



Exacta

ISSN: 1678-5428

geraldoneto@uni9.pro.br

Universidade Nove de Julho

Brasil

Hardt, Iuli; Morosini Frazzon, Enzo
Análise operacional dos berços de atracação do porto de São Francisco do Sul/SC
Exacta, vol. 15, núm. 4, 2017, pp. 43-62
Universidade Nove de Julho
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81054651004>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe , Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Análise operacional dos berços de atracação do porto de São Francisco do Sul/SC

Operational analysis of the attraction cots of the port of São Francisco do Sul/SC

Iuli Hardt¹

Enzo Morosini Frazzon²

Resumo

Os portos têm papel fundamental na competitividade internacional de uma economia, pois através deles escoam grande parte da produção de uma nação. Desta forma é de vital interesse que este setor esteja operando de forma eficiente. Neste contexto, este trabalho objetiva analisar a operação dos berços de atracação do porto de São Francisco do Sul/SC. Para tanto, foi modelada a operação portuária, desde a chegada dos navios até sua carga e descarga. Tomando como base a taxa de crescimento do porto, foram criados três cenários para o ano de 2030: (i) sem melhorias, (ii) com melhorias e (iii) com a instalação de guindastes portuários necessários para atender o nível de serviço recomendado pelos padrões internacionais de operação portuária. Com o trabalho conclui-se que para atender esses padrões internacionais serão necessários investimentos maiores do que aqueles em andamento no porto.

Palavras-chave: Simulação. Otimização. Portos. Chegada de navios.

Abstract

Ports have a fundamental role in building the economy of a country, because through them is drained the most part of nation's production. Moreover, it is essential that this sector is operating efficiently. In this context, this report aims to analyze the operation of the berths of the port of São Francisco do Sul/SC. Thus, the port operation was modeled on Arena software, from the arrival of ships as well as their loading and unloading. Furthermore, based on the growth rate of the port, three scenarios for the year 2030 were created: (i) unimproved, (ii) with selected improvements and (iii) with the installation of port cranes needed to reach the service level recommended by international standards port operation. With this work, it is concluded that to achieve the international standards greater investments will be required than currently under consideration.

Keywords: Simulation. Optimization. Ports. Vessels arrival.

¹ Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
Florianópolis, SC [Brasil]
iulihardt@gmail.com

² Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC.
Florianópolis, SC [Brasil]
enzo.frazzon@ufsc.br

1 Introdução

Conforme os dados do anuário da Agência Nacional de transportes Aquaviário [ANTAQ] (2016), a movimentação de cargas realizada por navios nos portos brasileiros em 2015 foi de 1.008.031.179 toneladas, resultando num crescimento de 20% em relação a 2010, porém os portos não receberam investimento proporcional no mesmo período. Segundo Silva (2008), uma dificuldade no gerenciamento da expansão portuária é determinar quando um recurso deve ser expandido.

O uso da simulação tem papel importante para analisar a disponibilidade de recursos e quando existirá a necessidade de novos investimentos ou realocar os mesmos. A simulação desenvolvida para o porto de São Francisco do Sul -SC (SFS), com a aplicação da taxa de crescimento esperada até o ano de 2030 possibilitará a realização de uma análise dos investimentos necessários. Para tanto, foi modelada a operação portuária, desde a chegada dos navios até sua carga e descarga. Para isso, criou-se três cenários para a simulação do porto de SFS, representando parte do funcionamento do porto desde as chegadas dos navios, a espera na barra, a navegação no canal da região até o processo no berço. Os cenários de experimentos são algumas das opções do porto para o ano de 2030, onde pretende-se modelar as três opções e medir seus resultados em relação ao nível de serviço. Os cenários são: cenário sem melhoria, do qual será alterado apenas a taxa de chegada entre navios, representando o ano de 2030; o cenário com melhorias que representa a adição de mais um berço – este novo berço faz parte de um projeto existente – e, por último, um cenário otimizado, este cenário otimizado será em relação a quantidade de guias necessárias para cada berço do cenário de 2030 com melhorias.

Neste contexto, este trabalho objetiva analisar a operação dos berços de atracação do porto de São Francisco do Sul/SC, identificando quais berços deverão receber investimentos para alcançar um nível de serviço recomendado pelos padrões internacionais. Assim será possível analisar o futuro do porto em relação aos recursos atuais e comparar com o projeto em andamento e a opção de não ter qualquer investimento. Desta forma poderá entregar aos gestores do porto embasamento quantitativo para análise futura do porto, como, por exemplo, tempo médio em filas de um navio no porto, tempo médio de processo e quantidades de recursos.

2 Referencial teórico

A simulação gera ao analista a capacidade de entender o sistema modelado (Freitas 2008). Para Banks, Carson, Nelson e Nicol (1999) e Prado (2014) por ser a técnica mais adequada para realizar um estudo, pois possui um menor custo na análise dos resultados das opções de estratégia. Para Banks et al., (1999) as principais finalidades da simulação são, ter o completo entendimento do sistema, uma ferramenta para aplicar novas políticas e testá-las. Freitas (2008) complementa com a possibilidade de verificar os resultados sem a necessidade de mudar o sistema real, economizando tempo e recurso.

Simulação é a execução de um modelo computacional cujas variáveis apresentam comportamento dinâmico e imitam as operações ou processos de um sistema real (Shannon, 1975 e Banks et al., 1999). Essa definição por sua vez é complementada por Prado (2014) que define simulação como uma ferramenta para solucionar problemas pela análise de um modelo que representa o comportamento de um sistema.

O sistema em análise é o processamento dos navios que chegam de um meio externo, que são os usuários do sistema, aguardam por sua vez e os processa no berço. Assim sistema é um conjunto de objetos, como pessoas ou máquinas, atuando com a intenção de alcançar um objetivo lógico (Taylor 1970 como citado em Freitas, 2008).

Os sistemas são divididos em dois tipos, sistema discretos e contínuos, porém segundo Law e Kelton (1991) poucos sistemas são inteiramente discretos ou continuo. Desta forma existe uma predominância no tipo do sistema, podendo converter integralmente ao sistema que mais se aproxima ao modelo real.

A Simulação de Eventos Discretos, aborda os modelos em que as variáveis mudam de estado instantaneamente com o avanço do tempo, diferentemente do que ocorre nos modelos contínuos, onde as variáveis podem alterar de estado continuamente no transcorrer do tempo, independente de eventos no sistema. (Law & Kelton, 1991; Frazzon, Albrecht, Hellingrath, Cordes, & Saalmann, P., 2014).

Banks et al., (1999) apresenta um sistema contínuo como uma represa, sendo o nível da água a variável que muda durante o tempo, quando chove ou libera a água da represa o nível da água varia aos poucos e podem ser descritas por equações diferenciais. Já num sistema discreto pode-se considerar um banco onde a variável é o usuário que chega no horário que cada um entra no banco, de forma descontínua (Law & Kelton, 1991; Prado, 2014).

O conceito do sistema e do modelo discreto pode ser observado como um conjunto de elementos ou partes, que sendo organizadas se integram e formam uma estrutura. Esses elementos serão descritos a seguir segundo a terminologia de Freitas (2008), Banks et al., (1999) e Law e Kelton (1991).

- a) Sistema: Coleção de variáveis/entidades que descrevem e interagem durante o tempo;
- b) Modelo: A representação do sistema, contendo a estrutura lógica matemática. Possui assim suas características como configurações, processos, eventos, atividades e atrasos;
- c) Variáveis de Estado: O conjunto de variáveis que possui todas as informações do sistema em qualquer período de tempo. Permite assim compreender o que está acontecendo no sistema neste instante de tempo;
- d) Tempo: Variável dada para os acontecimentos, o tempo pode ser representado como o simulado e o real, e serem diferentes. Podendo ser em milissegundos, horas, dias, anos conforme a necessidade do modelo;
- e) Entidades: Representação do objeto ou componente do sistema;
- f) Atributos: A configuração dada as entidades, suas próprias características;
- g) Evento: Um acontecimento que ocorre num instante de tempo programadas ou não e mudam o estado do sistema.
- h) Atividade: Um período de tempo específico e conhecido, podendo ser constante, uma expressão matemática ou aleatório;
- i) Fila: Um conjunto de entidades ordenada por alguma lógica que aguardam algum evento ou atividade;

Esses elementos combinados, formam a simulação, contudo somente com a presente evolução dos computadores, com o aumento na capacidade de processamento, elevou a simulação a não somente avaliar cenários pré-definidos, mas também em encontrar o ponto ótimo de uso dos recursos. Porém o uso de otimizador exige um controle rigoroso dos modelos computacionais (Freitas, 2008). Para Chwif, Medina e Simulate (2010) só a simulação é uma ferramenta que constrói uma solução e a otimização é uma fer-

ramento que avalia os resultados gerados até um objetivo desejado.

Muitas ferramentas já existem para otimizar projetos de simulação, e se utilizam de algoritmos genéticos que são formas de redes neurais para resolver o problema de forma rápida, economizando tempo de processamento (Freitas, 2008). Pois quando se trata de projeto de simulação pode ser grande o número de variáveis do modelo, portanto sendo necessário uma grande quantidade de cenários de simulação a serem rodados. Porem grande partes desses cenários podem ser desnecessário para os resultados, pois não apresentam grande impacto para o sistema, por isso a importância de algoritmos de convergência para o sistema (Chwif & Medina, 2010).

Para Freitas, (2008), Chiwif *et al* (2010) existe a necessidade de três parâmetros importantes:

- a) Definir a função objetivo, envolvendo a minimização ou a maximização de algumas variáveis;
- b) Variáveis de restrição, são as variáveis que delimitam o sistema.
- c) Variáveis de decisão, são os dados de entrada que a cada replicação mudará até a função objetivo for alcançada.

