UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Acacio Romeu Rodrigues Santos

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO GREEN FIELD: ANÁLISE DE FUNÇÕES DE ENTRADA

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Agosto de 2014

UNIVERSIDADE CANDIDO MENDES – UCAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Acacio Romeu Rodrigues Santos

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO GREEN FIELD: ANÁLISE DE FUNÇÕES DE ENTRADA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Cândido Mendes - Campos/RJ, como requisito parcial para obtenção do Grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Orientador: Prof. João José de Assis Rangel, D.Sc.

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
Agosto de 2014

S237s Santos, Acácio Romeu Rodrigues

Simulação de desempenho de um terminal portuário Green Field: análise de funções de entrada./ Acácio Romeu Rodrigues Santos. Campos dos Goytacazes, RJ: [S.n], 2014.
75 f

Orientador: João José de Assis Rangel
Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção l – Universidade Candido Mendes – Campos. Campos dos Goyta-cazes, RJ, 2013.
Bibliografia: f. 64-69.

1. Tecnologias da informação – simuladores. 2. Terminal portuário – Green Field. 3. Porto do Açú – gerenciamento de dados . I – Título.

CDU: 004.383.4:627.2 (815.3)

ACACIO ROMEU RODRIGUES SANTOS

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO GREEN FIELD: ANÁLISE DE FUNÇÕES DE ENTRADA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Cândido Mendes - Campos/RJ, como requisito parcial para obtenção do Grau de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO.

Aprovada em 29 de agosto de 2014.

BANCA EXAMINADORA

Prof. João José de Assis Rangel, D. Sc - Orientador
Universidade Candido Mendes

Prof. Eduardo Shimoda, D.Sc
Universidade Candido Mendes

Prof. Helder Gomes Costa, D.Sc
Universidade Federal Fluminense

CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ
2014

AGRADECIMENTO

Aos professores do Mestrado da Candido Mendes, pela paciência, pelo incentivo e por apontar direções.

Ao prof. Dr. Leonard Chwif, pela colaboração e pelos ensinamentos.

Ao meu colega de trabalho Alicio Vieira, que me ajudou nas rodadas de simulação.

A Manuela Laurindo, que me ajudou sem sequer me conhecer pessoalmente.

Aos meus colegas de mestrado que me ajudaram muito nos trabalhos e pesquisas.

À Manabi S.A. e à Vale S.A. pela permissão em usar dados de seu acervo.

RESUMO

SIMULAÇÃO DO DESEMPENHO DE UM TERMINAL PORTUÁRIO GREEN FIELD: ANÁLISE DE FUNÇÕES DE ENTRADA

O objetivo deste trabalho é demonstrar, usando modelo, que diferentes funções representativas dos intervalos de tempo entre as chegadas de navios a um terminal portuário impactam os resultados da simulação de seu desempenho operacional, podendo induzir decisões erradas num projeto completamente novo em implantação. Para proceder às simulações, é necessário adotar parâmetros para entrada de dados e estabelecer o método pelo qual os resultados serão analisados. Neste trabalho, o sistema adotado para análise utiliza um caso real elaborado para checar o desempenho de um terminal de uma empresa brasileira em implantação. O modelo utiliza a linguagem IDEF-SIM. Trata-se de simular um terminal exportador de minério de ferro em implantação (projeto *green field*), onde não há registros históricos. Por isso, a simulação tem que basear seus dados de entrada na literatura disponível sobre outros sistemas. É usado um banco de dados com 2.518 chegadas de navios de um terminal brasileiro em operação há anos. E ele mostra que, diferente da recomendação da literatura tradicional, uma função Pearson 6 representa melhor a distribuição que as funções Exponencial, Erlang e Weibull para um terminal de embarque de minério de ferro. Os resultados foram avaliados através das variáveis de saída do modelo de simulação: *Demurrage*, Ocupação de Berço, Fila Média de Navios e Lead Time. Conclui-se que, primeiro, as funções de distribuição de probabilidade usadas como dados de entrada impactam os resultados da simulação de maneira muito significativa. Pois variações de até 566% na previsão de *demurrages* pagas a navios são constatadas. Segundo, que essas variações podem induzir decisões erradas aos executivos de empresas que delas venham a fazer uso. Pois constatam-se até R$ 252 milhões de diferenças nas estimativas de resultados de pagamento de *demurrage*. Recomenda-se que sejam publicados os detalhes dos parâmetros das funções estatísticas usadas nos modelos de simulação. Assim, análises comparativas poderão ser feitas nas mesmas bases. Recomenda-se ainda ampliar a pesquisa para mais bancos de dados de terminais portuários brasileiros de minério de ferro, com explicitação e registro de todos os parâmetros que definem as funções estatísticas utilizadas.

PALAVRAS CHAVES: Simulação; Pesquisa operacional; Portos; Interface navio-berço; Custos de sobrestadia; Alocação de berço**.**

ABSTRACT

SIMULATION OF THE PERFORMANCE OF A PORT TERMINAL GREENFIELD: ANALYSIS OF FUNCTIONS OF ENTRY

The objective of this work is to demonstrate - using a model – that functions representing different intervals of time between arrivals of ships to a port terminal affect the simulation results of its operating performance and can induct wrong decisions in a completely new deployment project. To conduct the simulations, it is necessary to adopt parameters for data entry and establish the method by which the results will be analyzed. In this job, the system adopted for analysis uses a real case drawn to check the performance of a terminal in deployment by a Brazilian company. The model uses the IDEF-SIM language. This is to simulate a terminal to export iron ore in a *green field* project, where no historical records are available. Therefore, the simulation has to base its input data in the literature available on other systems. It used a database with 2,518 vessels arrivals from a Brazilian terminal in operation for years. In addition, it shows that, unlike the traditional recommendation literature, Pearson 6 function represents the distribution better than Exponential, Erlang or Weibull functions, at least for a terminal for shipment of iron ore. The results were evaluated by output variables of the simulation model: *Demurrage*, Berth Occupancy, Average Queue Vessels and Lead Time. It is concluded that, first, the probability distribution functions used as input data affects the results of the simulation very significantly. Because variations of up to 566% in predicting *demurrage* paid to vessels are found. Second, that these variations may induce erroneous decisions to executives of companies that will make use of them. Because it finds up to US$ 100 million difference in estimated outcome payment of *demurrage*. It is recommended that it should be published the details of the parameters of the statistical functions used in simulation models. Thus comparative analyzes can be made on the same basis. It is also recommended to widen the search for more databases Brazilian port terminals for iron ore, with explanation and recording of all parameters defining the statistical functions used.

KEYWORDS**:** Simulation, Operational Research; Ports; *Demurrage* costs; Ship-berth link; Berth allocation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Foto parcial do Porto de Rotterdam	19
Figura 2	Terminal portuário de contêineres mostrando dois berços de atracação	19
Figura 3	Navio atracando no Píer 2 de Tubarão	20
Figura 4	Um exemplo de cais de porto	21
Figura 5	Carregador embarcando minério de ferro em um dos porões do navio	21
Figura 6	Empilhadeira de minério de ferro	22
Figura 7	Recuperadora de minério de ferro	23
Figura 8	Mineroduto em construção	24
Figura 9	Correia transportadora e empilhadeira formando pilhas	24
Figura 10	Pátio de estocagem de minério de ferro	25
Figura 11	Pellet feed	26
Figura 12	Pellet de minério de ferro	26
Figura 13	Ilustração de pátio de estocagem de terminal de minério de ferro	28
Figura 14	Imagem do final da ponte, píer, carregador de navios e quebra-mar	28
Figura 15	Resultados da pesquisa com as palavras chaves ship-berth. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science por ano de publicação>. Acesso em 13 maio 2014.	32
Figura 16	Resultados da pesquisa com as palavras chaves *ship-berth. Disponível em* <*http://*www.sciencedirect.com/science> . Acesso em 13 maio 2014	32
Figura 17	Resultados da pesquisa com as palavras chaves *ship-berth. Disponível em:* <http://www.sciencedirect.com/science >. Acessoe em 15 maio 2014.	33
Figura 18	Resultados da pesquisa com as palavras chaves *ship-berth. Disponível em: <http://* www.sciencedirect.com/science >. Acesso em 13 maio 2014.	33
Figura 19	Gráfico ilustrativo da função Exponencial	40

Figura 20 Gráfico ilustrativo da função Erlang 41
Figura 21 Gráfico ilustrativo da função Weibull 41
Figura 22 Gráfico ilustrativo da função Beta 42
Figura 23 Gráfico ilustrativo da função Pearson 6 42
Figura 24 Modelo esquemático de terminal portuário para embarque de minério 44
Figura 25 Modelo IDEF-SIM 45
Figura 26 Modelo da simulação 47
Figura 27 Layout das pilhas 49
Figura 28 *Fit* de 2518 Dados a Partir de 31 Dez 1997 52
Figura 29 *Fit* de 230 Dados a Partir de 18 Fev 2006 53
Figura 30 Fit de 230 Dados a Partir de 05 Out 2006 53
Figura 31 *Demurrage* absoluta para cada função 56
Figura 32 Fila média de navios para cada função 57
Figura 33 Taxa de ocupação de berço para cada função 57
Figura 34 *Lead time* médio para cada função 58
Figura 35 Diferença absoluta e percentual de *demurrage* entre as demais funções e a base 59

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1	Descrição dos elementos do modelo conceitual	46
Quadro 2	Períodos de chegadas consecutivas de navios	51
Quadro 3	Funções mais ajustadas a cada período de dados	52
Quadro 4	Funções adotadas para a chegada de navios	52
Tabela 1	Principais variáveis de saída de acordo com a função de entrada	55
Tabela 2	Diferenças da *demurrage* em relação à função base	58

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABTP	Associação Brasileira de Terminais Portuários
ANTAQ	Agência Nacional de Transportes Aquaviários
CONST	Função constante
CSN	Companhia Siderúrgica Nacional
DWT	*Dead weight* – porte bruto de um navio em ton
FIFO	*First in, first out* – primeiro que entra, primeiro que sai
h	Hora
IBRAM	Instituto Brasileiro de Mineração
k	Mil
k ton	mil toneladas
KISS	*Keep it Simple and Straight* – faça o mais simples possível
MTBF	*Mean time before failure* – tempo médio entre falhas
NOR	*Notice of readiness* – aviso de prontidão
NORM	Função normal
PIB	Produto interno bruto
TBF	*Time before failure* – tempo antes de falhar
ton	tonelada(s)
ton/h	tonelada(s) por hora
TRIA	Função triangular
TTR	*Time to repair* – tempo para reparar
UNCTAD	*United Nations Conference on Trade and Development*
UNIF	Função uniforme
US$	Dólar americano
USD	Dólar americano

SUMÁRIO

1.	**INTRODUÇÃO**	12
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2	OBJETIVO GERAL	15
1.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4	JUSTIFICATIVAS E CONSIDERAÇÕES	16
1.5	GLOSSÁRIO	17
1.5.1	**Demurrage**	17
1.5.2	**Outros Termos Técnicos**	18
1.6	DELIMITAÇÕES DO TRABALHO	27
1.7	ESTRUTURA DO TRABALHO	30
2	**REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**	31
2.1	METODOLOGIA DE PRESQUISA	31
2.2	TERMINAIS PORTUÁRIOS	34
2.3	SIMULAÇÃO	36
2.4	DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE APLICADAS A SIMULAÇÃO	43
3	**METODOLOGIA**	43
3.1	DESCRIÇÃO DO SISTEMA	43
3.2	MODELO DE SIMULAÇÃO	45
3.2.1	**Modelos Conceitual e Computacional**.	45
3.2.2	**Características, Premissas e Equipamentos Utilizados**	47
3.2.3	**Configuração dos experimentos simulados**	50
3.3	MÉTODO DE AVALIAÇÃO	53

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 55
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 61
5.1 CONCLUSÕES 61
5.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS 62
5.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO 62
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 64
APÊNDICE A: PARTE DO BANCO DE DADOS 70
APÊNDICE B: PLANILHAS DE RESULTADOS 71

1: INTRODUÇÃO

1.1: CONTEXTUALIZAÇÃO

A motivação para se explorar o tema embarque de minério de ferro em terminais portuários vem do fato de as exportações brasileiras terem somado quase US$ 200 bilhões em 2008 (FLEURY & HIJJAR, 2008) e US$ 256 bilhões em 2011 (WEBBER, 2012), tendo a exportação de minério de ferro uma participação muito significativa na balança comercial do país nos últimos anos: US$ 42 bilhões em 2011 e US$ 31 bilhões em 2012 (IBRAM, 2012). Portanto, em 2102, o minério foi responsável por 12% das exportações do país. Isso faz com que os portos e terminais de exportação dessa commodity ganhem peso e exijam investigação mais profunda, tendo em vista que a literatura tem privilegiado o estudo de portos de contêineres. Pesquisando artigos vinculados à base de dados Science Direct (Disponível em <www.sciencedirect.com/science>. Acesso em 13 maio 2014.), no período de 2005 a 2014, usando a palavra chave *berth allocation*, foram encontradas 33 referências a terminais de contêineres e nenhuma a terminal de minério de ferro entre os tópicos destacados.

Vários trabalhos analisando a performance de terminais portuários através de simulação têm sido publicados. Dentre outros, Nashimura et al. (2001), Legato & Mazza (2001), Demirci (2003), Kim et al. (2003), Casaca (2005), Chang (2005), Parola & Sciomachen (2005), Dragovic et al. (2005), Tu & Chang (2006), Ho e Ho (2006), Duinkerken et al. (2007), Ottjes et al. (2007), Canonaco et al. (2008), Meisel & Bierwirth (2009), Camelo et al. (2010), Yin et al. (2011), Liu & Takakuwa (2011) e

Wanke (2011) estudaram as relações nos terminais portuários em operação, desde a entrada das cargas até sua disposição nos navios, no sentido exportação, ou o inverso no sentido importação. Essas investigações destacam a importância da interligação entre operações de entrada – isto é, de recepção de carga – de armazenagem, e de saída – ou seja, de expedição da carga recebida. Esses trabalhos também demonstram a utilidade da simulação como ferramenta para auxiliar os gestores a maximizar o uso das instalações e minimizar investimentos em melhorias operacionais.

Nos primórdios dos estudos sobre simulação, já era dito por Shannon (1975):

> A simulação é uma das mais poderosas ferramentas de análise disponíveis para os responsáveis pela concepção e/ou operação de processos ou sistemas complexos. Ela é fortemente baseada em ciência da computação, matemática, teoria da probabilidade e estatística; no entanto, o processo de modelagem de simulação e experimentação continua muito uma arte intuitiva. Este trabalho pretende examinar aspectos selecionados e apontar as áreas que necessitam de investigação adicional. Entre os temas discutidos estão: geração de variáveis aleatórias, linguagens de programação, as condições de partida, tamanho da amostra, a redução da variância, planejamento de experimentos e validação.

Para proceder às simulações, é necessário adotar parâmetros para entrada de dados e estabelecer o método pelo qual os resultados serão analisados. Camelo et al (2010) simulam a operação de um novo berço de atracação de um terminal marítimo do Nordeste do Brasil, a partir de dados de chegada de outro berço similar do mesmo terminal. Eles adotam a função Exponencial para a chegada de navios, mas não deixam claros seus parâmetros. Wanke (2008) adota funções Exponenciais com parâmetros diferentes para a chegada de navios de portes também diferentes. Seu estudo determina os parâmetros dessas funções Exponenciais a partir de dados reais de um terminal de contêineres do Sudeste Brasileiro e ele os explicita – e é um dos poucos encontrados a fazê-lo. Em seu trabalho, Wanke cita que as funções geralmente recomendadas na literatura para chegada de navios são a Exponencial (WANKE apud DEMIRCI, 2003), (WANKE apud PACHAKIS; KIREMIDJIAN, 2003); Exponencial Negativa (WANKE apud SHABAYEK; YEUNG, 2002); e Weibull (WANKE apud TAHAR; HUSSAIN, 2000). Para minério de ferro, é sugerida a função Erlang (UNCTAD, 1978).

Mas, quando se trata de simular um terminal completamente novo, em projeto, cresce a dificuldade em se proceder à análise dessas relações. Ignacio & Neves (2009) abordam o problema, mostrando a importância dos parâmetros a serem adotados no modelo. Eles fazem referência ao uso da função distribuição de Poisson para a chegada de navios, sem, contudo, explicitar seus parâmetros. Aliás, esta é a grande dificuldade encontrada pelos modeladores para projetos *green field*: a falta de explicitação dos parâmetros das funções adotadas.

Na avaliação dos resultados, as principais variáveis para aferição da operacionalidade de um terminal portuário consideradas por seus gestores são a *demurrage*, a fila média, a taxa de ocupação de berço e o *lead time*. Os custos totais de sobrestadia (*demurrage*), além de medir a eficácia operacional do terminal portuário, são também usados pelos gestores para tomar decisões sobre aquisição de equipamentos e investimentos em melhorias operacionais. A *demurrage* é o valor pago pelo porto ao navio pela espera além de um prazo pactuado e mais detalhes sobre ela estão dispostos no Item 1.5.1.

Voltando à questão das funções de entrada nas simulações, vários trabalhos vêm sinalizando que as chegadas de navios nos terminais são cada vez mais controladas e menos aleatórias. Inclusive como resultado da adoção, pelos terminais, de políticas aderentes aos resultados das próprias simulações. Segundo Wanke (2008), podem ser reduzidos os custos de sobrestadia (*demurrage*) se adotadas normas de prioridades diferentes da FIFO (*first in first out*). Ainda segundo ele, a melhor combinação de política de alocação de cais e de prioridade para atracação é a que implica no menor custo total de *demurrage*. Segundo Asperen et al (2003) o impacto dos processos de chegada de navios nos resultados das simulações tendem a ser subestimados. Eles concluem que os tempos de espera de navios são significantemente afetados pelo tipo de premissa de sua chegada, se controlada ou não. Entre três distribuições estudadas, a Poisson revela o pior resultado, enquanto a de chegada gerenciada através do controle de estoque é a que traz melhor resultado, para um terminal de granéis líquidos que recebe e distribui produtos químicos.

O presente trabalho avança em relação aos anteriores, testando os resultados decorrentes de várias funções de distribuição de chegada de navios na simulação de um terminal de exportação de minério de ferro em implantação (projeto *green field*). Um de seus objetivos é demonstrar que as funções de entrada recomendadas na

literatura, especialmente as Exponencial, Erlang e Weibull, utilizadas nas simulações de embarque de minério de ferro em terminais portuários, projetam resultados muito diferentes, podendo levar a decisões equivocadas e ao sobre dimensionamento de investimentos. Explora um banco de dados com 2.518 chegadas consecutivas de navios num terminal semelhante ao *green field* em estudo, para demonstrar que uma função Pearson 6 é a função adequada para simular uma chegada de navios aderente à realidade daquele tipo de terminal. E chama a atenção para a necessidade de que os estudos de simulação explicitem os parâmetros das funções de entrada, a fim de subsidiar outras investigações.

1.2: OBJETIVO GERAL

Demonstrar, usando modelo, que diferentes funções representativas dos intervalos de tempo entre as chegadas de navios a um terminal portuário impactam os resultados da simulação de seu desempenho operacional, podendo induzir decisões erradas num projeto completamente novo em implantação.

1.3: OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Rever o que já foi publicado sobre simulação de operações portuárias, especialmente de terminais de exportação de minério de ferro. Procura-se identificar nos trabalhos consultados, quais parâmetros têm sido recomendados nos modelos dessas simulações.

Utilizando o software Simul8, é utilizado um modelo de terminal portuário em implantação para testar o que acontece quando se fixa no cenário: a capacidade do terminal, seus equipamentos e a produção anual. E toma-se como variáveis funções de probabilidade de intervalos de tempo entre chegadas de navios. Isso visando a investigar a importância e o impacto da escolha de funções de entrada nos modelos de simulação nos seus resultados.

Neste estudo, três tipos de funções recomendadas na literatura, Exponencial, Erlang e Weibull, foram usados juntamente com uma função distribuição extraídos de um banco de dados de um terminal semelhante, em porte e em capacidade, ao

modelo. Os resultados das quatro simulações são analisados sob a ótica do gestor que toma decisões sobre o sistema.

A intenção é demonstrar que os resultados podem levar a decisões muito diferentes e equivocadas em termos de investimento, podendo, inclusive, onerar desnecessariamente um projeto em fase conceitual.

