UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

THALES AUGUSTO DOS SANTOS

IMPACTO DE ACIDENTES FERROVIÁRIOS NO TERMINAL DE GUAÍBA À PRODUÇÃO DA MRS LOGÍSTICA S.A.

JUIZ DE FORA
2010

THALES AUGUSTO DOS SANTOS

IMPACTO DE ACIDENTES FERROVIÁRIOS NO TERMINAL DE GUAÍBA À PRODUÇÃO DA MRS LOGÍSTICA S.A.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Dr., Fernando Marques de Almeida Nogueira

Co-Orientador: Esp, Guilherme Delgado de Oliveira

JUIZ DE FORA

2010

Santos, Thales Augusto dos.
Impacto de acidentes ferroviários no terminal Guaíba à produção da MRS Logística S.A. / Thales Augusto dos Santos. – 2010.
46 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção)–Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.

1. Ferrovias. 2. Acidentes. 3. Simulação. I. Título.

CDU 625.1

THALES AUGUSTO DOS SANTOS

IMPACTO DE ACIDENTES FERROVIÁRIOS NO TERMINAL DE GUAÍBA À PRODUÇÃO DA MRS LOGÍSTICA S.A.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 10 de novembro de 2010.

BANCA EXAMINADORA

_____

Nome (Orientador)
Instituição

_____

Nome (Co-Orientador)
Instituição

_____

Nome
Instituição

AGRADECIMENTOS

A Deus, que mostrou e abriu vários caminhos que culminaram, entre outros, neste resultado. Aos meus pais Paulo (*in memorian*) e Sandra, que tanto fizeram por mim e que, certamente, se rejubilam por mais uma conquista que se concretiza em minha vida. E a todos os demais que, indireta ou diretamente, contribuíram nessa jornada.

RESUMO

A MRS Logística S.A. é uma empresa de transporte de cargas ferroviárias que opera há quatorze anos nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo. Uma vez que as cargas de minério de ferro representam a porção mais significativa das receitas da companhia, o Porto de Guaíba, em Mangaratiba-RJ é muito importante para a MRS, uma vez que esta transporta grandes volumes para aquele lugar. Para fazer a descarga dos vagões que são conduzidos ao porto, são utilizadas máquinas conhecidas como viradores e, devido às perdas decorrentes de falhas operacionais desses maquinários, é oportuno utilizar a Simulação de Eventos Discretos para entender porque, como e quando tais eventos acontecem, bem como fundamentar decisões de melhoria da infraestrutura e da operação ferroviária no Porto de Guaíba. Assim, por meio de software de Simulação, este trabalho apresenta análises e cenários, que se aplicados ao processo real de descarga de vagões, podem oferecer melhorias na operação dos viradores.

Palavras-chave: Simulação. Falhas operacionais. Operação ferroviária.

ABSTRACT

MRS Logística S.A. is an enterprise, which conveys rail cargo over the last fourteen years throughout Minas Gerais, Rio de Janeiro and Sao Paulo states. Since the iron ore cargo is the most significant portion of the company's incomes, the Port of Guaíba, at Mangaratiba, in Rio de Janeiro State is very important to MRS Logística S.A. since large iron ore volumes are hauled to that location. In order to unload wagons, which are led to the port, machines are used, known as car dumpers, and due to the losses in those machinery's operational failures, utilizing Discrete Events Simulation is opportune to understand why, how and when those events happen as well as to underpin decisions, which will improve Port of Guaiba's infrastructure and rail operation. Thus, by using Simulation software, this work shows analysis and scenarios, which whether applied to the real process of wagons unload, can offer improvements in car dumpers' operation.

Keywords: Simulation. Operational failures. Rail operation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Virador do Terminal da Ilha da Guaíba 10
Figura 2 – Etapas de Simulação (extraído de Banks – 1996) 14
Figura 3 – Ponte ferroviária do Terminal da Ilha Guaíba 22
Figura 4 – Vista dos viradores do Terminal da Ilha Guaíba 23
Figura 5 – Virador 1 do Terminal da Ilha Guaíba 23
Figura 6 – Modelo da operação do Terminal da Ilha da Guaíba 24
Figura 7 – Distribuição de probabilidade da chegada de trens 26
Figura 8 – Distribuição de probabilidade da freqüência de falhas de locomotiva 27
Figura 9 – Distribuição de probabilidade da duração de falhas de locomotiva 28
Figura 10 – Distribuição de probabilidade da ocorrência de falhas do virador 28
Figura 11 – Distribuição de probabilidade da duração de falhas do virador 29
Figura 12 – Distribuição de probabilidade da ocorrência de troca de modalidade 29
Figura 13 – Distribuição de probabilidade da duração de troca de modalidade 30
Figura 14 – Distribuição de probabilidade da ocorrência de defeito no *stacker* 31
Figura 15 – Distribuição de probabilidade da duração de defeito no *stacker* 31
Figura 16 – Distribuição de probabilidade da ocorrência de inoperância de terminal 32
Figura 17 – Principais causas de falhas/paradas 34
Figura 18 – Teste de hipóteses para indicadores do modelo atual e do cenário 1 35
Figura 19 – Teste de hipóteses para indicadores do modelo atual e do cenário 2 36
Figura 20 – Teste de hipóteses para indicadores dos cenários 1 e 2 36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estatísticas básicas de causas de falhas 33

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 9

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 9
1.2 JUSTIFICATIVA 9
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 10
1.4 FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES 11
1.5 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 11
1.5.1 OBJETIVO GERAL 11
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 12
1.6 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 12
1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO 15

2 REVISÃO DE LITERATURA 16

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO 16

3 DESENVOLVIMENTO 20

3.1 DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO DE PESQUISA 20
3.2 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DE ANÁLISE 21

4 RESULTADOS 34

4.1 RESULTADOS ALCANÇADOS 34
4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 37

5 CONCLUSÕES 38

REFERÊNCIAS 39

ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE 41

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A MRS Logística S.A. é uma empresa criada em 1996 a partir da privatização da antiga Rede Ferroviária Federal (RFFSA). Desde então, a companhia atua principalmente no transporte de minério de ferro, atendendo a empresas como Vale, CSN, Gerdau, entre outras.

Uma parte considerável do minério de ferro transportado pela MRS, oriundo das jazidas do Estado de Minas Gerais é descarregada no terminal ferroviário do Porto da Ilha Guaíba, que está localizado na parte Leste da Baía da Ilha Grande, voltada para a barra de entrada e bem no início da Baía de Sepetiba.

A Ilha Guaíba está situada bem próxima à costa e fica ligada ao continente por uma ponte ferroviária por onde recebe o minério, não havendo ligação por via rodoviária. A ilha está dentro da área do Município de Mangaratiba, cuja cidade dista cerca 130 km do Rio de Janeiro por rodovia asfaltada. Já o terminal ferroviário fica a cerca de 120 km da entrada da Baía da Guanabara (Rio de Janeiro) e dista cerca de 6 km de Mangaratiba.

Os terminais são a porção mais complexa da operação ferroviária e que mais influenciam o desempenho desta (LIN e CHENG, 2009). Tendo em vista a ocorrência de falhas operacional-mecânicas no Terminal de Guaíba que comprometem a operação da MRS, procede a aplicação de ferramentas que permitam o entendimento de como, onde e quando tais eventos ocorrem.

Ao encontro disso, a aplicação da Pesquisa Operacional (PO) torna-se uma importante ferramenta para resolver problemas de gestão dos mais variados sistemas organizacionais (GARCIA, 2006). É nesse ínterim, que a Simulação como parte da PO vem a ser útil para representar o processo real e identificar possíveis soluções para os acidentes ferroviários.

1.2 JUSTIFICATIVA

O presente trabalho não almeja trazer à luz das discussões, teorias ou metodologias cientificas inéditas, no entanto, a sua aplicação acadêmica procede, uma vez que as técnicas de PO (simulação) a serem empregadas são deveras adequadas ao tema, sendo que o próprio trabalho pode ser usado como referência para outros estudos que tenham propósitos afins.

Em adição, a PO envolve “pesquisa sobre operações”, portanto é aplicável a problemas sobre como conduzir e coordenar operações em uma organização, posto que a natureza desta é secundária, haja vista que a Pesquisa Operacional tem sido aplicada com sucesso em áreas como manufatura, transportes, construção, assistência médica, telecomunicações, entre outras. Ou seja, a PO pode ser usada em uma gama de áreas excepcionalmente grande (HILLIER e LIBERMAN, 2006).

Para a MRS, este trabalho representa uma oportunidade de entender como as falhas operacionais impactam em sua operação no Porto de Guaíba, fundamentando discussões e decisões conjuntas com clientes sobre melhorias na infra-estrutura do terminal onde esses são atendidos.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O Terminal da Ilha Guaíba possui três viradores de vagões, dois deles funcionam como um só (virador 1), o terceiro é normalmente designado como virador 2. Todos fazem o descarregamento do minério de ferro oriundo das jazidas em Minas Gerais.

Devido às falhas ou causas de ociosidade que ocorrem durante a retirada do minério dos vagões, propõem-se simular os eventos de chegada dos trens no terminal de descarregamento e os eventos de ocorrência de falhas.

Figura 1 – Virador do Terminal da Ilha da Guaíba

Tal simulação dar-se-á através do Software Arena® - versão 12.0 para estudantes, a partir da construção do modelo que represente as taxas de ocorrência das principais causas de

ociosidade registradas na base de dados da MRS Logística S.A., abrangendo o período de outubro de 2009 a março de 2010, o que, forçosamente, deixa o modelo mais vulnerável caso os haja registros errôneos nos sistemas de informação da companhia.

Uma vez obtidos os resultados da simulação, estes sustentarão um relatório que terá por objetivo apontar as causas, freqüências e impactos operacionais dos eventos ferroviários simulados.

1.4 FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES

Os primeiros estudos que buscavam entender como e quando descarrilamentos ocorriam se deram em 1896, sendo que hoje há muitos trabalhos com o mesmo propósito (ZHOU e ZHANG, 2010). Na China, por exemplo, existem estudos que exprimem, via simulação, a relação entre velocidade de tráfego e descarrilamento de trens em pontes ferroviárias

Logo, existem muitas maneiras de se perscrutar as causas de ociosidade, sendo que aquelas ocorridas na Guaíba têm uma causa fundamental e medidas corretivas e preventivas podem ser adotadas a fim de melhorar a confiabilidade da operação naquele local.

Destarte, as falhas nos viradores são decorrentes ou de problemas de manutenção, ou de obsolescência ou de falhas operacionais dos operadores e até de todos estes juntos.

Os defeitos decorrem ou de problemas de manutenção da via férrea, ou de manutenção dos vagões, ou de velocidade de tráfego e também de todos estes fatores juntos.

A hipótese a ser testada é se problemas de manutenção e de falhas operacionais são realmente expressivos como causas de ociosidade dos viradores.