Geralmente é inviável percorrer todas as soluções possíveis para encontrar a melhor solução. Por se tratar de problemas de combinações, rapidamente podem existir centenas de milhares de combinações diferentes para se avaliar. Portanto geralmente os softwares de otimização se utilizam de recursos, como a busca Tabu. Tendo-se uma condição inicial X_0 , o procedimento de otimização atuará interativamente com modelo de simulação, fornecendo os valores das variáveis a serem simuladas e recebendo do modelo de simulação o valor da função objetivo. (Chiwif *et al*, 2010, p 176).

O procedimento descrito do Chiwif *et al* (2010) termina quando os critérios como objetivo e restrições sejam satisfeitos. Esse procedimento é realizado no software de simulação, no caso do software Arena, existe uma ferramenta chamada OptQuest que atua desta forma para encontrar a solução mais próxima, sem rodar todas as soluções existentes (Freitas, 2008), contudo a otimização é uma parte final da simulação, antes é necessário estruturar bem os dados para sustentar a base.

O tratamento de dados de entrada do modelo de simulação será fundamentado considerando a teoria de coleta e tratamento de dados, assim como também a probabilidade com os diferentes tipos de distribuição probabilísticas e os testes de aderência a serem realizados. Com a intenção de qualificar as curvas de distribuição probabilísticas a ser introduzida no modelo computacional.

Freitas (2008) afirma que este passo é de extrema importância antes da fase de modelamento do sistema, pois representa a tradução do modelo real.

- a) Banks *et al.* (1999) e Chung (2003) dividem este processo em cinco em partes:
- b) Coleta dos dados do sistema;
- c) Identificar as curvas de distribuição de probabilidade;
- d) Estimar os parâmetros da distribuição identificada;
- e) Testar a qualidade das curvas;
- f) Adicionar ao modelo computacional;

De acordo com Freitas (2008):

Modelar computacionalmente um sistema do mundo real sugere a criação de uma espécie de analogia digital desse sistema. Esta deve possuir a capacidade de se comportar de maneira semelhante ao sistema original de tal

forma que, ao interagir com o usuário, permita a este a realização de experimentos com a intenção final de um maior entendimento e compreensão do sistema real.

Será apresentado as distribuições probabilísticas que serão utilizadas na modelagem do porto, elas compreendem na distribuição Beta que segundo Chung (2003) e Freitas (2008): a distribuição Beta é uma curva que fornece a densidade probabilística positiva apenas no intervalo de comprimento finito, fechado entre zero a um tendo como vantagem ser multiplicado por outro valor. A distribuição de Erlang é a soma de várias distribuições exponenciais. Usada para representar em uma única distribuição uma série de processos de distribuição exponencial (Freitas, 2008). Representa a probabilidade de um evento ocorrer dado que outro já tenha ocorrido.

A distribuição Exponencial, para Freitas (2008) a sua maior característica é a grande utilidade no sistema de filas por ser considerada uma distribuição imprevisível, já que seu passado não influência. Sendo muito utilizado no tempo de ocorrência entre eventos sucessivos, como em chegadas de clientes ou entre duas falhas de um equipamento (Banks et al., 1999; Freitas, 2008). A curva Gama refere-se a distribuição como uma generalização da Erlang (Freitas, 2008). Para Banks et al. (1999) refere a distribuição gama como extremamente flexível e sempre positiva.

Para Freitas (2008) a distribuição Lognormal é resultado de uma grande quantidade de produtos de variáveis aleatórias positivas. Usada geralmente para descrever a confiabilidade de um material de engenharia na questão de fadiga, incertezas e taxa de falhas. A distribuição triangular é muito utilizada quando não se tem tempo, recursos ou o conhecimento do completo do sistema e necessita ter uma boa aproximação.

A distribuição Weibull é usualmente empregada na modelagem de tempos de serviços e podem ter inúmeros formato (Chung, 2003; Freitas, 2008). Para Chung (2003) e Freitas (2008), não basta apenas identificar as curvas, é necessário também verificar a qualidade e o nível de confiança que está curva traz e isso é possível através dos testes de aderências:

Para Chung (2003) e Freitas (2006) o teste Qui-Quadrado pode ser aplicado para distribuições continuas ou discretas e exige um valor alto de amostras, geralmente maiores que cem dados e devem ser comparados a tabela distribuição Qui-Quadrado para um nível de significância desejada.

O teste Kolmogorov-Smirnov (K-S) é utilizado para distribuições continuas ou com poucos dados amostrais (Freitas, 2008). Chung (2003) complementa dizendo que o teste só deve ser usado quando o Qui-Quadrado não é aplicado apropriadamente.

Outra avaliação que deve ser feita é através do erro quadrado, que é a soma de todas as diferenças ao quadrado entre a curva teórica e os dados observados. Sendo uma alternativa rápida para avaliar diferentes opções de curvas teóricas para os dados (Chung, 2003; Freitas, 2008).

Contudo a melhor análise a se fazer é através do valor de P, segundo Freitas (2006) este valor gerado pelo Input Analyzer é considerado bom acima de 0,10 podendo afirmar que a curva teórica representa os dados, ao encontrar valor entre 0,05 e 0,10 é aconselhável procurar algum ajuste a curva e para valores abaixo de 0,05 não é aconselhável utilizar os resultados obtidos.

3 Metodologia

As fases de aplicação da simulação vêm sendo muito discutida por diversos autores, dentre eles Shannon (1975), Gordon (1978), Law

e Kelton (1991), Pegden, Sadowski, e Shannon (1995), Banks et al., (1999), Chung (2003), Hiller e Lieberman (2006), Freitas (2008) e Kelton e Sadowski (2010), contudo todos convergem em uma mesma direção quando o assunto é a metodologia.

Desta forma será realizado, de princípio, os conceitos da metodologia de simulação de Banks et al., (1999) para os passos a serem seguidos em um estudo de simulação. Esses passos estão apresentados na Figura 1 e compreendem em doze passos que serão discutidos em seguida.

Todo o estudo deve ser iniciado com o entendimento do problema. O analista deve estar ciente do problema a ser analisado para conseguir formular as políticas que irão ser seguidas durante o estudo. Em alguns casos essa formulação do problema é refeita durante o progresso do estudo. Porém o analista e as políticas formuladas devem estar coerente com o tamanho e a natureza do problema.

Seguindo o fluxograma de Banks et al. (1999) a Figura 2, indica a definição dos objetivos. Neste ponto as questões que deverão ser respondidas com a simulação devem ser definidas e também a metodologia utilizada para alcançar as respostas. Desta forma é necessário ter o plano completo do projeto, recursos como pessoal envolvido, horas dedicadas para a finalização do projeto e o custo total. Freitas (2008) informa que neste ponto é necessário ter uma descrição completa dos cenários que deverão ser criados, experimentados e analisados.

A construção do modelo conceitual é mais arte do que ciência (Shannon 1975 como citado em Banks et al. 1999). Contudo Morris (1967) informa que não é possível criar um modelo conceitual sem uma série de instruções que irão conduzir ao sucesso de uma boa simulação. Banks et al. (1999) adiciona que a arte é a habilidade de caracterizar elementos abstratos do sistema real

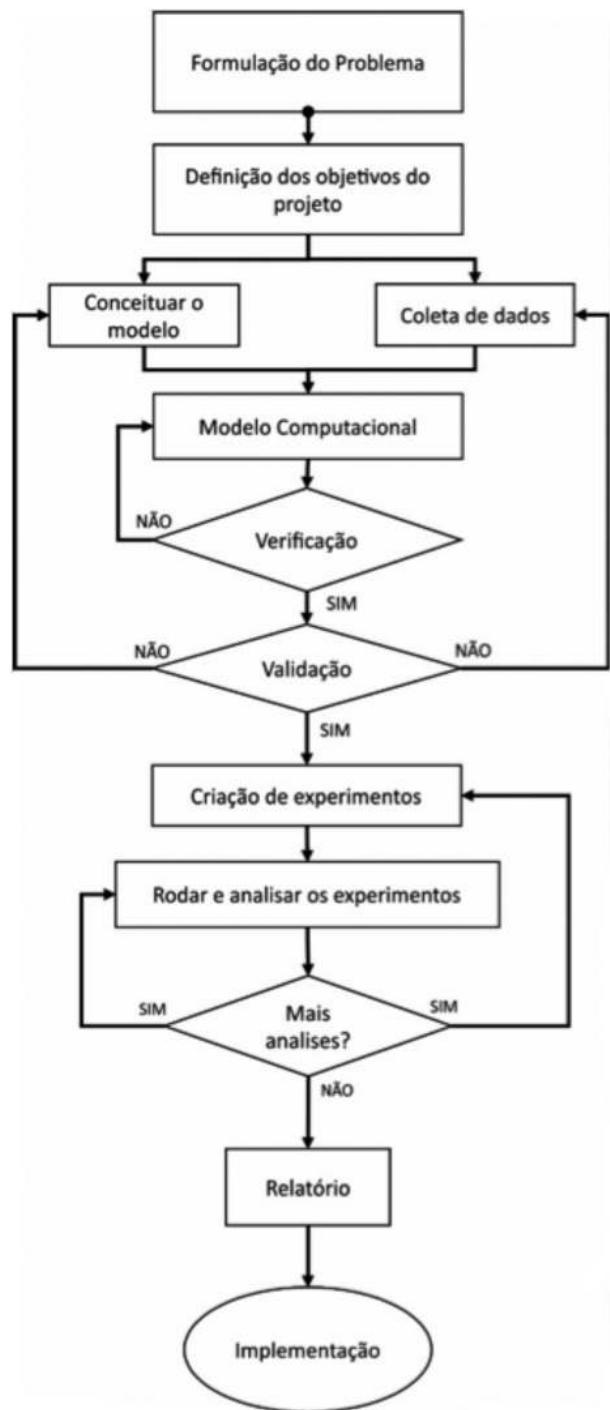


Figura 1: Fases da simulação

Fonte: Adaptado de Banks et al., (1999).

que possam ser usados no modelo conceitual e que apenas a essência do sistema real é necessária sendo dispensável criar cada item de forma idêntica a realidade do sistema.

