



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
TEMA 2015
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO ALL-WEATHER PARA TERMINAIS DE GRANÉIS AGRÍCOLAS NO PORTO DE SANTOS

Rosangela de Almeida Correa
rosangelaalmeida84@yahoo.com.br
UniSantos

Thamires de Andrade Barros
veve_s2@hotmail.com
UniSantos

Naihara Oliveira
naiihara@hotmail.com
UniSantos

Jose Fontebasso Neto
prof_jfneto@yahoo.com.br
UniSantos

Ricardo Kenji Oi
professor_oi@yahoo.com
UniSantos

Resumo: O Porto de Santos, o maior da América Latina, responsável pela movimentação de 30% do comércio exterior brasileiro, é a principal rota de exportação de grãos agrícolas como soja, milho e açúcar, que estão entre os principais produtos exportados pelo país. Os terminais que embarcam estes grãos operam ao ar livre, estando sujeitos às paralisações nas operações devido à chuva. Este trabalho comparou a simulação da operação ao ar livre, sujeita a paralisações por chuva, com a operação em terminais all-weather, em que os porões do navio e os equipamentos necessários à operação ficam abrigados em armazéns, em três terminais de grãos do Porto de Santos. Os resultados mostraram que a operação all-weather gerou redução média de 39,58% no tempo total no sistema, 32,45% no tempo da operação, 33,46% no tempo de espera na fila, 24,22% na quantidade de navios na fila, 20,33% na taxa de utilização do terminal e 56,35% no tamanho da fila.

Palavras Chave: simulação - terminais portuários - all-weather - grãos - porto de Santos



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
TEMA 2015
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



1. INTRODUÇÃO

O Porto de Santos é maior porto da América Latina, sendo responsável por cerca de 30% de todo o comércio exterior do Brasil. É considerado um grande escoador dos produtos agroindustriais oriundos da produção dos estados de São Paulo, Paraná, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul e Goiás. É o maior exportador de açúcar e suco de laranja do mundo, destacando-se também nos embarques de café, soja, trigo e milho. Esses últimos são os granéis sólidos, importantes commodities brasileiras, que colocam o país entre os maiores exportadores de produtos agrícolas (GUERISE, 2006).

O escoamento da produção de granéis no porto sofre a interferência da chuva, pois o embarque é realizado ao ar livre. A ausência de infraestrutura adequada nos terminais para operar sob chuva compromete a qualidade da carga, ocasiona perdas e afeta a produtividade dos terminais, devido às paralisações. Também provoca congestionamentos de caminhões nas rodovias e no porto, o que leva atrasos nos embarques. Esse é um problema que afeta toda a cadeia logística, além da competitividade do grão brasileiro.

Estimativas dos operadores portuários indicam que cerca de 100 dias por ano de embarque de açúcar são perdidos no Porto de Santos por causa do mau tempo, formando filas quilométricas de caminhões e deixando muitos navios esperando na barra de Santos, acarretando *demurrage* (multa contratual por atraso na liberação do navio do berço) e multas e cancelamento de contratos (AGROLINK, 2013; BRITO, 2012).

A cobertura dos terminais de granéis reduziria os efeitos das chuvas no embarque dessas *commodities*, o que possibilitaria elevar a produtividade da operação. O desenvolvimento de um modelo para simular a operação em um terminal coberto possibilita quantificar esse ganho de produtividade.

A simulação é o processo de elaboração de modelos a partir de um sistema real e a condução de experimentos, com a finalidade de compreender o comportamento do sistema ou de avaliar as possíveis estratégias para a sua operação (ALVES, 2012).

A simulação matemática é utilizada frequentemente no estudo de sistemas portuários devido à grande variabilidade no intervalo de chegada de navios e nos tempos de serviços dos navios atracados. Além disso, as paralisações operacionais por motivos climáticos, marés, falhas em equipamentos ou variações em turnos de trabalhadores obrigam a análise destes sistemas, através de ferramentas matemáticas que consideram os fatores aleatórios dessas situações (FERREIRA et al., 2007).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um modelo que simula os resultados de movimentação com e sem chuvas em três terminais de granéis do Porto de Santos, avaliando o ganho de produtividade que uma cobertura traria nesses terminais de granéis. Assim, foi utilizado um modelo de filas para representar a chegada dos navios ao terminal e a movimentação de embarque/desembarque da carga. Especificamente, a pesquisa tratou a simulação nas seguintes etapas:

- a) Os navios chegam a barra de Santos;
- b) Os navios aguardam a disponibilidade do terminal;
- c) Os navios recebem a carga de granel sólido;
- d) Os navios partem ao seu próximo destino.

