

CENTRO UNIVERSITÁRIO CATÓLICO DE VITÓRIA

STEF SPERKA

**MODELAGEM DA MOVIMENTAÇÃO DAS EMBARCAÇÕES NO COMPLEXO
PORTUÁRIO DO ESPÍRITO SANTO**

VITÓRIA

2017

STEF SPERKA

**MODELAGEM DA MOVIMENTAÇÃO DAS EMBARCAÇÕES NO COMPLEXO
PORTUÁRIO DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Católico de Vitória, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Msc. Wesley Lucas Breda

VITÓRIA

2017

STEF SPERKA

**DIMENSIONAMENTO DE FROTA DOS REBOCADORES NO COMPLEXO
PORTUÁRIO DO ESPÍRITO SANTO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário Católico de Vitória, como requisito obrigatório para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Aprovado em _____ de _____ de _____, por:

Prof. Msc. Wesley Lucas Breda - Orientador

Prof. Msc. Fernando Oliveira Boechat, Centro Universitário Católica de Vitória

Prof. Msc. Flávio Lopes dos Santos, Centro Universitário Católica de Vitória

AGRADECIMENTOS

Agradeço imensamente aos meus pais, que se dedicaram pela minha formação moral e acadêmica, por serem meu exemplo e apoio.

Aos meus irmãos pela compreensão e pelos momentos de crescimento e felicidade.

Aos meus amigos e companheiros da SAAM SMIT Towage Brasil, pelos bons momentos, apoio e ajuda.

Por fim, ao meu orientador professor mestre Wesley Lucas Breda e ao professor mestre Fernando Oliveira Boechat, pois sem eles esse trabalho não seria possível de ser realizado.

“Se não sabes a que porto se dirige, nenhum vento lhe será favorável”

Sêneca

RESUMO

O desenvolvimento econômico de um país está diretamente ligado ao sistema portuário, visto que grande parte das exportações e importações ocorre através dos Portos. Neste cenário um agente fundamental é o rebocador, o qual permite que as movimentações dos navios (atracações e desatracações) ocorram de forma segura. Visto posto e tendo como foco o dinamismo e complexidade das operações portuárias e a carência de estudos no que se refere a atuação dos rebocadores, o presente trabalho tem por objetivo apresentar um modelo computacional validado que represente a realidade do Complexo Portuário Capixaba. Para uma melhor compreensão da problemática e da relevância do tema, foram abordados conceitos e aplicações sobre o porto, operações portuárias, rebocador, complexo portuário do Espírito Santo, pesquisa operacional, simulação e o software ARENA, por intermédio da realização de uma pesquisa bibliográfica concisa e objetiva. Já para o desenvolvimento do modelo buscou-se apresentar, analisar, modelar e simular a movimentação portuária no cenário de 2016, tendo como base os dados fornecidos pela empresa SAAM SMIT Towage Brasil, a qual atua no ramo de apoio portuário. Nesta etapa ainda foi utilizada a ferramenta *Input Analyzer* do Software Arena, para obtenção de distribuições estatísticas mais fieis possíveis ao cenário real estudado. Após a compilação das informações coletadas foi possível desenvolver e validar o modelo matemático proposto, no qual foram inseridas todas as regras de utilização de rebocadores nos Portos de Tubarão, Vitória, Barra do Riacho e Praia Mole. Cabe ressaltar que o modelo apresentado foi validado com uma média de distorção da realidade inferior a 3%, tanto no quesito de número de navios atendidos quanto no critério de movimentação dos rebocadores. Esta modelagem se faz uma ferramenta útil e versátil que pode ser utilizada na tomada de decisão das empresas envolvidas na área portuária tanto no Espírito Santo quanto no restante do Brasil, pois a lógica do modelo poderá ser reaplicada para os demais Portos.

Palavras-chave: Rebocador; Modelagem; Simulação;

ABSTRACT

The economic development of a country is directly linked to its' port system, since most of the exports and imports take place through the Ports. The tug is a fundamental element in this scenario in which it permits that the ship movements (berthing and unberthing) occur safely. In view of this and focusing on the dynamic and complexity of port operations, other than the lack of studies in relation to the performance of tugs, the present work aims to display a validated computational model that represents the reality of the Capixaba Port Complex. For the better understanding of the problematic and the relevance of the theme, concepts and applications on the port, port operations, tugboat, Espirito Santo port complex, operational research, simulation and ARENA software were addressed through a concise and objective bibliographical research. For the development of the model, it was sought to present, analyze, model and simulate the port movement in the scenario of 2016, based on the data provided by SAAM SMIT Towage Brasil, which operates in the port support sector. In this step, the Input Analyzer tool of the Arena Software was used to obtain the most reliable statistical distributions possible to the actual scenario studied. After compiling the collected information, it was possible to develop and validate the proposed mathematical model, in which all the rules for the use of tugs in the ports of Tubarão, Vitória, Barra do Riacho and Praia Mole were inserted. It should be noted that the presented model was validated with an average of distortion of reality of less than 3%, both in terms of number of vessels attended and in the criterion of the movement of the tugs. This modeling becomes a useful and versatile tool that can be used in the decision making of companies involved in the port area throughout Brazil, as the model can also be reapplied to other ports.