Existe uma relação entre a coleta de dados e a criação do modelo conceitual, os dois devem ter uma inter-relação, conforme as informações vão sendo coletadas e alimentando o modelo conceitual. O modelo conceitual vai exigindo outras necessidades de dados para formular a lógica do sistema real (Banks et al., 1999).

Após a coleta de dados existe a necessidade do tratamento, apresentado no passo-a-passo de Chung (2003) e Freitas (2008) os seis passos para aceitar ou rejeitar a curva de distribuição de probabilidade proposta e servir ao modelo conceitual, em resumo são os seguintes:

- 1) Verificar o erro quadrado;
- 2) Definir duas hipóteses:
 H_0 : A variável aleatória possui a distribuição selecionada.
 H_1 : A variável aleatória não possui a distribuição selecionada.
- 3) Determinar o nível de significância desejado;
- 4) Determinar o valor critico tabelado Qui-Quadrado ou K-S;
- 5) Comparar o valor critico tabelado ao teste estatístico correspondente encontrado do Qui-Quadrado ou K-S;
- 6) Aceitar ou rejeitar a hipótese inicial H_0 , se o valor critico tabelado for maior que o valor estatístico encontrado aceitar H_0 ;

Desta forma após a coleta de dados, será realizada a tradução do modelo conceitual do sistema real para o sistema computacional em uma linguagem que será entendida pelo computador (Banks et al. 1999).

Para Banks et al. (1999) esta etapa deve verificar se o computador tem a capacidade de compreender a lógica do sistema real, se todas as necessidades foram programadas corretamente, sem erros de consistência.

A validação é a confirmação que o modelo computacional está de acordo com o modelo real. A validação normalmente é realizada uma simulação de calibração, esse processo é utilizado para comparar as diferenças entre os resultados gerado pela simulação com os dados obtidos do sistema real. Este ponto deve ser realizado tantas vezes quanto as forem necessárias ajustando o modelo conceitual ou a coleta de dados, até representar bem a realidade (Banks et al., 1999).

Para Banks et al. (1999) e Freitas (2008) a experimentação é a etapa na qual deverão ser criadas e simuladas as alternativas escolhidas. Freitas (2008) explica que é necessário definir cada teste e como obter mais informações com o menor número de experimentos. E assim reproduzir os cenários de experimentos e seus relatórios, dos quais serão utilizados para verificar as melhorias ou piores de cada cenário experimento e simulado, para posteriormente compara-los (Banks et al., 1999).

Na fase de análise dos experimentos é realizado através dos resultados obtidos, uma análise se existe a necessidade de fazer mais replicações ou de alterar o cenário de experimento. Esse passo é realizado pela sensibilidade do analista ao verificar os resultados (Banks et al., 1999).

E por final, a documentação sempre deve ser realizada, informando a criação do modelo e os resultados das simulações (Freitas, 2008).

4 Modelagem e simulação do porto

4.1 Formulação do problema

Hassan (1993) conceitua o porto como um sistema complexo, possuindo uma grande quantidade de objetos: O espaço do porto, berços, canal de acesso, armazéns, equipamentos, técnicos, navios, cagas, passageiros, portões e administrativo. Cada uma desses objetos possui suas característi-

cas e importância ao porto de grande dificuldade de simulação.

Para Schoeler (2000), sobre a infraestrutura marítima, os elementos mais importantes são os terminais portuários, englobando desde equipamentos como gruas para a carga e descarga de mercadorias, como também os armazéns que compreende no retroporto. E assim segundo Silva (2008), o porto faz parte de uma distribuição de mercadoria global, por isso a necessidade de aumentar a produtividade portuária e diminuir os custos.

O porto a ser simulado será o porto da cidade de São Francisco do Sul, localizado na Baía da Babitonga no estado de Santa Catarina. Segundo Goularti (2013) o porto foi fundado oficialmente em 1955 pela Administração do Porto de São Francisco do Sul (APSFS).

Hoje em dia o porto de São Francisco do sul trabalha além da capacidade, gerando filas de espera de navios para atracar nos berços. Porem já existe um projeto para a expansão do porto, com a criação de mais um berço o berço 401. Este berço será dedicado a exportação de granel, auxiliando o berço 101 e desafogando o fluxo previsto para o aumento deste tipo de carga.

O sistema portuário de SFS, do qual será abordado e modelado neste trabalho está compreendido da seguinte forma, identificado na Figura 2, a barra será o local de espera para os navios que serão atracados, o Canal da Babitonga a área que os navios passarão para chegarem ao porto e o próprio porto de SFS onde os navios farão a carga e descarga do processo.

O porto de SFS, compreende em sete berços, Figura 3, de atracação conforme Laboratório de transportes e Logísticas [LabTrans] (2012).

a) Berço 101: Especializado em movimentação de graneis sólidos e líquidos. Dedicado a exportação. Para o transporte de carga possui

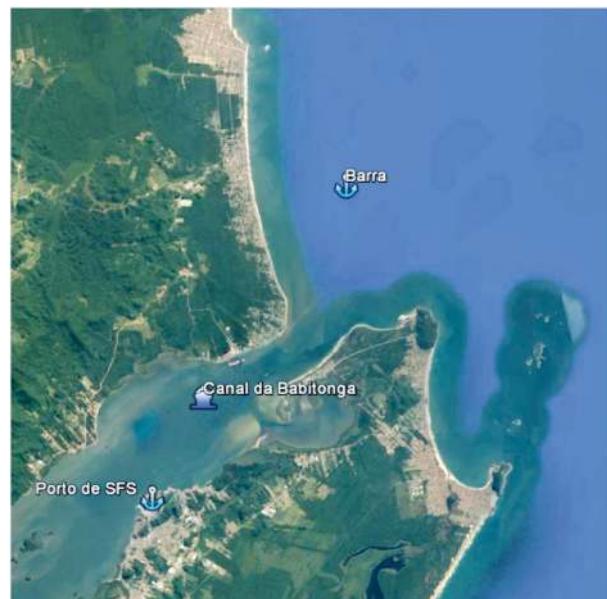


Figura 2: Canal da Babitonga

Fonte: Google Earth



Figura 3: Localização dos berços de atracação.

Fonte: Zport Operadores Portuários.

duas correias transportadoras de alimentação. O berço foi projetado para navios de até 25 mil toneladas de porte bruto (TPB), porém atualmente opera com navios maiores, alguns possuindo até 65 mil (TPB).

- b) Berço 102: De uso público, os berços são dedicado a contêiner, com três gruas cada uma com capacidade de 18 unidades por hora.
 - c) Berço 201: Até o ano de 2012 o berço só atraçavam barcaças e rebocadores portuários.

- Após a reforma em 2013 recebeu duas guias, sendo possível receber cargueiros para movimentação de carga geral ou granel sólido.
- d) Berço B300, B301 e B302: Todos os três berços são arrendados. Operam com granel sólido, carga geral e contêineres possuem duas guias cada berço e foram construídos para atender navios de até 70 mil TPB.

Algumas limitações do sistema foram necessárias acrescentar, devido a falta de dados ou tempo para coletar toda as informações:

- a) Algumas empresas de navios já possuem contrato com a APSFS, por sua vez possuem janelas para atracar seus navios. Sendo assim não existirão preferências nas chegadas;
- b) O canal é influenciado pela maré, assim cria um limitante, onde os navios só poderiam atracar nos estofos e não será simulado este processo;

Para a realização deste trabalho serão necessários quatro cenários chaves:

- a) O cenário base, pretendesse replicar os eventos ocorridos no ano de 2015. Este modelo deverá conter a utilização dos dados reais incluindo os tempos entre chegadas e os tempos

de processos nos berços, e assim será usado para avaliar o modelo.

- b) Cenário 2030 sem melhorias, este por sua vez experimental, será baseado no sistema lógico do cenário base de 2015. Contudo a demanda futura do ano de 2030 será calculada e aplicada.
- c) Cenário 2030 com melhoria, será o cenário 2030 sem melhorias, porém será adicionado mais um berço. O berço 401, conforme o projeto previsto no plano mestre de 2012.
- d) Cenário otimizado, consiste em realizar uma otimização em relação aos recursos usados nos berços, limitados neste estudo às guias e as esteiras transportadoras do porto. Essa otimização irá usar o cenário 2030 com melhorias.

4.2 Modelo conceitual

O modelo conceitual, nada mais é do que uma tradução do sistema real em um formato de fluxograma. Servindo para auxiliar a construção do modelo computacional. Na Figura 4 pode ser observado o fluxograma do modelo, que compreende na chegada dos navios, chegam na barra, local onde os navios ficam em espera por dois eventos: a desocupação do berço e a liberação do canal. Após a liberação do canal e do berço o navio navega até atracar no berço. No qual ocorrerá o seu processo até ser liberado para a navegação.