São endereçadas aqui quatro perguntas que, uma vez respondidas, permitem chegar às conclusões aderentes ao objetivo geral proposto:

- Que importância têm as funções de entrada na simulação?
- A escolha de funções diferentes tem que nível de impacto nos resultados?
- Os resultados levam a que tipo de decisão?
- Em que a literatura pode contribuir para a calibração de simulações de projetos *green field*?

1.4: JUSTIFICATIVAS E CONSIDERAÇÕES

A produção de minério de ferro tem uma participação muito significativa no PIB do Brasil, sendo ele o segundo maior produtor levando-se em consideração o teor médio de ferro – em primeiro está a Austrália – e responsável por 17% da produção mundial em 2012 (IBRAM, 2012). Segundo essa fonte, o minério de ferro respondeu naquele ano por 80,1% das exportações de produtos minerais do Brasil. Essa indústria extrativa empregou 175 mil trabalhadores em 2011 e tem gerado divisas necessárias ao desenvolvimento da nação.

Por outro lado, segundo Pinto (2013), o custo de transporte para a *commodity* soja, desde a região produtora até Xangai, na China, varia de 19 (Centro Oeste do PR via Paranaguá) a 39% (Norte do MT via Santos) do custo total, posta a carga naquele porto.

Para minério de ferro, não se espera percentuais muito diferentes, com o agravante de que, nesse caso, é inviável o uso de caminhões para transporte a longas distâncias. Lembrando que as regiões produtoras estão longe da costa e tendo em vista a carente infraestrutura ferroviária do país, além dos custos logísticos, a *commodity* minério de ferro enfrenta ainda gargalos que impedem pequenos produtores de exportarem diretamente.

As maiores empresas produtoras e exportadoras no Brasil são: Vale com 84,52%, CSN com 5,45%, Samarco com 6,29%, MMX com 2,03% e Usiminas com 1,71% (IBRAM, 2012). Por consequência, as exportações praticamente se limitam aos portos de Ponta da Madeira (MA), Tubarão (ES), Guaíba (RJ) e Itaguaí (RJ) da Vale, Itaguaí (RJ) da CSN e Ubu (ES) da Samarco. Com tal concentração, não é de admirar que poucos trabalhos analisem a questão da *performance* desse tipo de terminal. Entretanto, atualmente há no país um *boom* de projetos de novos terminais para exportação de minério ferro em consonância com o Plano Geral de Outorgas da ANTAQ (2009).

Embora os projetos de portos de embarque de minério de ferro no Brasil sejam desenvolvidos por empresas de grande porte, não tem sido usual que suas áreas de engenharia utilizem a simulação para estimar filas e taxas de ocupação dos terminais durante a concepção do projeto. Essa ferramenta tem sido usada mais frequentemente pelas áreas operacionais para melhorias dos sistemas em operação e ganhos de produtividade e, nos projetos *green field*, na fase de engenharia básica ou já no projeto executivo. Recentemente, entretanto, ganha força a simulação de capacidade logo após estabelecido o projeto conceitual, posto que os investimentos nesse tipo de empreendimento são muito elevados e de retorno a longo prazo (HO & HO, 2006).

As boas práticas de mercado atualmente exigem que seu desempenho seja previamente estudado através de simulação da sua produção. Esse estudo, porém, esbarra na limitação do número de artigos centrados na análise de portos e terminais especializados em *commodities*, especialmente em minério de ferro.

Vê-se, pois, que os portos e terminais de exportação dessa *commodity* precisam ser investigados com maiores frequência e atenção, pois a literatura tem focado prioritariamente o estudo de portos e terminais para movimentação de contêineres. Esta é a proposta deste trabalho.

1.5: GLOSSÁRIO

1.5.1: Demurrage

Como já dito, a *demurrage*, isto é, os custos totais de sobrestadia, é o valor pago pelo porto ao navio pela espera além de um prazo pactuado. Quando o porto é

contratado para receber e carregar determinado navio, é estabelecido um prazo chamado de *lay days* dentro do qual o navio deve ser atracado e carregado. Se o porto, por razões de sua responsabilidade, não consegue carregar o navio dentro desse prazo, ele tem que pagar o custo diário do navio, a partir do momento em que esse prazo se esgota.

Ao contrário da *demurrage*, tem-se o *despatch* que é o prêmio recebido pelo porto quando este adianta a operação do navio, liberando-o antes do prazo acordado.

No presente trabalho, a *demurrage* é calculada da seguinte forma: após o NOR – *Notice of Readness* do navio (aviso de chegada à fila) o porto tem 60 horas para atracá-lo, embarcar o minério e finalizar a entrega do documento. O custo da *demurrage* está estimado em US$ 18 mil/dia para CAPESIZE e US$ 10 mil/dia para PANAMAX (ver Item 2.2). O *despatch* terá valor de 50% da *demurrage*.

Exemplo: se um navio CAPESIZE entre o NOR e a liberação do berço demorar 62 horas, haverá *demurrage* igual a 62 – 60 horas = 2 horas = > (2/24)* 18K = 1.5 K USD. Se por outro lado demorar 50 horas haverá um despacth de 60-50 = 10 horas => (10/24)*18*50% = 3.75 K USD.

1.5.2. Outros Termos Técnicos

- Porto – é uma área natural ou artificialmente abrigada para atracação de navios, com instalações e equipamentos necessários ao embarque e desembarque de mercadorias e/ou de passageiros. Pode conter vários terminais. A Figura 1 mostra uma foto parcial do Porto de Rotterdam na Holanda.
- Terminal – é a área de um porto especializada na movimentação de algum tipo de carga. Por exemplo, terminal de granéis líquidos, terminal de graneis sólidos, terminal de contêineres, etc. A Figura 2 ilustra um terminal de contêineres com dois berços de atracação.
- Berço de atracação – é o local onde o navio é atracado para carga e descarga. É muitas vezes tratado como píer. E está também ilustrado na Figura 2.

Figura 1: Foto parcial do Porto de Rotterdam.

Figura 2: Terminal portuário de contêineres mostrando dois berços de atracação.

- Fila média de navios – indica quantos navios em média estarão esperando sua vez para atracar e serem carregados.
- Píer – é uma estrutura que se projeta sobre as águas e onde são atracados os navios. Podem ter um ou mais berços de atracação. A Figura 3 mostra o Píer 2 do Porto de Tubarão em Vitória – ES, no Brasil.

Figura 3 : Navio atracando no Píer 2 de Tubarão.

- Cais – é, genericamente, qualquer plataforma com interface com água de rio ou mar, destinado a atracação de navios ou barcos. Exemplo na Figura 4.
- Carregador de navios – é o equipamento que faz a transferência do minério da correia transportadora para o navio. Geralmente desloca-se sobre trilhos, por ser uma máquina muito pesada. A Figura 5 mostra um deles.
- Porão – é cada um dos compartimentos em que é dividido o navio para receber a carga.
- Canal de acesso – é a área no mar delimitada por boias de sinalização náutica, cujo fundo é geralmente dragado, isto é, aprofundado, por onde os navios podem entrar e sair do terminal em segurança.

Figura 4: Um exemplo de cais de porto.

Figura 5: Carregador embarcando minério de ferro em um dos porões do navio.

- Bacia de evolução – os navios devem navegar de preferência avante, por isso normalmente são girados quando entram vazios no terminal, para que possam sair para frente. A área onde isso se faz, a exemplo do canal de acesso, em geral também é dragada e se chama bacia de evolução.
- Empilhadeira – é o equipamento que transfere o minério da correia transportadora para o pátio, dispondo-o em pilhas. Uma ilustração encontra-se na Figura 6.

Figura 6: Empilhadeira de minério de ferro.

- Porte Bruto – é o peso de carga total, em toneladas, que um navio consegue transportar. Geralmente simbolizado por DWT (*dead weight*).
- PANAMAX – é o tipo de navio que originalmente conseguia atravessar o canal do Panamá e tinha, portanto, limitadas sua boca (largura) a 32 metros e a capacidade a 70 mil ton de DWT.
- CAPESIZE – é o tipo de navio com capacidade de carga acima de 150 ton de DWT.

- Recuperadora – é o equipamento que retira o minério do pátio e o transfere para a correia transportadora que o levará até o carregador de navios. Como a empilhadeira e o carregador de navios, costuma se deslocar sobre trilhos, por serem máquinas muito pesadas (da ordem de mil toneladas). Geralmente, a capacidade desses equipamentos em grandes terminais varia entre 8 e 18 mil toneladas por hora. Uma ilustração se encontra na Figura 7.

Figura 7: Recuperadora de minério de ferro

- Correia transportadora – normalmente há várias correias transportadoras num terminal, pois a cada vez que é necessária alguma mudança de direção, tem-se que transbordar o minério para outra correia. É um equipamento cujo elemento principal é a esteira de borracha que se desloca sobre roletes de aço. A esteira de borracha tem alma de tela de nylon ou de fios de aço, para suportar as grandes tensões a que é submetida. Uma correia é mostrada na Figura 9.
- Mineroduto – é um duto através do qual é transportado minério. Em geral o minério é moído e misturado a água, formando uma polpa que pode ser bombeada em baixa velocidade. A Figura 8 mostra um mineroduto em construção.

Figura 8: Mineroduto em construção

Figura 9: Correia transportadora e empilhadeira formando pilhas

- Pátio de estocagem – é a área no terreno apropriada para disposição do minério em pilhas, como mostrado na Figura 10.

Figura 10: Pátio de estocagem de minério de ferro

- *Green field* – diz-se do empreendimento a ser implantado a partir do zero, isto é, um projeto completamente novo no espaço que pretende ocupar.
- *Pellet feed* – é o minério com dimensão do grão menor que 0,15 mm, usado para ir a alto forno em redução direta ou para fazer o *pellet*. Veja a Figura 11.
- *Pellet* – é a bola com diâmetro médio entre 5 e 18mm, mostrada na Figura 12.
- Quebra-mar – é uma barreira de pedras erigida no mar, para quebrar as ondas e permitir que o local onde o navio é atracado fique com ondas de apenas algumas dezenas de centímetros, mesmo que o mar esteja com ondas de alguns metros. Pode ser visto na Figura 14.
- Calado – pode ser compreendido como a altura do navio que fica submersa.
- Boca – pode ser compreendido como a largura do navio.

Figura 11: Pellet feed.

Figura 12: Pellet de minério de ferro.

- Lay days – prazo acordado entre o armador e o porto, dentro do qual o navio deve ser atracado e operado, isto é, carregado ou descarregado ou ambos.

- *Inbound* – é o processo que se dá no sentido de importação.
- *Outbound* – é o processo que se dá no sentido de exportação.
- Taxa de ocupação do berço – mostra o percentual de tempo em que os navios ficam atracados no terminal.
- *Lead time* – aponta o tempo em que o sistema ficou ocupado pela passagem da entidade, no caso o minério de ferro recebido e embarcado.

1.6: DELIMITAÇÕES DO TRABALHO

Um terminal portuário de embarque de minério de ferro opera geralmente recebendo o minério através de trens ou de dutos. Do ponto de recepção ao pátio de estocagem, o transporte é normalmente feito por correias transportadoras e o produto é armazenado no pátio por empilhadeiras de grande porte que se deslocam sobre trilhos. As grandes pilhas formadas aguardam pela atracação dos navios, quando recuperadoras de caçambas ou de tambor, também se deslocando sobre trilhos, recolhem-nas, enviando o material através de transportadores de correia até os carregadores de navios que o dispõem nos porões das embarcações.

As Figuras 13 e 14 ilustram a visão de um terminal portuário de exportação de minério de ferro, típico da costa brasileira. Os pátios de estocagem ficam em terra, enquanto o píer está avançado mar adentro.

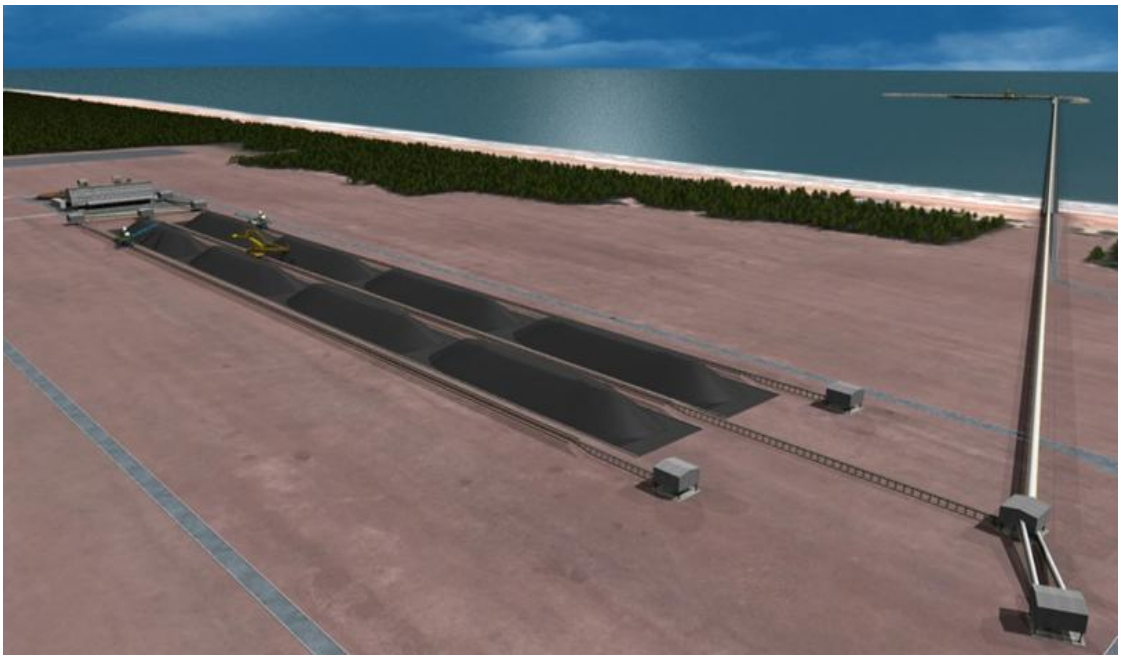


Figura 13: Ilustração de pátio de estocagem de terminal de minério de ferro.

As taxas de movimentação são de milhares de toneladas por hora, pois é necessária rapidez no carregamento dos navios. Estes precisam ser de grande porte para que seu frete seja de baixo custo. E quanto maior o navio, mais alto é seu custo de permanência em fila no porto.

Figura 14: Imagem do final da ponte, píer, carregador de navios e quebra-mar.

Assim, um dos elementos mais importantes no porto é sua capacidade de embarque e, no final, sua capacidade de atendimento rápido aos navios, mantendo pequenas filas. Isso cria um desbalanceamento entre a capacidade de recepção e a de expedição, pois, normalmente, a recepção tem um ritmo mais lento, porém mais contínuo, enquanto o embarque precisa ser mais rápido, por ser mais intermitente.

Também são necessárias áreas de pátio suficientes para garantir estoques para o atendimento aos navios, pois cada um deles, via de regra, leva um ou mais tipos de produtos diferentes.

Quanto à chegada de navios no porto, tema central deste trabalho, deve-se ter em conta que ela não é completamente aleatória como a princípio pode parecer. Em terminais de contêineres, há casos em que os armadores “compram” do porto “janelas” periódicas (semanais, em geral) para atracação dos navios de suas linhas. Assim, esses navios não esperam carga e cumprem sempre um *schedulle* fixo. Obviamente que esse é um caso que tipicamente foge à teoria das filas. Também nos terminais portuários de minério de ferro, é grande o controle que as agências de navegação têm sobre seus navios. É comum, por exemplo, que as agências reduzam a velocidade de um navio quando ele está muito adiantado para chegar ao porto. Assim ele economiza combustível e espera menos tempo na fila para atracar. Os benefícios deste tipo de política podem ser conferidos em Alvarez et al (2010).

Isso nos leva mais uma vez a questionar o tipo de função distribuição de chegada de navios a ser utilizada em simulações de desempenho operacional de portos, especialmente em projetos *green field*.

A fim de se limitar ao questionamento supra, foram impostas ao sistema as seguintes limitações:

- A quantidade de material que passa durante um ano no modelo é sempre a mesma.
- A capacidade de recebimento de carga pelo terminal é sempre suficiente para cumprir a quantidade embarcada anualmente.
- Os equipamentos têm uma capacidade nominal fixa e não são testados potenciais aumento ou diminuição.
- Para todas as rodadas de simulação os parâmetros são os mesmos, exceto quanto às funções de distribuição de probabilidade de chegada de navios.
- A simulação se limita a um só berço de atracação.

1.7: ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está constituído da seguinte forma.

Nesta Introdução (Item 1), foi explicitada a motivação, expostas suas bases gerais com breve revisão bibliográfica e apresentados os objetivos, além de serem apresentados, num glossário, vários conceitos e definições que pretendem auxiliar seu entendimento. Para fechá-la, foram indicados alguns limites estabelecidos para o sistema em estudo, cuja simulação tem aqui objetivo bem restrito.

Na próxima seção, (Item 2 – Revisão Bibliográfica), é apresentada uma metodologia de pesquisa para se chegar às principais referências sobre os temas aqui tratados e uma revisão de literatura um pouco mais aprofundada para terminais portuários, simulação e funções de distribuição de probabilidade aplicadas a simulação.

No Item 3 – Metodologia, tem-se a descrição do problema; apresentam-se o modelo de simulação – envolvendo o modelo conceitual, as características, premissas e equipamentos utilizados nas simulações e a configuração dos experimentos simulados; e é exposto o método de avalição.

Na seção seguinte (Item 4 – Resultados e Discussão), são analisados os dados de saída das rodadas de simulação.

E no Item 5 – Considerações Finais são apresentadas as conclusões, as recomendações para trabalhos futuros e as limitações deste trabalho.

Ao final estão dispostos as referências bibliográficas e dois apêndices com alguns dados ilustrativos das rodadas executadas.

2: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1: METODOLOGIA DE PESQUISA

Visando a identificar o estado da arte dos trabalhos que podem ser associados ao tema, foi consultado o *site* <http://www.sciencedirect.com/science>. A última atualização da pesquisa foi feita em 24/06/2014. Utillizando as palavras chaves *ship-berth link*, foram encontrados inicialmente 652 resultados de trabalhos publicados.

Em seguida, foram selecionados os trabalhos relativos aos tópicos *container terminal, ship, quay crane, decision support* e apenas à fonte *journal* – que abrange periódicos e conferências – o que levou a 41 trabalhos. Filtrando novamente esses 41 resultados relativos aos tópicos *quay crane, decision support, multimodal terminal e port terminal*, chegou-se a 13 artigos, dos quais dois especialmente foram tomados por sua proximidade com o tema e pelas suas referências bibliográficas.

Dois trabalhos referidos no parágrafo anterior foram selecionados:

- VAN DER HEYDEN, W. P. A.; OTTJES, J. A. A decision support system for the planning of the workload on a grain terminal. Decision Support Systems, v. 1, n. 4, p. 293-297, 1985.
- ZHANG, Haipeng; KIM, Kap Hwan. Maximizing the number of dual-cycle operations of quay cranes in container terminals. Computers & Industrial Engineering, v. 56, n. 3, p. 979-992, 2009.