Keywords: Tugboats; Modeling; Simulation;

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 –Partes de um rebocador.....	34
Figura 02 –Fases da Modelagem.....	37
Figura 03 –Módulos básicos do ARENA	43
Figura 04 –Módulos avançados do ARENA	44
Figura 05 –Chegada das entidades, definição do porto e berço de atracação	69
Figura 06 –Atracação e Desatracação LN	71
Figura 07 – Atracação e Desatracação PD3	72
Figura 08 – Atracação e Desatracação PD4	73
Figura 09 – Atracação e Desatracação LS.....	73
Figura 10 – Atracação e Desatracação TGL	74
Figura 11 – Atracação e Desatracação P2.....	74
Figura 12 – Atracação e Desatracação CV1 e CV2	75
Figura 13 – Atracação e Desatracação dos berços S1, S2 e S3.....	75
Figura 14 – Esquema de Atracação e Desatracação no Porto de Vitória e Barra do Riacho	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 –Compilação do Número de Atracações por Porto	46
Tabela 02 –Distribuição estatística por berço do Porto de Barra do Riacho	51
Tabela 03 –Distribuição estatística por berço do Porto de Praia Mole	51
Tabela 04–Distribuição estatística por berço do Porto de Vitória	51
Tabela 05 –Distribuição estatística por berço do Porto de Tubarão.....	52
Tabela 06 –Tempo médio de duração das manobras – Porto de Barra do Riacho...	52
Tabela 07 –Tempo médio de duração das manobras – Porto de Praia Mole	52
Tabela 08 –Tempo médio de duração das manobras – Porto de Vitória	53
Tabela 09 – Tempo médio de duração das manobras – Porto de Tubarão	53
Tabela 10 – Tempo Médio de Deslocamento.....	54
Tabela 11 – Entidades - ARENA.....	58
Tabela 12 – Recursos - ARENA.....	58
Tabela 13 – Variáveis - ARENA	59
Tabela 14 – Create - ARENA	59
Tabela 15 – Assign -ARENA.....	60
Tabela 16 – Process - ARENA	61
Tabela 17 – Decide - ARENA.....	66
Tabela 18 –Seize e Release - ARENA.....	68
Tabela 19 – Taxa de Ocupação	78
Tabela 20 – Ranking dos Berços com Maior Taxa de Ocupação.....	78

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	25
2.1 PORTO.....	25
2.1.1 Operações Portuárias	27
2.2 COMPLEXO PORTUÁRIO DO ESPÍRITO SANTO	30
2.3 REBOCADOR	31
2.4 PESQUISA OPERACIONAL	35
2.4.1 Modelagem.....	36
2.4.2 Ferramentas da Pesquisa Operacional	39
2.4.3 Simulação	39
2.4.4 Arena	41
3 METODOLOGIA	45
3.1 PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO	45
3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	54
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA PESQUISA	57
4.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO.....	57
4.2 VALIDAÇÃO DO MODELO	76
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	81
REFERÊNCIAS.....	83
APÊNDICE A – MODELO DA MOVIMENTAÇÃO PORTUÁRIAPARAO COMPLEXO PORTUÁRIO DO ESPÍRITO SANTO	89
APÊNDICE B – RELATÓRIO DO ARENA	91
ANEXO A – REGRAS PARA UTILIZAÇÃO DOS REBOCADORES NO PORTO DE TUBARÃO	94

ANEXO B – REGRAS PARA UTILIZAÇÃO DOS REBOCADORES NO PORTO DE PRAIA MOLE.....95

ANEXO C – REGRAS PARA UTILIZAÇÃO DOS REBOCADORES NO PORTO DE VITÓRIA E BARRA DO RIACHO96

1 INTRODUÇÃO

O sistema portuário está diretamente ligado ao crescimento de um país, visto que ele pode ser considerado um elo entre o transporte marítimo e terrestre, o que acarreta em uma maior competitividade e em mais investimentos para o Brasil (BRASIL, 2015).

Segundo Ludovico (2007), os Portos são fundamentais para o comércio internacional, pois eles são a porta de entrada do país para as importações, além de neles ocorrerem o embarque, desembarque e movimentações de cargas, ou seja, também é essencial para o processo de exportação.

Sendo assim, “o desenvolvimento portuário é visto como um importante elemento estratégico para o crescimento econômico” afirma Schein (2010). Ainda de acordo com Schein (2010), pode-se ainda constatar que há uma busca incessante por melhorias no sistema portuário, com o objetivo de aumentar a eficiência das operações portuárias. Neste ponto, os rebocadores portuários exercem um papel impactante, visto que os mesmos auxiliam na atracação¹ e desatracação² dos navios nos terminais portuários.

Por esse motivo, os rebocadores fazem parte da infraestrutura portuária e são indispensáveis nos Portos. Ressaltando que atualmente é difícil uma empresa representante de um navio aceitar uma movimentação em um Porto que não conte com rebocadores adequados. Por conseguinte, quando um Porto se moderniza, os rebocadores devem acompanhar esse crescimento. (RADISIC, 2003).

Os rebocadores portuários são agentes facilitadores dos Portos, que como já citado, auxiliam na movimentação dos navios, atuação esta imprescindível para uma operação eficiente e segura. Entretanto, a quantificação de rebocadores em um Porto acompanha a movimentação dos navios, buscando sempre atender de forma eficiente toda a demanda.

Contudo, a dinâmica de movimentação portuária leva a ocorrência de simultaneidade de manobras, o que em alguns casos torna a frota de rebocadores

¹ Atracação – “Operação de fixação do navio ao cais. Ato ou efeito de um navio atracar num Porto ou terminal privativo, a fim de realizar a operação de carregamento e descarregamento de mercadoria”. (DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO, 2011, p.14).

² Desatracação – “Desencostar e afastar a embarcação do cais ou de outro navio a que este esteja atracado”. (DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO, 2011, p.42).

operante no Porto insuficiente. Além de existirem outras situações, nas quais não ocorrem manobras e há ociosidade dos rebocadores.

Estes cenários também podem ser identificados no complexo portuário do Espírito Santo, sendo que o mesmo é composto por 5 Portos (Tubarão, Praia Mole, Vitória, Barra do Riacho e Anchieta), e contam com uma frota de 13 rebocadores atuantes para atender prontamente a toda demanda.

Com o intuito de entender melhor o dinamismo da atividade portuária capixaba e identificar uma possível melhora na eficiência do sistema, foi definido o seguinte questionamento como problema da pesquisa, que segue:

Qual o dimensionamento de frota de rebocadores ideal para o atendimento eficiente aos navios no complexo portuário do Espírito Santo?