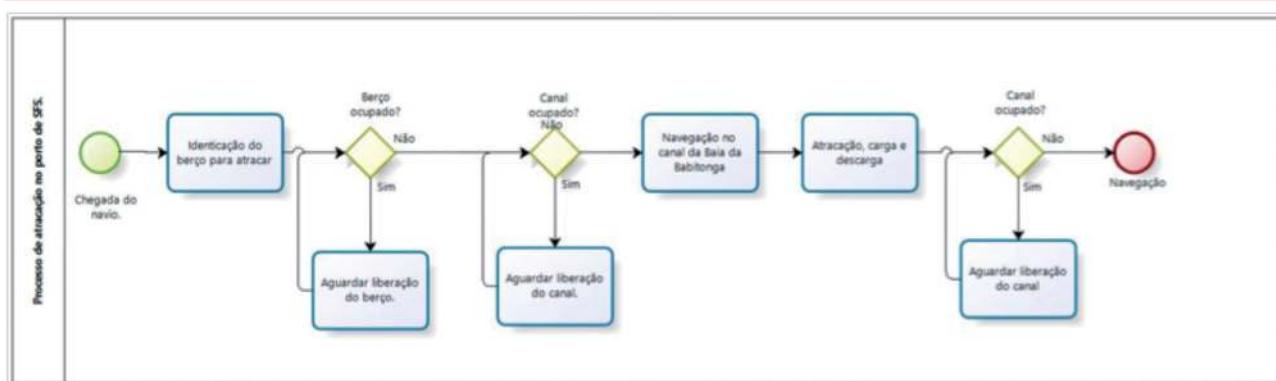


Figura 4: Fluxograma lógico de atracação no porto de SFS.

Para análise dos dados, este trabalho utilizou a base dados da ANTAQ, do Plano Mestre do Porto de São Francisco do sul e em entrevista com alguns colaboradores. A base de dados coletada no acesso público do site da ANTAQ (2016), entre o janeiro e dezembro referente ao ano de 2015. Existem nos dados 458 registros de atracação de navios que são divididos por berço. Contendo cada um deles o tempo de processo, a data da chegada de cada navio e o tipo de carga transportado. Assim deverá ser analisado e tratado para cada berço o tempo de processo e o tempo entre chegadas separadamente. Seguindo a metodologia, os dados deverão ser tratados, identificados o tipo de curva e a aprovação no teste de aderência. Para cada um dos 13 processos identificados no fluxograma. Destes processos 6 são de taxas de chegadas, 6 berços e 1 canal.

4.2.1 Berço 101

Existem 133 registros nos dados, desta forma será criado a taxa de chegada e seu tempo de processo em curvas com formas de distribuição probabilística.

A Figura 5 é o resultado da realização de todos os passos referente ao tratamento de dados. Incluindo a escolha da distribuição e o teste de aderência. Sendo possível identificar ao topo da Figura 5 o histograma, do lado esquerdo o tempo entre chegadas e a direita o tempo de processo do berço B101.

Para os 133 dados foram definidos 11 e 10 intervalos, respectivamente. A curva foi definida, de início, aquela com o menor erro quadrado. Assim para o tempo entre chegadas ocorreu um mesmo valor de erro quadrado para dois tipos de curvas Erlang e Exponencial. Já para o tempo de processo a curva Gama foi definida com o menor valor de erro quadrado.

Para identificar qual a melhor curva que representa os tempos entre chegadas, foi analisa-

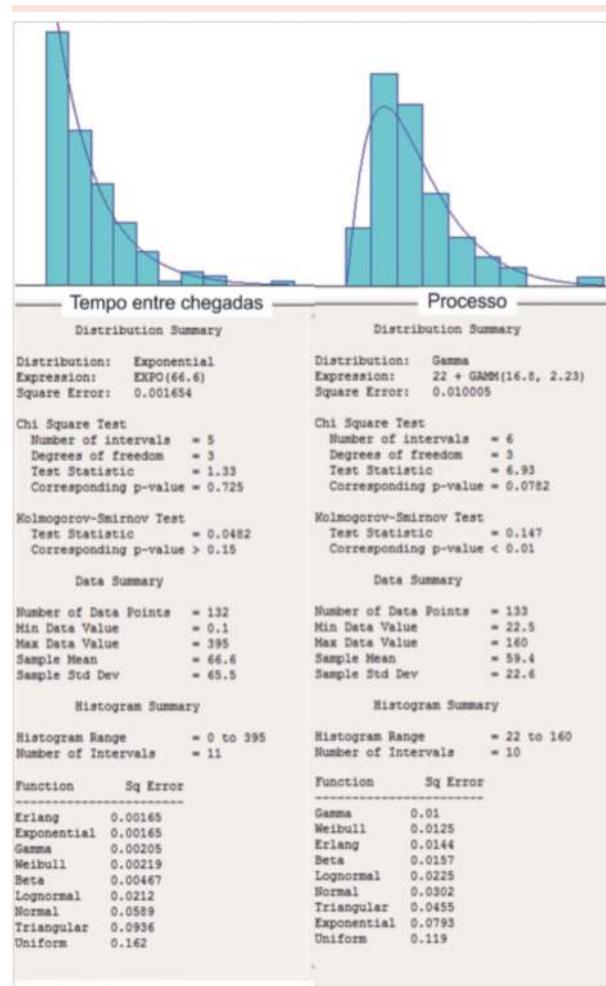


Figura 5: Tratamento e teste B101.

Fonte: Input Analyzer.

do um comparativo entre os dois tipos pelo teste QuiQuadrado (QuiQ), o resultado indicou a curva Exponencial com melhores resultados para o tempo entre chegadas.

A validação da qualidade das curvas, para este berço, só poderá ser aceita com a análise do valor de P resultando do teste QuiQuadrado. Conforme mencionado por Chung (2008) a amostra que possuir mais de 100 dados é ideal aplicar o teste QuiQuadrado e não o teste K-S. O resultado do teste QuiQuadrado para o tempo entre chegadas foi bom, com valor de P de 0,725 sendo maior que 0,1 pode-se afirmar que a distribuição obtida é aceita. Para a curva de tempo de processo o valor de P foi de 0,0782, sendo maior que 0,05, porem

menor que 0,100, não é ideal, porém é considerável razoável e aplicável ao modelo.

4.2.2 B102

Existem 72 dados registrados de navios que chegaram ao berço 102. Sendo possível definir os tempos de processo e os tempos entre chegadas. Desta forma será feito o tratamento estatístico para encontrar a curva probabilística que melhor representa a taxa de chegada e o tempo de processo.

Na Figura 6 é possível identificar a esquerda o resultado do tratamento estatístico para o tempo entre chegadas de navios e ao lado direto o tempo de processo no berço 102. No topo é possível identificar histograma e conforme a literatura, os formatos da curva probabilística (linha) representam bem o tempo entre chegadas e o tempo de processo.

Os intervalos foram definidos para encontrar o melhor formato de curva e estão dentro (10 e 8 intervalos) do recomendado. Novamente o tipo de curva foi definido, primeiramente, com o menor erro ao quadrado.

As curvas foram avaliadas no teste QuiQuadrado, mesmo não possuindo mais de 100 dados é possível aplicar a valores próximos. O valor de P para o tempo entre chegadas foi exatamente de 0,156 e para o tempo de processo o valor de 0,155. Todos os dois casos, para o berço 102, possui um valor de P acima de 0,10. Podendo ser aplicado a simulação.

4.2.3 B201

O berço 201 conta com 75 dados, que foram tratados em busca da curva que representa-se os dados probabilisticamente, de tempo entre chegadas e o tempo de processamento.

Baseando no método de tratamento de dados previamente discutido e já aplicado. Porem ao analisar os resultados gerados, optou-se por diminuir o intervalo de 9 para 6, que também respeita o indica-

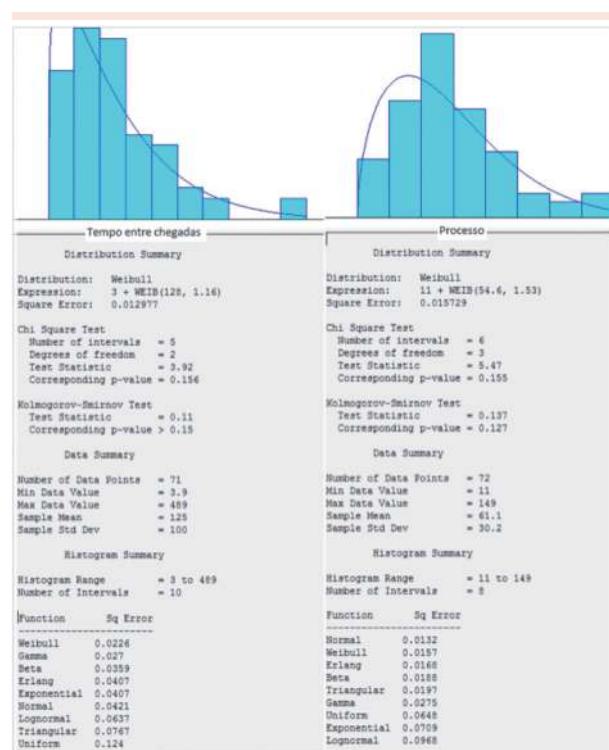


Figura 6: Tratamento e teste B102.

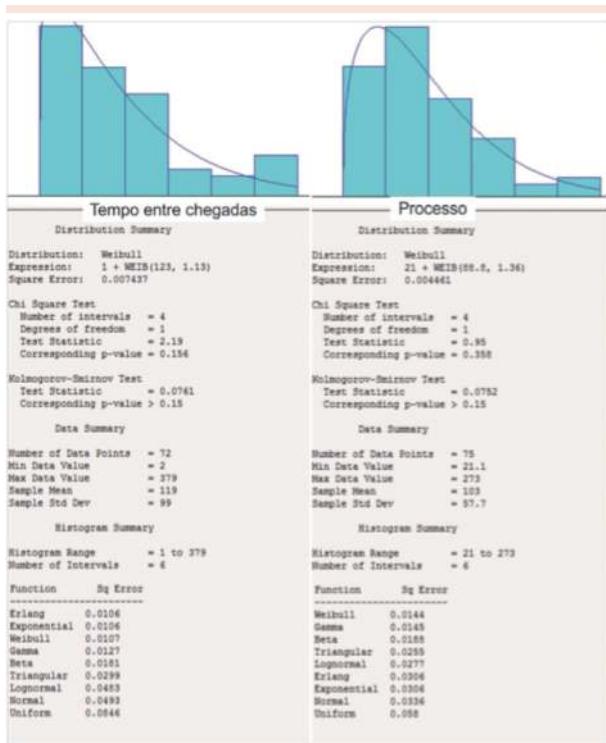
Fonte: Input Analyzer.

do pela literatura. Com isso gerou a Figura 7, analisando o erro quadrado é possível identificar três tipos de curvas possíveis para o tempo entre chegadas e duas para o tempo de processo. Ao testar cada uma dessas opções a curva que melhor representava teve que ser definida pelo teste de aderência.