As Figuras 15 a 18 abaixo mostram gráficos com os números de trabalhos por

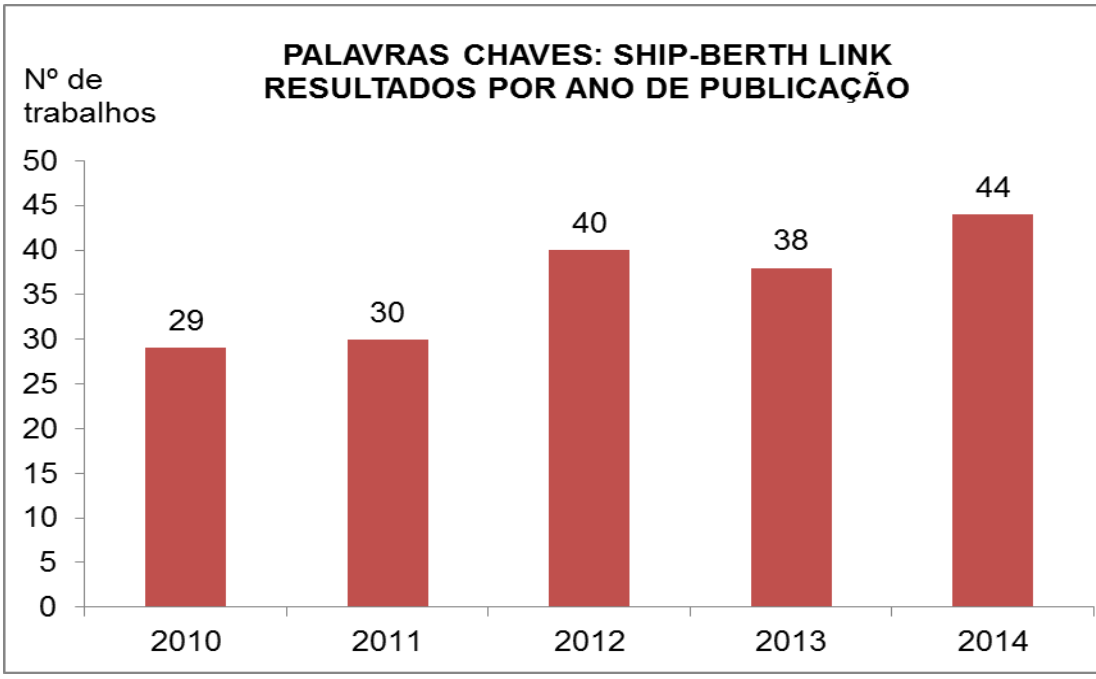
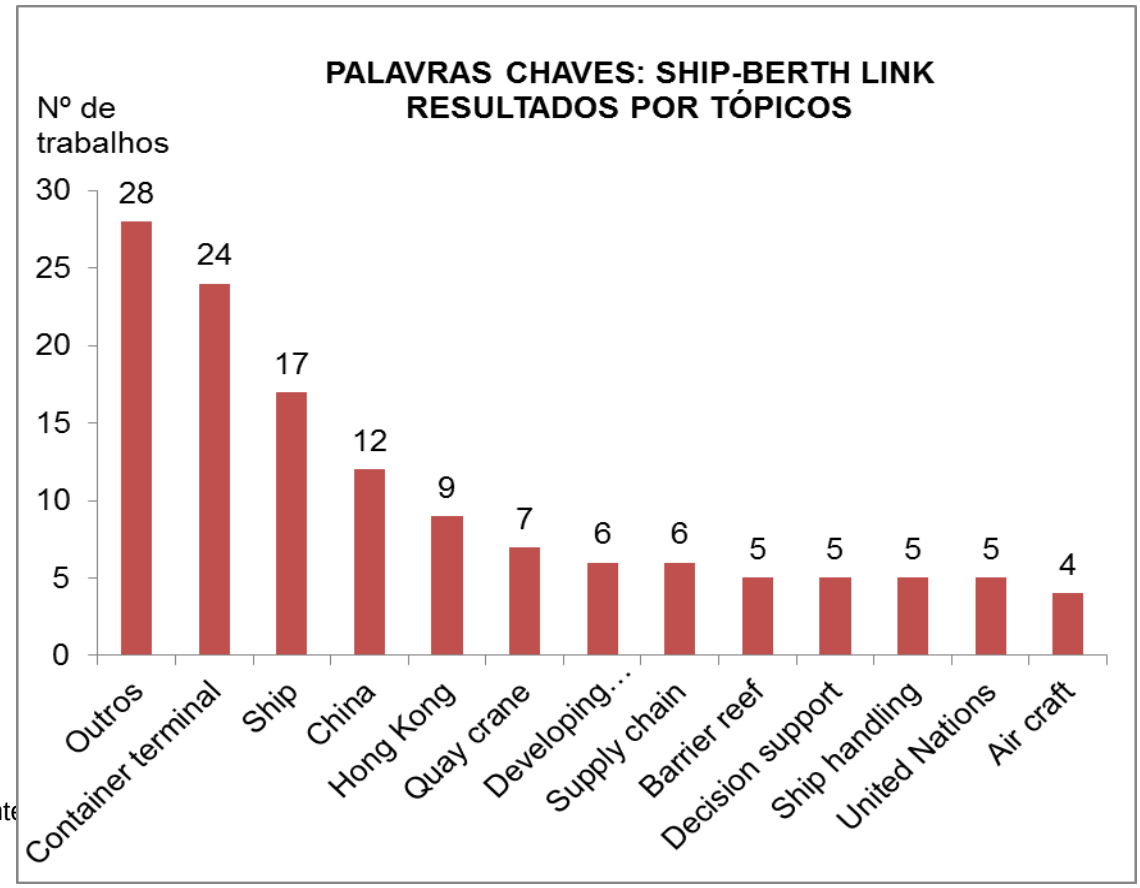


Figura
Fonte: Disponível



Fonte

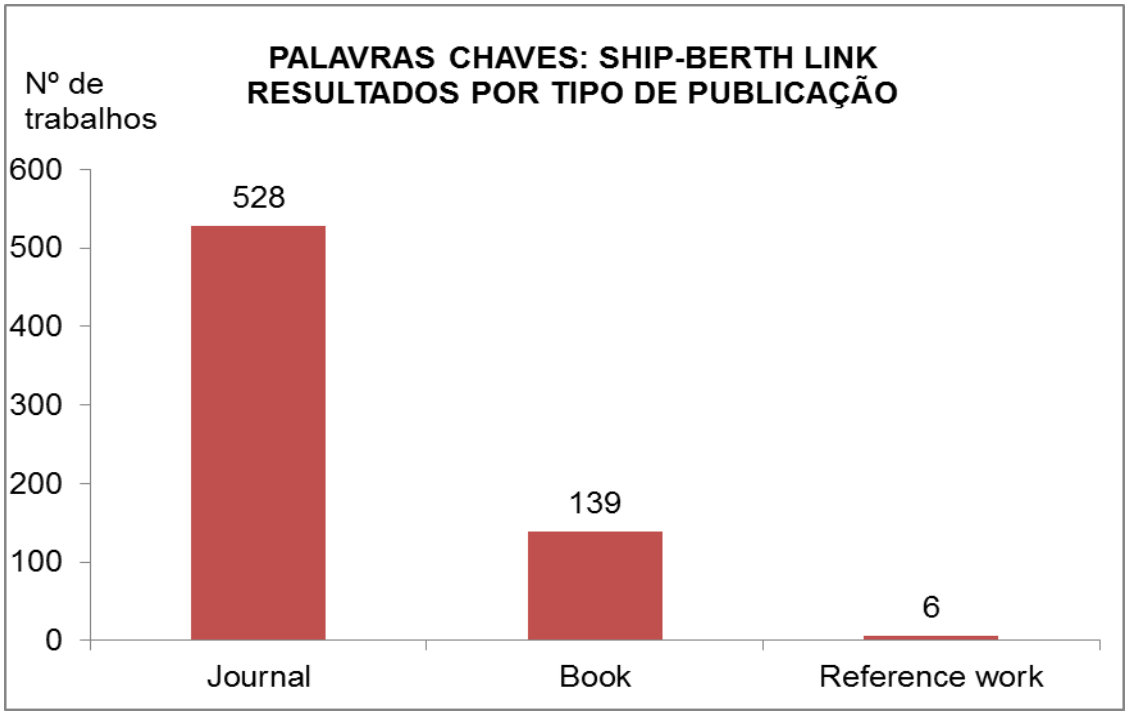


Figura 17: Resultados da pesquisa com as palavras chaves ship-berth.
Fonte: Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science>. Acesso em 13 de maio de 2014.

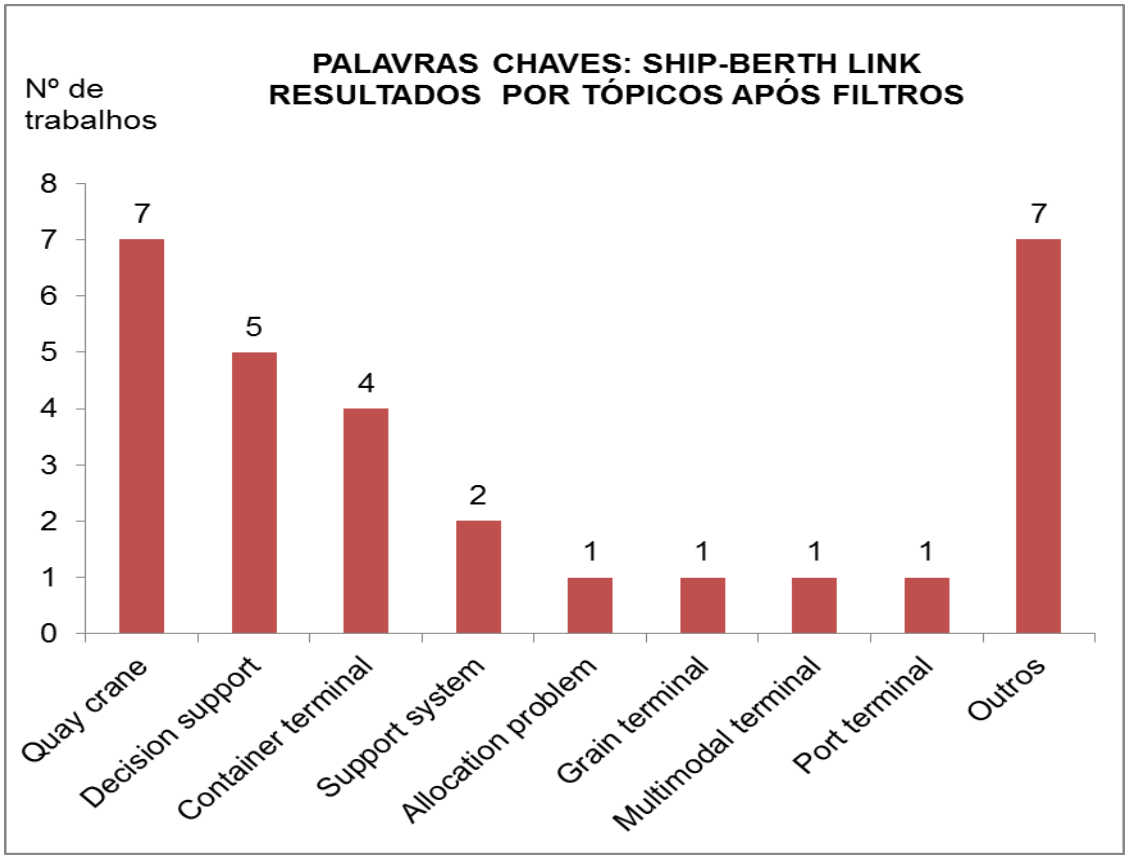


Figura 18: Resultados da pesquisa com as palavras chaves ship-berth.
Fonte: Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science>. Acesso em 20 de maio de 2013.

ano, por tópico e por tipos de publicações encontrados na pesquisa. Na Figura 17, a coluna ***Journal*** inclui publicações de artigos em revistas especializadas e conferências.

Através das referências bibliográficas desses trabalhos, pode-se chegar a vários outros relacionados ao tema, que tem forte ligação também com a palavra chave *berth allocation*.

Esse trabalho de pesquisa foi também complementado com consultas ao *site* <http://www.scholargoogle.com> utilizando-se das palavras chaves ship-berth link e *berth allocation*, sempre focando a simulação como elemento fundamental do trabalho. Assim foram encontrados os artigos de Wanke (2008) e Ignacio; Neves (2009), bem como outros que desencadearam a pesquisa bibliográfica a seguir.

2.2: TERMINAIS PORTUÁRIOS

Casaca (2005) afirma que um terminal de contêiner é um nó intermodal pra onde convergem diferentes modais de transporte. Também divide a operação portuária em três sistemas: navio, processamento e estrada e Chang (2005) tem proposta semelhante. Isso pode ser generalizado pra qualquer terminal portuário, pois terminais exportadores e importadores de carga geral e granéis líquidos ou sólidos podem ser recebidos e expedidos por dutos, caminhões ou navios e barcos.

Tu e Chang (2006) consideram que as operações nos pátios de contêineres afetam diretamente as operações dos navios. Isso também pode ser estendido a terminais de granéis sólidos, de vez que as máquinas de recuperação nas pilhas e os transportadores de correia têm seus tempos de deslocamento entre pilhas e perdas de tempo com mudanças de rotas.

Parola e Sciomachen (2005) avaliaram as operações de entrada e saída do terminal em diferentes percentuais para modais rodoviário e ferroviário em função do crescimento da demanda de navios.

Demirci (2003) analisou os gargalos de um sistema portuário e demonstrou ser muito útil a simulação para minimizar investimento na retirada de gargalos operacionais.

Dragovic et al. (2005) analisaram o alcance de eficiência e acurácia nos tempos de atendimento a navios quando são atribuídas prioridades a algumas classes deles através de modelo de simulação em um terminal de contêiner.

Duinkerken et al. (2007) compararam o impacto de diferentes sistemas de transporte de contêineres num terminal sobre o custo de operação, de forma a apoiar decisões de gerenciamento de investimentos.

Ottjes et al. (2007) propuseram uma estrutura genérica de modelo de simulação para movimentação de contêineres e demonstraram a importância dos fluxos de transporte, transferências e estocagem sobre a infraestrutura do terminal.

Kim et al. (2003) propuseram um modelo de programação dinâmica para o problema de sequenciamento de chegada de caminhões em terminais portuários de contêineres.

Legato e Mazza (2001) demonstraram que simulação é uma ferramenta útil para sugerir como melhorar a capacidade dos recursos e modificar as políticas de sua aplicação que afetam diretamente a *performance* oferecida às companhias de navegação.

Ho e Ho (2006) indicaram que, tendo em vista que os investimentos em infraestrutura portuária são muito altos, é muito importante que o tempo de permanência de navios no porto seja minimizado, a fim de maximizar o uso das instalações.

Segundo Nishimura et al. (2001), o planejamento da alocação de navios nos berços de atracação é um fator chave para a eficiência na utilização de cais em portos públicos.

Meisel e Bierwirth (2009) investigaram o duplo problema da alocação tanto de navios nos berços quanto de guindastes para seu atendimento em terminais de contêineres, apontando que a produtividade dos guindastes de cais é muito importante no planejamento da escolha dos berços para cada navio.

Canonaco et al. (2008) concluem que as operações de carga e descarga podem ser otimizadas usando como ferramenta simulação, desde que ela seja acessível para o gestor do terminal.

Yin et al. (2011) propuseram um port planning manager, sistema habilitado a gerar com sucesso programações integrando um modulo de controle de berços, um módulo de alocação de transporte e um módulo de estocagem nos pátios para um terminal de contêineres.

Liu e Takakuwa (2011) analisaram o tempo de processamento e os gargalos dos fluxos das operações usando rastreamento eletrônico de dados em tempo real, concluindo que as informações obtidas através da simulação são adequadas à análise do desempenho da operação.

As simulações de terminais portuários têm como pontas, de um lado, a chegada dos navios pra serem carregados e, de outro, o eventual pagamento de *demurrage* pelo porto, devido ao tempo de espera para atracar. Para realizá-las, em geral se recomenda (WANKE, 2011), para a chegada de navios, as funções Exponencial (WANKE apud DEMIRCI, 2003), (WANKE apud PACHAKIS e KIREMIDJIAN, 2003); Exponencial Negativa (WANKE apud SHABAYEK & YEUNG, 2002); e Weibull (WANKE apud TAHAR e HUSSAIN, 2000). Para minério de ferro, é sugerida a função Erlang (UNCTAD, 1978).

Camelo et al (2010) simulam a operação de um terminal marítimo considerando que as chegadas seguem Poisson e os atendimentos Erlang.

Segundo Asperen et al (2003) o impacto dos processos de chegada de navios nos resultados das simulações tendem a ser subestimados. Eles concluem que os tempos de espera de navios são significantemente afetados pelo tipo de premissa de sua chegada, se controlada ou não. Entre três funções estudadas, a Poisson revela o pior resultado, enquanto a de chegada gerenciada através do controle de estoque é a que traz melhor resultado.

Psaraftis e Kontovas (2014), modelaram combinações de rotas e velocidade de navios visando à otimização de seus custos operacionais. Confirmam que os armadores retardam ou adiantam seus navios em viagem, a fim de reduzir o tempo de espera para atracação, o que, mais uma vez, diminui a aleatoriedade do processo de chegada.

2.3: SIMULAÇÃO

Simulação, segundo o dicionário Houaiss, é a imitação do funcionamento de um processo por meio do funcionamento de outro Chwif e Medina (2010 apud HOUAISS, 2001).

Ainda de acordo com Chwif e Medina (2010), a simulação computacional trata de imitar a realidade em computador, procurando prever o comportamento de um

sistema, com um determinado grau de confiança e com base em um conjunto de premissas. É uma ferramenta de análise de cenários.

Para realizar a simulação computacional, são usados modelos que procuram captar o que realmente é importante no sistema considerado, traduzindo a realidade complexa para uma forma mais simples.

Um sistema, por sua vez, é delimitado em função do que se pretende estudar e contém uma relação causa-efeito entre suas partes Chwif e Medina (2010; apud FORRESTER, 1968).

Para ajudar o entendimento do sistema estudado, são usados modelos simbólicos que documentam os projetos que precisam ser complementados com elementos quantitativos. Abra-se parêntesis para o modelo proposto por Leal et al. (2008). Estes propõem o registro de cada elemento do modelo com explicitação de seus elementos quantitativos. Isso quer dizer, para um determinado recurso, um operador de máquina, por exemplo, deve ficar registrado sua quantidade, a função que representa seu desempenho no tempo, a partir de quando ele começa a atuar, etc. Essas premissas, quando explicitadas, permitem entendimento adequado do problema e sua eventual repetição por outros pesquisadores. Sua falta pode gerar falta de referências para trabalhos novos, como será visto mais à frente.

Ainda de acordo com Chwif e Medina (2010), classifica-se a simulação computacional em:

- de Monte Carlo;
- contínua e
- de eventos discretos.

Segundo Goldsman et al (2010), o termo “Monte Carlo” para simulação foi cunhado por Metropolis (1989). Mooney (1997) diz que a simulação de Monte Carlo é um método de avaliação de hipóteses e estimadores estatísticos que desenvolve um algoritmo de computador para simular uma população, desenhando múltiplas amostras a partir desta pseudo população, e avaliando as estimativas obtidas a partir destas amostras. Chwif e Medina (2010) acrescentam que nos sistemas em simulação de Monte Carlo, o tempo não é considerado explicitamente uma variável

De acordo com Bandyopadhyay & Bhattacharya (2014), a simulação continua é a que tem variáveis que mudam continuamente no tempo e os resultados são

extraídos em intervalos de tempo fixados quando o sistema atinge a estabilidade. Exemplos de sistemas contínuos seriam: produção de químicos, transmissões de gases por dutovia e farmácias abertas 24 horas.

A simulação de eventos discretos é aquela que tem algumas variáveis cujos valores mudam em pontos discretos no tempo. Alguns exemplos seriam: sistemas bancários, sistemas de reservas em ferrovias e sistemas de vendas em balcões de supermercados.

Bandyopadhyay e Bhattacharya (2014) chamam a atenção para o fato de que um sistema pode ser continuo ou discreto dependendo da necessidade do modelo. Como exemplo, no caso da farmácia 24 horas, cada chegada de consumidor pode ser considerada uma chegada individual e marcada como ponto discreto no tempo. Mas também pode ser tomada a gama do número de clientes a qualquer tempo, caracterizando um sistema continuo. Acrescentam que a maioria dos sistemas não são perfeitamente nem discretos nem contínuos e é preciso, pois, conhecer os dois tipos.

Goldsman et al (2010) dividem a história da simulação em três períodos:

- A era pre-computador: de Buffon à Segunda Guerra Mundial (1777-1945);
- período formativo (1945-1970) e
- período de expansão (1970-1982).

No primeiro, a simulação era limitada a usos inovativos de ensaios repetitivos para apoiar ou confirmar provas ou conjeturas matemáticas.

O período formativo iniciou-se com o advento do computador e as demandas da física nuclear aplicada à concepção da bomba de hidrogêncio. Centrou-se no desenvolvimento de linguagens mais amigáveis, aparecendo assim sistemas de modelagem que tornaram a simulação largamente reconhecida como poderosa ferramenta.

No período de expansão, se multiplicaram as aplicações, usos e técnicas de simulação, com contribuições na literatura que consolidariam a importância das etapas de verificação e validação.

Atualmente, os computadores individuais e a Internet potencializam ainda mais a aplicação e o desenvolvimento da simulação.

Pois ela se ajusta a vasto campo e, segundo Bandyopadhyay & Bhattacharya (2014), pode ser aplicada a quase todas as áreas da ciência e da tecnologia. Algumas áreas se destacam:

- nos processos de produção: análise de capacidade dos sistemas, programação da produção, estoques;
- transporte e logística: portos, aeroportos, fluxo de cargas diversas;
- aplicações militares: operações, suporte a decisão, jogos;
- redes: sistemas de distribuição de comunicação, consumo de energia por tarefas distintas;
- operações: de máquinas, de sistemas de energia, de construção, de transmissão de calor;
- ciências sociais: suprimento de alimentos, policiamento, grupos sociais;
- meio ambiente: infraestrutura sanitária, políticas de controle; análise de equilíbrio ecológico;
- saúde: saúde da população, atendimento emergencial, tempo de resposta de ambulâncias; hospitais;
- suprimentos: supermercados, redes de lojas.