1.5 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GERAL

Fornecer um conjunto de informações conclusivas que possibilitem tomadas de decisões fundamentadas na simulação congruente de um sistema real, a qual aponte as principais oportunidades de melhoria nos processos relacionados à descarga de vagões no Terminal da Ilha Guaíba.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Conhecer as causas e os impactos da ocorrência de acidentes ferroviários no Terminal Ilha Guaíba no que tange:

- A identificação dos eventos que mais participam das perdas operacionais, ou seja, as falhas mais significativas na operação do terminal;
- A partir dos resultados alcançados, propor a melhoria em fatores críticos do sistema.

1.6 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

O presente trabalho é aplicado à operação ferroviária no Terminal da Ilha Guaíba, com o propósito de explorar as causas de falhas operacional-mecânicas naquele lugar.

Tendo em vista que este trabalho tratará da análise quantitativa dos resultados de uma simulação de eventos discretos, as seguintes etapas deverão ser seguidas:

Segundo BANKS (1996), o processo de construção do modelo de simulação pode ser dividido nas seguintes fases:

Formulação do Problema – todo estudo deve iniciar com a definição clara e precisa do problema. É importante que tanto os usuários quanto o analista entendam e concordem com a formulação do problema.

Estabelecimento de objetivos e Plano de Projeto – os objetivos indicam as questões a serem respondidas pela simulação. Um plano de projeto com cronograma, recursos envolvidos e custos alocados também deve ser elaborado.

Elaboração do Modelo Conceitual – a construção de um modelo conceitual está relacionada mais à arte do que à ciência. É recomendável iniciar com um modelo simples e ir aumentando sua complexidade gradativamente. Outro fator é a interação com o usuário. O envolvimento do usuário final aumenta a qualidade e confiabilidade do modelo elaborado.

Coleta de Dados – existe uma interação constante entre a elaboração do modelo e a coleta de dados. Se a complexidade do modelo é alterada, a coleta de dados sofre mudanças. A coleta de dados toma grande parte do tempo de elaboração do modelo e, por esta razão, deve ser o mais cedo possível.

Codificação – desde que modelos de sistemas reais requerem um grande volume de informações a serem armazenadas e computadas, é necessário desenvolver um programa de computador. O analista deve decidir se irá desenvolver um programa específico ou utilizar pacotes de simulação. Desenvolver um programa específico geralmente requer um tempo

maior enquanto a utilização de pacotes diminui o tempo de programação e agilizam a verificação do modelo computacional.

Verificação do Modelo Computacional – o programa desenvolvido deve ser testado para verificar se o modelo computacional executa a simulação e produz resultados correto. Nesta fase de homologação a participação do usuário junto com o analista agiliza a verificação e aumenta a confiabilidade do modelo desenvolvido.

Validação – corresponde a avaliar se o modelo elaborado é uma representação precisa do sistema real. A validação é geralmente obtida pela calibragem do modelo em um processo iterativo de comparação entre o comportamento do modelo e o sistema real corrigindo-se eventuais distorções. Este processo é repetido até que sejam alcançados resultados considerados aceitáveis pelos usuários.

Projeto Experimental – as alternativas que serão simuladas devem ser determinadas.

Geralmente a decisão relativa a quais alternativas simular devem ser função do número de execuções que serão completadas e analisadas. Para cada simulação
devem ser definidos os tempos de entrada em regime, tempo total de execução e número de replicações.

Execução da Simulação da Simulação e Análise – a simulação deve ser executada para que análises, através de técnicas estatísticas, possam ser realizadas.

Execuções Adicionais da Simulação – baseado nos resultados obtido, o analista deve decidir se há necessidade de execuções da simulação adicionais.

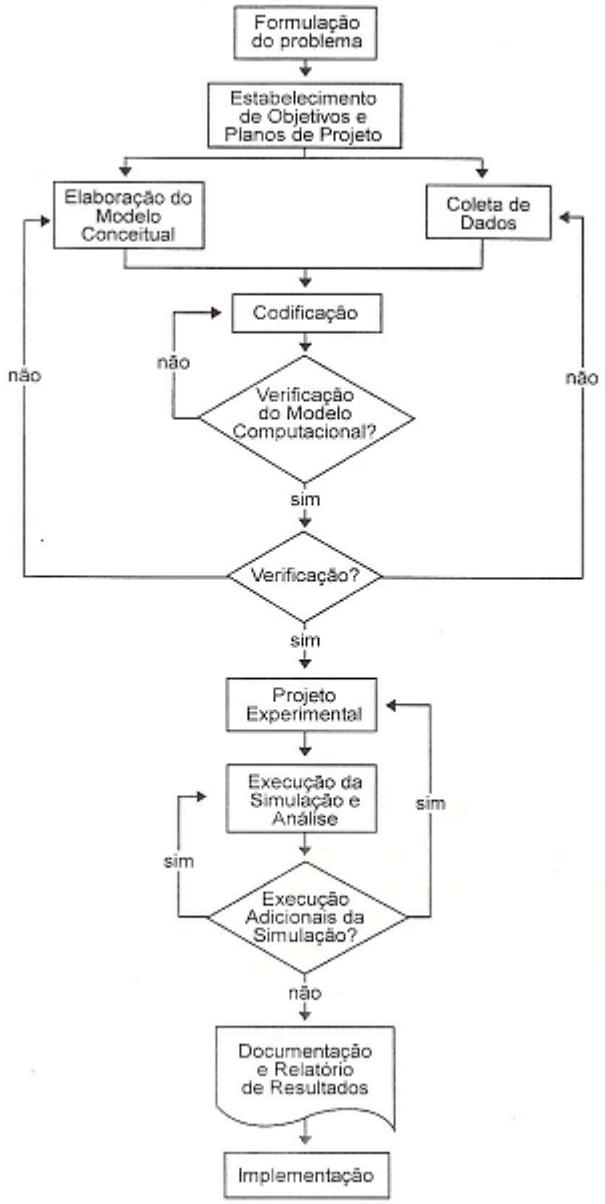

Figura 2 – Etapas de Simulação (extraído de Banks – 1996)

Documentação e Relatórios de Resultados – todos os programas devem ser documentados facilitando as manutenções futuras e o entendimento dos usuários finais quanto à operação do modelo computacional desenvolvido.

Implementação – o sucesso da implementação depende de como as etapas anteriores foram executadas. A interação entre o analista da simulação e o usuário final também influencia diretamente a consistência e credibilidade do modelo aplicado.

Destarte, obtidos e validados os resultados da simulação do processo de ocorrência de acidentes ferroviários, serão elaborados os relatórios que proporão as conclusões e melhorias sobre a operação ferroviária no Terminal da Ilha Guaíba.

1.7 ESTRUTURA DO TRABALHO

O capítulo primeiro deste trabalho trata de apresentar as motivações que levaram à realização do mesmo, a caracterização do problema, o escopo e metodologia a serem aplicados.

Já o segundo capítulo confronta as fontes de pesquisa consultadas, salientando contribuições e limitações das mesmas na elaboração deste trabalho. No terceiro capítulo, é mostrada mais profundamente a teoria de Simulação presente nas atividades e estruturação das informações coletadas de forma a bem conduzir a construção do modelo fidedigno ao processo real.

No quarto capítulo se discorre sobre os resultados obtidos, bem como serão analisados os relatórios gerados pelo software Arena®. Por fim, no quinto capítulo são delineadas as conclusões e possíveis decisões a serem tomadas com o intuito de melhorar a operação ferroviária no Terminal da Ilha Guaíba.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 REFERENCIAL TEÓRICO

A essência da modelagem de simulação é a caracterização de objetos da vida real como um conjunto de entidades abstratas, o relacionamento entre estas entidades e um conjunto de mapeamentos que dão uma interpretação real às entidades abstratas.

A simulação, como técnica de pesquisa operacional, consiste na experimentação numérica com modelos lógico-matemáticos, com o objetivo de estimar parâmetros relativos ao desempenho de sistemas descritivos por estes modelos (GARCIA, 2005).

A técnica de simulação pode ser definida como sendo uma imitação de um processo ou sistema do mundo real através do tempo (BANKS, 1984). Por ser realizada manualmente ou por recursos computacionais, a simulação cria uma história artificial do sistema e a observação desta história para que sejam realizadas inferências relativas às características operacionais do sistema. O uso da simulação é indicado em função da complexidade do problema e da dificuldade de se obter um modelo matemático simples para o sistema em estudo (DE OLIVEIRA, 1994). A modelagem é um dos processos básicos para a obtenção de conhecimento sobre a operação do sistema e nos permite explorar diversos cenários.

Ela deve servir como uma aproximação bastante precisa do sistema real e também conter aspectos que lhe são importantes. Em uma simulação, quanto mais precisos forem os dados de entrada do problema, mais eficiente será a simulação, conseqüentemente seus resultados mais se aproximarão da situação real, tornando-se uma eficiente ferramenta de tomada de decisão (DE OLIVEIRA, 1994).

Em tais modelos representa-se a evolução do sistema ao longo do tempo, sendo essa evolução dependente da solução adotada, a qual se pretende avaliar. Durante a simulação, vão-se compilando as estatísticas de funcionamento relevantes para a avaliação do desempenho da solução adotada. Deste modo, a simulação do sistema passa a corresponder a uma perspectiva experimental da abordagem escolhida para resolver o problema.

A simulação permite ultrapassar limitações dos modelos de resolução direta. Inúmeras vantagens com relação a outros métodos de Pesquisa Operacional podem ser citadas, dentre elas destacam-se a simplicidade e a flexibilidade. A técnica permite modelar o comportamento de sistemas de qualquer grau de complexidade, com um nível de detalhes

mais ajustado a cada caso, e não é necessário, em geral, fazer hipóteses simplificadoras que podem em alguns casos comprometer a validade desses modelos.

Para a construção de um modelo é necessário um perfeito conhecimento do problema. O analista deve possuir um domínio completo do conceito, escopo e componentes do sistema. Um sistema é definido como um grupo de objetos com interação e interdependência em torno de um determinado propósito (BANKS, 1984). O escopo é determinado através dos limites do sistema estabelecidos dentro de um ambiente.

O Estado do Sistema indica a situação em que ele se encontra num certo instante, a qual é aferida através de uma variável ou conjunto de variáveis. O espaço de estados é o conjunto de valores possíveis, obtidos a partir de observações sobre sua performance. Para a obtenção destes valores todos os dados relativos ao início, execução, funcionamento, tempo de duração e término de todas as atividades envolvidas no processo de atendimento deverão ser obtidas e avaliadas, em intervalos regulares de tempo. A mudança de estado pode ser, de certa forma, monitorada.

Os Elementos a serem utilizados neste problema, são todos os recursos materiais, humanos e de infra-estrutura envolvidos num processo de atendimento pré-hospitalar móvel de urgência. Cada elemento possui características próprias que o descrevem, denominadas atributos.

Os Atributos podem estar correlacionados uns aos outros. A diferença verificada no valor do atributo pode causar uma mudança no estado do sistema. O tempo decorrido entre um determinado estímulo e uma mudança significativa de estado é uma das variáveis importantes para avaliar as performances dos cenários.