O teste de aderência para o tempo entre chegadas e o processo do berço, foi baseado no teste QuiQuadrado. Assim o tempo entre chegadas obteve um valor de P de 0,156, sendo maior que 0,10. Desta forma aprovada a curva teórica gerada e para o tempo de processo o valor de P é de 0,358 é considerado aplicável.

4.2.4 B300, B301 e B302:

O berço 300, 301 e 302 compreende em 31, 117 e 20 dados registrado das chegadas dos navios respectivamente. Esses dados, para cada um dos berços, foram tratados e aplicado ao Input Analyzer, da mesma forma já realizado nos berços anteriores.

**Figura 7: Tratamento e teste B102**

Fonte: Input Analyzer.

Na Tabela 1 é possível encontrar os resultados do tratamento de dados e análise do teste de aderência. Nota-se que o berço 300, por ser pequena a amostra, foi definido o teste de aderência K-S. No teste K-S o valor de P é maior que 0,10 e possui um erro quadrado baixo, validando a curva do tempo entre chegadas do B300 para a simulação.

Para o berço 301, a alta quantidade de dados indica o teste QuiQuadrado e o baixo erro quadrado indica um alto valor de P. Na análise do valor de P, para o teste de aderência, o valor foi de 0,715, assim indicando uma ótima escolha de curva probabilística.

O berço 302, possui poucos dados para fazer uma boa analise, porém, mesmo assim é possível obter uma curva probabilística com qualidade. O resultado é baseado pelo teste K-S, sendo o valor de P maior que 0,15, e por sua vez, maiores que 0,10. Portanto pode-se validar e utilizar esta curva na simulação. Na Tabela 1 é possível encontrar

a expressão, o erro quadrado e o valor de P para os três berços comentado.

Tabela 1: Curva probabilística tempo entre chegadas

| Berço | Expressão | Erro quadrado | (Valor de P) |
|-------|-----------------------|---------------|--------------|
| B300 | 10 + EXPO (226) | 0.00612 | > 0.15 K-S |
| B301 | 1 + WEIB (77.2, 1.25) | 0.00230 | = 0.715 QuiQ |
| B302 | 49+WEIB (230, 0.627) | 0.021327 | > 0.15 K-S |

A mesma análise é realizada para os processos nos berços e apresentado seus resultados na Tabela 2. Mais uma vez o berço 300 teve que ser verificado pelo teste de aderência K-S, na análise do valor de P o resultado foi maior que 0,15 sendo maior que 0,10, podendo validar a curva.

Para o berço 301, as quantidades de dados são suficientes para utilizar o teste QuiQuadrado, como resultado o valor de P é igual a 0,259 mostra-se um bom resultado para a curva.

A curva que representa o tempo de processo no berço 302, teve que ser analisada pelo teste K-S. Devido a sua baixa amostragem, porém da mesma forma, é possível identificar um bom resultado sendo valida a curva sugerida.

Tabela 2: Curva probabilística de processo nos berços 300, 301 e 302

| Berço | Curva probabilística de tempo de processo [h] | Erro quadrado | Teste de aderência (valor de P) |
|-------|---|---------------|---------------------------------|
| B300 | 24 + ERLA (27, 2) | 0.021395 | > 0.15 K-S |
| B301 | 11 + LOGN (55.6, 37.2) | 0.002943 | = 0.259 QuiQ |
| B302 | 35 + 77 * BETA (1.15, 1.89) | 0.009236 | > 0.15 |

O canal comprehende em um processo intermediário, entre a barra e os berços. Os registros deste processo não foram encontrados ou não existem. Nesse caso o método recomendado é a

coleta por estimativa do operador. Do qual indicou que normalmente demora duas horas e raramente passa de três horas. Com isso optou-se por utilizar uma distribuição triangular, entre 1,5 a 3 com média de 2 em horas.

Para a conclusão do tratamento de dados, apresenta-se um resumo dos tempos de processos e das taxas entre chegadas na Tabela 3.

Tabela 3: Resumo curva probabilística cenários base

| Processo | Curva tempo entre chegadas [horas] | Curva tempo de processo [horas] |
|----------|------------------------------------|---------------------------------|
| B101 | EXPO (66.6) | 22 + GAM (16.8, 2.23) |
| B102 | 3 + WEIB (128, 1.16) | 11 + WEIB (54.6, 1.53) |
| B201 | 1 + WEIB (123, 1.13) | 21 + WEIB (88.8, 1.36) |
| B300 | 10 + EXPO (226) | 24 + ERLA (27, 2) |
| B301 | 1 + WEIB (77.2, 1.25) | 11 + LOGN (55.6, 37.2) |
| B302 | 49+WEIB (230, 0.627) | 35 + 77 * BETA (1.15, 1.89) |
| Canal | | TRIAL(1.5,2,3) |

4.3 Modelo computacional

A construção do modelo computacional foi realizada no software Arena, baseada no modelo lógico de evento ocorrido no ano de 2015. Após a implementação do modelo no software foi necessário fazer uma verificação e a validação do modelo. Os dois ocorrem de forma juntas, a verificação deve checar se a simulação processa da forma esperada e a validação é simular e comparar os resultados da simulação com os resultados ocorridos no ano de 2015.

Para alcançar um bom resultado nos dados de saída, foi realizado uma simulação de ajuste

com 15 replicações, valor recomendado por Freitas (2008) e assim deve-se verificar os resultados.

As primeiras 15 replicações levaram aos seguintes resultados encontrados na Tabela 4, mostra o resultado do Output Analyzer do Arena, Tabela 4 pode-se identificar o intervalo de confiança para um nível de 95%. Desta forma verifica-se a coluna de Semi-Intervalo, se este valor for maior que 10% do valor da média, faz-se necessário recalcular o número de replicações.

Os resultados para navio processados no berço 302 possui um valor de semi-intervalo de confiança de 4,01 sendo maior que 10% da média (2,71). Para o tempo médio de processo no berço não ocorreu valores fora do nível de confiança. Porem para o tempo médio de espera todos os valores estão fora e se faz necessário calcular um novo número de replicações.

O cálculo do novo número de replicações foi obtido através da equação (1):

$$n^* = nhh^*2 \quad (1)$$

Onde (1):

n : número de replicações já realizadas;

h: semi-intervalo de confiança já obtido;

*h**: semi-intervalo de confiança desejado.

Tabela 4: Resultados cenário base para 15 replicações

| Navios processados[um] | Média | Desvio padrão | Semi-Intervalo | Mínimo | Máximo | Replicações |
|-----------------------------|-------|---------------|----------------|--------|--------|-------------|
| B101 | 130 | 8,69 | 4,81 | 112 | 141 | 15 |
| B102 | 70,2 | 7,7 | 4,26 | 54 | 80 | 15 |
| B201 | 74,7 | 5,31 | 2,94 | 63 | 81 | 15 |
| B300 | 36,3 | 5,96 | 3,3 | 27 | 46 | 15 |
| B301 | 116 | 7,28 | 4,03 | 106 | 128 | 15 |
| B302 | 27,1 | 7,25 | 4,01 | 10 | 40 | 15 |
| Tempo médio em processo [h] | | | | | | |
| B101 | 59,9 | 2,3 | 1,27 | 55,7 | 64,1 | 15 |
| B102 | 58,6 | 3,14 | 1,74 | 53,4 | 64,1 | 15 |
| B300 | 81,4 | 8,8 | 4,87 | 69,5 | 98,2 | 15 |
| B301 | 66,1 | 2,76 | 1,53 | 62,1 | 71,6 | 15 |
| B201 | 103 | 6,95 | 3,85 | 88,4 | 115 | 15 |
| B302 | 64,6 | 2,48 | 1,37 | 60,9 | 69,2 | 15 |
| Tempo médio em espera [h] | | | | | | |
| B101 | 279 | 130 | 72,2 | 94,9 | 587 | 15 |
| B102 | 40,5 | 9,05 | 5,01 | 25,4 | 55,7 | 15 |
| B201 | 268 | 96,6 | 53,5 | 109 | 458 | 15 |
| B300 | 43,9 | 21,2 | 11,7 | 11,5 | 74,5 | 15 |
| B301 | 240 | 127 | 70,6 | 107 | 562 | 15 |
| B302 | 14,2 | 5,13 | 2,84 | 4,87 | 23,3 | 15 |

Tabela 5: Cálculo do novo n* para as variáveis críticas

| Navios processados[um] | n | h | h* | n* |
|----------------------------------|----|------|------|-----|
| B302 | 15 | 4,01 | 2,71 | 33 |
| Tempo médio em espera [h] | | | | |
| B101 | 15 | 72,2 | 27,9 | 100 |
| B102 | 15 | 5,01 | 4,1 | 23 |
| B201 | 15 | 53,5 | 26,8 | 60 |
| B300 | 15 | 11,7 | 4,4 | 107 |
| B301 | 15 | 70,6 | 24,0 | 130 |
| B302 | 15 | 2,84 | 1,4 | 60 |

Os cálculos indicam na Tabela 5 que são necessários no mínimo 130 replicações para alcançar o nível de confiança desejado, devido ao tempo médio de espera estar fora do intervalo de confiança. Assim sendo o software Arena foi rodado novamente com 130 replicações e pode-se identificar os novos valores na Tabela 6. Apenas o tempo médio de espera do B101 ficou um pouco acima dos 10% esperado. Contudo os outros ficaram dentro da margem. E desta forma pode-se validar o cenário base simulado.