Os resultados obtidos podem servir na elaboração de estudos para o planejamento da infraestrutura portuária, justificando o desenvolvimento desta pesquisa.

Os terminais portuários cobertos, conhecidos como *all-weather terminals*, são comuns em países europeus. Trata-se de um galpão sobre um berço de atracação com espaço para os equipamentos de terra, carga e pessoal, como mostra a figura 1, com capacidade de operar independente de condições climáticas adversas, reduzindo o tempo de espera e aumentando a produtividade do terminal (FONTEBASSO NETO e BARROS, 2014).



Porto de Marin

Porto de Hull

Porto de Kokkola

Figura 1: Terminais *All-Weather*.

Fonte: (MARIN, 2014, SEA BREEZES, 2014, KOKKOLA, 2014)

A empresa Rumo Logística, que atua no Porto de Santos, possui um projeto para implantação de terminal *all-weather* no Porto de Santos (BRITO, 2012; MENEZES, 2012), contudo, as obras estão paradas, sem previsão de término.

2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os dados utilizados na pesquisa foram obtidos com a Companhia Docas de São Paulo (CODESP) que administra o Porto de Santos. Esses dados são referentes à operação e paralisações de três terminais que embarcam soja, milho, açúcar e trigo a granel para exportação. Todos estes dados foram organizados em um banco de dados, sendo seus registros submetidos à limpeza e formatação, e posteriormente produziram as funções de distribuição usadas nos modelos.

O software de simulação utilizado na elaboração da simulação foi o ARENA, que possui as seguintes características:

- a) Ambiente gráfico integrado de simulação, contendo todos os recursos para modelagem de processos, desenho e animação, análise estatística e análise de resultados;
- b) Conecta os recursos de uma linguagem de simulação à facilidade de uso de um simulador, em um ambiente gráfico integrado;
- c) Todo o processo de criação do modelo de simulação é por fluxograma, não sendo necessário escrever códigos.

A tecnologia diferencial do ARENA é a criação de templates, ou seja, uma coleção de objetos e ferramentas de modelagem, que permitem ao usuário descrever o comportamento do processo em análise, através de respostas às perguntas pré-elaboradas, sem a necessidade de programação, e de maneira visual e interativa.

O modelo proposto considerou apenas o tempo de chegada entre os navios na barra de Santos e o tempo total de operação para embarque nos navios para determinar o desempenho da operação. Esses dois cenários modelados nesta pesquisa representaram o tempo de operação considerando as paralisações por chuva e o tempo de operação desconsiderando as interrupções por chuva.



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
TEMA 2015
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



Para estimar o ganho de produtividade da operação sem a intervenção da chuva, o modelo simulou dois cenários: um considerando o tempo de paralisação da operação devido à chuva, e outro em que este tempo é subtraído do tempo da operação, como se o terminal fosse coberto. Estes dados foram organizados em um banco de dados. As tabelas 1 e 2 ilustram amostras com informações de operação e de paralisação, respectivamente.

Os dados obtidos foram devidamente tratados e analisados através do processo de modelagem, que consiste numa consulta para separar os registros de movimentação do terminal e uma planilha para calcular a duração dos movimentos e o tempo entre as chegadas e as paralizações por chuva, conforme mostram as tabelas 3 e 4.