Variáveis são valores cujo comportamento desejamos observar ao longo do tempo. As variáveis podem ser endógenas, quando determinadas internamente no sistema, ou exógenas, quando não são determinadas internamente, sendo também chamadas independentes. As variáveis exógenas podem ser, ou não, controláveis no processo de atendimento. Neste caso, sendo denominadas variáveis de controle. Denominamos parâmetros aos valores que permanecem constantes durante a execução da simulação. A mudança nos valores dos parâmetros afeta o comportamento do sistema.

Entidades são pessoas ou objetos envolvidos no processo de atendimento. Exemplos de entidades são pacientes, atendentes da central de atendimentos, ambulâncias, médico, entre outros. As entidades podem ser individuais ou grupais. Embora entidades sejam individualmente identificáveis, podem ser agrupadas em classes de entidades semelhantes.

Atividades são operações e/ou procedimentos que têm uma duração de tempo e que requerem a disponibilidade de várias entidades envolvidas. Para o início de uma atividade é necessário que as condições mínimas sejam satisfeitas. Evento é considerado como o instante de tempo no qual entidades trocam de estado.

Conforme (DE OLIVEIRA, 2004) os relacionamentos dos componentes ocorre da seguinte forma:

ENTIDADES possuindo

ATRIBUTOS interagem nas

ATIVIDADES sob certas condições gerando

EVENTOS que modificam o

ESTADO DO SISTEMA

Sistemas podem ser categorizados como discretos ou contínuos. Na realidade poucos sistemas podem ser considerados na prática como sendo puramente discretos ou contínuos, porém algumas características predominantes permitem que se faça esta classificação.

Uma simulação a eventos discretos é aquela em que a mudança de estado ocorre em um conjunto de pontos específicos ao longo do tempo, podendo ser determinado pela ocorrência de eventos (SALIBY, 1989). Em uma simulação contínua, as variações de estado são contínuas, muito embora ela seja feita a pequenos intervalos de tempo, por imposição do método empregado e do próprio computador. A simulação contínua é muito útil no estudo de sistemas descritos através de equações diferenciais. Outra aplicação importante refere-se à simulação de processos contínuos, como é o caso da operação de refinarias de petróleo. Tal como ocorre na simulação a eventos discretos, sua aplicação prática tem sido cada vez maior.

Com relação ao comportamento das variáveis do sistema podemos classificar os modelos como sendo determinísticos ou probabilísticos. Os modelos determinísticos são aqueles cujas todas as variáveis presentes são também determinísticas. Em contra partida, os modelos probabilísticos baseiam-se numa descrição mais próxima da realidade e contém uma ou mais variáveis aleatórias, cujo papel, numa simulação, será representado através de amostras. Nesse sentido, o processo de amostragem tem por objetivo reproduzir, de maneira mais precisa possível, o comportamento probabilístico destas variáveis.

Para realizarmos uma simulação devemos também fazer uma distinção entre sistemas terminais e não terminais. Um sistema terminal é aquele que roda durante um determinado período de tempo e um evento específico causa o término da simulação.

Este tipo de sistema possui condições iniciais bem definidas e o seu término pode ser previamente determinado ou vinculado a um evento específico. Já um sistema não terminal roda continuamente ou pelo menos por um longo período de tempo.

No caso dos sistemas terminais, a utilização do método de replicações independentes, onde a simulação é repetida por um determinado número de vezes e, a cada rodada, uma semente diferente é utilizada na geração dos números aleatórios das distribuições de probabilidade do modelo (BANKS, 1984). Com este modelo os resultados de cada replicação são coletados e correspondem a uma observação estatisticamente independente. Desta forma podemos empregar métodos estatísticos para análise dos resultados. Para os sistemas não terminais, devem ser feitos estudos para determinar o período de tempo necessário para que o sistema atinja uma fase estacionária em que seu comportamento possa ser analisado e a partir de então, as estatísticas dos resultados possam ser coletadas. Esse procedimento é comumente chamado de aquecimento do sistema.

Quanto à geração dos números pseudo-aleatórios usados na Simulação, são números gerados pela aplicação seqüencial de procedimentos algébricos determinísticos, mas que, para todos os efeitos práticos, têm as mesmas características dos números aleatórios (DE OLIVEIRA, 2001). Isto significa que apresentam uma distribuição uniforme e uma independência que podem ser confirmadas por testes estatísticos e, assim, apesar da seqüência gerada não ser de fato aleatória ela aparenta ser.

É desejado que o processo geral de geração de números pseudo-aleatórios de uma determinada distribuição possua:

Uniformidade: os números gerados se distribuem uniforme e continuamente no intervalo [0,1].

Independência: impossibilidade de previsão de um número da seqüência a partir do conhecimento do número anterior, a não ser que se conheça o código gerador.

Ausência de tendências: a geração de cadeias monotonamente crescentes ou decrescentes não deve seguir padrões excessivamente longos ou curtos, ou mesmo padrões cíclicos (como vários números acima da média seguidos por vários números abaixo da média).

Ciclos longos: sempre que na seqüência de números voltar a surgir algum número já gerado previamente, exatamente a mesma cadeia de números, a parti daquele valor, será gerada e este ciclo se repetirá indefinidamente. Neste caso diremos que a seqüência se degenera quando começa a repetir números. O comprimento do ciclo é chamado de período de um gerador, sendo que o gerador deve produzir uma quantidade razoável de números antes de começar a se repetir.

Replicação controlada: podem-se gerar seqüências diferentes a partir de valores iniciais diferentes denominadas sementes. Para sementes iguais geram-se seqüências iguais.

As propriedades computacionais desejáveis para um método de geração de números pseudo-aleatórios são:

- Alta velocidade de geração
- Baixo consumo de memória
- Facilidade de implementação
- Facilidade de utilização

As duas grandes famílias mais conhecidas de métodos de geração de números pseudo-aleatórios são os métodos de partição da palavra e os métodos congruenciais.

Existem muitas literaturas específicas que abordam esse assunto, como em (DE OLIVEIRA, 2001). Geradores de números aleatórios mais recentes são baseados no uso de números congruentes. Por isso, aqui será apenas descrito o Método Congruencial.

Suponha que tenhamos três números inteiros a, b e m, com $m > 0$. Toda vez que a diferença (a-b) seja múltiplo inteiro de m, ou seja, $(a-b) = k \cdot m$ (k inteiro) diremos que a e b são congruentes módulo m. Denotando esta relação por $a \equiv b \pmod{m}$ (lê-se "a é congruente a b módulo m") temos, $\forall\ a, b, m \in Z, m > 0, a \equiv b \pmod{m} \Leftrightarrow (a-b) = k \cdot m, k \in Z$ a mod b = resto da divisão inteira de a por b.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 DESCRIÇÃO DO PROTOCOLO DE PESQUISA

De acordo com os padrões de pesquisa que regem este trabalho, o mesmo enquadra-se em uma natureza aplicada, pois o modelo de simulação foi criado de forma a representar especificamente o processo de descarga de minério de ferro nas máquinas usadas para este fim, os viradores do terminal da Ilha da Guaíba.

Os objetivos são de cunho descritivo-exploratório, pois o modelo foi construído com o propósito de reconstituir e analisar a chegada de trens na Guaíba, a espera por vaga em um dos dois viradores, a descarga de minério de ferro e suas respectivas falhas e, por fim, a partida dos trens vazios do local.

Ao final da execução da simulação do processo, exploraram-se as oportunidades de melhoria no mecanismo de descarga a partir da interpretação dos dados reportados.

Por conseguinte, abordagem deste trabalho foi quantitativa, já que pela classificação do protocolo de pesquisa, o método usado, Simulação de Eventos Discretos, é um modo de avaliação numérica das saídas do modelo construído.

Destarte, a pesquisa foi válida, pois pode servir de guia para outros trabalhos acadêmicos com aplicação similar.

3.2 DESCRIÇÃO DAS UNIDADES DE ANÁLISE

A MRS Logística possui uma ampla base de dados relativos à sua operação. Os mesmos geram informações concernentes aos resultados das atividades diárias, mensais e anuais.

Há um importante banco de dados na companhia, que é referência para formulação de análises e projetos, tal recurso foi o provedor das informações relativas à chegada, ao tempo de permanência e de descarregamento de trens no Terminal da Ilha da Guaíba.

No entanto, devido a parâmetros de configuração do próprio banco de dados, não há registro das ocorrências de falhas nos viradores do terminal. Desta forma, uma segunda fonte de dados teve que ser obtida, de forma a prover os registros dos principais eventos causadores de parada de trens e, consequentemente, de perdas à operação da companhia.

Esta base foi encontrada nos registros da Estação Ferroviária de Brisamar, pertencente à MRS, no município de Itaguaí-RJ. Tal estação tem uma participação mais ativa nas operações da companhia na Guaíba, pois nela estão sediados os maquinistas e auxiliares de maquinistas que conduzem os trens ao terminal e, é também a Estação de Brisamar, que possui um maior contato com as pessoas ligadas à operação dos viradores na ilha, que é de responsabilidade da Vale.

Uma vez obtidas as bases de dados, foi identificado um complicador, os registros de falhas não eram exatamente específicos de cada evento de falha, traziam o tempo total de cada tipo de falha acumulado em um dia. Assim, em casos em que um problema havia ocorrido mais de uma vez, tinha-se perdido a riqueza de detalhes ao nível de ocorrências individuais.

Contudo, mesmo não sendo uma base de dados mais detalhada, os registros de falhas oriundos da Estação de Brisamar foram vitais, pois a realização de várias visitas para coletar uma relevante massa de dados seria inviável devido a questões de disponibilidade de tempo e outros recursos.

Destarte, foram coletados registros relativos a um período de seis meses, com início em outubro de 2009 e término em março de 2010. Estes registros foram provenientes,

obviamente, do banco de dados corporativo e daquele oriundo da estação ferroviária supracitada.

Posteriormente, foi construído um modelo rude do processo de descarga no Terminal da Guaíba, com base nas primeiras análises dos dados coletados. Mais adiante, o discente realizou uma viagem de trem, partindo da Estação de Brisamar com destino à Ilha da Guaíba.

Nesse período, foram coletadas informações junto às pessoas que vivenciam o processo de condução de trens e descarga, o que foi de suma importância para ajustes ulteriores.