Tabela 6: Resultados cenário base para 130 replicações

| Navios processados[um] | Média | Desvio padrão | Semi-intervalo | Mínimo | Máximo | Replicações |
|------------------------------------|-------|---------------|----------------|--------|----------|-------------|
| B101 | 127 | 8,5 | 1,47 | 98 | 147 | 130 |
| B102 | 71,1 | 7,35 | 1,27 | 54 | 94 | 130 |
| B201 | 70,8 | 5,96 | 1,03 | 54 | 83 | 130 |
| B300 | 37,6 | 6,05 | 1,05 | 25 | 55 | 130 |
| B301 | 115 | 6,62 | 1,15 | 99 | 131 | 130 |
| B302 | 24,6 | 6,8 | 1,18 | 10 | 42 | 130 |
| Tempo médio em processo [h] | | | | | | |
| B101 | 59,6 | 2,14 | 0,372 | 55 | 65,4 | 130 |
| B102 | 59,4 | 3,26 | 0,567 | 51,2 | 67,4 | 130 |
| B300 | 102 | 6,15 | 1,07 | 85,2 | 115 | 130 |
| B301 | 79,1 | 8,05 | 1,4 | 60,5 | 104 | 130 |
| B201 | 66,6 | 3,72 | 0,646 | 59 | 79,6 | 130 |
| B302 | 64 | 3,86 | 0,67 | 55,7 | 80,6 | 130 |
| Tempo médio em espera [h] | | | | | | |
| B101 | 269 | 158 | 27,4 | 86,5 | 1,13E+03 | 130 |
| B102 | 48,3 | 16,9 | 2,94 | 15,6 | 110 | 130 |
| B201 | 275 | 156 | 27,1 | 67,9 | 732 | 130 |
| B300 | 45 | 24,1 | 4,18 | 11,5 | 179 | 130 |
| B301 | 251 | 144 | 25 | 63,6 | 782 | 130 |
| B302 | 13 | 6,95 | 1,21 | 1,24 | 49,8 | 130 |

4.4 Análise dos cenários 2030

4.4.1 Cenário 2030 sem melhorias

O cenário 2030 sem melhorias, será criado a partir do cenário base, apenas alterando a taxa de chegada, essa alteração será feita em relação

a previsão de demanda para o ano de 2030. Esta previsão de demanda foi provida pelo plano mestre do porto SFS realizada pelo LabTrans (2012).

As previsão de demanda ao porto é em relação ao crescimento dos produtos transportados, podendo ser visto na Tabela 7.

Tabela 7: Taxa de crescimento esperado para o ano de 2030

| Cargas | % Crescimento |
|-------------------------------------|---------------|
| Soja | 61,7% |
| Milho | 8,3% |
| Contêiner | 34,2% |
| Produtos siderúrgicos Cabotagem | 115,7% |
| Produtos siderúrgicos – Longo Curso | 3,2% |
| Trigo | -83,3% |
| Barrilha | 25,0% |
| Fertilizantes | -2,8% |
| Óleo vegetal | 142,9% |
| TOTAL | 49,3% |

Através dos dados da ANTAQ, foi calculado para cada berço a nova taxa de redução para o tempo entre chegadas (Tabela 8) e assim representar o crescimento esperado para 2030. Aplicando a nova taxa ao tempo entre chegadas temos como resultado a Tabela 9, assim poderá ser alterado apenas as curvas que representam no software Arena e como resultado o cenário de 2030.

Ao rodar o cenário 2030 sem melhorias, obteve-se a nova Tabela 10 de resultados para este cenário.

Todos os resultados apresentaram dentro do nível de confiança, sendo assim apenas uma simulação com 130 replicações foram o suficiente.

4.4.2 Cenário 2030 com melhorias

O cenário 2030 com melhorias é a adição de um projeto, a adição do berço B401. Desta for-

Tabela 8: Taxa de redução cenário 2030 sem melhorias

| Berço | Multiplicador para redução da Tx de chegada: |
|-------|--|
| B101 | 69,2% |
| B102 | 73,7% |
| B201 | 69,8% |
| B300 | 51,9% |
| B301 | 76,7% |
| B302 | 73,5% |

Tabela 9: Tempo entre chegadas cenário 2030 sem melhorias

| Processo | Curva tempo entre chegadas [horas] |
|----------|------------------------------------|
| B101 | 0.692 * EXPO(66.6) |
| B102 | 0.737 * (3 + WEIB(128, 1.16)) |
| B201 | 0.698 * (1 + WEIB(123, 1.13)) |
| B300 | 0.519 * (10 + EXPO(226)) |
| B301 | 0.767 * (1 + WEIB(77.2, 1.25)) |
| B302 | 0.735 * (49+WEIB(230, 0.627)) |

Tabela 10: Resultados cenário 2030 sem melhorias

| Navios processados[um] | Média | Desvio padrão | Semi-intervalo | Mínimo | Máximo | Replicações |
|-----------------------------|-------|---------------|----------------|--------|--------|-------------|
| B101 | 140 | 5,32 | 0,923 | 124 | 153 | 130 |
| B102 | 94,6 | 8,01 | 1,39 | 75 | 115 | 130 |
| B201 | 82,1 | 4,94 | 0,857 | 69 | 96 | 130 |
| B300 | 70,5 | 8,46 | 1,47 | 51 | 98 | 130 |
| B301 | 125 | 6,49 | 1,13 | 104 | 137 | 130 |
| B302 | 35,4 | 7,79 | 1,35 | 16 | 58 | 130 |
| Tempo médio em processo [h] | | | | | | |
| B101 | 59,7 | 2,11 | 0,366 | 55 | 65 | 130 |
| B102 | 60,4 | 3,47 | 0,602 | 51,9 | 71,3 | 130 |
| B300 | 102 | 6,39 | 1,11 | 86,2 | 122 | 130 |
| B301 | 78,4 | 4,27 | 0,741 | 67,8 | 89,3 | 130 |
| B201 | 66,9 | 3,72 | 0,645 | 59,3 | 81,7 | 130 |
| B302 | 63,6 | 3,1 | 0,539 | 57,2 | 73,8 | 130 |
| Tempo médio em espera [h] | | | | | | |
| B101 | 1170 | 321 | 55,7 | 493 | 2220 | 130 |
| B102 | 78,5 | 34,5 | 5,99 | 34,6 | 315 | 130 |
| B201 | 985 | 358 | 62,2 | 153 | 1960 | 130 |
| B300 | 105 | 44 | 7,63 | 34,6 | 254 | 130 |
| B301 | 942 | 309 | 53,6 | 265 | 1810 | 130 |
| B302 | 23,6 | 9,2 | 1,6 | 2,52 | 54,6 | 130 |

ma o modelo computacional do cenário de 2030 sem melhorias foi alterado para receber mais um berço, que irá auxiliar o berço 101. Assim a demanda entre do B101 foi dividida entre 50% para o B401. Simulando esse cenário tem como consequência a Tabela 11, da qual mais uma vez os resultados mostraram-se dentro do nível de confiança de 95%.

4.4.3 Cenário otimizado

O cenário otimizado é uma otimização em relação aos recursos de cada berço. Cada berço recebeu uma variável da qual está interligada a um fator K, onde K representa a quantidade de recursos para o berço e multiplica a curva probabilística de processos. Desta forma aumenta ou diminui o tempo de processo. Essa constante pode ser vista na Tabela 12 de exemplo para o B401 e replicada aos outros berços.

O software Optquest, integrado ao Arena, irá otimizar o cenário alterando as variáveis k de 1 a 5, desta forma aumentado ou diminuído a quantidade de recursos no berço. Necessitou definir um objetivo, sendo esse objetivo de diminuir a quantidade de recursos a serem utilizados. Desta forma a função objetiva é definida por sendo “var” a variável K de cada berço:

$$\begin{aligned} \min = & \text{VarB101} + \text{VarB102} + \text{VarB20} \\ & + \text{VarB300} + \text{VarB301} + \text{VarB302} + \\ & \text{VarB401} \end{aligned} \quad (2)$$