Banks et al (2000) afirmam que a simulação faz a mímica da *dinâmica* do comportamento de um sistema. Em seguida, consideram que o analista precisa ter uma boa compreensão das estatísticas usadas como entradas na simulação e que possa também interpretar adequadamente as estatísticas de saída. E, por fim, concluem que simulação é usada para avaliar diferentes cenários, permitindo a escolha do melhor; a simulação, por si só, não escolhe o cenário para o analista.

Vantagens e desvantagens do uso da simulação são apresentadas em Silva et al (2011 apud FREITAS FILHO, 2008):

> Algumas das vantagens listadas são: a possibilidade de se utilizar o modelo inúmeras vezes para avaliar projetos e políticas propostas; a possibilidade de se avaliar sistemas ainda não existentes, mesmo que os dados de entrada sejam rudimentares; e a possibilidade de identificação de gargalos, que é a preocupação maior no gerenciamento operacional de inúmeros sistemas. Por outro lado, as desvantagens referem-se à necessidade de conhecimento específico do software utilizado, ao tempo requerido para a elaboração dos modelos e à difícil interpretação dos resultados fornecidos pelos modelos quando, por vezes, não se sabe se um determinado resultado foi atingido devido à alteração do valor de uma variável ou se ele deriva da interação de recursos e entidades durante a simulação. Uma vez que a simulação utiliza

> distribuições teóricas de probabilidade, a combinação de tais curvas pode gerar um resultado de difícil interpretação.

Destacam-se do texto acima as vantagens: “avaliar sistemas ainda não existentes” e “identificação de gargalos” e a desvantagem “difícil interpretação dos resultados fornecidos pelos modelos quando, por vezes, não se sabe se um determinado resultado foi atingido devido à alteração do valor de uma variável ou se ele deriva da interação de recursos e entidades durante a simulação”. Esta última é a preocupação central deste trabalho ora em desenvolvimento.

2.4: DISTRIBUIÇÕES DE PROBABILIDADE APLICADAS A SIMULAÇÃO

Um muito breve olhar sobre distribuições de probabilidade mostra que a distribuição Exponencial é uma das mais utilizadas em modelos de simulação. Atente-se para o fato de que, no entanto, possui uma grande variabilidade. O principal uso é na modelagem de períodos de tempos entre dois acontecimentos (eventos) quaisquer, como por exemplo: tempos entre chegadas de entidades em um sistema, tempos entre falhas, tempo de atendimento a clientes, etc. Está ilustrada na Figura 19.

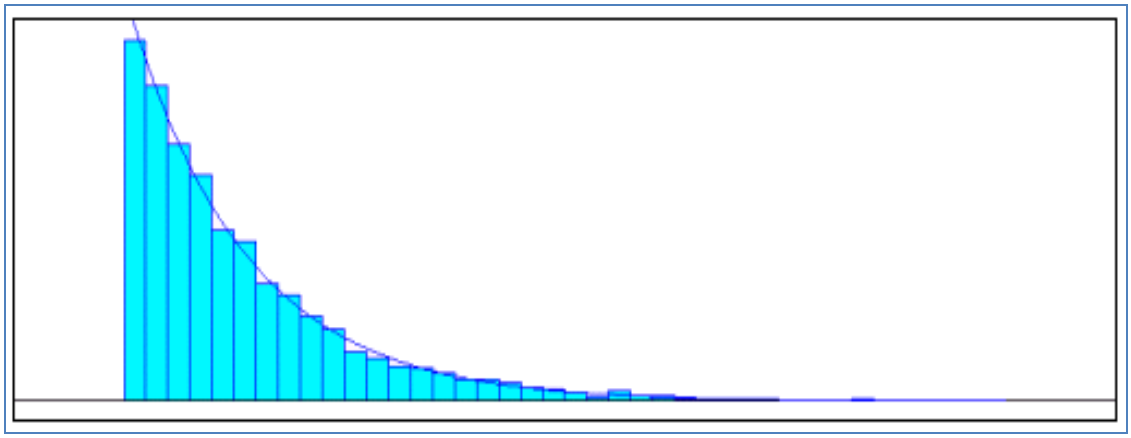


Figura 19: Grafico ilustrativo da função Exponencial.

A distribuição Erlang, mostrada na Figura 20, é utilizada na simulação de alguns tipos de processos, muitas vezes em situações em que uma entidade entra em uma estação para ser servida, sequencialmente, por uma série de postos.

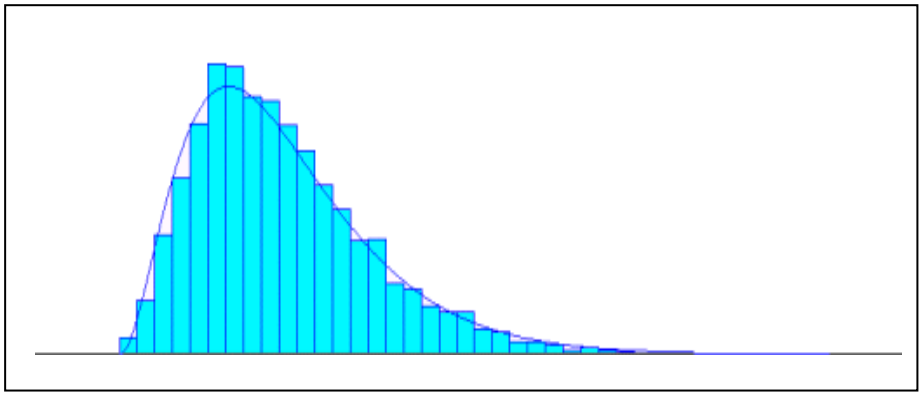


Figura 20: Gráfico ilustrativo da função Erlang

A distribuição Weibull é largamente utilizada em modelos que representam o tempo de vida de equipamentos. Está mostrada na Figura 21.

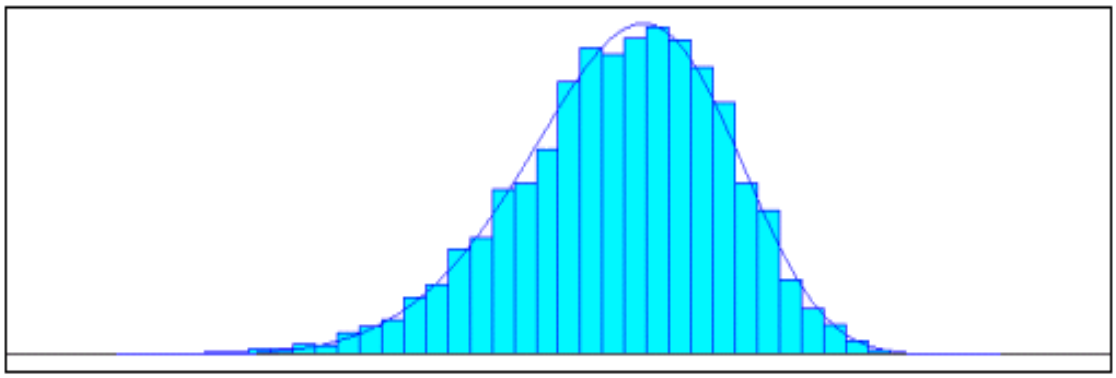


Figura 21: Gráfico ilustrativo da função Weibull.

A distribuição Beta, devido a sua capacidade de se adequar a várias formas (vide figura), é usada como uma aproximação, quando houver ausência de dados. A Figura 22 mostra um gráfico ilustrativo de seu perfil.

A distribuição Pearson 6, é usada em situações semelhantes àquelas em que é empregada a Exponencial e, algumas vezes, a Erlang. Sua ilustração se encontra na Figura 23.

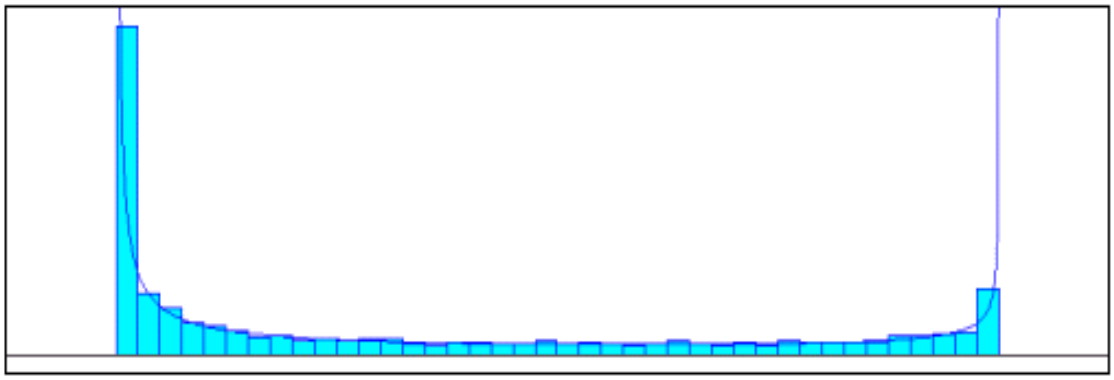


Figura 22: Gráfico ilustrativo da função Beta.

Dessa forma, podemos concluir a revisão bibliográfica com uma visão clara de que a simulação é melhor método para tratar o problema de previsão de resultados operacionais de um terminal portuário. Pois uma instalação dessas se insere no contexto de transporte e logística, de operações, de suprimentos e, principalmente, em processos de produção.

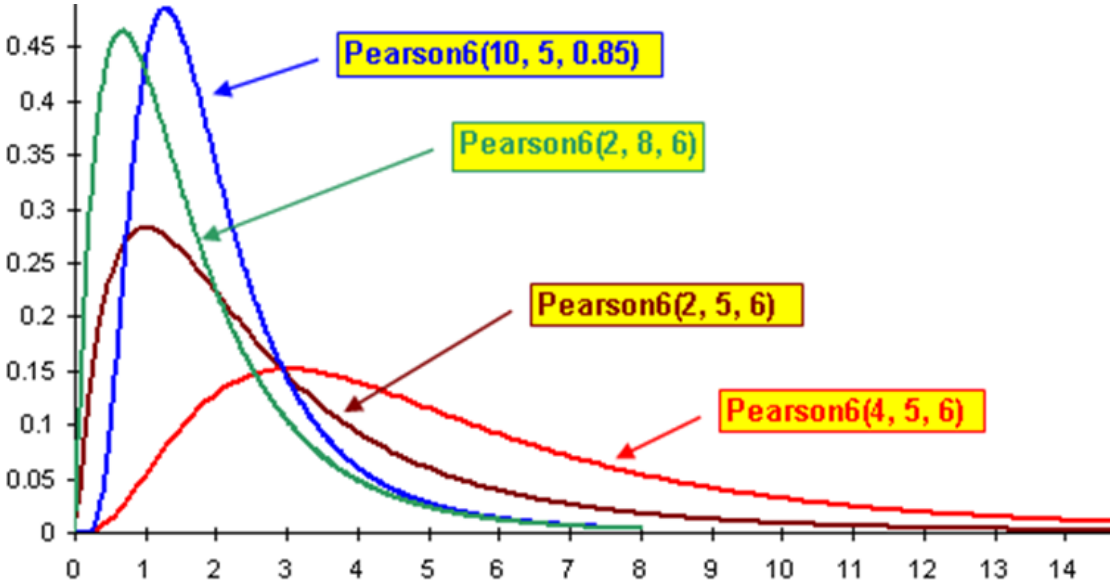


Figura 23: Gráfico ilustrativo da função Pearson 6.

Entretanto, ao mesmo tempo, há que se atentar para a questão de que tipo de função distribuição de probabilidade deve ser usado como entrada nos modelos e que parâmetros dar às funções escolhidas.

3: METODOLOGIA

3.1: DESCRIÇÃO DO SISTEMA

O sistema adotado para análise utiliza um caso real elaborado para implantação de um terminal de uma empresa brasileira. Porém, a fim de preservar os dados reais da empresa e considerando que para os fins desse trabalho as capacidades reais do sistema não são imprescindíveis, os dados de capacidade considerados no modelo são proporcionais aos do sistema real. Ele abrange toda a operação de descarga do minério de ferro, via virador ferroviário e mineroduto (processo denominado de *inbound*), movimentação até as pilhas (empilhamento) através de correias transportadoras; armazenagem em pilhas em dois pátios paralelos com capacidade de armazenagem total de 2,5 milhões de toneladas; recuperação (operação pátio) através de uma recuperadora de roda de caçambas e e uma empilhadeira recuperadora; movimentação até o navio, novamente através de correias transportadoras; e carregamento (processo que denominado *outbound*). O esquema geral está ilustrado na Fig.24.

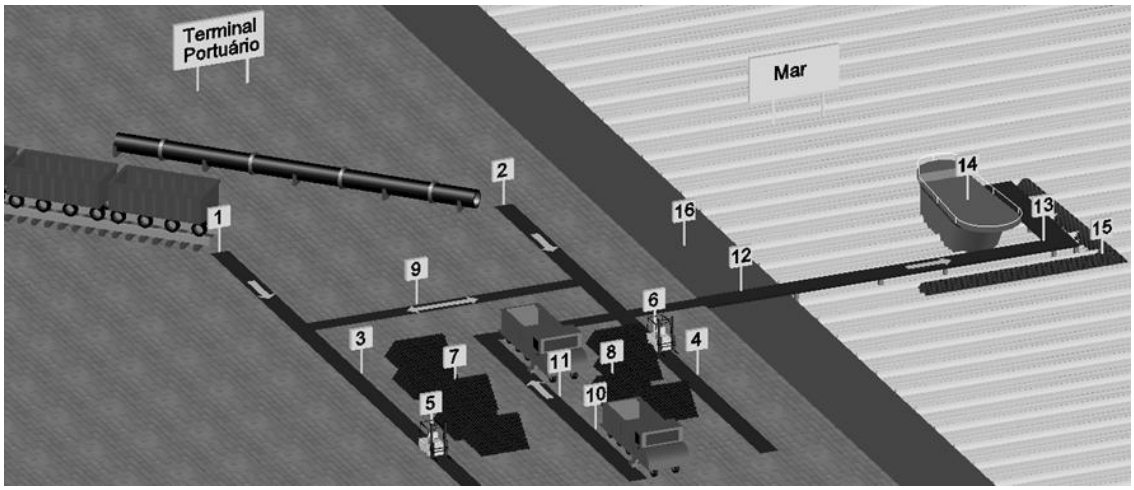
Considera-se aqui um porto com capacidade de recepção total via mineroduto de 6.800 ton/h e via trem de 7.000 ton/h. Estimou-se que os trens podem alimentar o sistema com quatro tipos diferentes de produtos, enquanto o mineroduto pode fazê-lo com dois tipos.

No sistema de embarque, o porto tem canal de entrada único, um berço de atracação e uma capacidade de embarque nominal de 8.000 ton/h para cada uma das duas recuperadoras de caçambas e de 16.000 ton/h para o carregador de navios. Foram estimados, com base em operações reais, tempos de paradas

operacionais tais como troca de trem, deslocamento de empilhadeiras para reposicionamento nos pátios, e para manutenção preventiva e quebras.

O tempo de manobra para entrada de cada navio depende da extensão do canal de acesso e da geometria da bacia de evolução ou de manobra e dos berços de atracação. Neste caso, estimou-se o tempo de entrada, atracação e liberação de documentos entre 2,75 e 3,58 horas e, para despacho, desatracação e saída, liberando o berço, entre 2,33 e 3,33 horas.

Foram considerados dois tipos de navios, PANAMAX e CAPESIZE, com capacidades de carga de 80 e 180 mil ton respectivamente.



1	Chegada de minério por trens	9	Linha para alternar descarga
2	Chegada de minério por duto	10	Recuperadora A
3	Linha de descarga A	11	Recuperadora B
4	Linha de descarga B	12	Linha de embarque
5	Empilhadeira A	13	Carregador
6	Empilhadeira B	14	Navio
7	Pátio de estocagem A	15	Quebra mar
8	Pátio de estocagem B	16	Praia

Figura 24 – Modelo esquemático de terminal portuário para embarque de minério.

Na Figura 24, as setas indicam o fluxo do minério, entidade que entra no sistema ou pelo Virador de Vagões (1) ou pela Filtragem (2). Através dos transportadores de correias das Linhas de descarga (3) e (4), ele chega até as Empilhadeiras (5) e (6), que o empilham nos Pátios de estocagem (7) e (8). Há uma Linha para alternar a descarga (9) entre os pátios, de forma que o minério pode ir para qualquer dos pátios a partir de qualquer entrada.

Uma vez atracado o navio, o minério é retomado dos pátios através da Recuperadora (10) ou da Empilhadeira Recuperadora (11) e, então, via transportadores de correia da Linha de embarque (12), vai até o Carregador de Navios (13) que o deposita nos porões do Navio (14). Este fica atracado num berço protegido pelo Quebra-mar (15).

3.2 MODELO DE SIMULAÇÃO

3.2.1 Modelos Conceitual e Computacional

O modelo conceitual foi elaborado utilizando a linguagem IDEF-SIM, proposto por Leal et al. (2008). Esse tipo de modelo conceitual permite a documentação dos parâmetros utilizados na simulação de maneira simples e clara. O modelo está ilustrado na Figura 25, abaixo. Com esse tipo de modelo fica facilitada a construção do modelo no *software* escolhido.

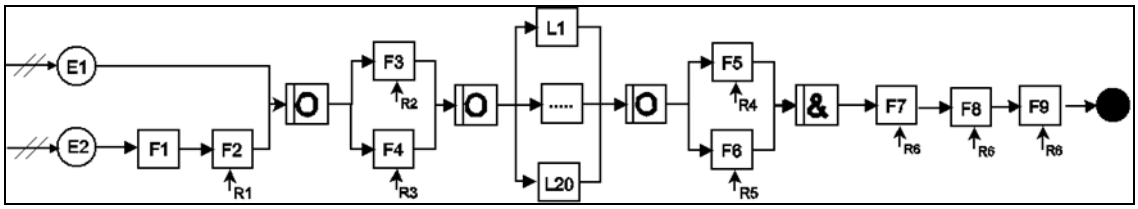


Figura 25: Modelo IDEF-SIM.

No Quadro 1 abaixo é apresentada a descrição dos elementos lógicos que alimentam o modelo computacional, a partir do modelo conceitual. Neste trabalho são adotados no modelo apenas os elementos essenciais para rodar a simulação (processos, recursos, etc).

Símbolo	Descrição	Parâmetro	Unidade
E1	Entidade: Chegada de minério de ferro através de duto	Função: TRIA(2.2,2.8,3.4)	kton/h
E2	Entidade: Chegada de minério de ferro através de trens	Função: NORM(14,21)	kton/h
F1	Processo: Chegada de trens	Função: TRIA(-20,5,100)	Nº de vagões
F2	Processo: Descarga de trens	Função: CONST: 7	kton/h
F3	Processo: Empilhamento 1	Função: TRIA(6,7,8)	kton/h
F4	Processo: Empilhamento 2	Função: TRIA(6,7,8)	kton/h
F5	Processo: Recuperação 1	Função: TRIA(6.4,8,9.6)	kton/h
F6	Processo: Recuperação 2	Função: TRIA(6.4,8,9.6)	kton/h
F7	Processo: Chegada de navios	Função: Variável	horas
F8	Processo: Navegação de entrada de atracação	Função: UNIF(0.75,0.92)	horas
F9	Processo: Carregamento de navios	Função: TRIA(6.4,8,9.6)	kton/h
F10	Processo: Navegação de saída	Função: UNIF(0.75,0.92)	h
L1 a L20	Estoques: pilhas 1 a 20	-	-
R1	Recurso: Virador de Vagões	-	-
R2	Recurso: Empilhadeira EP1	-	-
R3	Recurso: Empilhadeira EP2	-	-
R4	Recurso: Recuperadora RP1	-	-
R5	Recurso: Recuperadora RP2	-	-
R6	Recurso: Carregador de navios	-	-

Quadro 1: Descrição dos elementos do modelo conceitual.

O modelo computacional foi construído utilizando a metodologia proposta por Chwif e Medina (2006), através dos seguintes passos: formulação e análise do problema, planejamento do projeto, formulação do modelo conceitual, coleta de macro informações e dados, tradução do modelo, verificação e validação, projeto experimental, experimentação, interpretação e análise estatística dos resultados e documentação e apresentação dos resultados.