Figura 3 – Ponte ferroviária do Terminal da Ilha Guaíba

Figura 4 – Vista dos viradores do Terminal da Ilha Guaíba

Figura 5 – Virador 1 do Terminal da Ilha Guaíba

O próximo passo foi o de refinar o modelo e medir sua aderência ao processo real. O modelo finalizado obteve a configuração a seguir:

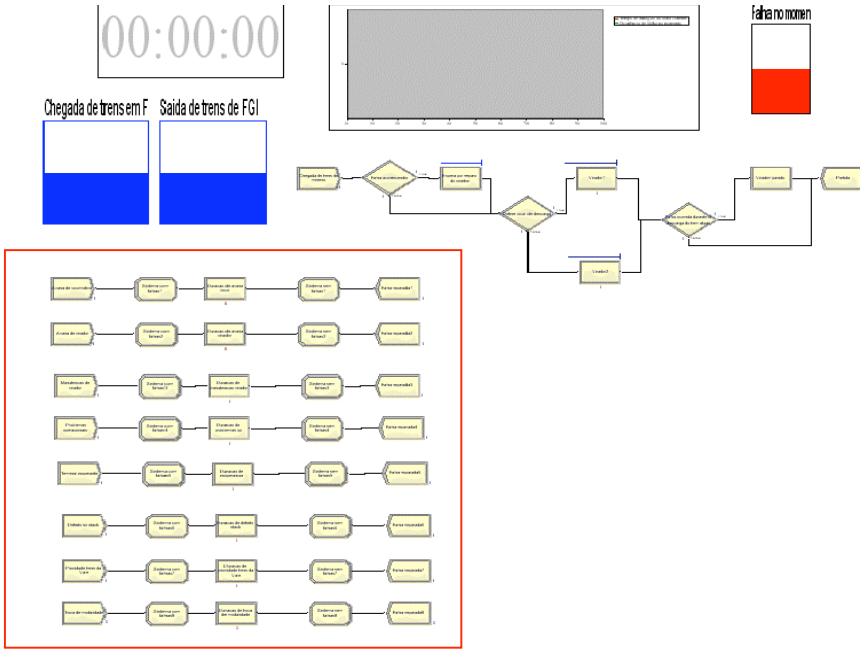

Figura 6 – Modelo da operação do Terminal da Ilha da Guaíba

O retângulo em vermelho realça as oito causas de falhas contidas nos registros: avaria de locomotiva, avaria de virador, manutenção de virador, prioridade de trens da Vale, problemas operacionais, terminal inoperante, troca de modalidade e defeito no stacker. Os demais diagramas representam o processo de chegada, descarga e partida de trens do Terminal da Guaíba.

Conforme a estrutura do software Arena®, a ocorrência das oito falhas e a chegada de trens no modelo seguem a expressão dada a eles nas caixas *create*, que são nada mais do que unidades dentro do modelo responsáveis por lançar novas entidades dentro do mesmo.

As entidades que representam as falhas, bem como as que representam os trens modificam o modelo durante o tempo em que ficam dentro do mesmo. Este tempo é gerado por outra unidade do software que pode ser um *process* ou um *delay*, que, especificamente, fazem com que as entidades que por eles passem, fiquem no sistema o tempo por eles determinados.

Com relação aos tempos entre chegadas, as distribuições de probabilidade representativas de cada entidade (trens e demais falhas), estas foram obtidas através das análises dos dados coletados. O software Arena® possui uma ferramenta, o Input Analyzer®, a qual realiza tais verificações.

Através dessa ferramenta são identificadas as distribuições de probabilidade que mais se ajustam ao padrão dos dados relativos aos tempos entre chegadas e à duração de

processos. As distribuições identificadas pelo Input Analyzer® podem ser (KELTON, SADOWSKI e SWETS, 2009):

- Beta: Usada em modelos rudes em caso de ausência de dados, possui parâmetros de forma β e α;

- Erlang: Usada para descrever atividades ocorridas em sucessivas fases exponenciais com média $k\beta$ e variância $k\beta^2$;

- Exponencial: Aplica-se para tempos entre eventos aleatórios ou ocorrência de falhas com média β horas;

- Gamma: Usada geralmente para descrever o tempo necessário para concluir uma dada tarefa, a média é $\alpha\beta$ variância $\alpha\beta^2$ horas;

- Lognormal: Usualmente aplicada a situações em que o tempo de tarefas é assimétrico à direita do gráfico da função. A média é representada por μ e desvio σ;

- Normal: Usada em situações onde se aplica o Teorema Central do Limite com média μ e desvio σ;

- Triangular: Aplica-se a casos em que a real distribuição dos dados não é conhecida com valores mínimo "a",máximo "b" e moda "m";

- Uniforme: Usada quando a distribuição dos dados é finita, todos eles são igualmente prováveis e há falta de informação. Os parâmetros são os valores mínimo (a) e máximo (b);

- Weibull: Aplica-se a modelos de confiabilidade de equipamentos para representar o "tempo de vida" de um dispositivo, com parâmetro de escala β e de forma α.

Neste trabalho, segundo critério formulado pelo pesquisador, para descrever o comportamento de cada entidade no modelo, a distribuição indicada pelo Input Analyzer® foi aceita se tivesse um erro quadrático menor do que 10% e um *p-value* no Teste de *Kolmogorov-Smirnov* maior ou igual a 5%.

Assim, para chegada de trens obteve-se o resultado a seguir:

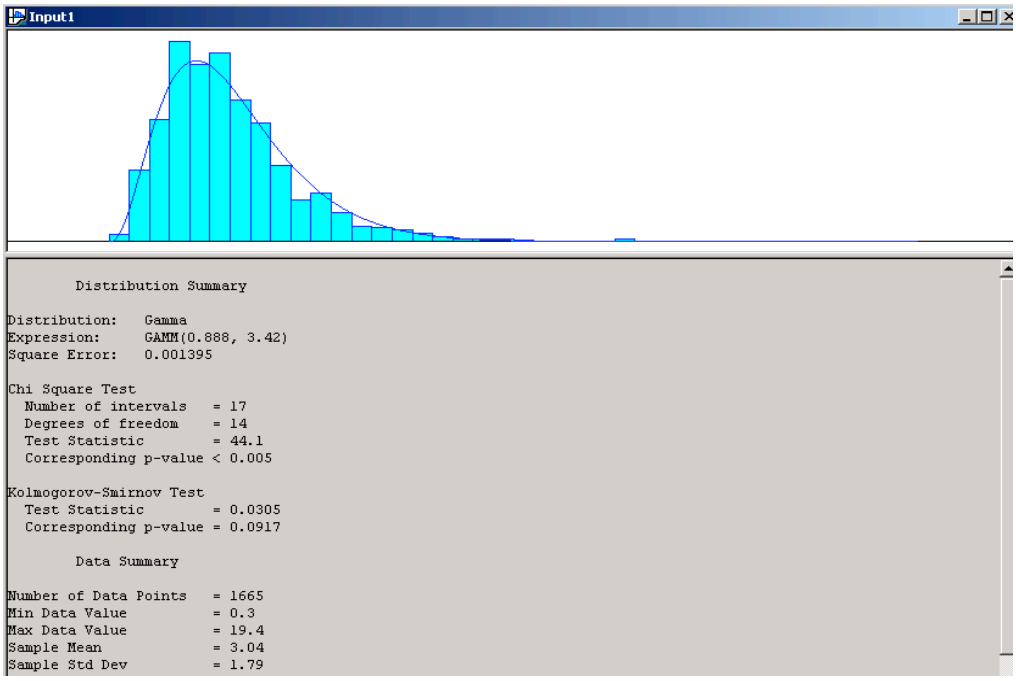

Figura 7 – Distribuição de probabilidade da chegada de trens

Logo o tempo, em horas, entre chegadas de trens pode ser descrito por uma distribuição Gamma de parâmetros 0,888 e 3,42 horas e, conforme os critérios adotados neste trabalho, uma vez que o erro quadrático foi menor do que 10% e o *p-value* no teste *Kolmogorov-Smirnov* foi maior do que o nível de significância de 5%, a distribuição proposta foi realmente aceita.

Para determinar qual distribuição de probabilidade melhor representava o tempo do processo de descarga dos trens, houve um óbice. Como dito anteriormente, devido a parâmetros de configuração do banco de dados corporativo da MRS, não há identificação dos momentos em que ocorreram falhas na descarga dos vagões, ou seja, os tempos de descarga coletados possuíam "ruídos".

Entretanto, quando não é possível obter os dados puros para uma análise, ou quando não é possível encontrar uma distribuição de probabilidade adequada, deve-se confiar em considerações e estimativas justas sobre o processo real (KELTON, SADOWSKI e SWETS, 2009). Os dados assim utilizados podem ser chamados de "ad hoc", ou seja, feitos para este propósito. Neste caso, há de se ter um pouco mais de cuidado sobre os resultados obtidos a partir dessas informações, que devem ser apurados através de uma ponderação sensível e de uma validação por pessoas que realmente conhecem o processo (KELTON, SADOWSKI e SWETS, 2009).

Sendo assim, segundo relatos de maquinistas, colaboradores do terminal e outros profissionais que lidam com informações sobre o tempo de descarga, verificou-se que este

variava entre 2:20h a 3:00h, o que foi refinado pela comparação com a base de dados da companhia, cuja distribuição tinha o primeiro quartil em 2:03h e o terceiro em 2:30h.

Assim, decidiu-se que o tempo de descarga em qualquer um dos dois viradores do terminal teria uma distribuição de probabilidade uniforme entre 2:03h e 2:30h.

No que tange as falhas operacionais, as análises foram as seguintes:

Para as avarias de locomotivas, o tempo, em horas, entre as ocorrências deste tipo foi identificado como exponencialmente distribuído com média de 336 horas, sendo que esta pôde ser aceita face os critérios de erro quadrático menor do que 10% e *p-value* maior do que 5% no Teste *Kolomogorov-Smirnov*.

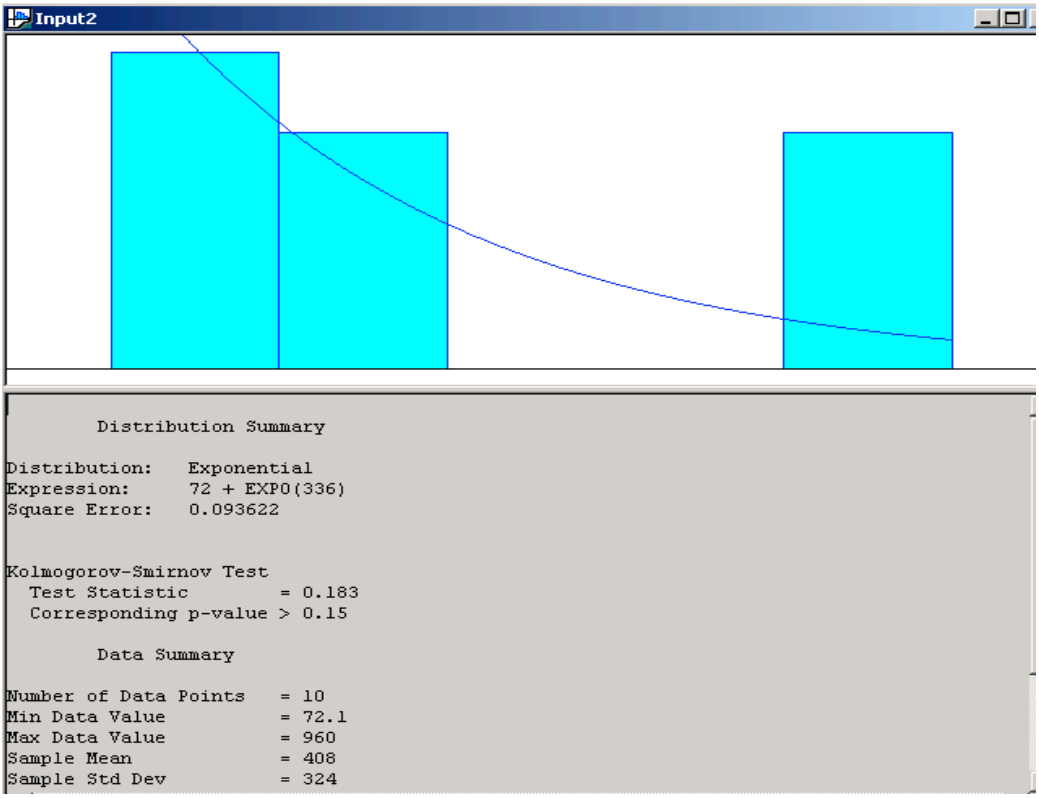

Figura 8 – Distribuição de probabilidade da freqüência de falhas de locomotiva

Já o tempo em que esta falha persiste no sistema foi descrito como normal de média 0,998 e desvio de 0,418 horas. O que também foi aceito devido aos critérios adotados.

