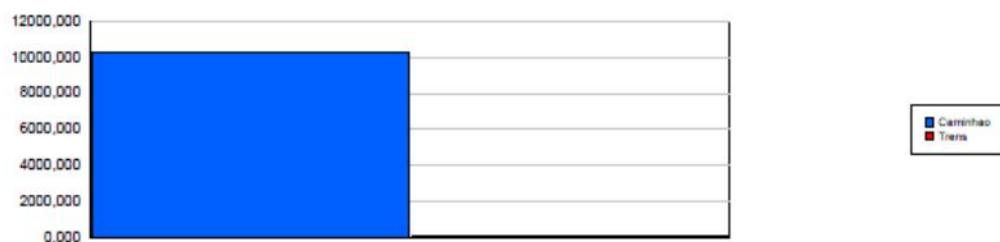
Replications: 20 Time Units: Hours

Entity**Time**

VA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.2778	0.00	0.2775	0.2781	0.2226	0.3479
Trens	6.6378	0.03	6.5447	6.7278	5.3953	7.8115
NVA Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trens	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Wait Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.2308	0.01	0.2063	0.2566	0.00	1.0721
Trens	9.7122	1.32	4.7215	14.7195	0.00	26.8049
Transfer Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trens	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Other Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Trens	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Total Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	0.5086	0.01	0.4840	0.5345	0.2389	1.3361
Trens	16.3499	1.32	11.4111	21.3974	5.4551	33.6035

Other

Number In	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Caminhao	10311.10	11.19	10254.00	10365.00
Trens	95.9500	5.14	79.0000	115.00



19:09:01

Category Overview

novembro 6, 2012

*Values Across All Replications***Unnamed Project**

Replications: 20 Time Units: Hours

Entity**Other**

Number Out	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Caminhao	10304.20	10,77	10251.00	10358.00		
Trens	94.4000	5,16	78.0000	112.00		
WIP						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Caminhao	7.0465	0,08	6.6697	7.4444	0.00	20.0000
Trens	1.6310	0,14	1.0891	2.1570	0.00	4.0000

19:09:01

Category Overview

novembro 6, 2012

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 20 Time Units: Hours

Queue**Time**

Waiting Time	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Aguarda liberacao para entrar na pera.Queue	7.8664	1,00	4.2308	11.8600	0.00	24.6656
Aguarda verificacao de estoque.Queue	1.8420	0,33	0.4251	2.8595	0.00	10.4676
Carregamento ferroviario.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contra pesagem do caminhao.Queue	0.06642376	0,00	0.06029746	0.07225626	0.00	0.4618
Descarga caminhao.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espera tombadores.Queue	0.02179307	0,00	0.01958560	0.02304350	0.00000309	0.1179
Pesagem de caminhao.Queue	0.1625	0,00	0.1447	0.1835	0.00	0.7220
Processo de liberacao do trem.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

Other

Number Waiting	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Aguarda liberacao para entrar na pera.Queue	0.7902	0,10	0.4094	1.1956	0.00	2.0000
Aguarda verificacao de estoque.Queue	0.1840	0,03	0.04114179	0.2883	0.00	1.0000
Carregamento ferroviario.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Contra pesagem do caminhao.Queue	0.9202	0,02	0.8308	1.0027	0.00	9.0000
Descarga caminhao.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espera espaco estoque.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espera patio.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00
Espera tombadores.Queue	0.02475687	0,00	0.01761125	0.03341209	0.00	3.0000
Pesagem de caminhao.Queue	2.2528	0,06	1.9948	2.5554	0.00	11.0000
Processo de liberacao do trem.Queue	0.00	0,00	0.00	0.00	0.00	0.00

19:09:01

Category Overview

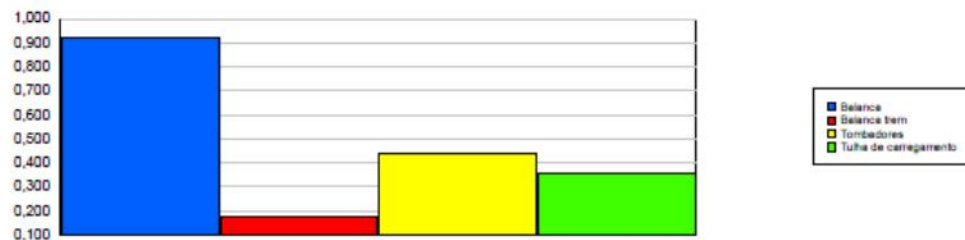
novembro 6, 2012

*Values Across All Replications***Unnamed Project**

Replications: 20 Time Units: Hours

Resource**Usage**

Instantaneous Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Balanca	0.9237	0,00	0.9165	0.9283	0.00	1.0000
Balanca trem	0.1729	0,00	0.1586	0.1799	0.00	1.0000
Tombadores	0.4330	0,00	0.4307	0.4357	0.00	1.0000
Tulha de carregamento	0.3559	0,01	0.3266	0.3716	0.00	1.0000
Number Busy						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Balanca	1.8474	0,00	1.8329	1.8565	0.00	2.0000
Balanca trem	0.1729	0,00	0.1586	0.1799	0.00	1.0000
Tombadores	1.7319	0,00	1.7226	1.7428	0.00	4.0000
Tulha de carregamento	0.3559	0,01	0.3266	0.3716	0.00	1.0000
Number Scheduled						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Balanca	2.0000	0,00	2.0000	2.0000	2.0000	2.0000
Balanca trem	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Tombadores	4.0000	0,00	4.0000	4.0000	4.0000	4.0000
Tulha de carregamento	1.0000	0,00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Scheduled Utilization						
	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average		
Balanca	0.9237	0,00	0.9165	0.9283		
Balanca trem	0.1729	0,00	0.1586	0.1799		
Tombadores	0.4330	0,00	0.4307	0.4357		
Tulha de carregamento	0.3559	0,01	0.3266	0.3716		



19:09:01

Category Overview

novembro 6, 2012

*Values Across All Replications***Unnamed Project**

Replications: 20 Time Units: Hours

Resource**Usage**

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
Balanca	30923.15	32.45	30759.00	31083.00
Balanca trem	73.4500	1.00	68.0000	75.0000
Tombadores	10307.85	10.81	10253.00	10361.00
Tulha de carregamento	73.8500	0.93	69.0000	76.0000

**User Specified****Time Persistent**

Variable	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average	Minimum Value	Maximum Value
Estoque	9568.78	2.086,96	5140.68	19821.10	0.00	45183.00