As simulações apenas foram iniciadas após o modelo ter sido verificado e validado por completo, seguindo a metodologia proposta por Sargent (2013).

O modelo leva em conta as taxas de produção (empilhamento, recuperação, transporte, carregamento, etc.) e os tempos macros de movimentação dos equipamentos (empilhadeiras, recuperadoras e carregador de navios), mas não são detalhados os micro movimentos. Como macro movimentos, têm-se os deslocamentos das empilhadeiras, recuperadoras e carregador de navio para posicionamento antes do inicio de suas atividades.

Desenvolvido em 2-D, com nível de animação gráfica compatível com seus objetivos, e dentro da filosofia “KISS” - Keep it Simple and Straight. que evita que o modelo se torne inoperante ou inválido por excesso de variáveis (CHWIF e MEDINA, 2006), esse modelo está ilustrado na Figura 26.

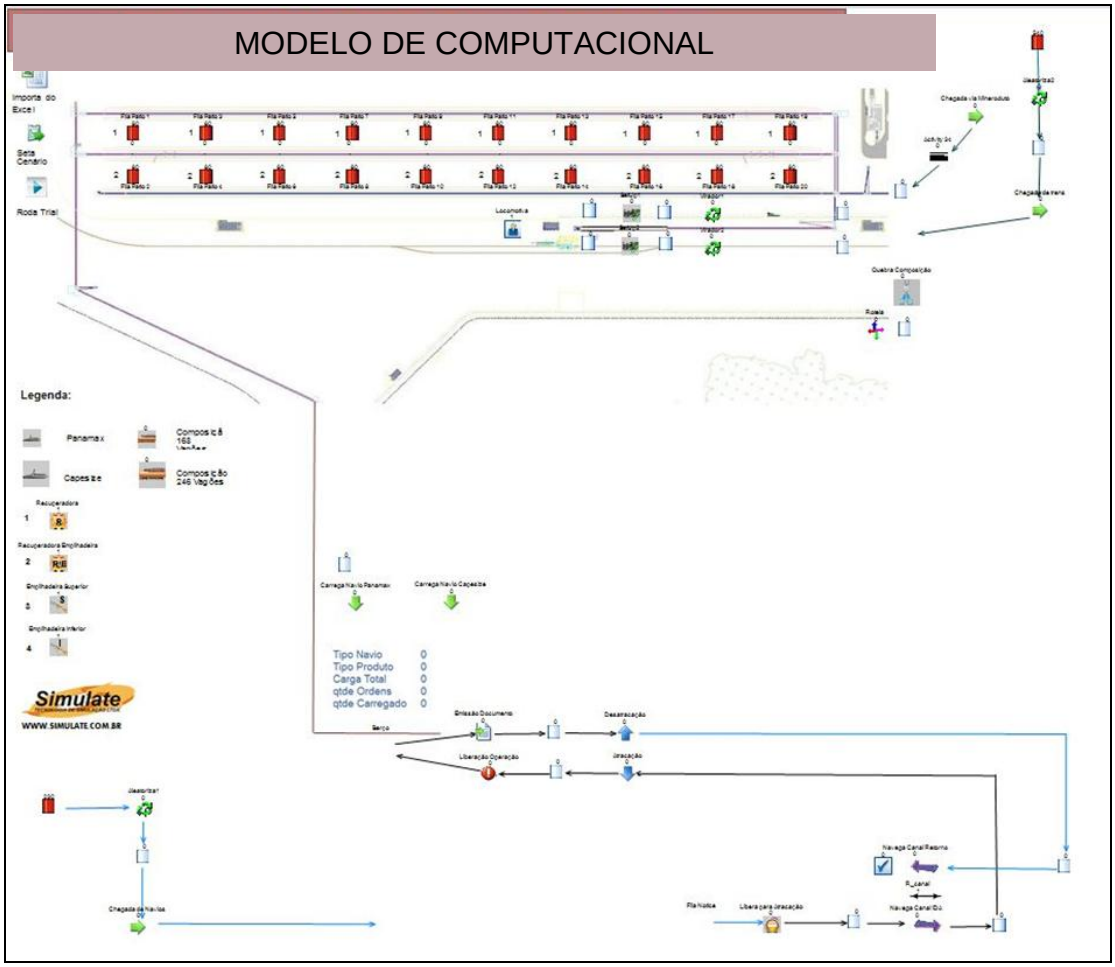


Figura 26: Modelo computacional.

3.2.2: Características, Premissas e Equipamentos Utilizados

A simulação foi planejada sem período de aquecimento, com tempo de simulação total de 13 meses - para contabilizar a chegada e processamento dos navios que por ventura atrasaram e com definição dos estoques iniciais. A operação se dá 24 horas por dia, sete dias por semana. A fim de rodar o modelo em tempo razoável, sem perda significativa de resolução, uma entidade do modelo é equivalente a 1 k ton (1.000 ton). Neste caso, a constante de discretização é de 1:1.

São considerados quatro tipos de produtos: *Pellet Feed* Tipos A e B, Produto C e Produto D, os dois primeiros recebidos por mineroduto e os últimos por ferrovia. Embora haja diferenças de granulometria dos produtos em termos de densidade e taxas de empilhamento ou recuperação, estes têm as mesmas características. Os tipos de navios considerados são: Tipo 1=PANAMAX de 80 K ton e Tipo 2=CAPESIZE de180 K ton. O mix é de 28% Tipo 1 e 72% tipo 2; no entanto, estes dados não são de entrada direta do modelo. Portanto, são consideradas 16 combinações entre tipos de navios e produtos. Considera-se o PANAMAX com 5 compartimentos (porões) iguais e para os CAPESIZEs 10 compartimentos também iguais. Cada navio é carregado em sua capacidade máxima com um tipo de produto somente.

Os navios que chegam se dirigem à fila com disciplina FIFO (First In, First Out). Ao chegar, o navio acusa o NOR, para posterior contabilização da *demurrage*. E são atendidos também pela disciplina FIFO.

Para o mineroduto, é considerado que ele fica alimentando produto a uma taxa que contém uma variação segundo uma distribuição triangular (ex; min 2,2 k ton/h, mais provável 2,8 Kton/h e máxima 3,4 k ton/h).

Como, devido a diversas situações, os trens podem se atrasar ou se adiantar em relação ao horário planejado, adotou-se uma distribuição triangular para modelar o atraso ou adiantamento de um trem em horas. Exemplificando: Menor Valor: - 20 horas; Valor Mais provável: 5 horas; Maior Valor: 100 horas

Cada trem é carregado em sua capacidade máxima e com somente um tipo de produto. Para todas as rodadas da simulação, é fixada a quantidade de trens e a quantidade que chega pelo mineroduto, de modo que o sistema está com sua capacidade fixa em aproximadamente 35 milhões de toneladas por ano, para os fins deste trabalho.

É considerado que o pátio pode conter 20 pilhas de minério com capacidade para 90 Ktons cada. A capacidade total estática de armazenamento do pátio é, portanto, 1.800 K tons. Cada pilha só poderá conter um tipo de minério. A Fig. 27 ilustra a nomenclatura de cada pilha. As pilhas de numeração impar se localizam na linha superior enquanto que pilhas numeração par, na linha inferior.

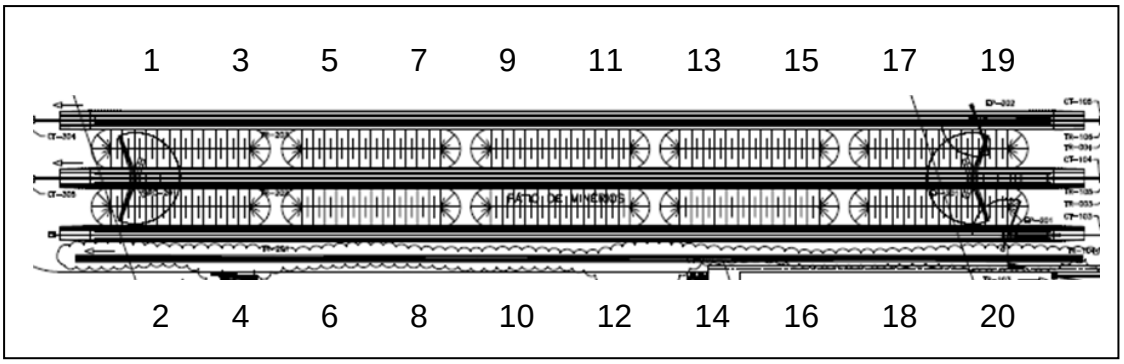


Figura 27: Layout das pilhas.

A taxa de recuperação por recuperadora é modelada com uma distribuição triangular dos valores mínimo, mais provável e máximo (ex.(6,4;8;9,6) kton/h). Para o CAPESIZE, a cada 10 K ton de carga em um porão (peso da passagem do porão), a lança de carregamento deve mudar para outro porão para carregar, a fim de que se mantenha o equilíbrio hidrostático do navio. Duas recuperadoras não podem estar posicionadas na mesma pilha, nem pilhas uma em frente da outra e nem uma ao lado da outra.

O TBF (*time between failures*) é modelado por uma distribuição exponencial negativa com média igual ao MTBF (*mean time between failure*), enquanto que o TTR (*time to repair*) por uma distribuição uniforme, com valores mínimo e máximo. Para cada equipamento do mesmo tipo são consideradas as mesmas configurações de quebra.

Com relação à manutenção planejada, os mesmos possuem um Ciclo de Revisão e um Tempo de Revisão. A diferença da modelagem da manutenção planejada para a modelagem das quebras é que o planejamento é por equipamento específico (e não por tipo). Além dos parâmetros Ciclo de Revisão e Tempo de Revisão, há outra configuração do início da 1ª manutenção planejada em relação ao tempo 0 de simulação. Este dado especifica quando inicia a primeira manutenção planejada do respectivo equipamento, sendo que as próximas seguem ciclos e tempos de revisão.

São considerados dois tipos de indisponibilidade operacional: indisponibilidade para navegação causada por ondas e ventos e indisponibilidade para operação completa de pátio (empilhamento e recuperação) causada por ventos. Ambas as indisponibilidades são modeladas por uma porcentagem que corresponde ao número de dias de operação interrompida por ano. Por exemplo, se a indisponibilidade for de 3% então cerca de 11 dias por ano (3% x 365) ocorre a

indisponibilidade. Assume-se que cada indisponibilidade ocorre com duração de um tempo fixo (exemplo 12 horas), e que o tempo entre indisponibilidades ocorre segundo distribuição exponencial. Também supõe-se que cada indisponibilidade ocorre em períodos específicos do ano (por exemplo, de maio a outubro), não ocorrendo fora deste período específico.

O modelo foi rodado em três replicações no *software* Simul8, Version 20 - Build 2992.

O *hardware* utilizado possui as seguintes características: Sistema Operacional Windows 7 Professional - 2009; 64 bits; Service Pack 1; Fabricante Dell; Modelo Vostro 3450; Processador Intel® Core ™ i3-2310M CPU 2.10GHZ; Memória RAM 4GB; Disco Rígido 500GB; Elementos gráficos Intel ® HD Graphics Family; Número de núcleos de processador 02; Unidade de mídia CD/DVD; Resolução do monitor principal 1366 x 768; Versão do DirectX 10; Rede Realtek PCIe GBE Family Controller; Intel® Centrino® Wireless –N 1030; Dispositivo Bluetooth; Microsoft Virtual WiFi Mini.

A licença é a do SIMUL8 Professional 2013 - Power Full-Single License - Nº 1869-1338-5487-1545-4989; Elaboração de Templates; Simulações XML; Criação de objetos animados e compartilhamento via Web*site*; Visualização Free dos modelos através do Simul8 Viewer; Manipulação de variáveis de operação com significativos ensaios de capacidade de produção.

O tempo médio executar um ciclo com 05 replicações é em torno de 2h. Foi testada uma rodada com 50 replicações e percebeu-se claramente que os resultados apresentam diferenças insignificantes quando comparados com três replicações; daí que todas as rodadas foram feitas com três replicações apenas.

3.3.3: Configuração dos experimentos simulados

A fim de determinar qual a melhor função distribuição de chegada de navios a ser empregada na simulação de um projeto *green field*, foi utilizado um banco de dados de um terminal portuário do Sudeste Brasileiro, especializado em minério de ferro. Esse banco contém a data e a hora de chegada de navios operados entre dezembro de 1997 e janeiro de 2008. Desse banco, foram tomados oito períodos diferentes de chegadas consecutivas. Sete períodos tomados tiveram como datas de

início os do Quadro 2, com 230 navios. O oitavo, também dessa tabela, foi tomado do banco de dados inteiro, com 2.518 registros em sequência. Procurou-se tomar períodos de dados mais recentes e de variadas épocas do ano.

Esses oito conjuntos foram levados ao módulo estatístico StatFit do *software* Simul8 e os resultados obtidos foram os compilados no Quadro 3, que mostra a função que melhor adere a cada conjunto de dados. O **ajuste** mostra o nível de aderência da função ao conjunto de dados e a escolhida é a que obtém o valor máximo percentual.

Período	Data da Primeira Chegada	Número de Navios
1	21 de Dezembro de 2003	230
2	25 de Maio de 2004	230
3	15 de Fevereiro de 2005	230
4	18 de Fevereiro de 2006	230
5	05 de Outubro de 2006	230
6	31 de Dezembro de 2006	230
7	12 de Maio de 2007	230
8	31 de Dezembro de 1997	2.518

Quadro 2: Períodos de chegadas consecutivas de navios.

Dessas funções encontradas, vê-se que a Pearson 6 adere melhor aos conjuntos de dados três vezes, seja, 38% do total. Além disso, a função Beta, que aparece duas vezes (25%), é uma função com capacidade de se adequar a várias formas, sendo usada como aproximação. Pelos seus parâmetros, pode-se perceber que nos dois casos, ela assume um perfil bem próximo ao das funções Pearson 6 encontradas.

Neste trabalho, então, a simulação do sistema modelado foi rodada com a função Pearson 6 do Período 8 do Quadro 3, a Weibull do Período 4 e a Exponencial do Período 5. A Erlang considerada foi a sua melhor aproximação (Erlang (0,1, 34.4) ajuste 50.3) encontrada na rodada no StatFit do Período 8. Isso está resumido no Quadro 4 a seguir. Essas funções foram escolhidas por apresentarem as melhores colocações no ajuste. No entanto, a Pearson 6 do Período 8 foi a escolhida como base por ser relativa à maior massa de dados.

Período	Função Mais Ajustada	Ajuste (0 a 100%)
1	Pearson 6 (0,429, 1.14, 14.2)	94.3
2	Pearson 6 (0,111, 1.37, 6.08)	100
3	Todas as funções foram rejeitadas	-
4	Weibull (0, 0.93, 24.1)	100
5	Exponencial (0, 23.8)	83.8
6	Beta (0, 159, 1.04, 5.49)	100
7	Beta (0, 135, 1.09, 4.98)	100
8	Pearson 6 (0, 301, 1.09, 10.5)	85.5

Quadro 3: Funções mais ajustadas a cada período de dados

Ordem	Função Adotada	Ajuste (0 a 100%)
1	Pearson 6 (0, 301, 1.09, 10.5)	85.5
2	Weibull (0, 0.93, 24.1)	100
3	Exponencial (0, 23.8)	83.8
4	Erlang (0,1, 34.4)	50.3

Quadro 4: Funções adotadas para a chegada de navios

As Figuras 28 a 30 mostram as telas do StatFit com as funções do Quadro 4.

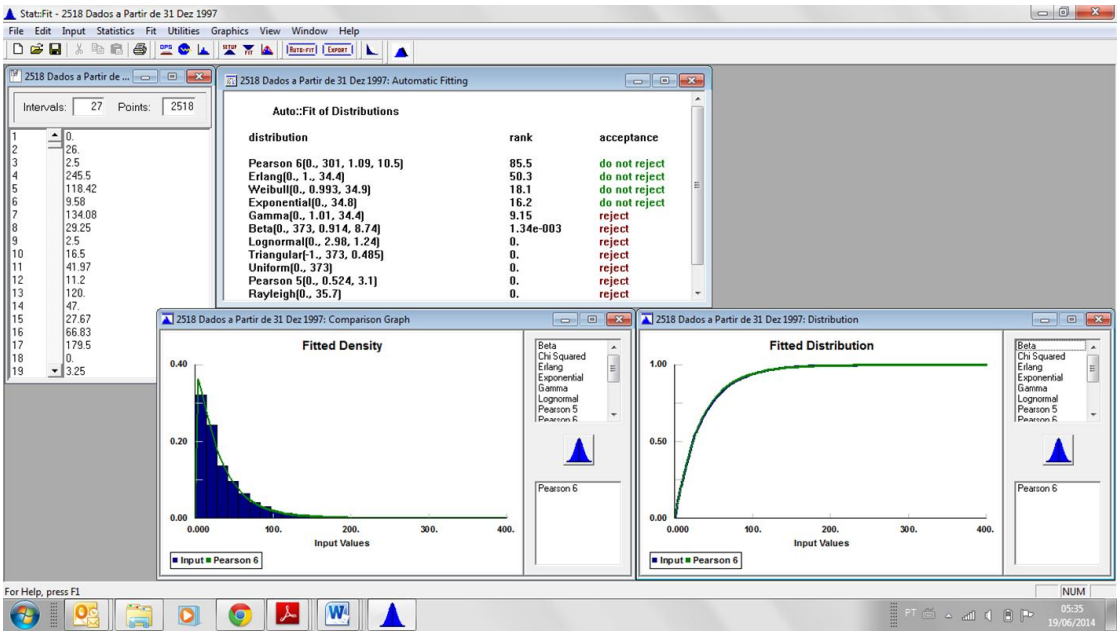


Figura 28: *Fit* de 2518 Dados a Partir de 31 Dez 1997

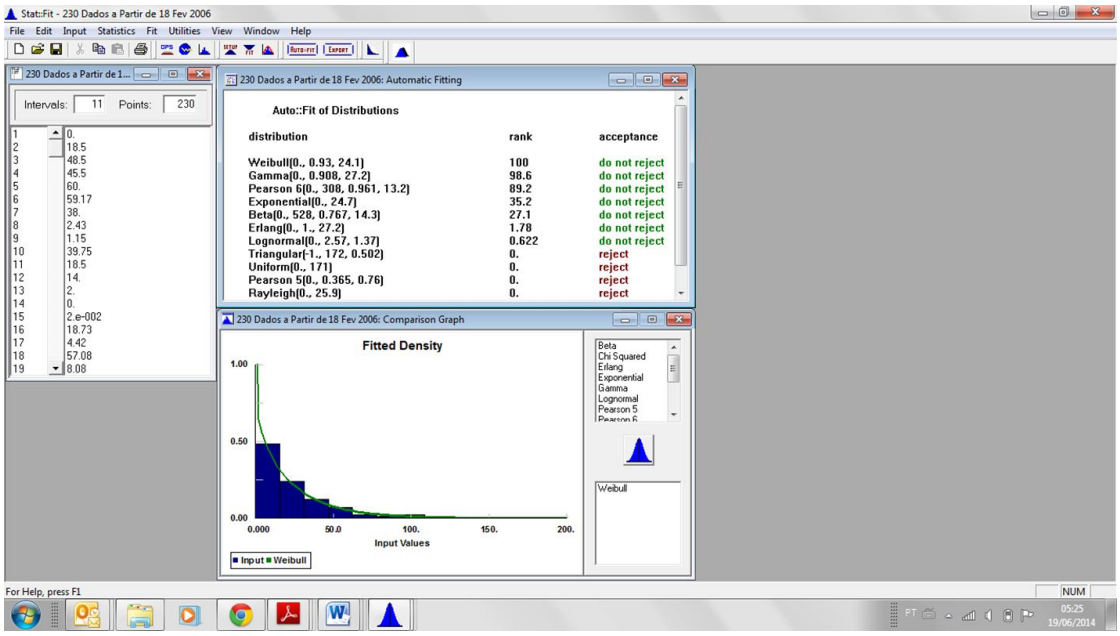


Figura 29: *Fit* de 230 Dados a Partir de 18 Fev 2006

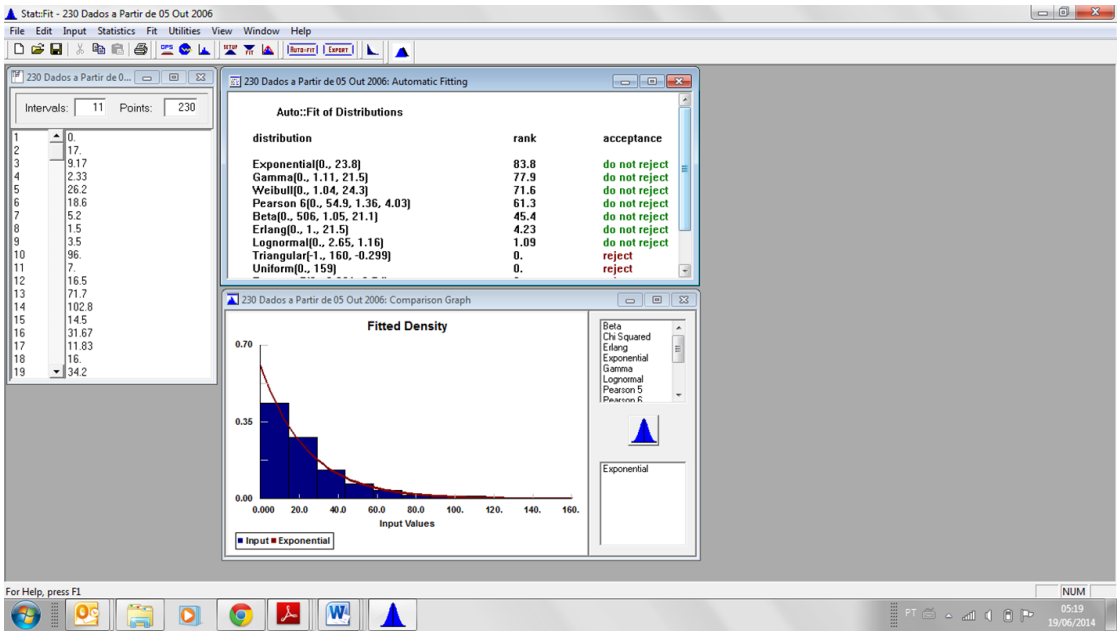


Figura 30: *Fit* de 230 Dados a Partir de 05 Out 2006

3.3: MÉTODO DE AVALIAÇÃO

Neste trabalho são utilizadas como parâmetros para avaliação de desempenho do terminal simulado as variáveis **taxa de ocupação, *lead time* e fila média de navios**. São considerados sempre os valores médios obtidos nos resultados dos conjuntos das rodadas da simulação.