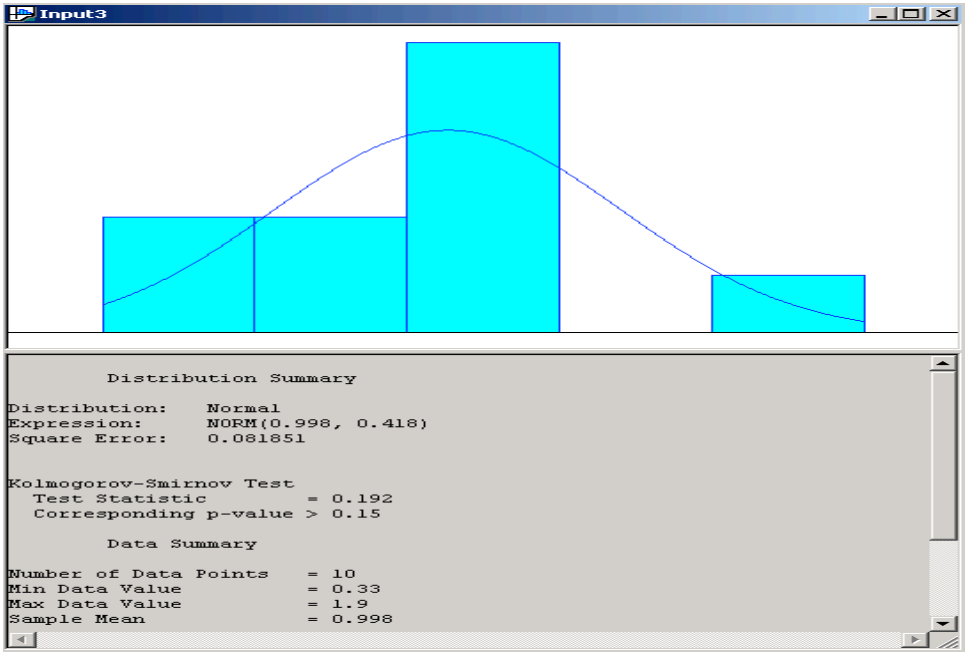

Figura 9 – Distribuição de probabilidade da duração de falhas de locomotiva

A segunda falha identificada foi avaria de virador, cujo tempo entre ocorrências foi exponencialmente distribuído com média de 276 horas. O tempo de duração desta falha no sistema foi uma distribuição Weibull com parâmetros 1,96 e 1,21.

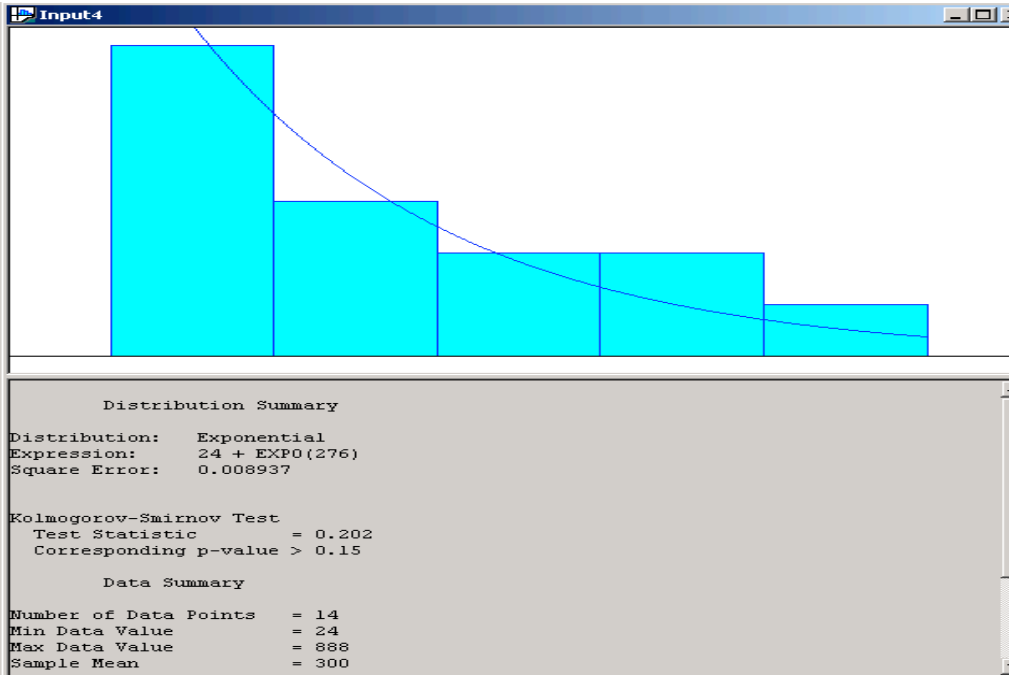

Figura 10 – Distribuição de probabilidade da ocorrência de falhas do virador

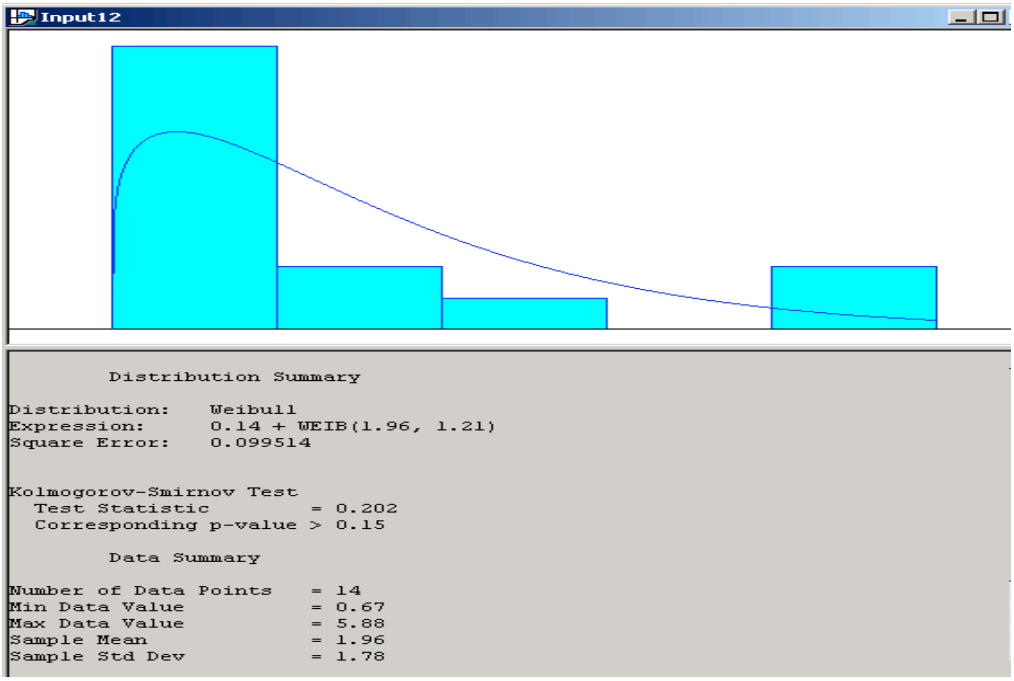

Figura 11 – Distribuição de probabilidade da duração de falhas do virador

A terceira falha encontrada na base de dados foi parada por troca de modalidade. A distribuição para o tempo entre ocorrências foi Weibull com parâmetro de escala 80,7 e parâmetro de forma de 0,674.

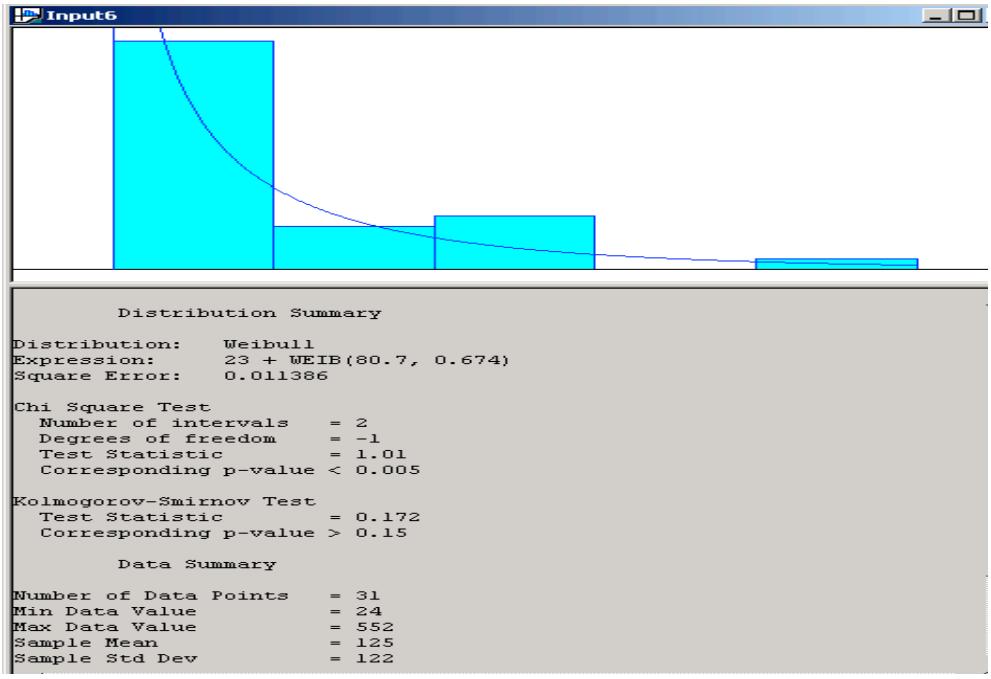

Figura 12 – Distribuição de probabilidade da ocorrência de troca de modalidade

Com relação à duração deste tipo de falha, esta foi identificada como uma distribuição Erlang de parâmetros 0,623 e 2 horas.