Para o problema descrito anteriormente, existem inúmeras hipóteses das quais, apenas uma foi selecionada afim de que se limite o estudo e desta forma o mesmo seja mais aprofundado. A qual sugere que a aplicação de teoria de filas poderá determinar o número de rebocadores necessários para atender a demanda dos navios no complexo portuário do Espírito Santo de forma a minimizar as esperas dos navios e otimizar a operação portuária;

O tema abordado tem como sua essência o fato de que o Brasil conta com um sistema de transporte diversificado, entretanto a proporção da atuação dos modais não é bem distribuída. Segundo estudo realizado pelo SEBRAE Mercados (2014), aproximadamente 64% do transporte no país utiliza o modal rodoviário, 4% o aéreo, 21% rodoferroviário e aproximadamente 14% o aquaviário, dados esses que mostram a necessidade de estudos e investimentos nos diversos modais para uma melhor diversificação e conseqüentemente desenvolvimento do país.

O setor portuário do Brasil, conforme dados divulgados pelo Ministério dos Transportes em 2014, é responsável por mais de 90% das exportações do país, o que enfatiza ainda mais a importância desse mercado. Neste contexto, cabe ressaltar mais uma vez, o papel exercido pelos rebocadores de apoio portuário, os quais podem ser considerados como agentes facilitadores de um Porto, visto que auxiliam na atracação e desatracação dos navios.

Essa importância de atuação dos rebocadores, aliada ao fato de que o complexo Portuário do Espírito Santo é o maior da América Latina, segundo reportagem da

Folha de Vitória (COMPLEXO..., 2012) despertou interesse em um estudo aprofundado do tema.

Lembrando ainda, que não estão disponíveis estudos direcionados para esse complexo portuário, e que atualmente percebe-se uma necessidade de otimização, visto que, os rebocadores portuários atuam em todo o complexo portuário, e muitas vezes não estão dimensionados de forma ideal, ou seja, maximizando sua utilização e minimizando sua ociosidade o que pode acarretar na ineficiência de todo o processo.

Por fim, a facilidade de acesso aos dados e a afinidade com pesquisa operacional e simulação, foram os pontos cruciais para a escolha do tema.

Visto posto, com o desenvolvimento do estudo que segue buscar-se-á desenvolver e validar um modelo matemático que permita representar o cenário atual do complexo portuário do Espírito Santo, no que diz respeito à atuação dos rebocadores, no ano de 2016.

Para tanto foram definidos os seguintes objetivos específicos com o intuito de apresentar a atividade de apoio portuário, a fim de entender a atuação e a importância dos rebocadores, analisar o movimento no complexo portuário do Espírito Santo, com o intuito de entender o funcionamento do mesmo, modelar a movimentação portuária, simular e validar o modelo apresentado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo serão abordados assuntos fundamentais para o entendimento do trabalho que segue. São eles: Porto, com o objetivo de entender o funcionamento e importância do mesmo; Complexo portuário do Espírito Santo, com o intuito de conhecer melhor o local em que a pesquisa foi desenvolvida; Rebocador, para se compreender o que é e qual o seu papel no apoio portuário; Pesquisa Operacional, para compreender seus conceitos e finalidades. Dentro desse último tema, ainda será explanado sobre simulação, visto que essa ferramenta será utilizada para atingir o objetivo geral desta pesquisa.

2.1 PORTO

A definição de um Porto pode ser dada como uma área abrigada, destinada a atracação de embarcações, podendo estar localizados a beira do oceano, mar, rio ou lago. As embarcações que utilizam a estrutura portuária têm por objetivo o transporte de cargas ou pessoas. (ALMEIDA, 2011).

Segundo publicação do Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (2014), os Portos podem ser classificados de duas formas, quanto a sua localização geográfica e sua condição de ancoragem.

Quanto à condição de ancoragem, os Portos podem ser naturais, quando surgem das condições oferecidas pela natureza, como é o caso do Porto do Rio de Janeiro ou artificiais, quando as condições são construídas pelo homem, como é o caso do Porto de Tubarão no Espírito Santo. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2014).

Já no que tange a localização geográfica, os Portos podem ser marítimos, quando situados na costa marítima e fluviais quando localizados nos rios ou lacustres quando estão presentes em lagoas ou lagos. (SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, 2014).

Neste ponto cabe ressaltar ainda a lei nº 12.815/2013, a qual define o conceito de Porto organizado, termo este constante nas mídias, como “bem público construído e aparelhado para atender a necessidades de navegação, de movimentação de passageiros ou de movimentação e armazenagem de mercadorias”.

Para um melhor entendimento, deve-se ainda levar em consideração as características que cada Porto deve apresentar, e segundo Bernardino (2015), o Porto deve oferecer condições adequadas de abrigo, ou seja, deve contar com “proteção” contra ventos, correntes marítimas, ondas e ventos, para que as manobras e o manuseio de cargas ocorram de forma segura.

Tais condições, segundo Mayer (2009), quando os Portos são naturais, são decorrentes de acidentes geográficos, e por esse motivo esses Portos são conhecidos como recursos naturais escassos.

Outro ponto a ser abordado, é a profundidade e acessibilidade, estes itens restringem o número de navios que possam operar em um determinado Porto, sendo que essas restrições devem ser sempre avaliadas e planejadas para que a operacionalidade seja maximizada. (BERNARDINO, 2015)

O terceiro item a ser considerado é a área do retroPorto, a qual deve ofertar disponibilidade suficiente para manuseio e armazenagem das cargas. E por fim, está o acesso a outros modais de transporte, esta integração permite uma melhor logística, minimizando os custos e fazendo com que as cargas cheguem ao seu destino de forma mais rápida e eficiente. (BERNARDINO, 2015)

De uma maneira resumida, pode-se afirmar que para um Porto atender sua demanda ele deve ser composto por vários terminais (ou berços³), equipamentos portuários, fundeadouro (ou área de fundeio⁴), canal de acesso ao Porto, vias de acesso aos transportes ferroviários, fluviais e rodoviários. (MENDONÇA; KEEDI, 2000). Sendo que essas vias de acesso são fundamentais para que ocorra a interação com outros modais, e assim a movimentação e distribuição das cargas sejam facilitadas.