Para as condições de contorno foi levado em consideração a proposta apresentada pela United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). Que indica um nível de serviço (NS) de 0,3 a 0,5 para países em desenvolvimento. Esse NS é definido como o tempo médio de espera de um navio (AWT) dividido pelo tempo médio de processamento (AST), portanto foi adicionado no Optquest para cada berço a seguinte condição de contorno:

$$0,3 \leq AWT_B401 / AST_B401 \leq 0,5 \quad (3)$$

Tabela 11: Resultados cenário 2030 com melhorias

| Navios processados[um] | Média | Desvio padrão | Semi-intervalo | Mínimo | Máximo | Replicações |
|------------------------------------|-------|---------------|----------------|--------|--------|-------------|
| B101 | 83,5 | 7,73 | 1,34 | 66 | 104 | 130 |
| B401 | 104 | 6,6 | 1,14 | 83 | 124 | 130 |
| B102 | 94,5 | 7,4 | 1,28 | 68 | 112 | 130 |
| B201 | 81,8 | 5,6 | 0,966 | 69 | 95 | 130 |
| B300 | 70,9 | 7,7 | 1,33 | 55 | 93 | 130 |
| B301 | 126 | 5,6 | 0,97 | 111 | 141 | 130 |
| B302 | 32,5 | 7,5 | 1,3 | 7 | 54 | 130 |
| Tempo médio em processo [h] | | | | | | |
| B101 | 59,4 | 1,78 | 0,308 | 55,4 | 64 | 130 |
| B102 | 60,4 | 3,57 | 0,619 | 51,2 | 67,8 | 130 |
| B300 | 102 | 7,07 | 1,23 | 89,3 | 120 | 130 |
| B301 | 77,8 | 4,29 | 0,745 | 68,7 | 89,8 | 130 |
| B201 | 66,5 | 3,15 | 0,546 | 59,6 | 74,7 | 130 |
| B302 | 64,2 | 3,82 | 0,663 | 55,8 | 74,9 | 130 |
| B401 | 59,3 | 2,27 | 0,317 | 53,5 | 66,4 | 130 |
| Tempo médio em espera [h] | | | | | | |
| B101 | 45,6 | 14,7 | 2,56 | 23,3 | 105 | 130 |
| B102 | 76,6 | 27,8 | 4,82 | 33 | 171 | 130 |
| B201 | 974 | 384 | 66,6 | 252 | 2090 | 130 |
| B300 | 110 | 57,7 | 10 | 34,6 | 475 | 130 |
| B301 | 869 | 322 | 55,9 | 215 | 1620 | 130 |
| B302 | 24,6 | 10,8 | 1,87 | 4,87 | 59,3 | 130 |

Tabela 12: Constante K de multiplicação do B401

| Quantidade de Recursos B401 | K |
|-----------------------------|------|
| 1 | 2 |
| 2 | 1 |
| 3 | 0,67 |
| 4 | 0,5 |
| 5 | 0,4 |

Através do método de busca tabu do otimizador foi rodado para cenário, após 1357 cenários experimentados o sistema convergiu para uma possível melhor solução. E apresentou as 10 melhores soluções presentes na Figura 9, sendo possível verificar que nenhum dos cenários é possível atender a todas condições de contorno aplicadas.

Ao verificar o NS do cenário base referente ao ano de 2015, é possível encontrar um NS de 2,07 para o porto. Da mesma forma através dos dados da ANTAQ foram analisados o NS para os portos que fazem concorrência direta ao porto de SFS e assim encontramos Itajaí – SC com 0,56, Paranaguá – PR com 2,15 e Itapoá – SC com 1,12. Desta forma optou-se em fazer uma mudança nas condições de contorno, para que o porto seja competitivo em relação aos concorrentes

a condição implica que o tempo médio de espera seja no máximo o igual ao tempo de processo. Portanto o novo NS para cada berço é exemplificando para o B401:

$$AWTB401ASTB401 \leq 1$$

(4)

Estabelecido a nova condição de contorno o Optquest foi rodado e obteve-se uma nova lista de 10 soluções, essas por sua vez, possui todas as soluções viáveis e são apresentadas na Figura 10.

Para a análise mais profunda destas soluções, só serão analisadas as duas que obtiveram menor

| Best Solutions | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|------------|------------|--------------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|----------------|
| Simulation | Objective Value | Status | Confidence | Replications | Var_B10 | Var_B102[| Var_B201[| Var_B300[| Var_B301[| Var_B302[| Var_B401[1,1 / |
| 224 | 31,000000 | Infeasible | Met | 20 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 2 | 5 |
| 378 | 30,000000 | Infeasible | Met | 20 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 3 | 3 |
| 181 | 32,000000 | Infeasible | Met | 20 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 |
| 202 | 31,000000 | Infeasible | Met | 20 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 5 |
| 218 | 31,000000 | Infeasible | Met | 20 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 3 | 5 |
| 364 | 31,000000 | Infeasible | Met | 20 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 |
| 406 | 30,000000 | Infeasible | Met | 20 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 2 | 4 |
| 200 | 31,000000 | Infeasible | Met | 20 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 | 4 |
| 374 | 30,000000 | Infeasible | Met | 20 | 4 | 5 | 5 | 4 | 5 | 3 | 4 |
| 195 | 30,000000 | Infeasible | Met | 20 | 3 | 5 | 5 | 4 | 5 | 3 | 5 |

Figura 9: Resultado OptQuest para NS 0,3 e NS 0,5.

| Best Solutions | | | | | | | | | | | | |
|----------------|-----------------|----------|------------|--------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------------|--|
| Simulation | Objective Value | Status | Confidence | Replications | Var_B10 | Var_B10 | Var_B20 | Var_B30 | Var_B30 | Var_B30 | Var_B401[1,1] | |
| 182 | 26,000000 | Feasible | Met | 20 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 | 2 | 4 | |
| 243 | 26,000000 | Feasible | Met | 20 | 2 | 4 | 5 | 3 | 5 | 2 | 5 | |
| 183 | 27,000000 | Feasible | Met | 20 | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 2 | 4 | |
| 189 | 27,000000 | Feasible | Met | 20 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 4 | |
| 316 | 27,000000 | Feasible | Met | 20 | 2 | 4 | 5 | 4 | 5 | 2 | 5 | |
| 327 | 27,000000 | Feasible | Met | 20 | 4 | 4 | 5 | 3 | 5 | 2 | 4 | |
| 334 | 27,000000 | Feasible | Met | 20 | 2 | 5 | 5 | 3 | 5 | 2 | 5 | |
| 165 | 28,000000 | Feasible | Met | 20 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 | 4 | 4 | |
| 326 | 28,000000 | Feasible | Met | 20 | 3 | 4 | 5 | 3 | 5 | 3 | 5 | |
| 330 | 28,000000 | Feasible | Met | 20 | 4 | 4 | 5 | 3 | 5 | 2 | 5 | |

Figura 10: Resultado OptQuest para NS 1.

número de recursos a primeira (#182) e a segunda (#243) solução.

Analisando a Tabela 13, podemos observar que a melhor solução tem uma média mais próxima do nível de serviço de 0,5 e também possui um menor tempo de espera geral para o porto.

Tabela 13: Analise da otimização para NS 1

| AWT/AST | #182 | #243 | Quantidade recursos |
|---------------------|-------|-------|---------------------|
| B101 | 0,30 | 0,20 | 3 |
| B102 | 0,82 | 0,75 | 4 |
| B201 | 0,91 | 0,98 | 5 |
| B300 | 0,81 | 0,87 | 3 |
| B301 | 0,78 | 0,92 | 5 |
| B302 | 0,39 | 0,39 | 2 |
| B401 | 0,83 | 0,99 | 4 |
| Média | 0,69 | 0,73 | 26 |
| Média de espera [h] | 28,90 | 30,06 | |

4.5 Analise dos resultados

A primeira análise a ser feita é em relação ao percentual de ocupação dos berços nos cenários simulados, o Gráfico 1 apresenta para cada berço diferentes cenários.

Apresentando uma grande ociosidade nos cenários otimizados, com menos de 50% de uso, se dá por atender o exigente NS pela UNCATAD. É possível identificar no berço 101 uma redução grande do cenário de 2030 sem melhorias para o

cenário 2030 com melhorias passou de 95% para 57% e se analisar o somatório de utilização do B101 para o B401 do cenário de 2030 com melhorias é possível identificar um valor de quase 130%, mostrando que a adição do B401 aumentou a produtividade.

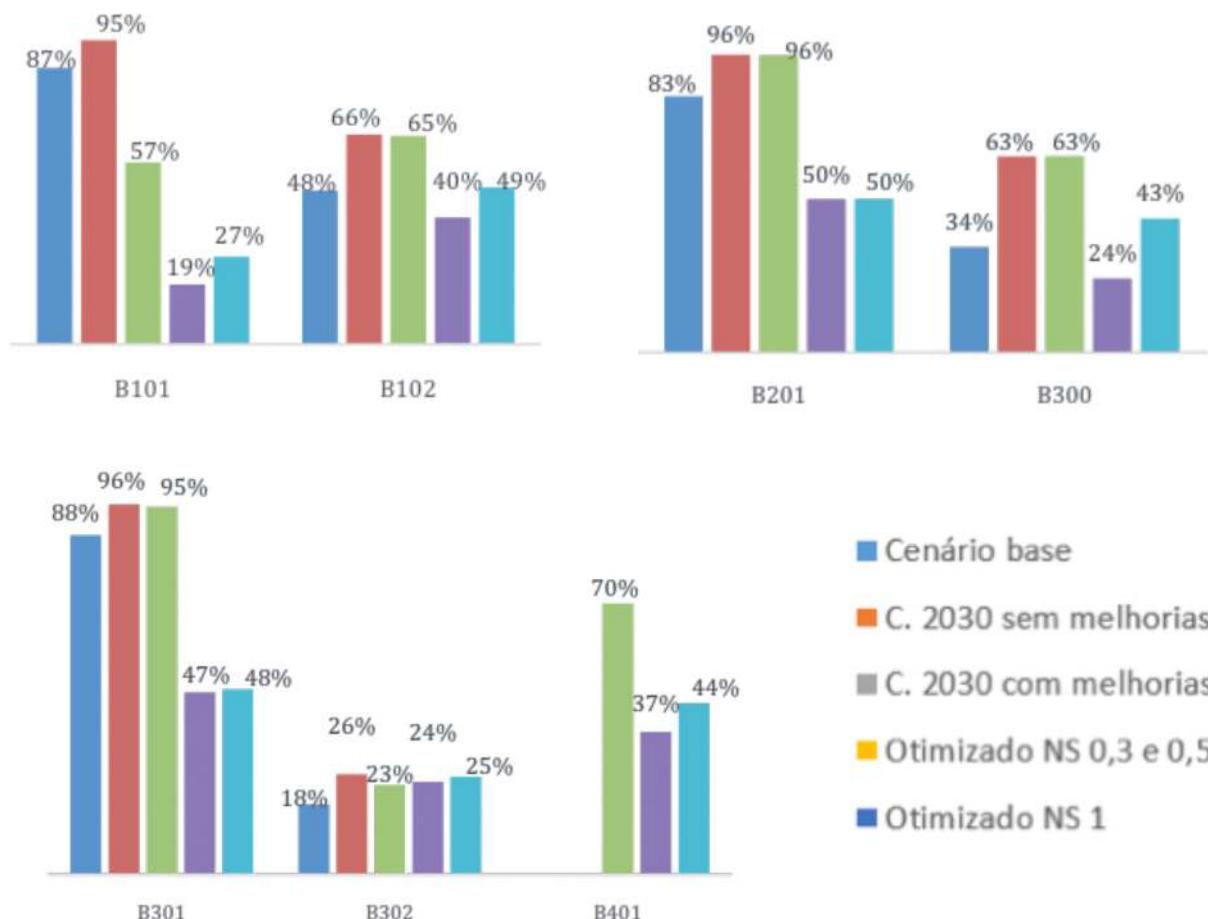
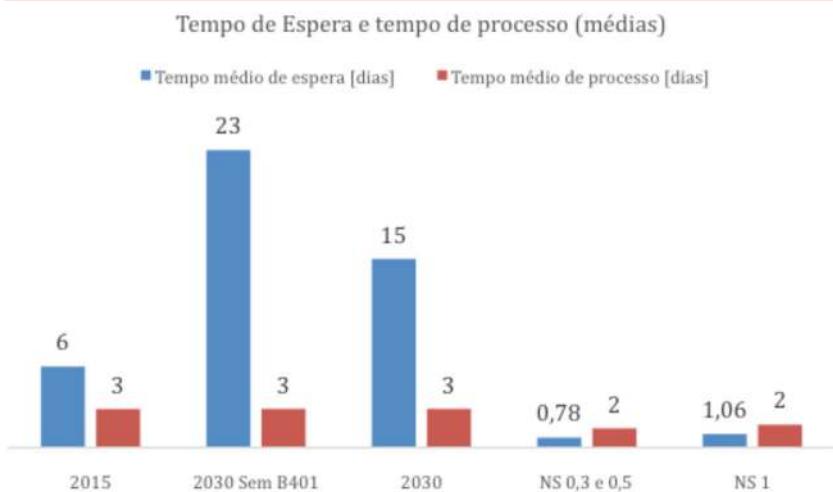
Entre os cenários otimizados, nota-se um aumento no uso dos berços, em contra partida esse pequeno aumento se dá com a redução de 5 recursos usados no porto, mostrando que a pequena relaxação no NS pode ser interessante.