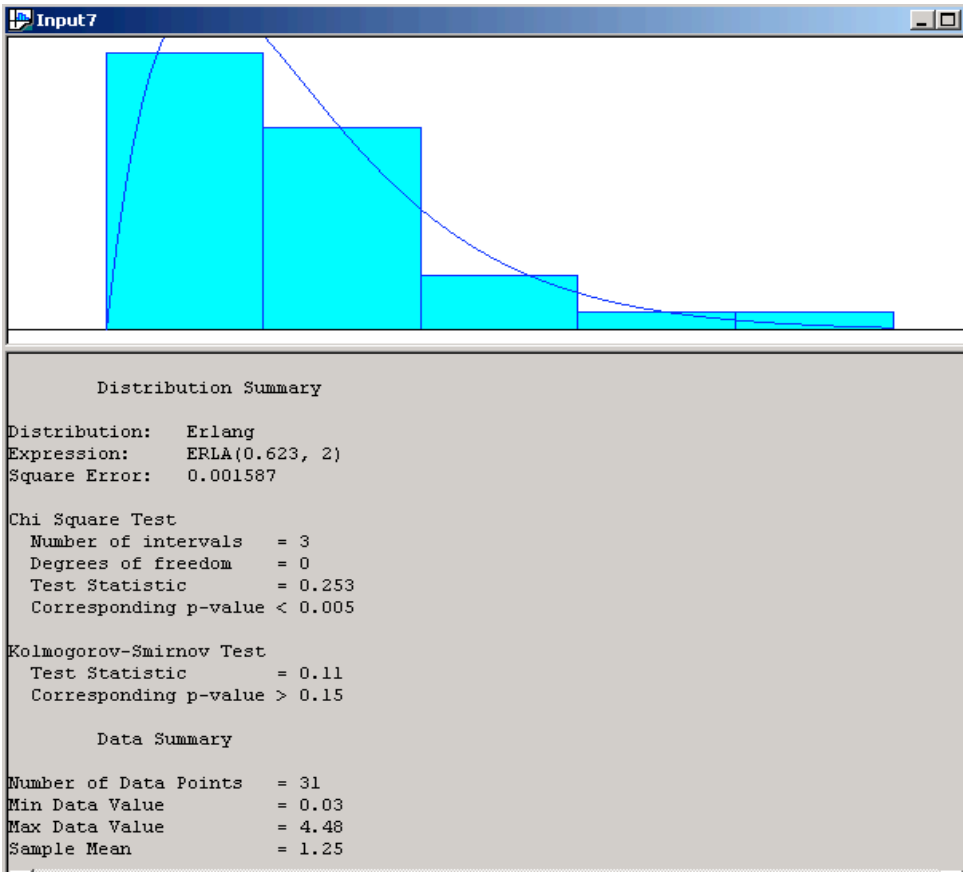

Figura 13 – Distribuição de probabilidade da duração de troca de modalidade

A quarta falha foi defeito no *stacker*. Os tempos entre ocorrências desta falha foram identificados como de uma distribuição Gamma de parâmetro de escala 292 e forma 0,548 horas. Já o tempo de duração desta falha no sistema foi distribuído conforme uma lognormal com parâmetros 1,31 e 0,817.

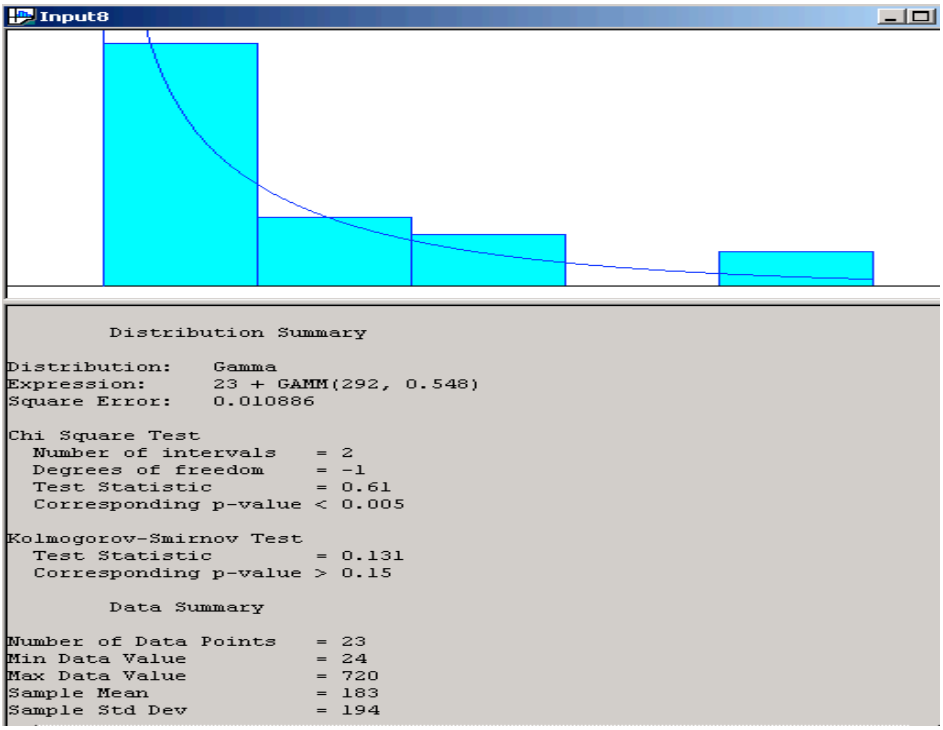

Figura 14 – Distribuição de probabilidade da ocorrência de defeito no *stacker*

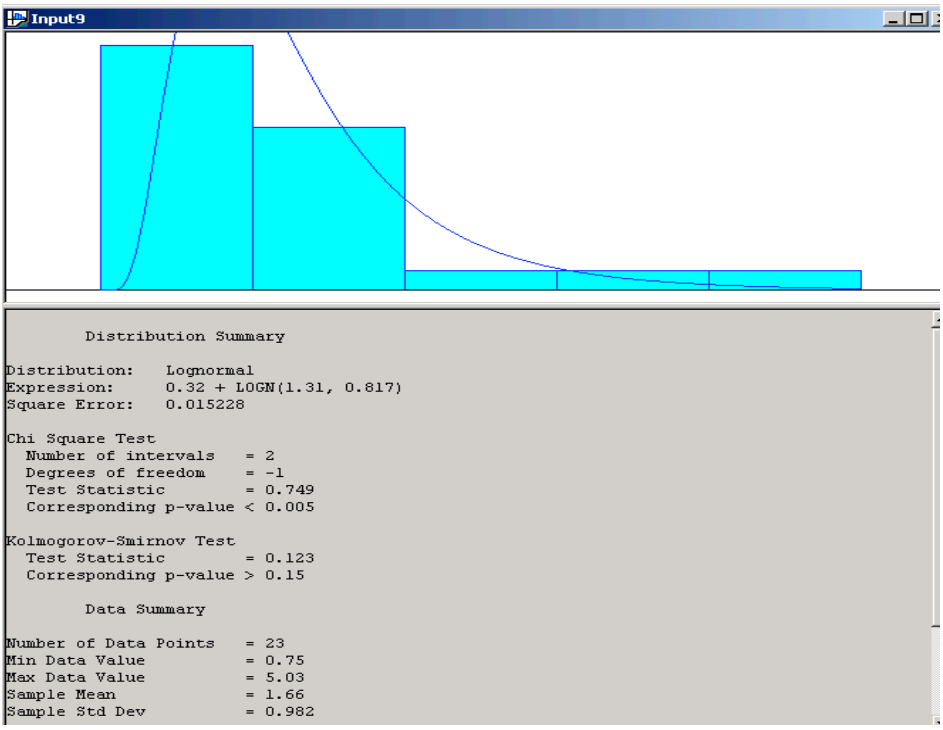

Figura 15 – Distribuição de probabilidade da duração de defeito no *stacker*

Na análise das outras quatro falhas identificadas, surgiu uma dificuldade. Mesmo tendo elas os maiores conjuntos de dados disponíveis, não foi possível encontrar para alguma delas, distribuições de probabilidade para os tempos entre ocorrências e de duração das mesmas, que atendessem os critérios de erro quadrático menor do que 10% e *p-value* maior do que 5% no Teste de *Kolmogorov-Smirnov*.

Destarte, para as seguintes causas de parada do virador ou não utilização pela MRS: manutenção, prioridade de trens da Vale, problemas operacionais e terminal inoperante, teve-se que adotar uma estratégia similar àquela para o tempo de descarga.

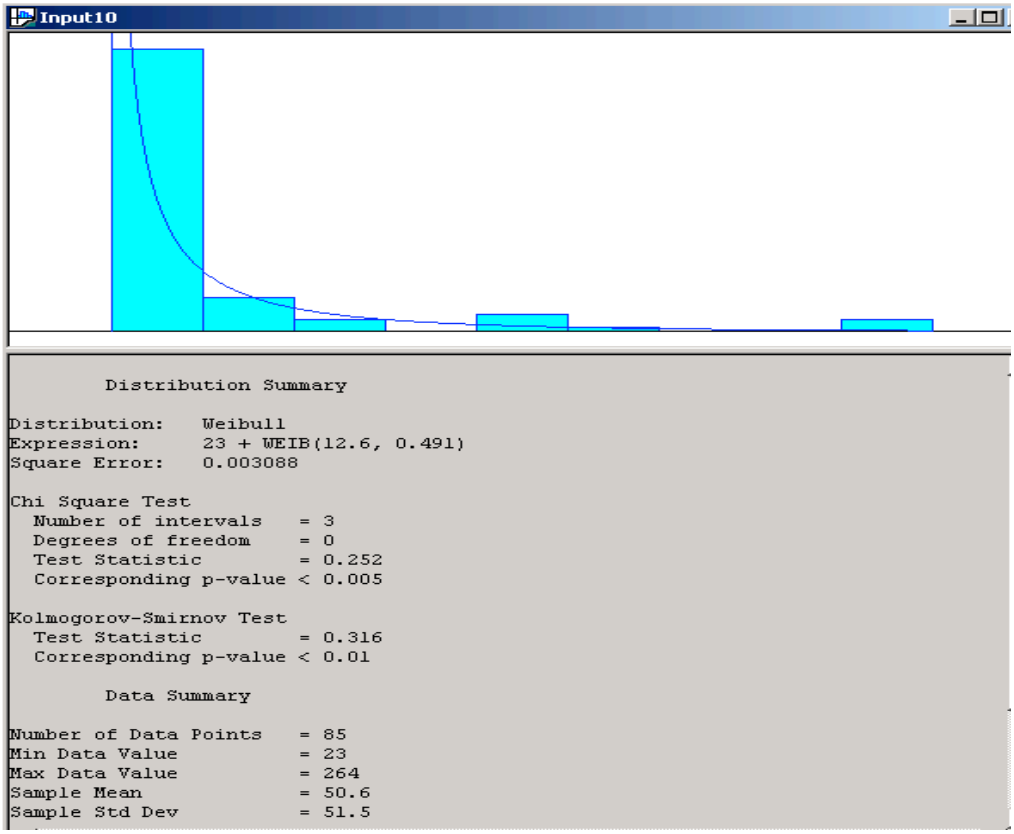

Figura 16 – Distribuição de probabilidade da ocorrência de inoperância de terminal

Nesses utilizaram-se para descrever tanto os tempos entre ocorrências, como as durações das falhas, distribuições triangulares. O motivo disto é que estas distribuições são apropriadas para situações em que não se tem muita certeza sobre a forma da distribuição mais apropriada (KELTON, SADOWSKI e SWETS, 2009).