Tabela 1: Informações de operações em um terminal.

| Navio | Chegada barra | Local | Movimento de Início | Movimento Final |
|---------|---------------|------------|---------------------|-----------------|
| SHIP X1 | DD-MM-AA | Terminal X | DD-MM-AA | DD-MM-AA |
| SHIP X2 | DD-MM-AA | Terminal X | DD-MM-AA | DD-MM-AA |
| SHIP X3 | DD-MM-AA | Terminal X | DD-MM-AA | DD-MM-AA |
| SHIP X4 | DD-MM-AA | Terminal X | DD-MM-AA | DD-MM-AA |

Tabela 2: Informações de paralisações em um terminal.

| Navio | Local | Paralisações Início | Paralisações Término | Motivo |
|---------|------------|---------------------|----------------------|-------------------------------|
| SHIP Y1 | Terminal X | 07:00 | 09:35 | Chuva |
| SHIP Y2 | Terminal X | 13:00 | 14:25 | Chuva |
| SHIP Y3 | Terminal X | 02:25 | 02:35 | Defeito elétrico nas esteiras |
| SHIP Y4 | Terminal X | 07:00 | 09:42 | Aguardando atracação |

Tabela 3: Informações de chegada e duração da operação no terminal.

| Local | Chegada na barra | Movimento Início | Movimento Final | Chegada | Duração |
|------------|------------------|------------------|-----------------|---------|---------|
| Terminal X | DD-MM-AA | DD-MM-AA | DD-MM-AA | 26,45 | 34,75 |
| Terminal X | DD-MM-AA | DD-MM-AA | DD-MM-AA | 0,17 | 37,08 |
| Terminal X | DD-MM-AA | DD-MM-AA | DD-MM-AA | 43,83 | 128,67 |

Tabela 4: Informações de operações paralisadas por chuvas.

| Local | Início Paralisações | Término Paralisações | Motivo |
|------------|---------------------|----------------------|--------|
| Terminal X | 04:35 | 07:00 | Chuva |
| Terminal X | 13:00 | 14:25 | Chuva |
| Terminal X | 13:45 | 16:20 | Chuva |
| Terminal X | 00:30 | 01:00 | Chuva |



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
TEMA 2015
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



As funções que estimam os tempos entre chegadas dos navios e o tempo de operação nos terminais foram definidas através do InputAnalyser, que também faz parte do pacote de software ARENA.

A simulação do modelo considerou que o processo de operação do terminal é contínuo, assim, as estatísticas e condições iniciais do sistema não são zeradas a cada replicação. Para garantir os resultados com 95% de confiança e erro máximo de 10%, é necessário replicar 100 vezes a simulação do modelo (CHWIF e MEDINA, 2010; BOTTER, 2002; PRADO, 2003).

O modelo de filas construído para simular os dois cenários, representado na figura 2, permitiu estimar os seguintes valores para cada cenário:

- Tempo total no sistema: tempo entre a chegada do navio à barra de Santos e sua partida do terminal em estudo;
- Tempo de operação: duração da operação de embarque dos granéis no terminal em estudo;
- Tempo de espera: soma do tempo que o navio aguarda na barra de Santos até a chamada para se deslocar até o terminal e o tempo gasto nesse deslocamento;
- Navios esperando no sistema: quantidade média de navios que estão em operação e em fila;
- Tamanho da fila: quantidade média de navios em fila aguardando a disponibilidade dos terminais;
- Tempo de fila: duração da espera na fila, que inclui o tempo de deslocamento entre a barra de Santos e os terminais em estudo;
- Utilização do terminal: taxa de uso do terminal, que é a relação entre o tempo necessário para o terminal atender os navios e o tempo total da simulação.

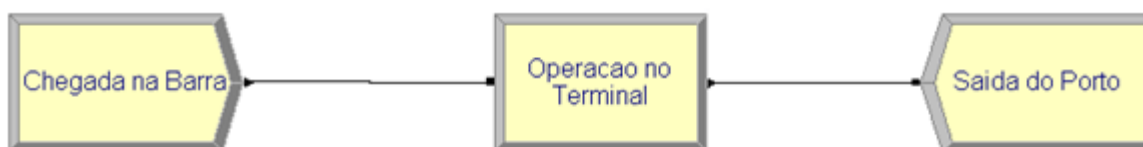


Figura 2: Modelo de Filas.