Este trabalho usou um método muito simples para alcançar seu objetivo. Foi tomado um modelo simplificado e representativo de um terminal portuário de embarque de minério de ferro e fixados todos os seus parâmetros de funcionamento para a realização dos experimentos simulados. Para todas as rodadas das simulações, a quantidade de minério que entra anualmente no sistema á aproximadamente a mesma, de maneira que a quantidade que sai também será aproximadamente igual. Aí, então, foi simulado o desempenho desse terminal de quatro maneiras diferentes, alterando, em cada uma delas, a função distribuição de chegada de navios. As funções usadas foram as do Quadro 4.

Os resultados foram avaliados através das variáveis de saída do modelo de simulação: *Demurrage*, Ocupação de Berço, Fila Média de Navios e *Lead Time*. Especial ênfase foi dada ao impacto da função de chegada sobre a *demurrage*, de vez que ela é um dos elementos mais focados pelos administradores dos terminais portuários, servindo de base para tomada de decisões sobre dimensionamento de capacidade de equipamentos em novos projetos, ou sobre investimentos em melhorias ou aquisições em projetos em operação.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como proposto na introdução, foram executadas diferentes rodadas do sistema, testando os resultados decorrentes de várias funções de distribuição de chegada de navios na simulação. Mantidas todas as demais condições do sistema, foi alterada a função de chegada dos navios, pela ordem: Pearson 6, Exponencial, Erlang e Weibull.

A partir das rodadas de simulação, foram geradas planilhas com vários itens de controle importantes para o desempenho do terminal, tais como filas, taxas de utilização de equipamentos, estoques médios de produtos, giro de estoque, tempos de paralisações, etc. Essas planilhas se encontram anexas após as referências.

Para a finalidade deste trabalho, foram focadas quatro variáveis dependentes de controle, a saber: a *demurrage* média, a taxa de ocupação do berço, a fila média de navios e o *lead time* médio. Através dessas variáveis pode-se analisar a ponta do terminal, isto é, sua saída.

A Tabela 1 resume os valores assumidos por essas variáveis dependentes em função das variáveis de entrada, ou seja, das funções distribuições de chegada de navios assumidas para este teste: Pearson 6, Exponencial, Erlang e Weibull.

Tabela 1: Principais variáveis de saída de acordo com a função de entrada.

Variável	Função Distribuição de Chegada			
	Pearson 6	Exponencial	Erlang	Weibull
Demurrage (US$ x 1.000)	62.232,86	68.216,06	90.931,06	413.585,81
Ocupação do Berço (%)	47%	48%	50%	50%
Fila Média (Nº de Navios)	9,24	9,41	13,29	58,2
Lead Time Médio (horas)	415,6	447,36	585,04	2.459,76

A fim de facilitar a análise dos resultados, a função Pearson 6 será, daqui pra frente, designada como **função base**, em relação à qual todas as demais serão comparadas. Ela foi escolhida por ter sido a função mais aderente à base de dados contendo 2.518 chegadas consecutivas de navios. E a partir do Quadro 4 foram gerados os gráficos das Figuras 31 a 34, que mostram os seguintes resultados comparativos.

Primeiro, a *demurrage* média apresenta variações significativas quando comparada a função base, Pearson 6, com as demais, como demonstra o gráfico da Figura 31. Mais adiante serão analisadas detalhadamente essas diferenças.

No gráfico da Figura 32, pode-se observar que a fila média de navios segue a mesma tendência da *demurrage*, com variação em relação à base no mesmo patamar que as variações da *demurrage*. Isso é bastante coerente, de vez que, como já descrito, a *demurrage* é muito afetada pelo tempo de espera para atracação.

Pelo gráfico da Figura 33, percebe-se que a taxa de ocupação de berço não varia significativamente em nenhum dos casos. Sua variação maior – em relação à função base – é de 3%. Dado que é condição para atracação que haja carga para o navio, é de esperar mesmo que a fila não impacte sua permanência, isto é, o tempo que ele fica no berço. Como o sistema embarca uma quantidade praticamente fixa por ano, a taxa de ocupação neste caso não deveria mesmo sofrer variações.

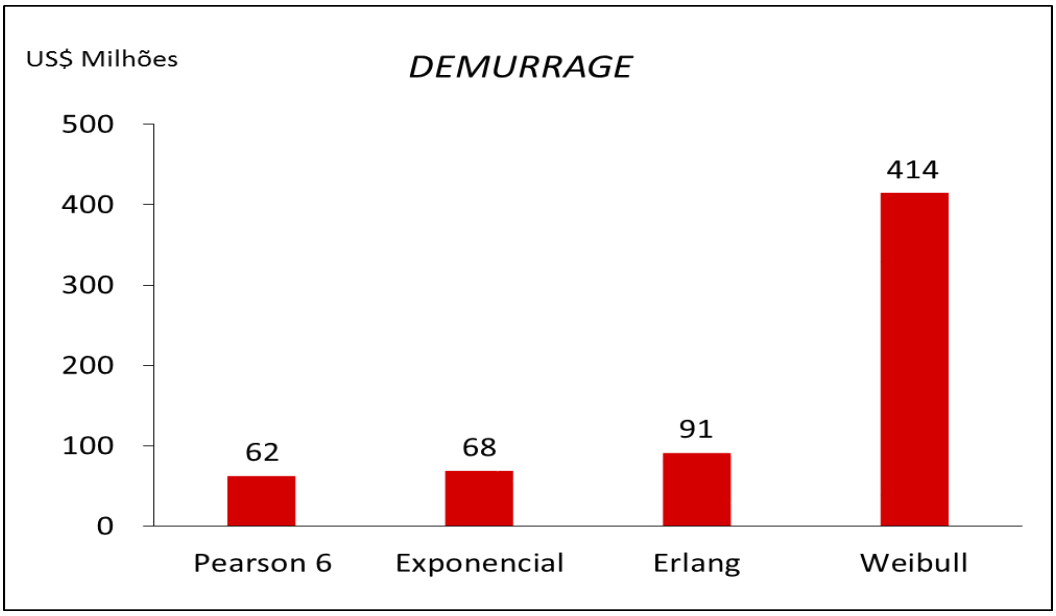


Figura 31: Demurrage absoluta para cada função.

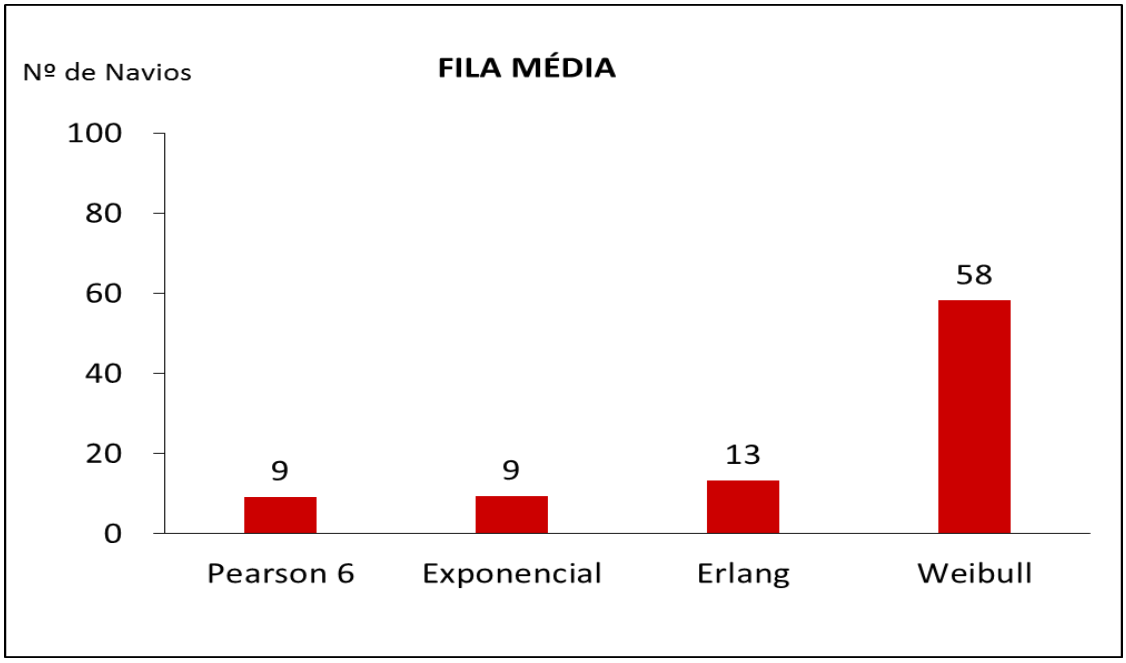


Figura 32: Fila média de navios para cada função.

E o gráfico da Figura 34 mostra variação muito significativa para o lead time nos casos das funções Erlang e Weibull e menor para a Exponencial. O lead time é afetado também pelo desempenho do pátio de estocagem, pois o tipo de produto para determinado navio pode não estar completamente disponível, causando impacto no atendimento à fila.

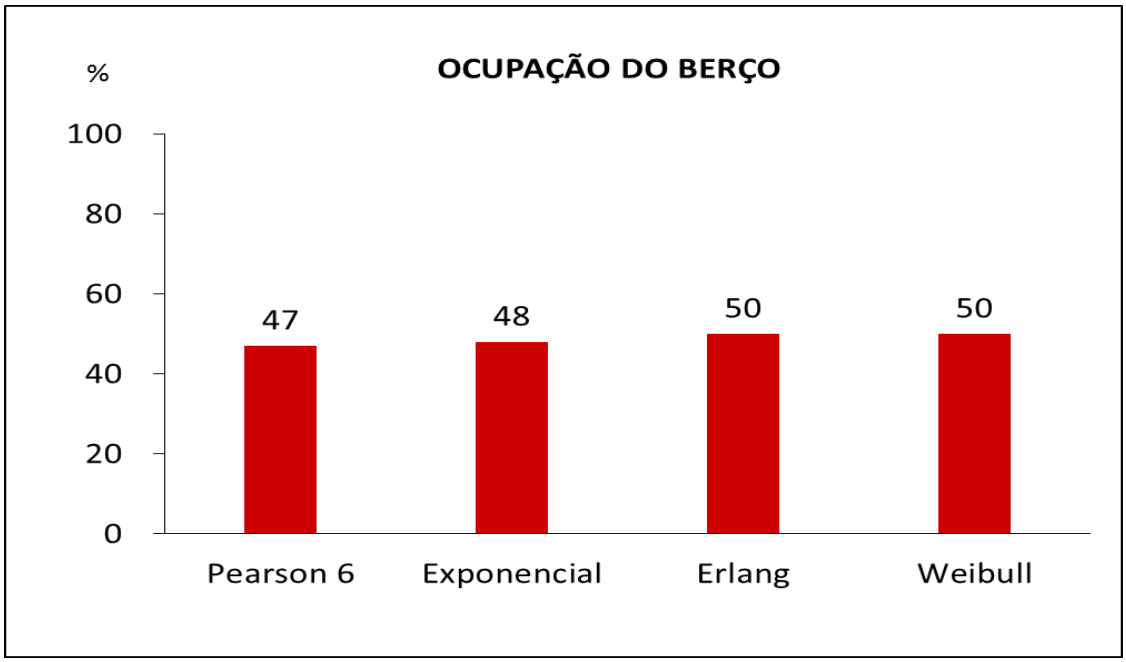


Figura 33: Taxa de ocupação para cada função.

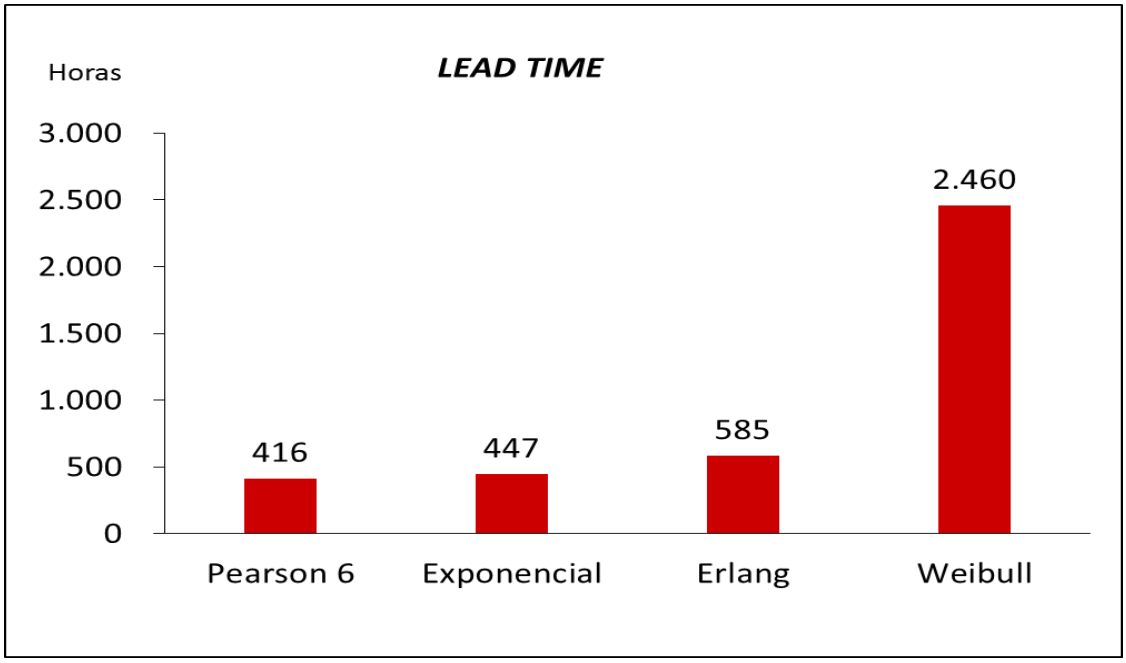


Figura 34: Lead time médio para cada função.

Os acréscimos em relação à função base são, respectivamente, de 31, 169 e 2.044 horas, para a Exponencial, Erlang e Weibull.

Voltando à análise da *demurrage*, considere-se a Tabela 2 que mostra suas diferenças para as quatro funções de chegada de navios. Baseado nela, o gráfico da Figura 35 exibe as diferenças absoluta e percentual em relação à função base. Vê-se que a diferença de *demurrage* entre a função Exponencial e a base (Pearson 6) é, em valores absolutos, de US$ 6,0 milhões (10% maior). Analogamente, a função Erlang apresenta diferenças de US$ 28,7 milhões (46%) e a Weibull US$ 352 milhões (566%).

Tabela 2: Diferenças da demurrage em relação à função base

Variável	Função Distribuição de Chegada			
	Pearson 6	Exponencial	Erlang	Weibull
Demurrage (US$ x 1.000)	62.232,86	68.216,39	90.931,06	413.585,81
Diferença de *Demurrage* para Pearson 6 (US$ x 1.000)	0	5.983,53	28.698,19	352.113,81
Diferença de *demurrage* para Pearson 6 (%)	0%	10%	46%	566%

Há uma questão estatística a ser considerada. É que os intervalos de confiança dos resultados das variáveis analisadas podem ter faixas de

superposição. Isso leva à conclusão de que, estatisticamente, não se pode afirmar que um resultado é pior que o outro. Entretanto, na prática, os gestores, que têm que tomar decisões, são obrigados a considerar as médias como valores mais prováveis e por elas decidirem.

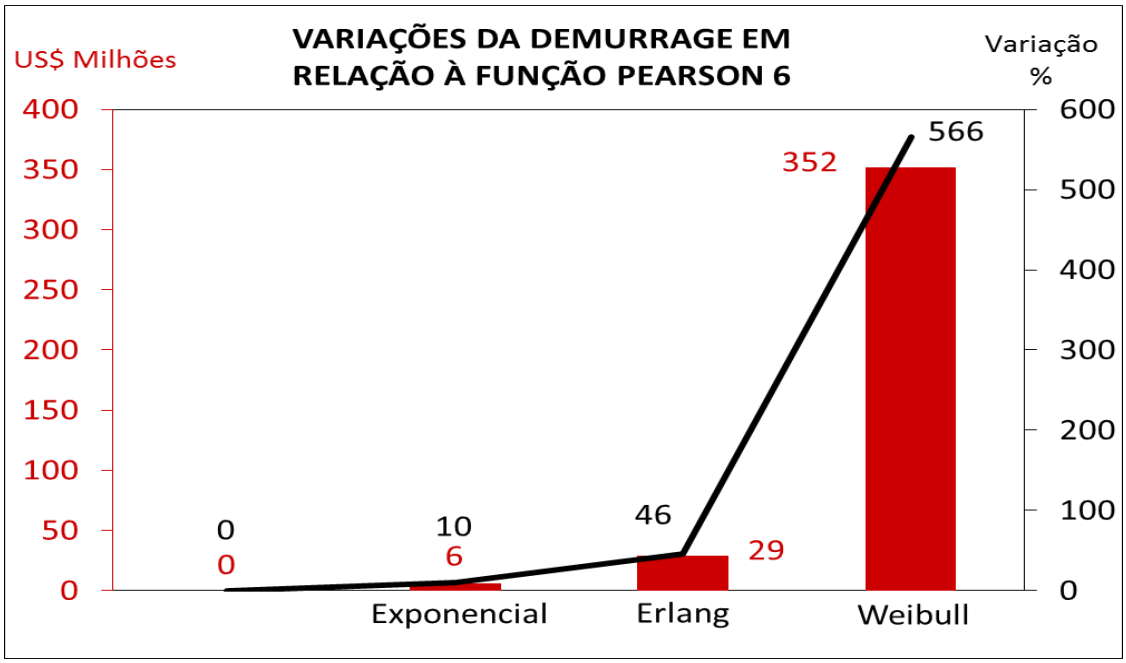


Figura 35: Diferença absoluta e percentual de *demurrage* entre as demais funções e a base.

A fim de ilustrar a significância das variações encontradas, consideremos orçamentos recentes, solicitados por dois grandes projetos em implantação no Brasil. Eles estimam o valor de aquisição de uma recuperadora com capacidade para retirar do pátio de estocagem 8 mil ton/h de minério de ferro na ordem de US$ 15 milhões. O que se viu acima indica que com a diferença entre o resultado da *demurrage* média estimada utilizando-se outras funções, em relação à Pearson 6, poder-se-ia comprar duas ou mais máquinas de pátio. Estas são fundamentais para as operações e tal aquisição poderia aumentar significativamente a produção e a *performance* do terminal, reduzindo a *demurrage*.