Desta forma, algumas suposições podem ser feitas a respeito dos valores máximo, mínimo e mais comuns em cada tipo de evento analisado, através de uma distribuição que é mais simples de ser usada do que outros tipos de distribuições (KELTON, SADOWSKI e SWETS, 2009).

Por conseguinte, em relação às quatro causas restantes, segundo o histórico de dados, obtiveram-se:

Tabela 1 – Estatísticas básicas de causas de falhas

	Tempos entre ocorrências		
	Mínimo	Moda	Máximo
Manutenção de virador	23,86	25,00	48,38
Prioridade de trens da Vale	23,94	24,00	24,38
Problemas Operacionais	23,94	24,00	24,11
Terminal Inoperante	23,97	30,00	48,46
	Duração de ocorrências		
	Mínimo	Moda	Máximo
Manutenção de virador	2,625	3,00	13,49
Prioridade de trens da Vale	1,88	2,50	5,62
Problemas Operacionais	1,58	2,50	3,865
Terminal Inoperante	1,65	3,00	6,835

Estes valores foram considerados mediante a observação das estatísticas básicas de cada causa de falha: primeiro e terceiro quartis, moda, entre outras. Tal incitativa foi tomada a fim de excluir os *outliers* dos dados. Outrossim, as considerações feitas para o tempo de descarga com relação aos resultados assim obtidos, valem para estes casos.

Postas as análises dos dados de entrada, cabem algumas explicações em relação ao funcionamento do modelo.

Conforme as distribuições de probabilidade supracitadas, trens e falhas chegam ao sistema conforme suas características intrínsecas. Desta forma, quando um trem chega é preciso verificar se há alguma falha que deixa os viradores indisponíveis. Para isso, foi criada uma variável binária, que assume o valor 1 quando há qualquer tipo de falha ocorrendo.

Assim, através de um recurso do software Arena® chamado *hold*, as entidades "trem" ficam retidas neste estágio esperando que algum dos viradores volte a funcionar.

Após isso, o modelo designa os trens, logo que chegam, para um dos dois viradores. Esta designação se dá com base no histórico obtido na base de dados da MRS que registrou 64,93% dos trens sendo descarregados no virador 1 e 35,07% no virador 2. Isto se explica pelo fato de que alguns dos trens, devido à qualidade do minério que transportam, somente são descarregados no virador 2, em função deste ser mais eficiente. Logo, para a maioria dos trens, resta fazer a descarga no virador 1, mais antigo e satisfatório para minérios mais rudes.

Passado este ponto de definição sobre em que virador o trem sofrerá a descarga, esta ocorre de fato. Após o descarregamento do trem, uma outra variável do modelo é usada para que, tendo ocorrido alguma falha durante a descarga, o tempo que tal falha durou seja incorporado ao tempo de descarregamento do trem. Isto é feito, porque o tempo de operação dos viradores no modelo não inclui a ocorrência de falhas.

Assim, se houve falha durante o descarregamento, este tempo é incorporado ao tempo total do trem e este sai do sistema. Se não, o trem simplesmente vai embora após a descarga.

4 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS ALCANÇADOS

Posto isto, o modelo foi executado, simulando 180 dias de operação do Terminal da Ilha da Guaíba, com uma replicação.

Os resultados mostraram que 1425 trens entraram no sistema, com um tempo total médio de 4,73 horas, sendo que os trens que tiveram que aguardar reparo do virador, esperaram em média 2,11 horas até que a falha fosse solucionada. As falhas ou causas de paradas mais expressivas foram: manutenção do virador, prioridade de trens da Vale, problemas operacionais e terminal inoperante.

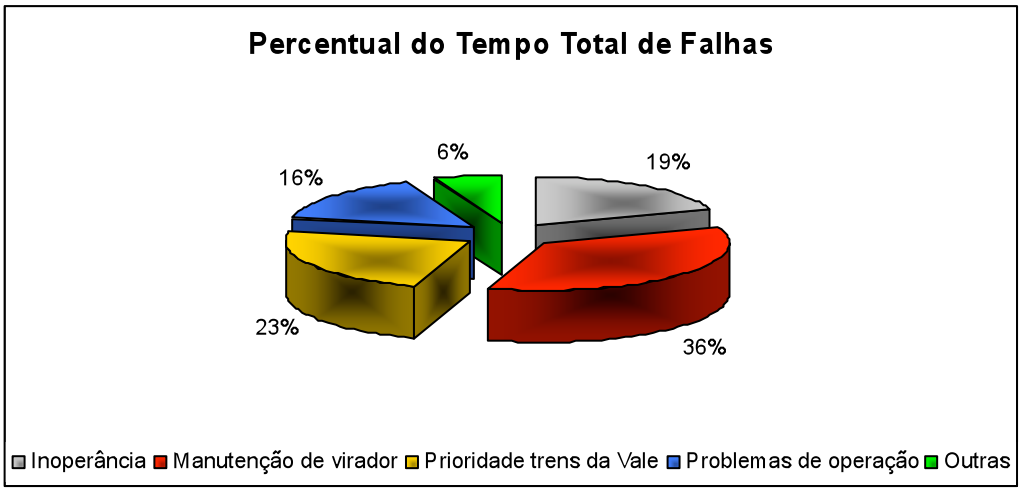

Figura 17 – Principais causas de falhas/paradas

Face esses resultados, foram propostos dois cenários de melhoria. O primeiro supondo uma negociação entre MRS e Vale, para que esta reduzisse em 10% a freqüência dos problemas mais expressivos. Uma segunda situação seria que a Vale reduzisse em 10% a duração dos problemas mais preponderantes. Nota-se que os dois cenários envolvem atribuições somente da Vale, uma vez que a simulação apontou que a única causa por parte da MRS, contida nos registros (avaria de locomotivas) não foi tão expressiva.

Desta forma, utilizou-se uma outra ferramenta do Software Arena®, o Output Analyzer®, para que se fizesse a comparação de um indicador registrado nas simulações do processo atual e dos dois cenários propostos. Este indicador foi a média do tempo total dos trens no sistema.

O procedimento é razoavelmente simples, a ferramenta avalia, para um nível de confiança de 95%, se os indicadores obtidos são realmente diferentes, ou seja, se cada cenário, de fato, representou uma mudança importante no processo.

Comparando o processo atual com o cenário de redução da freqüência de causas de paradas, obteve-se:

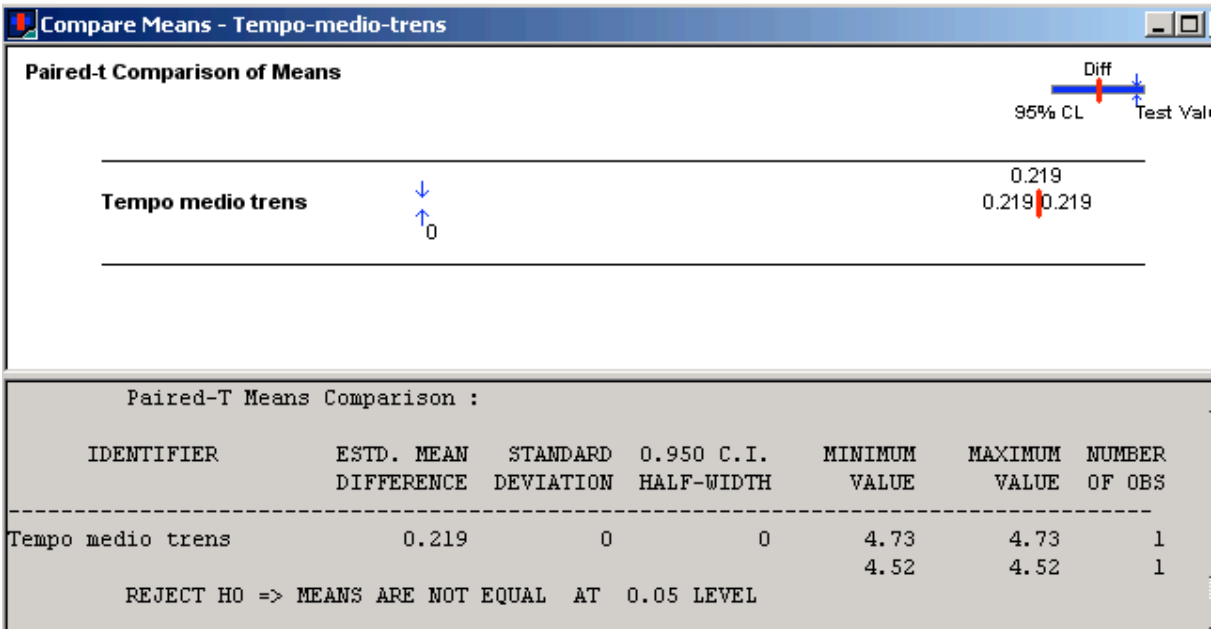

Figura 18 – Teste de hipóteses para indicadores do modelo atual e do cenário 1

Assim, o tempo total médio dos trens não é igual nas duas situações, ou seja, realmente, o primeiro cenário diminui o tempo do trens no sistema.