Para determinar a função que modela a chegada na barra e a operação do terminal em cada terminal foi calculado a diferença em horas entre o final e início de cada movimentação, sendo que tais diferenças foram submetidas ao InputAnalyser para determinar a função com melhor aderência. Todos os modelos utilizaram o Método de Monte Carlo para produzir resultados aleatórios e simularam um ano de operação (8750 horas) por 100 vezes, garantindo erros inferiores a 10%, com nível de confiança de 95%.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das chegadas e movimentos e das paralizações por chuva foram integrados em uma única planilha através de uma consulta, que calculou também a duração do movimento descontando as paralizações por chuva. A tabela 5 apresenta alguns resultados obtidos pela simulação.



Tabela 5: Tempo consolidado (em horas).

| Tempo entre chegadas | Duração com chuva | Duração da chuva | Duração sem chuva |
|----------------------|-------------------|------------------|-------------------|
| 185,50 | 25,75 | 13,73 | 12,02 |
| 262,83 | 29,17 | 14,00 | 15,17 |
| 51,20 | 17,25 | 2,00 | 15,25 |
| 151,57 | 18,83 | 0,58 | 18,25 |

Os resultados foram introduzidos no Input Analyser do ARENA para definir as funções de distribuição que melhor modelam os dados da chegada e a duração da operação com chuva e sem chuva, validando-as através de um teste de aderência qui-quadrado. A figura 3 apresenta o tempo entre chegadas dos navios. As figuras 4 e 5 ilustram, respectivamente, a duração da operação com chuva e sem chuva de um dos terminais modelados.

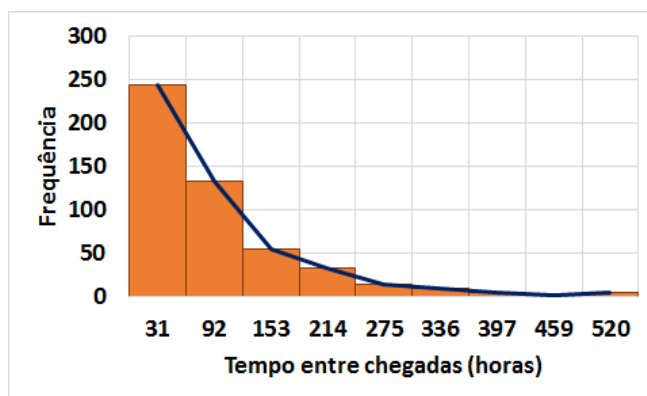


Figura 3: Chegada dos navios no terminal.

Distribuição: Exponencial

Teste estatístico: 7.11

Expressão: EXPO (95.8)

Valor correspondente: 0.429

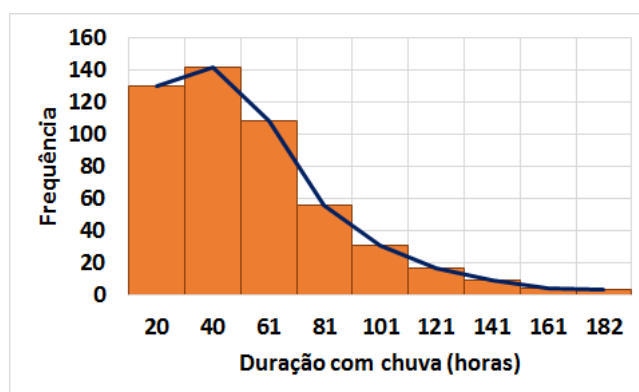


Figura 4: Duração da operação com chuva.

Distribuição: Erlang

Teste estatístico: 4.45

Expressão: 7+ ERLA (24.1,2)

Valor correspondente: 0.489



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
TEMA 2015
Otimização de Recursos e Desenvolvimento

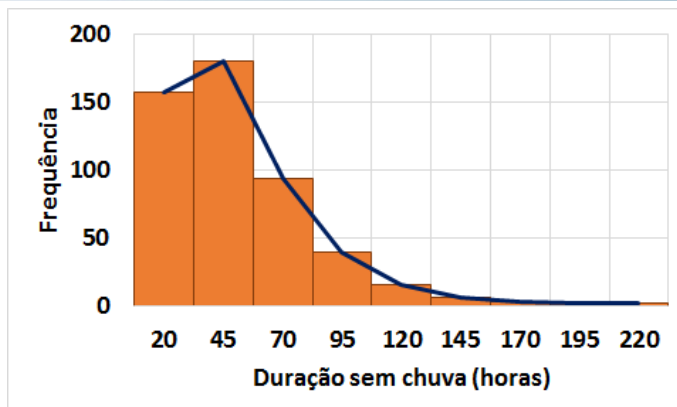


Figura 5: Duração da operação sem chuva.