O resultado de uma simulação pode, pois, induzir um gestor de projetos a aumentar a capacidade dos equipamentos do sistema ou introduzir equipamentos adicionais, a fim de reduzir o valor médio de *demurrage* anual no terminal. Afinal, US$ 28 milhões ou mais de *demurrage*, se puderem ser economizados com investimento que se pague em um ano, certamente serão transformados em

aumento de capacidade. Mesmo os R$ 6,0 milhões de diferença no caso da função Exponencial, pagariam uma máquina em três anos.

Por fim, agora podem ser respondidas as questões apresentadas no Item 1.3. Quanto à primeira delas, da importância que têm as funções de entrada na simulação, vimos que elas claramente impactam os resultados de maneira muito significativa. E alguns *softwares* utilizados para a elaboração de modelos de simulação não têm a função Pearson. Fica clara a necessidade de utilização de *softwares* estatísticos para determinar essas funções com maior precisão.

Sobre o nível de impacto nos resultados que a escolha de funções representativas das chegadas tem, viu-se que se pode chegar a resultados com variações de até 566% na previsão de *demurrage*s pagas a navios e de 530% na fila média, sendo esses dois os principais parâmetros utilizados na avaliação dos resultados desse tipo de simulação.

Ficou comprovado que os resultados podem induzir os executivos de empresas a tomarem decisões equivocadas, em virtude das variações muito grandes acima referidas. Pois a *demurrage* muito alta indica que o sistema está mal dimensionado e pode ser otimizado, por exemplo, com a aquisição de mais equipamentos.

Por fim, nota-se que a maioria dos trabalhos publicados não traz detalhados os parâmetros das funções estatísticas usadas nos modelos de simulação. Seria muito útil se essa passasse a ser uma prática constante. Assim a literatura poderia contribuir para a calibração de simulações de projetos *green field*.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 CONCLUSÕES

Nas modernas simulações, em geral o foco são os resultados operacionais de desempenho, muitas vezes também associados a resultados financeiros, quando estes são possíveis de serem avaliados no modelo. Os gestores de projetos têm que tomar decisões rápidas e de alto impacto, baseados em seus resultados. Por isso, as simulações precisam ter resultados confiáveis para dar conforto à tomada de decisão.

Especialmente quando se trata de projetos *green field*, onde não há registros históricos, as simulações têm que basear seus dados de entrada na literatura disponível sobre outros sistemas.

Como visto na Introdução, estudos sobre portos e terminais portuários têm convergido para admitir que a distribuição estatística de chegada de navios é fortemente influenciada por controles, como, por exemplo, regras de prioridade. Também os armadores retardam ou adiantam seus navios em viagem, a fim de reduzir o tempo de espera para atracação. Estudos, como os de Psaraftis & Kontovas (2014), modelam combinações de rotas e velocidade dos navios visando à otimização de seus custos operacionais. Isso faz com que funções de distribuições como a Exponencial, Erlang e Weibull, apesar de genericamente recomendadas, até agora, para representar a chegada de navios num porto, tenham que ser usadas com muito critério.

Conforme demonstrado neste trabalho, as funções de distribuição de probabilidade usadas como dados de entrada nas simulações de processos impactam fortemente nos seus resultados, podendo induzir decisões erradas aos

executivos de empresas que delas venham a fazer uso. No caso de simulações de operações de navios em terminais portuários de embarque de minério de ferro, comprovou-se que pode-se ter resultados com variações de até 566% na previsão de *demurrages* pagas a navios e de 530% na fila média, quando se varia a função.

Considerando o valor absoluto de *demurrage*, uma das principais variáveis de saída utilizadas na avaliação dos resultados, foram vistas neste trabalho variações de R$ 28,7 e R$ 252 milhões, quando se comparou resultados do uso das funções Pearson 6, Erlang e Weibull. Valores suficientes para induzirem executivos a planejarem aquisição de mais equipamentos, superdimensionando o projeto.

Comprovou-se também que, apesar da recomendação da literatura tradicional, as funções Exponencial, Erlang e Weibull podem não ser as mais adequadas para representar a chegada de navios num terminal de embarque de minério de ferro *green field*.

5.2 RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Nota-se que a maioria dos trabalhos publicados não traz detalhados os parâmetros das funções estatísticas usadas nos modelos de simulação. Seria muito útil se essa passasse a ser uma prática constante. Modelos como o IDEF-SIM podem ajudar muito no registro desses parâmetros, permitindo sua replicação, especialmente para uso em projetos *green field*.

Recomenda-se ampliar a pesquisa para mais bancos de dados de terminais portuários brasileiros de minério de ferro, com explicitação e registros de todos os parâmetros que definem funções estatísticas.

Como no Brasil há dificuldade de obtenção de dados com as empresas, recomenda-se, como alternativa, que esses dados sejam solicitados a associações como a ABTP – Associação Brasileira de Terminais Portuários. Essas associações podem compilar dados das empresas, são fontes confiáveis e podem preservar o sigilo sobre suas associadas. Também órgãos governamentais como a ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários – podem se encarregar de manter tais bancos de dados.

5.3: LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Em primeiro lugar, este estudo focou especificamente um terminal portuário de minério de ferro com um único berço de atracação e, portanto, não representa a complexidade de um porto com vários terminais.

Segundo, o banco de dados utilizado diz respeito a um único terminal portuário, que pode ter especificidades próprias e não permitir uma generalização de inferências.

Terceiro, pretende-se abordar em estudo próximo a comparação de variações geradas por um mesmo tipo de função distribuição de probabilidade com parâmetros diferentes. Por exemplo, analisar qual a influência de funções com diferentes curtoses sobre resultados da simulação.

6: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS (ANTAQ). **Subsídios técnicos para identificação de áreas destinadas à instalação de portos organizados ou autorização de terminais de uso privativo em apoio ao plano geral de outorgas**. Brasília :Centro de Excelência em Engenharia de Transportes, 2009.

ALVAREZ, J. Fernando, TORE Longva, and ERNA S. Engebrethsen. A methodology to assess vessel berthing and speed optimization policies. **Formerly International Journal of Maritime Economics (IJME)**, 2010. Disponível em: <http://www.maritimeeconomics.com/research/mel-journal/.>. Acesso 13 março 2014.

BANDYOPADHYAY, Susmita; BHATTACHARYA, Ranjan. **Discrete and continuous simulation:** theory and practice. Boca Raton, Florida: Chemical Rubber Company (CRC), 2014.

BANKS, J., J. S. Carson, and B. L. Nelson. DM Nicol. **Discrete-event system simulation**. New york: Prentice Hall, 2000.

CAMELO, Gustavo Rossaet et al. Teoria das filas e da simulação aplicada ao embarque de minério de ferro e manganês no terminal marítimo de ponta da madeira. **Cadernos do IME: Série Estatística**, v. 29, 2010. Disponível em: <http://cadest.ime.uerj.br/>. Acessado em 13 maio 2014.

CANONACO, Pietro et al. A queuing network model for the management of berth crane operations. **Computers and Operations Research**, v. 35, n. 8, p. 2432-2446, 2008. Disponível em: < http://store.elsevier.com/product.jsp?issn=03050548>. Acesso 13 abril 2014.

CASACA, Ana C. Paixão. Simulation and the lean port environment. **Formerly International Journal of Maritime Economics (IJME)**, v. 7, n. 3, p. 262-280, 2005.. Disponível em: <http://www.maritimeeconomics.com/research/mel-journal/.>. Acesso 15 março 2014.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso Celso. **Modelagem e simulação de eventos discretos**. São Paulo: Simulação, 2006.

CHWIF, Leonardo; MEDINA, Afonso C.. **Modelagem e simulação de eventos discretos:** teoria e aplicações. 3. ed. São Paulo: Ed. do Autor, 2010.

DEMIRCI, Emrullah. Simulation modelling and analysis of a port investment. **Simulation**, v. 79, n. 2, p. 94-105, 2003. Disponível em: < http://scs.org/simulation>. Acesso em 14 fev 2014.

DRAGOVI; Branislav Cacute; NAM KYU PARK, Zoran Radmilovi cacute; MARAŠ, Vladislav. Simulation modelling of ship-berth link with priority service. **Formerly International Journal of Maritime Economics (IJME)**, v., n. 4, p. 316-335, 2005. Disponível em: <http://www.maritimeeconomics.com/research/mel-journal/.>. Acesso 16 jan 2014.

DUINKERKEN, Mark B. et al **Comparing transportation systems for inter-terminal transport at the maasvlakte container terminals**. New York: Springer Heidelberg, 2007.

FLEURY, P. F.; HIJJAR, M. F. **Logistics overview in Brazil 2008**. Disponível em: <http://www.guiadotrc.com.br/logistica/Logistics_Overview_in_Brazil_2008.pdf.> Acesso em 15 fev 2014.

FREITAS FILHO, P. J. **Introdução à modelagem e simulação de Sistemas:** com aplicações em Arena. 2. ed. Florianópolis: Visual Books, 2008.

GOLDSMAN, David; NANCE, Richard E.; WILSON, James R. A brief history of simulation revisited. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE. WINTER SIMULATION, 22, 2010, Baltimore, Maryland, USA. **Proceedings**…. Baltimore, Maryland, USA: WSC, 2010. p. 567-574.

HO, Mun Wai; HO, Kim Hin David. Risk management in large physical infrastructure investments: the context of seaport infrastructure development and investment. **International Journal of Maritime Economics (IJME)**, v. 8, n. 2, p. 140-168, 2006.

Disponível em: <http://www.maritimeeconomics.com/research/mel-journal/.>. Acesso 20 jan 2014.

IGNACIO, A. A. V.; NEVES, C. Análise da capacidade de terminais portuários através da técnica de simulação. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 29, 2009, Salvador, BA. **Anais**.... Salvador-BA: ENGENEP, 2009

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. **Informações e análises da economia mineral brasileira**. Brasília: IBRAM, 2012.

KIM, Kap Hwan; LEE, Keung Mo; HWANG, Hark. Sequencing delivery and receiving operations for yard cranes in port container terminals. **International Journal of Production Economics**, v. 84, n. 3, p. 283-292, 2003. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/09255273>. Acesso em 13 maio 2014.

LEAL, Fabiano; ALMEIDA, DA de; MONTEVECHI, José Arnaldo Barra. Uma proposta de técnica de modelagem conceitual para a simulação através de elementos do IDEF. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 40, 2008. João Pessoa-PB. **Anais**... João Pessoa-PB: ABEPRO, 2008.

LEGATO, Pasquale; MAZZA, Rina M. Berth planning and resources optimisation at a container terminal via discrete event simulation. **European Journal of Operational Research**, v. 133, n. 3, p. 537-547, 2001. Disponível em: <http://www.journals.elsevier.com/european-journal-of-operational-research/>. Acesso em 13 março 2014.

LIU, Yan; TAKAKUWA, Soemon. Modeling the materials handling in a container terminal using electronic real-time tracking data. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 43, 2011. Phoenix, AZ. **Proceedings**... Phoenix, AZ: WSC, 2011. p. 1591-1599.

MEISEL, Frank; BIERWIRTH, Christian. Heuristics for the integration of crane productivity in the berth allocation problem. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 45, n. 1, p. 196-209, 2009. Disponível em: < http://www.journals.elsevier.com/transportation-research-part-e-logistics-and-transportation-review/>. Acesso em 20 maio 2014.

METROPOLIS, Nicholas. The beginning of the Monte Carlo method. **Los Alamos Science**, v. 15, n. 584, p. 125-130, 1987. Disponível em: < http://la-science.lanl.gov/>. Acesso 20 jan 2014;

MOONEY, Christopher Z. **Monte Carlo simulation**. California: Sage, 1997.

NISHIMURA, Etsuko; IMAI, Akio; PAPADIMITRIOU, Stratos. Berth allocation planning in the public berth system by genetic algorithms. **European Journal of Operational Research**, v. 131, n. 2, p. 282-292, 2001. <http://www.journals.elsevier.com/european-journal-of-operational-research/>. Acesso em 13 fev 2014.

OTTJES, J. A., VEEKE, H. P., DUINKERKEN, M. B., RIJSENBRIJ, J. C., & LODEWIJKS, G.. Simulation of a multiterminal system for container handling**.** In: **Container terminals and cargo systems**. New York: Springer Heidelberg, 2007. p. 15-36.

PACHAKIS, Dimitris; KIREMIDJIAN, Anne S. Ship traffic modeling methodology for ports. **Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering**, v. 129, n. 5, p. 193-202, 2003. Disponível em: < http://ascelibrary.org/journal/jwped5>. Acesso 20 em: maio 2014.

PAROLA, Francesco; SCIOMACHEN, Anna. Intermodal container flows in a port system network: analysis of possible growths via simulation models. **International Journal of Production Economics**, v. 97, n. 1, p. 75-88, 2005. Disponível em: <http://www.journals.elsevier.com/international-journal-of-production-economics/> Acesso em: 30 março 2014.

PINTO, Lucas Marques. **A infraestrutura brasileira e os desafios na logística de distribuição de grãos de soja para exportação**. 2012. 107 f. Monografia (Graduação em Relações Internacionais) – Centro Universitário de Brasília, Faculdade de Ciências Jurídicas e Sociais, Brasília, 2012. Disponível em: <http://repositorio.uniceub.br/bitstream/123456789/635/3/20822795_Lucas%20Pinto.pdf>. Acesso em: 12 maio 2014.

PRASAD, U. Hari; GAVIRNENI, Srinagesh. A simulation approach to estimate the value of information in maritime supply chains. In: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 40, 2010, Baltimore. **Proceedings**… Baltimore: WSC, 2010. p. 1967-1975.

PSARAFTIS, Harilaos N.; KONTOVAS, Christos A. Ship speed optimization: Concepts, models and combined speed-routing scenarios. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, v. 44, p. 52-69, 2014. Disponível em: <http://www.journals.elsevier.com/transportation-research-part-c-emerging-technologies/>. Acesso em: 14 maio 2014.

SHABAYEK, A. A.; YEUNG, W. W. A simulation model for the Kwai Chung container terminals in Hong Kong. **European Journal of Operational Research**, v. 140, n. 1, p. 1-11, 2002. Disponível em: < http://www.euro-online.org/web/pages/518/european-journal-of-operational-research-ejor>. Acesso em: 24 março 2014.

SHANNON, Robert E. Simulation**:** a survey with research suggestions. **IIE Transactions**, v. 7, n. 3, p. 289-301, 1975. Disponível em: <http://link.springer.com/journal/10756>. Acesso em: 30 maio 2014.

SILVA, J. E. A. R.; ALVES, M. R. P. A; COSTA, M. A. B. Planejamento de turnos de trabalho: uma abordagem no setor sucroalcooleiro com uso de simulação discreta. **Gestão e Produção**. São Carlos, v. 18, n. 1, p. 73-90, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=0104-530X&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 15 maio 2014.

TAHAR, Razman Mat; HUSSAIN, Khalid. Simulation and analysis for the kelang container terminal operations. **Logistics information management**, v. 13, n. 1, p. 14-20, 2000. Disponível em: < http://www.emeraldinsight.com/loi/lim>. Acesso em: 19 março 2014.

TU, Y. P.; CHANG, Y. F. Analyses of operations of ditch container wharf and container yard**. The Journal of American Academy of Business**, v. 9, n. 2, p. 139-146, 2006. Disponível em: < http://www.jaabc.com/journal.htm>. Acesso em 20 em: maio 2014.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). **Port development: a handbook for planners in developing countries**. New York: United Nations, 1985. p. 108-128. Disponível em: < http://r0.unctad.org/ttl/docs-un/td-b-c4-175-rev-1/TD.B.C.4.175.REV.1.PDF>. Acesso em: 20 março 2014.

VAN ASPEREN, Eelco et al. Allocation of ships in a port simulation: simulation in industry. In: EUROPEAN SIMULATION SYMPOSIUM, 15, 2003, Delft**. Proceedings**… Delft: ESS: 2003. p. 26-29.Disponível em: <http://www.scs-europe.net/conf/ess2003/>. Acesso em: 23 março 2014.

WANKE, Peter. Ship-berth link and demurrage costs**:** evaluating aifferent allocation policies and queue priorities via simulation. **Pesquisa Operacional**, v. 31(1), p. 113 –130, 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=0101-438&lng=en&nrm=iso.>. Acesso em: 20 abril 2014.

_____.. Ship-berth link simulation: impact on total demurrage costs. **International Journal of Shipping and Transport Logistics**, v. 3, n. 3, p. 261-294, 2011. Disponível em: < http://www.inderscience.com/jhome.php?jcode=IJSTL>. Acesso em: 20 maio 2014.

WEBBER, Suzane Lumertz. **O papel do BNDES nas exportações brasileiras no período 2000-2011**. 2012. 68 f. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br>. Acesso em 20 maio 2014.

YIN, Xiao Feng; KHOO, Li Pheng; CHEN, Chun-Hsien. A distributed agent system for port planning and scheduling. **Advanced Engineering Informatics**, v. 25, n. 3, p. 403-412, 2011. Disponível em: < http://www.journals.elsevier.com/advanced-engineering-informatics/>. Acesso em: 22 fev 2014.

VAN DER HEYDEN, W. P. A.; OTTJES, J. A. A decision support system for the planning of the workload on a grain terminal. **Decision Support Systems**, v. 1, n. 4, p. 293-297, 1985. Disponível em: < http://www.journals.elsevier.com/decision-support-systems/>. Acesso em: 20 abril 2014.

ZHANG, Haipeng; KIM, Kap Hwan. Maximizing the number of dual-cycle operations of quay cranes in container terminals. **Computers and Industrial Engineering**, v. 56, n. 3, p. 979-992, 2009. Disponível em: <http://www.journals.elsevier.com/computers-and-industrial-engineering/>. Acesso em: 20 maio 2014.