Com base no exposto acima, é possível obter uma visão global sobre o funcionamento do Porto e segundo Mayer (2009, p.59):

A infraestrutura portuária não consiste apenas nas instalações físicas do Porto: abrange também os serviços ofertados a partir dessas instalações, ou seja, todas as ações que visem a movimentação de cargas, desde sua armazenagem nos armazéns portuários, passando pela conferência, embarque e saída do navio.

³ Berços “são locais de atracação e de movimentação das cargas a serem embarcadas e descarregadas”. (DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO, 2011, p.20)

⁴ Área de fundeio - “local onde os navios devem aguardar o momento adequado para realizar a atracação”. (POLETTI, 2013, p.11).

Cabe ressaltar que o planejamento e a melhoria contínua são fundamentais para o funcionamento eficiente de um Porto, sendo necessárias mudanças tanto na estrutura física e tecnológica do Porto quanto nos canais de acesso, ou seja, a constante dinâmica faz com que a acessibilidade seja mantida e a tecnologia local acompanhe o crescimento das empresas de navegação, aumentando assim a capacidade dos terminais portuários. (BÓSIO, 2013).

Após a visão macro do que é um Porto, será explanado a seguir sobre as operações portuárias, a fim de compreender seu funcionamento.

2.1.1 Operações Portuárias

De uma maneira ampla, as operações portuárias podem ser subdivididas em três etapas: serviços de entrada e saída dos navios, serviços de movimentação de cargas e serviços complementares, os quais serão detalhados a seguir. (NEVES, 2010).

Os serviços de entrada e saída dos navios englobam os serviços prestados pelas empresas de navegação⁵, pela Marinha do Brasil no que diz respeito ao auxílio à navegação, a fiscalização e inspeções sanitárias (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), serviço de praticagem⁶, rebocadores e terminais portuários. (NEVES, 2010).

Os terminais portuários têm como papel principal atender as demandas dos armadores⁷ e seus representantes, além de administrar, programar e controlar todas as movimentações que neles ocorrem, ou seja, a marcação das manobras e os serviços de amarração também são funções dos terminais, sendo que para desempenhar seu papel, contam com a atuação direta da Atalaia, das empresas de navegação e de apoio portuário. (SEQUEIRA, 2002).

⁵ Empresas de Navegação – “pessoa jurídica constituída em consonância com as leis brasileiras, com sede no país, que tenha por objetivo o transporte aquaviário, autorizada a operar pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários” (ANTAQ). (MARTINS, 2013, p.337).

⁶ Praticagem – “trata-se de serviço essencial desde os primórdios que consigna o conjunto de atividades profissionais de assessoria ao comandante nos procedimentos de manobra náutica e navegação”. (MARTINS, 2013, p.532).

⁷ Armadores – “é a pessoa física ou jurídica que exerce a titularidade da função náutica ou da empresa naval”. (MARTINS, 2013, p. 303).

A Atalaia abrange toda a estrutura operacional e administrativa dos serviços de praticagem. É composta por operadores de rádio e condutores de lancha de práticos⁸, além de contar com equipamentos de radiocomunicação por intermédio dos quais é realizada a comunicação entre a equipe de apoio e os práticos, sistemas informatizados que permitem o acompanhamento via satélite da movimentação das embarcações e acompanhamento das condições climáticas e das marés. (JANKOVSKI, 2015). Portanto, é a Atalaia quem escala os práticos⁹ para a manobra, providencia seu transporte, informa aos práticos quais os rebocadores atuarão em cada manobra e mantém contato com o navio para o agendamento do horário de atracação e desatracação, ou seja, providencia/operacionaliza as operações portuárias de forma segura.

No que tange as empresas de navegação, as agências marítimas, são as que merecem destaque, visto que, segundo Martins (2013, p. 323): “as agências de navegação são empresas que têm como função a representatividade do armador”, em outras palavras, as agências cuidam de toda a parte documental e operacional necessária para que um navio atraque, carregue ou descarregue, e desatraque de um Porto.

Por fim, as empresas de apoio portuário, segundo a resolução nº 1766 de 23 de julho de 2010 da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ), são aquelas que prestam serviços de reboque portuário, transporte de passageiros ou cargas, amarração das embarcações, coleta de resíduos das embarcações, manutenção e apoio, ou seja, todas aquelas empresas que estão ligadas direta e indiretamente com a operação portuária.

Neste ponto, deve-se destacar a atuação das empresas de rebocagem marítima, as quais ainda de acordo com resolução 1766 de 23 de julho de 2010 da ANTAQ, prestam serviços de atracação, desatracação, assistência (serviço prestado a embarcações que necessitem da atuação dos rebocadores para se locomover), reboque (quando uma embarcação está sem máquina, ou seja, seus propulsores não estão operando e por este motivo dependem dos rebocadores para se

⁸ Lancha de Prático – “é a embarcação empregada no deslocamento e transbordo do prático para embarque/desembarque nos navios”. (MARTINS, 2013, p.559).

⁹ Prático – “profissional responsável pela condução do navio nos procedimentos de manobra náutica, essencialmente na entrada e saída de Portos e excepcionalmente na navegação”. (MARTINS, 2013, p. 537).

movimentar) ou para a mudança de atracação (quando um navio precisa mudar de berço e necessita da atuação dos rebocadores, como se fosse uma nova manobra de atracação e desatracação. Esse tipo de manobra também é conhecida como manobra de Porto). Pode-se auferir então, que as empresas de apoio portuário devem atuar junto às agências, armadores e atalaia para que as manobras dos navios ocorram de forma segura e eficiente.