Distribuição: Erlang

Teste estatístico: 5.75

Expressão: $7 + \text{ERLA}(21.4, 2)$

Valor correspondente: 0.347

As simulações através do software ARENA revelaram uma significativa melhoria nas variáveis estudadas com a operação coberta quando comparada com a operação ao ar livre, conforme mostram as tabelas 6, 7 e 8.

Tabela 6: Comparação no Terminal X (em horas).

| Variável | Operação com chuva | | Operação sem chuva | |
|----------------------------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão |
| Tempo total no sistema (h) | 217,22 | 1,10 | 106,92 | 0,53 |
| Tempo de operação (h) | 162,69 | 0,43 | 55,55 | 0,10 |
| Tempo de espera na fila (h) | 54,53 | 1,23 | 51,36 | 0,57 |
| Navios esperando no sistema (n°) | 54,52 | 1,23 | 51,36 | 0,56 |
| Utilização do terminal | 0,5695 | 0,00 | 0,3911 | 0,00 |
| Tamanho médio da fila | 0,5277 | 0,01 | 0,1313 | 0,00 |

Tabela 7: Comparação no Terminal Y (em horas).

| Variável | Operação com chuva | | Operação sem chuva | |
|----------------------------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão |
| Tempo total no sistema (h) | 113,68 | 0,88 | 81,07 | 0,63 |
| Tempo de operação (h) | 49,66 | 0,07 | 42,95 | 0,10 |
| Tempo de espera na fila (h) | 64,01 | 0,88 | 38,12 | 0,55 |
| Navios esperando no sistema (n°) | 1,58 | 0,01 | 1,14 | 0,01 |
| Utilização do terminal | 0,68 | 0,00 | 0,60 | 0,00 |
| Tamanho médio da fila | 0,88 | 0,01 | 0,53 | 0,01 |



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELENCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
TEMA 2015
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



Tabela 8: Comparação no Terminal Z (em horas).

| Variável | Operação com Chuva | | Operação sem Chuva | |
|----------------------------------|--------------------|---------------|--------------------|---------------|
| | Média | Desvio padrão | Média | Desvio padrão |
| Tempo total no sistema (h) | 158,99 | 0,97 | 96,54 | 0,43 |
| Tempo de operação (h) | 65,28 | 0,19 | 53,54 | 0,15 |
| Tempo de espera na fila (h) | 93,70 | 0,94 | 43,00 | 0,35 |
| Navios esperando no sistema (nº) | 1,64 | 0,01 | 1,00 | 0,01 |
| Utilização do terminal | 0,67 | 0,00 | 0,55 | 0,00 |
| Tamanho médio da fila | 0,96 | 0,01 | 0,44 | 0,01 |

No Terminal X a operação coberta alcançou as seguintes reduções: tempo total no sistema (50,78%); tempo de operação (65,86%); tempo de espera na fila (5,81%); quantidade de navios esperando no sistema (5,80%); utilização do terminal (31,33%); tamanho médio da fila (75,12%).

As reduções no Terminal Y com a cobertura da operação foram: tempo total no sistema (28,69%); tempo de operação (13,51%); tempo de espera na fila (40,45%); quantidade de navios esperando no sistema (27,85%); utilização do terminal (11,76%); tamanho médio da fila (39,77%).

Já no Terminal Z as reduções com a operação coberta foram: tempo total no sistema (39,28%); tempo de operação (17,98%); tempo de espera na fila (54,11%); quantidade de navios esperando no sistema (39,02%); utilização do terminal (17,91%); tamanho médio da fila (54,17%).