Contudo é necessário fazer uma análise do tempo de espera dos navios. Mesmo os cenários otimizados terem uma taxa de ocupação baixa os navios chegam numa distribuição probabilística e não constante e portanto apresenta algum tempo de espera.

O Gráfico 2 apresenta as médias do tempo de esperas no porto e o tempo médio de processo. É possível ver um grande crescimento para os cenários de 2030 sem melhorias de 23 dias. Contudo a adição de mais um berço não traz o nível de serviço prestado em 2015, gerando filas médias de 15 dias para atracar no porto.

Após a otimização é possível ver uma inversão nos dados, o tempo de espera passa a ser menor que o tempo de processo. Isso se dá pelo aumento na velocidade do processamento nos berços.

Desta forma podemos observar que somente a adição de um berço não é suficiente, mas

**Gráfico 1: Porcentagem de uso dos berços em cada cenário****Gráfico 2: Médias de tempos espera e processo.**

também a aquisição de mais recursos e aloca-los de forma correta. Como ocorreu com os berços

B301 e B201esses dois berços, com grande movimento, só foi ter um nível de serviço aceitável quando passou a ter 5 equipamentos de movimentação. Os resultados obtidos mostraram ser interessante, pois fica nítido que aplicando a taxa de crescimento proposta pelo LabTrans (2012), em 2030 será só mais um porto do Brasil com alta espera para atracação. Mesmo a criação de mais um berço como previsto é de alta relevância pois resulta

numa diminuição da média de espera em 8 dias, passando de 23 para 15 dias de espera. Porém

fica claro que está muito distante da proposta da UNCTAD, mas é extremamente interessante pode avaliar quais serão os investimentos que deverão ser refletidos para alcançar o padrão proposto. Apesar da criação do berço B401, outros projetos de investimento para o porto deverão ser pensados, principalmente para os berços B201 e B301. Talvez não seja viável tecnicamente colocar 5 recursos num mesmo berço, mas fica claro a importância de quais são os investimentos necessários para melhorar e eficiência.

5 Conclusões

O estudo mostrou a importância da simulação, considerada uma ferramenta importante para avaliar diversos cenários, sem afetar o sistema real e desta forma sem alterar a produção ou o serviço oferecido, resultando assim baixa necessidade de investimentos na avaliação de mudanças. Isso é possível através da metodologia da qual está apoiada por diversos autores presentes neste estudo.

A metodologia apresentada é completa para a realização de um estudo em simulação desde a avaliação do problema até a implementação. Passando pela coleta, tratamento de dados e análise dos resultados, sendo pontos fundamentais e de grande impacto para a qualidade da simulação.

Também é importante ressaltar que não se faz apenas necessário simular cenários experimentais pré-definidos, mas também a importância da simulação para a definição de um cenário otimizado, do qual vai alcançar um objetivo estabelecido, respeitando condições impostas no problema. Sendo assim, extremamente importante quando se deseja realizar uma análise de mínimo recursos necessários para alcançar um nível de serviço desejado, como apresentado na simulação do porto.

Como obtido na simulação do porto de São Francisco do Sul/SC, pode-se experimentar diversos cenários, sem alterar a realidade do porto e sem grandes custos. Assim foi possível aplicar uma previsão de demanda futura, de um outro estudo e obter como saída o estado futuro do porto. Com o uso da otimização, os recursos necessários para promover um padrão almejado foram contabilizados levando a uma visão quantitativa dos futuros investimentos.

Portanto o objetivo de avaliar o uso de recursos do porto com aplicação de sua demanda futura em simulação para diferentes cenários foi atingido, identificado os fatores chaves a serem considerados e assim fundamentar melhor as decisões futuras.

Aqueles que desejam utilizar dos temas abordados aqui, fica evidente a necessidade de modelar as limitações presentes neste trabalho, como a forma de navegação do porto no canal, com o uso das marés e locais para revolução. Assim como também a análise de toda a cadeia portuária desde a chegada da carga pelo modal terrestre até a saída do navio em alto mar. Outra opção para a otimização é a introdução de custos de cada navio e berço e assim usar a função objetivo como a minimização do custo do sistema.

Referências

- Agência Nacional de transportes Aquaviário - Sistema de Informações Gerencias, Acesso Público. Recuperado em 28 de agosto, 2016 de <http://www.antaq.gov.br/sistemas/sig/AcessoEntrada.asp?IDPerfil=23>.
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., Nicol, D. M. (1999). *Discrete-event system simulation*. Pearson Education India.
- Chwif, L., Medina, A., Simulate, T. (2014). *Modelagem e simulação de eventos discretos* (3 ed.). Teoria e Aplicações: Vol. 4. Elsevier Brasil.
- Chung, C. A. (Ed.). (2003). *Simulation modeling handbook: a practical approach*. CRC press.

Hassan, S. A. (1993). Port activity simulation: an overview. *ACM SIGSIM Simulation Digest*, 23(2), 17-36.

Kelton, W. D., Sadowski, R. P., Swets, N. B. (2010). *Simulation with Arena* (5th).

Sakurada, N., & Miyake, D. I. (2009). Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. *Gestão & Produção*, 16(1), 25-43.

Shannon, R. E. (1975). *Systems simulation; the art and science* (No. 04; T57. 62, S4.).

Silva, V. M. D. (2008). *Um modelo heurístico para alocação de navios em berços*.

Prado, D. (2014). *Teoria das filas e da simulação*. Rio de Janeiro RJ: Editora Falconi.

Laboratório de transportes e Logísticas - Plano Mestre Porto São Francisco do Sul. Secretaria dos Portos da Presidência. UFSC, 2012. Recuperado em 10 de agosto, 2016 de <http://www.portosdabrasil.gov.br/assuntos-1/gestao/poligonais/sao-francisco-do-sul/plano-mestre-doporto-de-sao-francisco-do-sul-2012.pdf/view>.

Law, A. M & Kelton, W. D. (1991). *Simulation modeling and analysis* (Vol. 2). New York: McGraw-Hill.

Fazzon, E. M., Albrecht, A., Hellingrath, B., Cordes, A. K., & Saalmann, P. (2014, July). Simulation model concept for evaluating spare parts supply chain planning methods. In *2014 12th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN)* (pp. 560-565). IEEE.

Freitas, F. P. J. (2001). *Introdução à modelagem e simulação de sistemas: com aplicações em Arena*. Visual Books.

Gordon, G. (1978). *System Simulation* (No. 04; QA76. 9. C65, G6 1978.).

Goulart, F. A. (2013). Portos, ferrovias e navegação em Santa Catarina. *Florianópolis: Ed. UFSC*.

Pegden, C. D., Sadowski, R. P., & Shannon, R. E. (1995). *Introduction to Simulation Using SIMAN*. McGraw-Hill, Inc..

Zport Operadores Portuarios LTDA. Localização dos berços de atracação. Recuperado em 23 de setembro de 2016 <http://www.zport.com.br/op-portuarias>

Recebido em 16 nov. 2016 / aprovado em 3 abr. 2017

Para referenciar este texto

Hardt, I.,& Fazzon, E. M. Análise operacional dos berços de atracação do porto de São Francisco do Sul/SC. *Exacta – EP*, São Paulo, v. 15, n. 4, p. 43-62, 2017.