Já os serviços de movimentação de carga são executados por operadores portuários e são subdivididos em serviços de bordo e de terra, os quais englobam a atuação das tripulações dos navios e os equipamentos de movimentação de cargas dos terminais portuários. (NEVES, 2010)

Por fim, os serviços complementares são aqueles solicitados pelos armadores e pelos donos das mercadorias (NEVES, 2010). Portanto, mais uma vez, percebe-se que uma operação portuária bem sucedida depende do engajamento de todas as entidades envolvidas, direta e indiretamente com a movimentação das embarcações.

No entanto, cabe mencionar que o modo com que as operações portuárias ocorrem varia de acordo com o local no qual o Porto está instalado, pois apesar de haver legislações que definem regras em sua operacionalidade e em toda a logística da atracação e desatracação dos navios, cada terminal portuário pode ter regras específicas que também deverão ser seguidas, como pode ser comprovado na seção 1 do Diário Oficial nº 123 de 27 de junho de 1996, que diz:

O tráfego no Porto obedecerá à legislação vigente, bem como as regras previstas em convenções internacionais ratificadas pelo país, além das normas ora estabelecidas e aquelas emitidas pela Administração do Porto. Na eventualidade da Administração do Porto não proceder à divulgação da Normas de Tráfego do Porto, previstas em Lei, o Capitão dos Portos a alertará, formalmente, sobre o fato e suas possíveis implicações.

Neste ponto, pode-se citar que o Complexo Portuário Capixaba segue as normas e as regras da Capitania dos Portos do Espírito Santo, a qual também define como deve ocorrer o controle do tráfego marítimo, como pode ser observado no capítulo 3, das Normas e Procedimentos da Capitania dos Portos do Espírito Santo (2016,p. 4-1) que diz: “O controle de entrada e saída dos Portos do Espírito Santo é exercido por intermédio do Posto de Controle (PCEP), cujo indicativo rádio é PWG77, e funciona no Departamento de Segurança do Tráfego Aquaviário (...)” ou seja,

qualquer movimentação de embarcações, sejam essas estrangeiras ou nacionais a Capitania deve estar ciente.

Após o entendimento macro do funcionamento das operações portuárias, segue tópico sobre o Complexo Portuário Capixaba, o qual é o cenário desta pesquisa.

2.2 COMPLEXO PORTUÁRIO DO ESPÍRITO SANTO

O complexo portuário do Espírito Santo teve início com o surgimento do Porto de Vitória, em 1870, que tinha como principal funcionalidade o embarque do café. Em 1906, começaram as obras com o intuito de aumentar o cais, entretanto, a obra foi interrompida em 1914, quando a Companhia Docas tomou posse do Porto. Contudo, em 1924 a Companhia passou a ser de responsabilidade do governo do Espírito Santo, que então retomou as obras em 1925 (BERGER, 2016).

O novo Porto foi inaugurado em 1940, e nessa década o complexo portuário do Espírito Santo começou a expandir, em virtude da construção das instalações de embarque da Vale, no morro do Pela Macaco, o terminal de granéis líquidos e as instalações de Paul (BERGER, 2016).

Nas quatro décadas seguintes foram construídos os berços 101 e 102 em Vitória, o Porto de Tubarão, o cais de Capuaba, o Porto de Barra do Riacho, o de UBU e por fim, em 1980 o Porto de Praia Mole. Neste meio tempo, entre 1978 e fevereiro de 1983, a administração do Porto de Vitória volta a pertencer ao governo federal, mas logo após esse período, passa a pertencer a Companhia Docas do Espírito Santo (CODESA), a qual administra o Porto até hoje. (BERGER, 2016).

Visto posto, cabe mencionar ainda que cada Porto possui uma especialização, ou seja, opera com um determinado tipo de carga, sendo assim, o Terminal de Tubarão e Praia Mole são especialistas em minério de ferro, contêineres, grãos, fertilizantes, produtos siderúrgicos e carvão, o Porto de Vitória tem por especialidade a operação com granéis, grãos, contêineres, veículos e carga geral. O Porto da Barra do Riacho tem por especialidade operar papel, celulose, madeira, gasolina e gás. E por fim, cabe mencionar o Porto de Ubu, que tem destaque para a operação de carvão e minério de ferro (CAPITANIA DOS PORTOS DO ESPÍRITO SANTO, 2016).

O complexo portuário capixaba ainda conta com o Porto de Regência e o Porto Norte capixaba, ambos de uso privativo da Petrobrás, sendo este último a instalação mais recente do Estado (COMPLEXO..., 2012).

Vale lembrar que além de ser o maior complexo portuário da América Latina, “os Portos capixabas estão em primeiro lugar em movimentação de carga, em peso e tonelagem. No quesito movimentação financeira de mercadorias, o complexo portuário capixaba só perde para os terminais de Santos, em São Paulo” (COMPLEXO..., 2012).

Após a visão macro de um Porto, o entendimento de sua operação e o conhecimento sobre a estrutura portuária capixaba, segue capítulo sobre o rebocador, um equipamento essencial para uma operação segura.

2.3 REBOCADOR

Os rebocadores são conhecidos principalmente por seu pequeno porte, grande potência e alta mobilidade. Essas embarcações são utilizadas para prestar serviços de rebocagem marítima e apoio portuário, fornecendo assim assistência aos navios, mesmo em locais de acesso restrito (BARRADAS FILHO, 2009).

Essas embarcações, por sua vez, podem ser subdivididas em dois grupos: rebocador portuário e rebocador de alto mar. Segundo Mathedi (2010, p.14), as principais características de cada grupo são:

Rebocador de Porto: Pequeno porte, motores de grande potência (maior que 600HP) e alta capacidade de manobra. É utilizado nos serviços de manobras de navio no Porto. Pode ainda transportar pessoal e pequenas cargas em áreas portuárias. Não possui estabilidade suficiente para serviços longe da costa.

Rebocador de Alto Mar: Grande porte, motores com potência de até 10.000 HP e grande raio de ação. É utilizado para missões de socorro às embarcações, combate a incêndio e resgate de pessoas.

Segundo Gaston (1996), a principal função de um rebocador de apoio portuário, está justamente em auxiliar os navios nas manobras de atracação e desatracação, possibilitando que as mesmas ocorram de forma segura, garantindo a integridade do meio aquático, dos canais navegáveis e das instalações portuárias.