Nas operações sem paralisações por chuva possibilita o aumento no atendimento dos navios, a diminuição das filas no sistema, a melhoria no tempo de operação, a minimização do tempo total no sistema, o que possibilita melhor utilização dos recursos disponíveis e redução dos custos de operação.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema portuário deve apresentar alta eficiência na utilização dos berços, com tempos de espera minimizados para atracação dos navios devidos aos elevados custos. A simulação é uma ferramenta de análise que permite o planejamento das operações portuárias, melhorando o controle sobre a movimentação de navios nos terminais.

A simulação desenvolvida mostrou que existe possibilidade de melhoria nos indicadores de desempenho nos terminais caso operassem sob cobertura. Considerando os três terminais em estudo, as variáveis apresentaram as seguintes reduções: tempo total no sistema (39,58%); tempo de operação (32,45%); tempo de espera na fila (33,46%); quantidade de navios esperando no sistema (24,22%); utilização do terminal (20,33%); tamanho médio da fila (56,35%). Cabe destacar que a redução do tempo de operação permite melhorar a logística do porto e o sistema viário da região, com a redução das filas de caminhões, utilizados para embarque e desembarque das cargas.

No presente estudo conclui que a adoção de coberturas neste tipo de terminal possibilita atender mais navios com maior rapidez e eficiência. No entanto, por indisponibilidade de informações, não foi possível estimar a redução nos custos das operações, ficando esse tema como sugestão para trabalhos futuros, através da elaboração de estudo de viabilidade econômica de um terminal coberto.



28 · 29 · 30
de OUTUBRO

XII SEGET
SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA
TEMA 2015
Otimização de Recursos e Desenvolvimento



5. REFERÊNCIAS

AGROLINK. Com chuvas, Santos volta a ter atrasos nos embarques e filas de caminhões, 27/05/13. Disponível em <<http://www.agrolink.com.br/noticias/NoticiaDetalhe.aspx?CodNoticia=171979>>. Acesso em: 04/11/2014.

ALVES, J. P. J. Modelagem e Simulação dos Terminais de Granéis Agrícolas do Porto de Santos, 108 p., Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

BOTTER, R. C. Tratamento de Dados em Modelos de Simulação Discreta. 2002. 147 f. Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

BRITO, A. Porto de Santos terá cobertura para embarque de açúcar e soja, em Folha de São Paulo, 21/03/2012. Disponível em <<http://www1.folha.uol.com.br/fsp/mercado/32497-porto-de-santos-tera-cobertura-para-embarque-de-acucar-e-soja.shtml>>. Acesso em: 24/09/2014.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Aplicações. 3. ed., ampl. rev. São Paulo: Ed. dos Autores, 2010.

FERREIRA, M. A. M., MENDES, R.; CAMIERI, C. Análise de Desempenho de Sistemas Portuários Usando Simulação Matemática e Estatística, Revista Produção Online, v. 7, p. 1., 2007.

FONTEBASSO NETO, J., BARROS, T. A. Simulação do Uso de Terminais All-Weather na Operação de Terminais de Açúcar a Granel, IV Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, Rio Grande, 2014.

GUERISE, L. C. Aplicação do conceito de logística integrada na exportação de açúcar e suco de laranja pelo porto de Santos”, 148 f. , Dissertação (mestrado) - Universidade Católica de Santos, Santos, 2006.

MENEZES, F. Z. Porto de Santos testa coberturas para reduzir prejuízo com chuva, 15/01/2012, em Gazeta do Povo. Disponível em <<http://www.gazetadopovo.com.br/economia/conteudo.phtml?id=1212915>>. Acesso em: 14/09/2014.

PRADO, D. Usando o Arena em simulação. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços, 2003.

Puerto de MARIN. Instalations. Disponível em <http://www.apmarin.com/en_instalaciones.html>. Acesso em 14/09/2014.

Port of KOKKOLA. The General Port & the All Weather Terminal. Disponível em <<http://www.portfokkola.fi/port/satamanosat-e/kantasatama/?lang=en>>. Acesso em: 14/09/2014.

SEA BREEZES. Undercover Terminal Proves Its Worth, 16/12/2009. Disponível em <http://www.seabreezes.co.im/index.php?option=com_content&view=article&id=126:undercover-terminal-proves-its-worth&catid=27:maritime-log&Itemid=48>. Acesso em: 14/09/2014.