APÊNDICE A: BANCO DE DADOS

Navio	Realizado (BL)	Chegada	Atracação	Desatracação	DWT	Demurrage	Demurrage/Dia	Dispatch	Fim Laydays	Início Demurrage	Início Laydays
PACIFIC TIARA	109.861,00	07/06/2007 02:30	15/06/2007 23:58	17/06/2007 11:45	180.310,00	97.243,97	15.400,00	0	15/06/2007 23:59	11/06/2007 12:15	01/06/2007
	65.929,00	07/06/2007 02:30	15/06/2007 23:58	17/06/2007 11:45	180.310,00	97.243,97	15.400,00	0	15/06/2007 23:59	11/06/2007 12:15	01/06/2007
PACIFIC TIARA	175.790,00	07/06/2007 02:30	15/06/2007 23:58	17/06/2007 11:45	180.310,00	97.243,97	15.400,00	0	15/06/2007 23:59	11/06/2007 12:15	01/06/2007
HEBEI TIGER	176.096,00	02/06/2007 13:00	13/06/2007 20:00	15/06/2007 15:35	179.836,00	152.090,98	11.000,00	0	15/06/2007 23:59	06/06/2007 05:42	01/06/2007
Tjore Fremgang	93.156,00	06/06/2007 06:00	11/06/2007 19:05	15/06/2007 06:05	96.027,00	64.197,22	11.000,00	0	17/06/2007 23:59	09/06/2007 01:54	03/06/2007
AQUAHOPE	163.503,30	31/05/2007 06:10	12/06/2007 09:50	13/06/2007 16:25	167.102,00	153.844,76	15.400,00	0	13/06/2007 23:59	03/06/2007 17:30	30/05/2007
DIAMOND WARRIOR	193.510,00	24/05/2007 15:00	10/06/2007 01:15	12/06/2007 07:37	197.091,00	245.567,36	17.000,00	0	02/06/2007 23:59	28/05/2007 15:26	19/05/2007
GALLIA GRAECA	72.670,00	01/06/2007 20:00	10/06/2007 13:00	11/06/2007 15:50	74.133,00	147.458,74	10.000,00	0	08/06/2007 23:59	04/06/2007 18:04	25/05/2007
CAPE AUSTRALIA	100.997,00	28/05/2007 14:48	07/06/2007 10:25	10/06/2007 11:25	149.512,00	279.994,57	10.000,00	0	05/06/2007 23:59	01/06/2007 18:56	22/05/2007
	46.205,00	28/05/2007 14:48	07/06/2007 10:25	10/06/2007 11:25	149.512,00	279.994,57	10.000,00	0	05/06/2007 23:59	01/06/2007 18:56	22/05/2007
CAPE AUSTRALIA	147.202,00	28/05/2007 14:48	07/06/2007 10:25	10/06/2007 11:25	149.512,00	279.994,57	10.000,00	0	05/06/2007 23:59	01/06/2007 18:56	22/05/2007
BULK AUSTRALIA	167.135,00	25/05/2007 03:30	08/06/2007 13:00	09/06/2007 20:35	170.578,00	204.035,41	17.000,00	0	05/06/2007 23:59	28/05/2007 04:17	22/05/2007
XINSHENG HAI	179.607,00	20/05/2007 22:20	05/06/2007 18:00	08/06/2007 10:05	182.008,00	194.012,50	11.000,00	0	07/06/2007 23:59	27/05/2007 13:52	24/05/2007
ZETLAND	69.243,00	27/05/2007 19:30	03/06/2007 11:30	07/06/2007 07:15	145.905,00	122.045,84	17.000,00	0	03/06/2007 23:59	30/05/2007 21:36	20/05/2007
	73.918,00	27/05/2007 19:30	03/06/2007 11:30	07/06/2007 07:15	145.905,00	122.045,84	17.000,00	0	03/06/2007 23:59	30/05/2007 21:36	20/05/2007
ZETLAND	143.161,00	27/05/2007 19:30	03/06/2007 11:30	07/06/2007 07:15	145.905,00	122.045,84	17.000,00	0	03/06/2007 23:59	30/05/2007 21:36	20/05/2007
GRAND CLIPPER	161.860,00	21/05/2007 10:54	03/06/2007 14:50	04/06/2007 22:45	168.146,00	256.295,48	25.100,00	0	29/05/2007 23:59	24/05/2007 09:31	20/05/2007
CAPE LOTUS	42.410,00	20/05/2007 17:50	02/06/2007 00:20	03/06/2007 11:40	168.083,00	150.523,66	15.400,00	0	31/05/2007 23:59	24/05/2007 23:10	17/05/2007
	38.066,00	20/05/2007 17:50	02/06/2007 00:20	03/06/2007 11:40	168.083,00	150.523,66	15.400,00	0	31/05/2007 23:59	24/05/2007 23:10	17/05/2007
	87.073,00	20/05/2007 17:50	02/06/2007 00:20	03/06/2007 11:40	168.083,00	150.523,66	15.400,00	0	31/05/2007 23:59	24/05/2007 23:10	17/05/2007
CAPE LOTUS	167.549,00	20/05/2007 17:50	02/06/2007 00:20	03/06/2007 11:40	168.083,00	150.523,66	15.400,00	0	31/05/2007 23:59	24/05/2007 23:10	17/05/2007
FERNIE	115.116,00	23/05/2007 06:42	01/06/2007 09:05	03/06/2007 07:10	122.292,00	100.684,17	12.600,00	0	26/05/2007 23:59	25/05/2007 08:56	12/05/2007
BRILLIANT ARC	87.826,00	20/05/2007 07:20	30/05/2007 22:05	01/06/2007 17:40	177.643,00	146.754,86	17.000,00	0	25/05/2007 23:59	23/05/2007 20:43	11/05/2007
	81.104,00	20/05/2007 07:20	30/05/2007 22:05	01/06/2007 17:40	177.643,00	146.754,86	17.000,00	0	25/05/2007 23:59	23/05/2007 20:43	11/05/2007
BRILLIANT ARC	168.930,00	20/05/2007 07:20	30/05/2007 22:05	01/06/2007 17:40	177.643,00	146.754,86	17.000,00	0	25/05/2007 23:59	23/05/2007 20:43	11/05/2007
FRONT GUIDER	120.453,00	07/02/2007 01:00	17/02/2007 14:10	19/02/2007 14:45	169.146,00	152.090,98	17.000,00	0	19/02/2007 23:59	10/02/2007 01:08	05/02/2007
	45.206,00	07/02/2007 01:00	17/02/2007 14:10	19/02/2007 14:45	169.146,00	152.090,98	17.000,00	0	19/02/2007 23:59	10/02/2007 01:08	05/02/2007
FRONT GUIDER	165.659,00	07/02/2007 01:00	17/02/2007 14:10	19/02/2007 14:45	169.146,00	152.090,98	17.000,00	0	19/02/2007 23:59	10/02/2007 01:08	05/02/2007
Coal Hunter	80.160,00	12/02/2007 06:00	18/02/2007 08:50	19/02/2007 07:35	82.298,00	48.231,94	17.000,00	0	26/02/2007 23:59	14/02/2007 18:00	12/02/2007
SKS TAGUS	40.313,00	11/02/2007 23:36	13/02/2007 08:30	18/02/2007 07:00	109.933,00	34.606,26	0	0	15/02/2007 23:59	14/02/2007 17:41	06/02/2007
	34.929,00	11/02/2007 23:36	13/02/2007 08:30	18/02/2007 07:00	109.933,00	34.606,26	0	0	15/02/2007 23:59	14/02/2007 17:41	06/02/2007
	25.508,00	11/02/2007 23:36	13/02/2007 08:30	18/02/2007 07:00	109.933,00	34.606,26	0	0	15/02/2007 23:59	14/02/2007 17:41	06/02/2007
SKS TAGUS	100.750,00	11/02/2007 23:36	13/02/2007 08:30	18/02/2007 07:00	109.933,00	34.606,26	0	0	15/02/2007 23:59	14/02/2007 17:41	06/02/2007
MINERAL VIKING	165.000,00	04/02/2007 15:55	14/02/2007 11:35	17/02/2007 11:20	172.589,00	154.865,27	17.000,00	0	15/02/2007 23:59	08/02/2007 03:55	01/02/2007
RUBIN PHOENIX	79.912,00	02/02/2007 10:45	12/02/2007 20:45	14/02/2007 08:05	171.080,00	134.902,09	17.000,00	0	08/02/2007 23:59	06/02/2007 00:03	25/01/2007
	88.000,00	02/02/2007 10:45	12/02/2007 20:45	14/02/2007 08:05	171.080,00	134.902,09	17.000,00	0	08/02/2007 23:59	06/02/2007 00:03	25/01/2007
RUBIN PHOENIX	167.912,00	02/02/2007 10:45	12/02/2007 20:45	14/02/2007 08:05	171.080,00	134.902,09	17.000,00	0	08/02/2007 23:59	06/02/2007 00:03	25/01/2007
Ever Young	69.568,00	14/05/2007 09:00	28/05/2007 02:45	29/05/2007 01:35	73.081,00	191.988,90	16.000,00	0	22/05/2007 23:59	16/05/2007 14:38	08/05/2007
LA JOLLA	70.636,00	09/02/2007 05:50	12/02/2007 05:40	13/02/2007 04:40	72.126,00	45.771,13	9.000,00	0	10/02/2007 23:59	11/02/2007 10:36	01/02/2007
FRONT LEADER	164.870,00	04/02/2007 05:30	10/02/2007 12:00	12/02/2007 17:24	169.381,00	56.306,51	19.000,00	0	04/02/2007 23:59	08/02/2007 20:30	20/01/2007
ANASTASIA C	71.574,00	02/02/2007 11:15	09/02/2007 10:50	11/02/2007 23:00	74.540,00	76.427,09	17.000,00	0	14/02/2007 23:59	04/02/2007 05:56	31/01/2007
CE-DUKE	45.632,00	30/01/2007 10:24	06/02/2007 12:45	07/02/2007 17:25	170.100,00	105.431,62	0	0	31/01/2007 23:59	02/02/2007 09:49	17/01/2007
	75.624,00	30/01/2007 10:24	06/02/2007 12:45	07/02/2007 17:25	170.100,00	105.431,62	0	0	31/01/2007 23:59	02/02/2007 09:49	17/01/2007
	40.513,00	30/01/2007 10:24	06/02/2007 12:45	07/02/2007 17:25	170.100,00	105.431,62	0	0	31/01/2007 23:59	02/02/2007 09:49	17/01/2007
CE-DUKE	161.769,00	30/01/2007 10:24	06/02/2007 12:45	07/02/2007 17:25	170.100,00	105.431,62	0	0	31/01/2007 23:59	02/02/2007 09:49	17/01/2007
Wah Shan	172.226,06	01/02/2007 16:06	07/02/2007 19:10	10/02/2007 07:30	175.980,00	77.858,60	16.067,00	0	08/02/2007 23:59	05/02/2007 07:15	25/01/2007
PACIFIC EAGLE	72.381,00	31/01/2007 16:45	05/02/2007 08:30	09/02/2007 09:48	73.592,00	66.695,13	17.000,00	0	14/02/2007 23:59	02/02/2007 11:53	31/01/2007
THALASSINI NIKI	32.992,00	01/02/2007 12:15	04/02/2007 21:05	06/02/2007 09:45	171.670,00	0	17.000,00	13.570,49	29/01/2007 23:59	07/02/2007 19:10	15/01/2007
	134.540,00	01/02/2007 12:15	04/02/2007 21:05	06/02/2007 09:45	171.670,00	0	17.000,00	13.570,49	29/01/2007 23:59	07/02/2007 19:10	15/01/2007
THALASSINI NIKI	167.532,00	01/02/2007 12:15	04/02/2007 21:05	06/02/2007 09:45	171.670,00	0	17.000,00	13.570,49	29/01/2007 23:59	07/02/2007 19:10	15/01/2007
ENERGY	66.075,00	28/01/2007 12:48	01/02/2007 17:40	04/02/2007 21:30	69.255,00	10.180,56	0	0	15/02/2007 23:59	04/02/2007 18:00	01/02/2007

APÊNDICE B: PLANILHAS DE RESULTADOS

ERLANG

Simulation Object	Performance Measure	Run 1	2	3	-95%	Average	95%
Demurrage (K USD)	Value	51.368,42	143.169,92	78.254,83	- 26.317,96	90.931,06	208.180,08
Dispatch (K USD)	Value	1.116,58	614,04	665,96	112,25	798,86	1.485,48
Demurrage (K USD) hr ref mais 33%	Value	49.883,24	141.146,94	76.483,27	- 27.434,13	89.171,15	205.776,43
Dispatch (K USD) hr ref mais 33%	Value	1.856,25	1.067,35	1.202,45	327,18	1.375,35	2.423,53
Recuperadora	Utilization %	28,92	26,24	34,23	19,70	29,79	39,89
Recuperadora Empilhadeira	Utilization %	26,27	28,95	20,21	14,02	25,14	36,27
Empilhadeira Superior	Utilization %	18,10	42,22	42,68	-	34,33	69,26
Empilhadeira Inferior	Utilization %	41,33	17,29	16,70	-	25,11	60,02
Berço	Average Queue Size	0,46	0,50	0,52	0,42	0,50	0,57
Fila Notice	Average Queue Size	7,50	20,67	11,71	-	13,29	30,00
	Maximum Queue Size	28,00	41,00	26,00	11,43	31,67	51,90
Fila Chegada Trens	Average Queue Size	1,99	2,60	3,84	0,47	2,81	5,16
	Maximum Queue Size	56,00	54,00	54,00	51,80	54,67	57,54
Mineiroduto	Blocked %	3,99	4,65	4,11	3,37	4,25	5,13
Virador	Blocked %	1,00	0,45	0,57	-	0,67	1,39
Lead_time_Médio(horas)	Value	347,15	893,25	514,71	- 109,99	585,04	1.280,06
LeadTime Max (horas)	Value	3.006,00	5.665,00	3.824,00	781,57	4.165,00	7.548,43
Virador	Working %	15,08	14,86	14,64	14,31	14,86	15,41
Balanço de Massa	Value	1,02	1,01	1,02	1,01	1,02	1,03
Tx Comercial (Ktons por hora)	Value	7,85	7,26	6,90	6,14	7,33	8,52
Taxa Efet Emp (Kton por hora)	Value	9,45	9,43	9,45	9,42	9,44	9,47
Taxa Efet Rec (Kton por hora)	Value	13,21	13,21	13,26	13,16	13,23	13,29
Taxa Efet Vir (kton por hora)	Value	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Estoque Médio Prod 1	Value	216,46	221,62	194,32	174,77	210,80	246,83
Estoque Médio Prod 2	Value	168,79	165,38	147,80	132,68	160,66	188,64
Estoque Médio Prod 3	Value	235,51	149,04	250,74	75,49	211,76	348,03
Estoque Médio Prod 4	Value	293,60	215,15	169,78	70,55	226,17	381,80
Estoque Médio Total	Value	914,36	751,18	762,64	583,12	809,40	1.035,67
Giro Médio Estoque Prod 1	Value	80,85	78,96	90,06	68,54	83,29	98,04
Giro Médio Estoque Prod 2	Value	44,55	45,47	50,88	38,47	46,97	55,46
Giro Médio Estoque Prod 3	Value	19,11	30,19	20,10	7,90	23,13	38,37
Giro Médio Estoque Prod 4	Value	17,17	23,43	24,38	11,92	21,66	31,40
Giro Médio Patio	Value	37,80	46,01	44,84	31,85	42,88	53,92
Utilização Min do Patio (%)	Value	17,44	13,72	17,39	10,89	16,19	21,48
Utilização Méd do Patio (%)	Value	50,80	41,73	42,37	32,40	44,97	57,54
Utilização Máx do Patio (%)	Value	95,50	87,39	99,00	79,17	93,96	108,76
Porc Navio falta prod 1 (%)	Value	4,35	0,87	1,74	- 2,18	2,32	6,82
Porc Navio falta prod 2 (%)	Value	11,30	13,04	11,74	9,78	12,03	14,28
Porc Navio falta prod 3 (%)	Value	0,87	0,43	0,87	0,10	0,72	1,35
Porc Navio falta prod 4 (%)	Value	0,43	0,87	0,43	- 0,04	0,58	1,20
Rec Quebrada	Utilization %	7,82	7,72	7,88	7,61	7,81	8,00
Rec Emp Quebrada	Utilization %	8,00	7,84	8,03	7,70	7,96	8,22
Emp Sup Quebrada	Utilization %	7,58	7,28	7,45	7,06	7,43	7,81
Emp Inf Quebrada	Utilization %	7,21	7,37	7,37	7,09	7,32	7,54
Virador Quebrado	Utilization %	7,64	7,70	7,66	7,59	7,67	7,75
Carr Navio Quebrado	Utilization %	7,71	7,74	7,88	7,56	7,78	7,99
Mineroduto Quebrado	Working %	5,30	4,66	5,22	4,19	5,06	5,93
Rec em Manutenção	Utilization %	3,94	3,88	3,20	2,66	3,67	4,69
Rec Emp em Manutenção	Utilization %	2,64	3,74	3,60	1,84	3,33	4,82
Emp Sup em Manutenção	Utilization %	2,79	2,48	3,01	2,10	2,76	3,42
Emp Inf em Manutenção	Utilization %	2,99	3,58	3,08	2,42	3,21	4,01
Virador em Manutenção	Utilization %	2,84	3,23	4,60	1,27	3,56	5,85
Carr Navio em Manutenção	Utilization %	3,54	2,91	4,05	2,09	3,50	4,91
Qtde Total Exportada (Kton)	Value	34.560,00	34.560,00	34.200,00	33.923,64	34.440,00	34.956,36

WEIBULL

Simulation Object	Performance Measure	Run 1	2	3	-95%	Average	95%
Demurrage (K USD)	Value	373.341,33	441.234,00	426.182,08	325.004,14	413.585,81	502.167,47
Dispatch (K USD)	Value	328,17	211,04	277,54	126,32	272,25	418,18
Demurrage (K USD) hr ref mais 33%	Value	370.877,13	438.573,33	423.624,64	322.673,49	411.025,04	499.376,58
Dispatch (K USD) hr ref mais 33%	Value	581,09	379,40	476,77	228,50	479,09	729,68
Recuperadora	Utilization %	27,69	25,01	25,35	22,39	26,02	29,64
Recuperadora Empilhadeira	Utilization %	28,06	31,41	30,40	25,69	29,96	34,23
Empilhadeira Superior	Utilization %	17,89	17,71	42,57	-	26,06	61,59
Empilhadeira Inferior	Utilization %	42,60	42,80	17,73	-	34,38	70,20
Berço	Average Queue Size	0,52	0,49	0,50	0,46	0,50	0,54
Fila Notice	Average Queue Size	52,26	61,92	60,42	45,29	58,20	71,12
	Maximum Queue Size	120,00	134,00	128,00	109,88	127,33	144,78
Fila Chegada Trens	Average Queue Size	1,04	0,95	0,87	0,75	0,95	1,16
	Maximum Queue Size	61,00	60,00	55,00	50,68	58,67	66,65
Mineiroduto	Blocked %	2,38	3,05	3,32	1,72	2,92	4,12
Virador	Blocked %	0,48	0,77	0,47	0,15	0,57	1,00
Lead_time_Médio(horas)	Value	2.220,70	2.617,83	2.540,73	1.936,60	2.459,76	2.982,92
LeadTime Max (horas)	Value	6.376,00	6.699,00	6.993,00	5.922,63	6.689,33	7.456,03
Virador	Working %	15,19	15,19	15,19	15,19	15,19	15,19
Balanço de Massa	Value	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Tx Comercial (Ktons por hora)	Value	7,13	7,61	7,34	6,76	7,36	7,95
Taxa Efet Emp (Kton por hora)	Value	9,44	9,44	9,39	9,36	9,43	9,49
Taxa Efet Rec (Kton por hora)	Value	13,28	13,13	13,21	13,01	13,21	13,40
Taxa Efet Vir (kton por hora)	Value	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
Estoque Médio Prod 1	Value	207,88	209,26	205,04	202,06	207,40	212,74
Estoque Médio Prod 2	Value	148,94	157,55	153,35	142,58	153,28	163,98
Estoque Médio Prod 3	Value	118,73	143,99	198,92	52,02	153,88	255,74
Estoque Médio Prod 4	Value	147,54	133,15	104,60	74,14	128,43	182,72
Estoque Médio Total	Value	623,09	643,95	661,92	594,70	642,99	691,27
Giro Médio Estoque Prod 1	Value	84,18	83,63	85,35	82,21	84,39	86,57
Giro Médio Estoque Prod 2	Value	50,49	47,73	49,04	45,66	49,09	52,52
Giro Médio Estoque Prod 3	Value	42,45	35,00	25,34	12,95	34,26	55,58
Giro Médio Estoque Prod 4	Value	34,16	37,85	46,46	23,81	39,49	55,17
Giro Médio Patio	Value	56,33	54,51	52,76	50,09	54,53	58,98
Utilização Min do Patio (%)	Value	14,67	16,56	15,83	13,32	15,69	18,05
Utilização Méd do Patio (%)	Value	34,62	35,78	36,77	33,04	35,72	38,40
Utilização Máx do Patio (%)	Value	94,22	94,17	91,67	89,73	93,35	96,98
Porc Navio falta prod 1 (%)	Value	0,43	0,43	-	- 0,33	0,29	0,91
Porc Navio falta prod 2 (%)	Value	15,22	15,22	13,91	12,91	14,78	16,65
Porc Navio falta prod 3 (%)	Value	0,43	-	0,87	- 0,65	0,43	1,51
Porc Navio falta prod 4 (%)	Value	0,43	0,87	0,43	- 0,04	0,58	1,20
Rec Quebrada	Utilization %	7,82	7,72	7,88	7,61	7,81	8,00
Rec Emp Quebrada	Utilization %	8,00	7,84	8,03	7,70	7,96	8,22
Emp Sup Quebrada	Utilization %	7,58	7,28	7,45	7,06	7,43	7,81
Emp Inf Quebrada	Utilization %	7,21	7,37	7,37	7,09	7,32	7,54
Virador1 Quebrado	Utilization %	7,64	7,70	7,66	7,59	7,67	7,75
Virador2 Quebrado	Utilization %	7,73	7,67	7,69	7,62	7,70	7,77
Carr Navio Quebrado	Utilization %	7,71	7,74	7,88	7,56	7,78	7,99
Mineroduto Quebrado	Working %	5,30	4,66	5,22	4,19	5,06	5,93
Rec em Manutenção	Utilization %	3,72	3,88	3,20	2,72	3,60	4,48
Rec Emp em Manutenção	Utilization %	2,64	3,74	3,60	1,84	3,33	4,82
Emp Sup em Manutenção	Utilization %	2,79	2,48	3,01	2,10	2,76	3,42
Emp Inf em Manutenção	Utilization %	2,99	3,58	3,08	2,42	3,21	4,01
Virador em Manutenção	Utilization %	2,84	3,23	4,60	1,27	3,56	5,85
Carr Navio em Manutenção	Utilization %	3,54	2,98	4,05	2,19	3,52	4,85
Qtde Total Exportada (Kton)	Value	35.100,00	35.100,00	34.920,00	34.781,82	35.040,00	35.298,18