Uma outra análise foi comparar o segundo cenário com o sistema atual, logo:

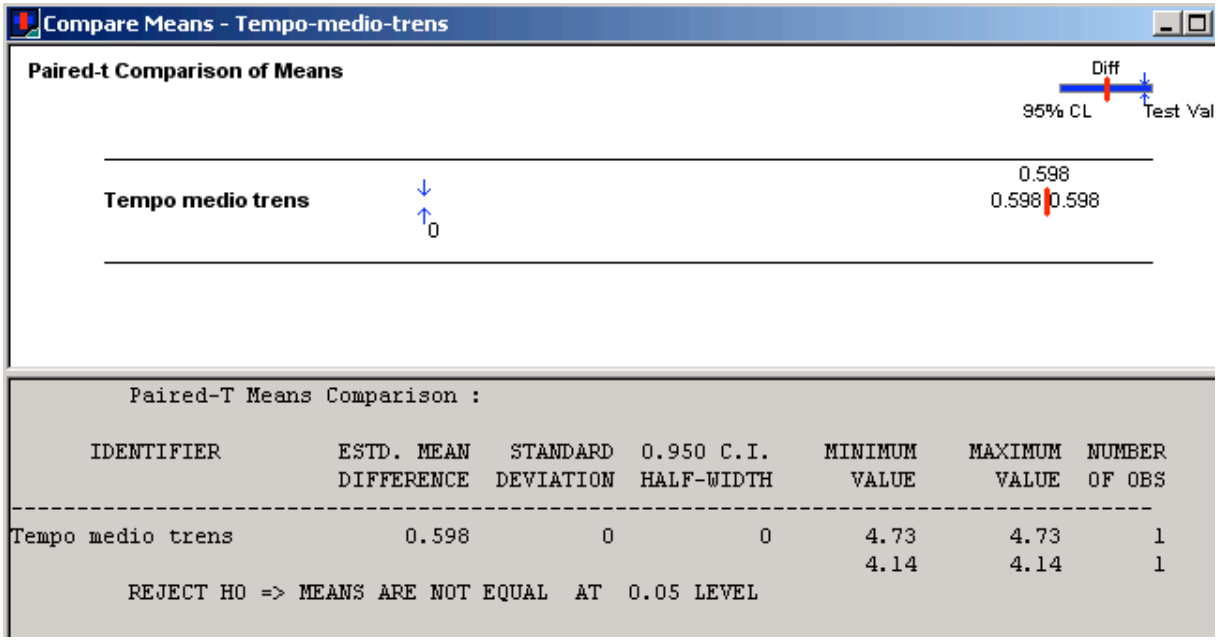

Figura 19 – Teste de hipóteses para indicadores do modelo atual e do cenário 2

Notou-se também que o segundo cenário, realmente, resulta em um tempo total menor do que aquele notado no sistema atual. Finalmente, verificou-se qual dos dois cenários propostos era melhor, assim:

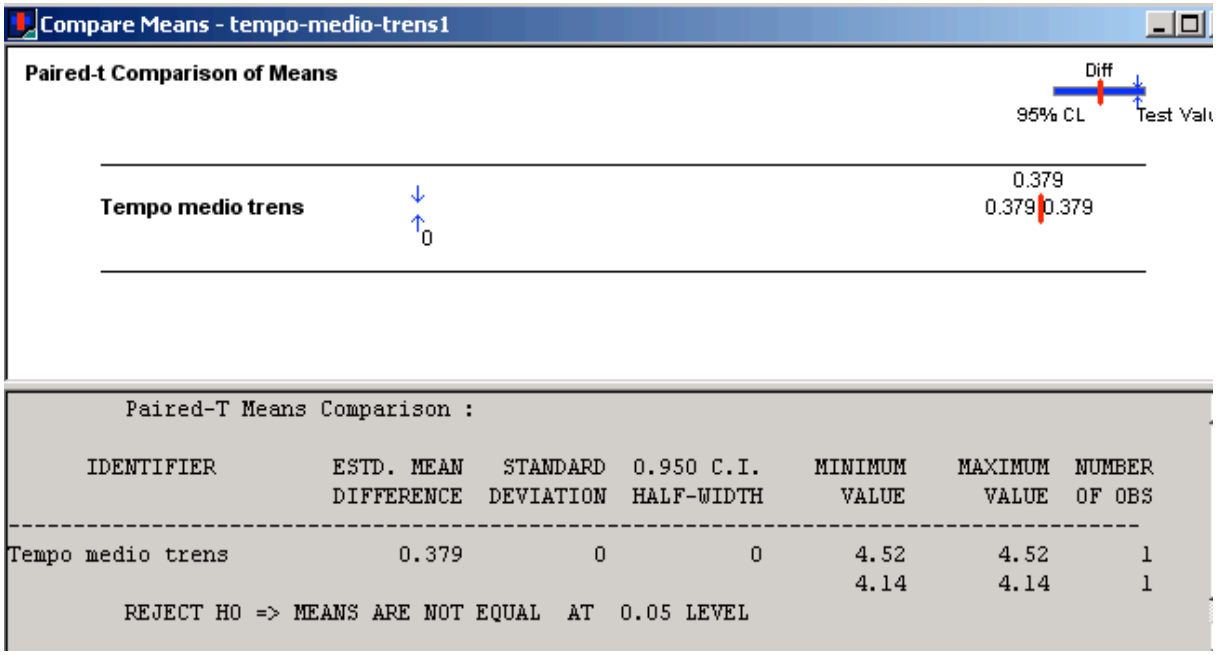

Figura 20 – Teste de hipóteses para indicadores dos cenários 1 e 2

Constatou-se que a média dos tempos totais dos trens não era igual nos dois cenários, logo, tendo como referência o indicador proposto, o segundo cenário com média de 4,14 horas contra 4,52 horas do primeiro, foi apontado como o melhor.

Por conseguinte, pode-se dizer que considerando os 1425 trens que entraram no modelo conforme o sistema atual, caso estes permanecessem no terminal por 4,14 horas em média -resultado do segundo cenário- ao invés de 4,73 horas conforme o modelo sem melhorias, ter-se-ia um ganho de 0,59 horas em média por trem. Assim, as 1425 entidades "trem" que passaram pelo processo poupariam um tempo total de 840,75 horas. Considerando um tempo médio de descarga de 2,5 horas, nos 180 dias de simulação, caso fosse praticada a política do segundo cenário, aproximadamente 336 trens a mais poderiam entrar e ser processados pelo sistema caso fosse desejado.

4.2 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

As quantificações apresentadas mostram perspectivas interessantes de mudança nas condições de operação dos viradores do Terminal da Ilha da Guaíba. Entretanto, algumas ressalvas devem ser feitas em relação aos resultados.

As causas de falha ou parada dos viradores mais expressivas tiveram que ter sua freqüência e sua duração estimadas, o que torna os valores obtidos questionáveis em um primeiro momento.

No entanto, comparando o tempo total médio dos trens processados pelo modelo com valores da base dados da MRS, notou-se que:

Os registros da companhia mostraram que de 1° de janeiro de 2010 a 30 de junho de 2010, 1416 trens entraram no terminal, sendo que o tempo médio de permanência naquele local foi de 5,10 horas. Confrontando estes valores com os resultados do modelo, notam-se, em iguais 180 dias, que 1425 trens foram processados com um tempo total médio no terminal de 4,73 horas, o que representa uma diferença de 0,63% entre o número de trens no sistema real e no modelo. Ademais, no que tange o tempo total médio no terminal, verificou-se uma diferença tolerável de 7,25% entre o modelo e o sistema real.

O critério adotado de suportar até 10% de erro quadrático na aceitação das distribuições de probabilidade identificadas e permitir somente um *p-value* no teste de aderência de *Kolmogorov-Smirnov* de no mínimo 5%, levou à rejeição de distribuições de probabilidade com baixo erro quadrático, mas com *p-value* inaceitável.

No entanto, a obtenção de informações junto de pessoas que conhecem a operação ferroviária da MRS e da Vale, auxiliou a fazer aproximações toleráveis para os eventos cujos dados não puderam ser representados mais apuradamente.

5 CONCLUSÕES

Face os resultados alcançados com o modelo, pode-se afirmar que para o sistema real de descarga de minério no Terminal de Ilha da Guaíba, o trabalho conseguiu simular, satisfatoriamente, os impactos das falhas operacionais naquele terminal à atividade fim da MRS Logística.

Adicionalmente, há de se fazer uma consideração em relação ao tema deste trabalho, que inicialmente, foi proposto para verificar o impacto de acidentes ferroviários, tais como descarrilamentos, à operação da MRS. Como mostrado, as bases de dados consultadas não apresentavam registros de descarrilamentos durante a descarga de minério. Logo, o foco de estudo foram falhas operacional-mecânicas, que como descarrilamentos geram perdas à operação ferroviária, mas que, conceitualmente, não são acidentes.

Não obstante, este trabalho, mesmo que impreciso no que tange os dados que não puderam ser mais bem reproduzidos, serve como um bom referencial para estudos e projetos de melhoria das operações no Terminal de Guaíba. Oportunamente, os processos de descarga naquele lugar poderão ser acompanhados e registrados mais detalhadamente, para que informações mais coerentes sejam obtidas por meio do aperfeiçoamento do modelo criado.

Desta forma, projetos com metas de melhoria arrojadas, tais como aqueles baseados na Metodologia Seis Sigma, por exemplo, têm na operação do terminal, uma grande oportunidade de atuação, principalmente no que cabe ao tempo de duração de falhas, como foi constatado neste trabalho.

REFERÊNCIAS

BANKS, J. e CARSON, J.S., 1984, *Discrete-Event System Simulation*, Prentice-Hall, Englewood Ciffs N.J.

PIDD, M., 1984, Computer Simulation in Management Science, 3 ed., John Willey & Sons.

DE OLIVEIRA, M.J.F., 2001, Uma Introdução à Simulação, COPPE/UFRJ/PEP/PO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DE OLIVEIRA, M.J.F., 2004b, Notas de aula da disciplina de Simulação, COPPE/UFRJ/PEP/PO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

DE OLIVEIRA, M.J.F., 1994, "A patient-oriented modeling of emergency admission system of a brazilian hospital", *EURO XIII*, Glasgow, July, pp.19-22.

FERREIRA FILHO, V.J.M., 2004, Notas de aula da disciplina Processos Estocásticos e Teoria de das Filas, COPPE/UFRJ/PEP/PO, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

GARCIA, L.C. e DE OLIVEIRA, M.J.F., 2005b, "A Teoria da Simulação a Eventos Discretos no Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU-192)". In: *VIII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha – Planejamento Estratégico*, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil, Agosto.

SINAY, M.C.F., 2004, "Modelagem de Filas a partir de Diagramas de Fluxos". In: XXX*VI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional – O Impacto da Pesquisa Operacional nas Novas Tendências Multidisciplinares*, Mini Curso, São João del-Rei, Minas Gerais, Brasil, Novembro.

TAVARES, L.V. et al, 1996, *Investigação Operacional*, Portugal, MacGraw-Hill.

LU, Q., DESSOUKY, M. e LEACHMAN, C., 2004, "Modeling Train Movements Through Complex Rail Networks", *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*, Berkeley, January, pp.48-75.

TICHON, J., 2006, "The use of expert knowledge in the development of simulations for train driver training", *Springer-Verlag London Limited*, Brisbane, November, pp.178-187.

BALLIS, A. e GOLIAS, J., 2001, "Comparative evaluation of existing and innovative rail-road freight transport terminals", *Transportation Research Part A, Athens*, April, pp. 593-611.

NETO, A. e PINTO, L., 2004, "Template do programa Arena para simulação das operações de carregamento e transporte em minas a céu aberto", *REM*, Ouro Preto, Janeiro, pp. 65-69.

LIN, E. e CHENG, C., 2009, "YARDSIM: A rail yard simulation framework and its implementation in a major railroad in the US", *Winter Simulation Conference*, Austin, December, pp. 2532-2541.

ZHOU, Z. e ZHANG, J., 2010, "Simulation and Analysis of Freight Train on Bridges", *Second International Conference on Computer Modeling and Simulation*, Sanya, January, pp. 295-299.

HILLIER, F. e LIEBERMAN, G., 2006, *Introdução à Pesquisa Operacional*, MacGraw-Hill.

KELTON, W., SADOWSKI, R. e SWETS, N., 2009, *Simulation With Arena*, MacGraw-Hill.

ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por f im, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral [1] e criminais previstas no Código Penal [2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, _____ de _____ de 20____.

_____	_____
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
_____	_____
ASSINATURA	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e con solida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.