Este conceito é reafirmado por Martins (2013, p. 578), quando o autor menciona que “a função primordial do rebocador é permitir a execução de manobras que seriam demasiadamente arriscadas se realizadas contando apenas com recursos do navio”.

A dependência dos rebocadores para a execução de uma manobra segura ocorre justamente pelo fato do rebocador ser um recurso extra que permite a continuidade de uma manobra, independente de uma falha mecânica em um equipamento de propulsão¹⁰ do navio. Além de que o rebocador possui capacidade de auxiliar no deslocamento lateral dos navios permitindo uma aproximação ou afastamento do navio para o píer¹¹ e berços, de forma segura, além de permitir o acesso do navio em áreas restritas. (BARRADAS FILHO, 2009).

As manobras de atracação e desatracação podem ser realizadas de duas formas. A primeira é quando o rebocador fica contrabordo¹² do navio. Essa operação também é conhecida por reboque a par e ocorre quando a embarcação a ser rebocada e o rebocador possuem uma dimensão (tamanho) próxima, nesse caso o rebocador navega ao lado da embarcação. A segunda forma de manobrar é pela popa¹³, nesse caso a embarcação e o rebocador possuem tamanhos distintos e o rebocador se posiciona na frente da embarcação. (MATHEDI, 2010).

Cabe mencionar ainda que “quando forem empregados mais do que um rebocador, deverão dispor-se por ordem de potências, de modo que o de maior força pegue diretamente no rebocado e o menos potente siga à cabeça”, (SILVA, 1949, p.353). Nesse caso, quem define o posicionamento do rebocador perante o navio, é o práctico em conjunto com o comandante da embarcação rebocada. Lembrando que a potência do rebocador é representada pela força de tração estática, também conhecida como *bollard pull*, Segundo Schein (2010, p.25), “*Bollard Pull* é uma medida que afere a capacidade máxima de um rebocador para puxar ou empurrar um navio”.

¹⁰ O sistema de propulsão de uma embarcação é “o órgão que atuando na água faz mover o navio, pode ser de roda ou hélice”. (SILVA, 1949, p.25)

¹¹ Píer “é o local para atracação dos navios. É uma construção de concreto armado que parte da costa adentrando o mar sobre estruturas de concreto armado, onde normalmente atracam-se navios nas duas laterais”. (MADAGASCAR, 2014, p. 119).

¹² Contrabordo - “Operação que consiste em embarcação atracar no costado de outra, estando ou não atracada no cais, ou ainda, fundeada ao largo”. (DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO, 2011, p. 36)

¹³ Popa – “parte posterior do navio” (DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO, 2011, p. 106)

Além das características apresentadas, os rebocadores são reconhecidos pela sua capacidade de adaptação para atender diversas demandas de navios, sendo que com o passar do tempo, cada vez mais há exigência de modernização dos equipamentos, desde os sistemas de propulsão até mesmo o modo de operar (GASTON, 1996).

Por conseguinte, segundo Cutrim, Rubles e Pereira (2015, p.129), “a classificação dos rebocadores se dá, principalmente em relação a dois fatores: o tipo de propulsão e a localização desses propulsores”, tais fatores fazem com que determinados tipos de rebocadores se adaptem melhor para certas condições de manobra.

Segundo publicação da seguradora Shipowners (2015), os rebocadores podem ser classificados como convencionais ou azimutais, sendo que este último pode ser do tipo trator ou rotor.

Os rebocadores convencionais possuem 1 ou mais hélices fixos, manobrabilidade¹⁴ limitada e a força de tração de vante é superior à de ré, essas características tornam esse tipo de rebocador antigo e muitas vezes impróprios para manobras mais delicadas. (FRAGOSO; CAJATY, 2002)

Já os rebocadores com propulsão azimutal¹⁵ têm como principal característica o movimento no seu próprio eixo, ou seja, 360°. Isso se deve ao fato do rebocador contar com um propulsor que pode mudar o sentido de sua corrente de descarga dirigindo sua força para qualquer ponto da embarcação. (FRAGOSO; CAJATY, 2002).

Outro ponto importante, é que a força de tração de vante e de ré é praticamente a mesma nesse tipo de propulsão. Essas características permitem uma aproximação mais rápida e segura com os navios, aumentando assim sua manobrabilidade. (FRAGOSO; CAJATY, 2002).

Os rebocadores azimutais são fundamentais em manobras com alto grau de dificuldade, por exemplo, se o comprimento do navio que irá manobrar é maior do

¹⁴ Manobrabilidade – “é a habilidade que o rebocador tem de manobrar com grandes navios em espaços reduzidos, já que o rebocador terá que se deslocar com eficiência em todas as direções. Ela depende da forma do casco e dos sistemas de propulsão e governo”. (CUTRIM; ROBLES; PEREIRA, 2015, p. 127,

¹⁵ Rebocador azimutal “é uma embarcação que pode rebocar embarcações em qualquer direção; com grande agilidade e força”. (MADAGASCAR, 2014, p.111).

que diâmetro da bacia de evolução¹⁶. Um rebocador azimutal e com alta potência é imprescindível, pois tal cenário dificulta a mobilidade e a agilidade da manobra. Sendo assim, é essencial a utilização de um rebocador azimutal e com alta potência (BARRADAS FILHO, 2009).

Já os rebocadores tipo rotor possuem três propulsores azimutais, sendo dois a vante e um a ré no eixo do equipamento, o que faz com que sua manobrabilidade seja superior aos rebocadores convencionais (SHIPOWNERS, 2015).

Por fim, os rebocadores tipo trator possuem dois propulsores azimutais a vante, que possuem as mesmas características que rebocadores azimutais, entretanto eles estão localizados à boreste e bombordo do rebocador, o que permite uma manobrabilidade ainda maior que os rebocadores do tipo azimutal. Entretanto esse tipo de equipamento possui redução de estabilidade, o que gera riscos para manobras que ocorram em mar aberto¹⁷ (SHIPOWNERS, 2015). Segue esquema de um rebocador (Figura 01), para uma melhor visualização do equipamento:

Figura 01: Partes de um rebocador



Fonte: MATHEDI (2010, p.15).

¹⁶ Bacia de evolução "é a área geralmente localizada entre o ponto de fundeio dos navios e o píer. Serve para que os navios desenvolvam algumas manobras, antes da atracação ou após a desatracação antes de seguir o destino". (MADAGASCAR, 2014, p.121).

¹⁷ Mar Aberto- "Navegação realizada em águas desabrigadas". (CUTRIM; ROBLES; PEREIRA; p.125)

2.4 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional, como o próprio termo diz, está diretamente relacionada com a pesquisa de operações, ou seja, estuda as situações reais de uma empresa, buscando sempre encontrar a melhor solução para as questões levantadas, sendo que esta busca por soluções é efetuada com o auxílio de modelos matemáticos (HILLER; LIEBERMAN, 2013).

A modelagem matemática por sua vez, busca tratar de situações estáticas e dinâmicas, sendo que os problemas estáticos são considerados determinísticos e neste caso todos os componentes envolvidos e seu comportamento são conhecidos. Já os problemas dinâmicos são chamados de estocásticos, podendo seus elementos e/ou ocorrências serem aleatórios, ou seja, englobam técnicas estatísticas como a probabilidade (FOGLIATTO, [20--]).

Cabe ressaltar que as soluções encontradas por intermédio da aplicação da pesquisa operacional auxiliam ainda na tomada de decisões gerenciais, visto que esta ferramenta fornece dados que servirão de apoio a análise de cada situação enfrentada pela organização (GAVIRA, 2003).

Mas para atingir o resultado esperado de forma eficiente e ainda aplicar a ferramenta em situações pertinentes, é necessário conhecer qual é sua ideia central e como ela funciona. Ainda, segundo Gavira (2003), as características da Pesquisa Operacional e sua operação, giram em torno dos seguintes itens:

- a) A Pesquisa Operacional deverá ser aplicada com o intuito de conduzir e coordenar atividades;
- b) A ferramenta pode ser aplicada nos mais distintos cenários, como em organizações privadas, públicas, industriais, empresas voltadas para serviço etc.;
- c) Possuir caráter científico;
- d) A Pesquisa Operacional parte do ponto de vista da organização, e tende a uma visão ampla sobre o fenômeno a ser estudado;
- e) O objetivo principal da ferramenta é identificar a melhor solução para um determinado problema ou mostrar o conjunto de soluções possíveis e quais diretrizes tomar;

- f) Interdisciplinaridade, a Pesquisa Operacional busca o conhecimento de diversos profissionais, com o intuito da integração entre os membros da equipe e troca de experiências, pois assim é possível ter uma visão ampla e imparcial (GAVIRA, 2003).

Como exemplo de que a Pesquisa Operacional é uma ferramenta valiosa e utilizada por grandes empresas para solucionar questões de diversas magnitudes, pode-se citar as empresas Federal Express e US Military, que utilizaram a ferramenta para solucionar problemas relacionados a logística, a Conoco-Phillips para avaliar projetos de exploração petrolífera, a United Airlines para realocar de aeronaves quando ocorrem problemas, entre outros exemplos (HILLER; LIEBERMAN, 2013).

Todavia, para a aplicação dessa ferramenta é necessário ainda compreender a sua estrutura, e, para tanto será utilizado como referência o estudo de Morabito et al. (2007), os quais afirmam que a pesquisa operacional engloba as seguintes fases: definição do problema, construção do modelo (através da simulação e/ou da lógica), solução do modelo (nesta etapa utiliza-se algoritmo), validação do modelo e implementação da solução.

Todas as etapas citadas serão explanadas no próximo tópico intitulado como modelagem.

2.4.1 Modelagem

A matemática utilizada na Pesquisa Operacional tem como objetivo descrever situações reais com base na observação e descrição de fenômenos sociais, naturais, econômicos, entre outros. Pode-se dizer então que o modelo matemático busca representar o sistema real, sendo que é após a construção do modelo que as ferramentas da pesquisa operacional são utilizadas (BELFIORE; FÁVERO 2013).

Cabe mencionar ainda as palavras de Cordeiro (2009), o qual afirma que “os modelos matemáticos têm a característica de representar logicamente os mais diversos problemas, ou seja, são modelos de ideias e simbolizam a relação das variáveis envolvidas”.

Entretanto, a solução encontrada só será eficiente e eficaz, se o modelo elaborado for validado, como confirma Lisboa (2002, p.1): “a confiabilidade da solução obtida

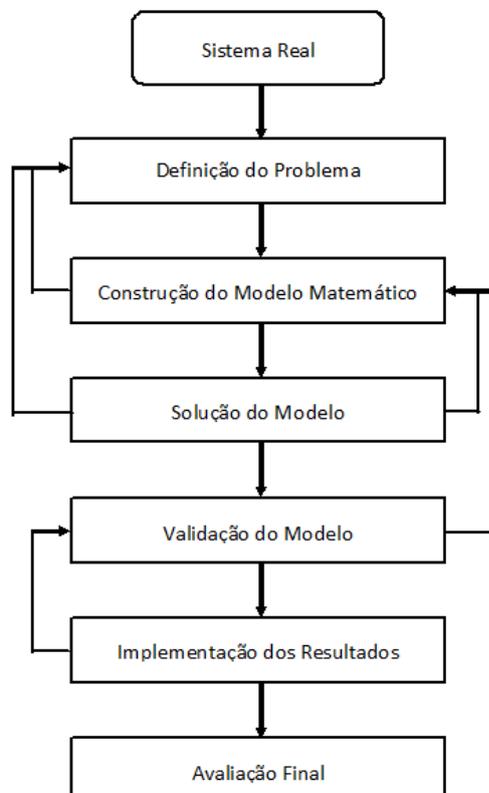
através do modelo depende da validação do modelo na representação do sistema real”. Essa validação serve justamente para comprovar que o modelo proposto realmente representa o sistema real.

De um modo geral, cabe ressaltar ainda que um modelo matemático deve ser: “suficientemente detalhado para captar elementos essenciais do problema, mas suficientemente simples de modo que possa ser resolvido por métodos de resolução e computadores disponíveis” (MORABITO et al., 2007, p.27), sendo esse o grande desafio da Pesquisa Operacional.

Ainda segundo Lisboa (2002, p.1), “a diferença entre a solução real e a solução proposta pelo modelo depende diretamente da precisão do modelo em descrever o comportamento original do sistema”, o que mostra mais uma vez a necessidade e a importância da etapa de validação do modelo.

No que diz respeito à elaboração do modelo, a mesma pode ser subdividida em fases, como representado abaixo pela Figura 01:

Figura 02: Fases da Modelagem



Fonte: BELFIORE; FÁVERO (2013. p.6).

Na etapa de definição do problema, é necessário considerar três aspectos principais, são eles: a descrição exata dos objetivos do estudo, levantamento de possíveis alternativas de soluções existentes e identificação das restrições, limitações e exigências (CHAVES, 2011).

Esses elementos são fundamentais para que a elaboração do modelo avance, pois sem tais informações, fica inviável transcrever uma situação real para a linguagem matemática. Além de que, todos os dados trabalhados geram impacto direto no resultado final, e este, como já visto, deve ser o mais próximo da realidade possível.

Neste momento também é realizada a coleta dos dados, a qual deve ser feita com cautela e precisão, visto que, de acordo com Hillier e Lieberman (2013), os dados, além de auxiliarem no entendimento do problema, alimentam o modelo matemático.

Já na etapa de construção, o mais importante é a escolha do modelo a ser utilizado, pois, dependendo se o estudo for determinístico ou estocástico, uma determinada metodologia ou a combinação de várias, resultará em soluções com maior qualidade (CHAVES, 2011).

Já a fase de solução tem por objetivo encontrar a melhor solução do modelo elaborado na etapa anterior e para tanto, na maioria dos casos são utilizadas técnicas matemáticas já existentes, sendo que a velocidade e a precisão da resposta devem ser levadas em consideração (CHAVES, 2011).

Quando se trata da validação, a mesma se faz necessário para averiguar se o modelo matemático elaborado condiz com a realidade. Uma das formas de fazer essa verificação é utilizar os dados passados no modelo atual e verificar se o comportamento apresentado é similar ao real (CHAVES, 2011).

A penúltima etapa da modelagem é a implementação do resultado, ou seja, são analisadas as soluções levantadas, quais são suas vantagens e assim são convertidas em novas metodologias operacionais (CHAVES, 2011).

Por fim, é feito uma análise de todo o ciclo e das etapas citadas, sendo que ainda é importante ressaltar que a complexidade do modelo está diretamente relacionada a complexidade do sistema estudado (LISBOA, 2002).

A Pesquisa Operacional ainda conta com diversas ferramentas que auxiliam na solução do modelo matemático elaborado, as quais serão apresentadas no próximo tópico.

2.4.2 Ferramentas da Pesquisa Operacional

Dentro da Pesquisa Operacional existem diversas técnicas que podem ser utilizadas para encontrar a melhor solução ao fenômeno estudado. No entanto, cabe ressaltar que de acordo com o modelo utilizado, algumas ferramentas são mais adequadas.

De acordo com Belfiore e Fávero (2013), essas ferramentas são propostas da seguinte forma:

- Modelos Determinísticos: Programação linear, programação em redes, programação binária e inteira, programação por metas ou multiobjetivo, programação não linear e programação dinâmica determinística;
- Modelos Estocásticos: Teoria das filas, modelos de simulação, programação dinâmica estocástica (cadeias de Markov) e teoria dos jogos;
- Outras técnicas: Metodologia multicritério de apoio a decisão (AHP), Análise envoltória de dados (DEA), inteligência artificial, inteligência computacional, heurísticas e meta-heurísticas, entre outras.

Segue no próximo tópico o detalhamento da técnica de simulação, visto que esta ferramenta foi utilizada na parte prática dessa pesquisa.

2.4.3 Simulação

A técnica de simulação atualmente é muito difundida por ser uma técnica flexível e intuitiva, isso pelo fato desta ferramenta buscar representar cenários reais, por intermédio da utilização de computadores, com o subsídio de modelos matemáticos. (LIBERMAN; HILLIER, 2013).

“A simulação envolve a construção de um modelo aproximado da realidade, o qual será operado muitas e muitas vezes, analisando-se então seus resultados para que ele possa ser bem mais compreendido, manipulado e controlado”, como afirma Moreira (2010, p. 271). Desta forma, a simulação está sempre buscando representar

a realidade da forma mais fiel possível e permitindo uma visão completa de todos os elementos envolvidos, fornecendo assim, os dados e informações necessárias para uma análise completa de uma determinada situação.

Tal fato é reforçado por Belfiore e Fávero (2013, p.11), quando os autores afirmam que: “a simulação permite a comparação de diversos cenários, de forma a orientar o processo de tomada de decisão por meio da análise de como as variações nos parâmetros de entrada afetam as variáveis de saída”. Por conseguinte, a simulação auxilia no processo de tomadas de decisões em diversos âmbitos do mercado corporativo, ou seja, decisões que envolvam riscos financeiros, a qualidade do produto a ser desenvolvido, a melhor forma de uma empresa empregar seus recursos e até mesmo a viabilidade de um novo produto ou serviço.

Essa incessante utilização da simulação ocorre por diversos motivos, e de acordo com Andrade (2012), dentre todas as razões, destacam-se a impossibilidade ou o alto custo para a observação de determinados processos no mundo real, como é o caso da sincronização dos sinais de trânsito. Neste caso, se ao invés de utilizar a simulação, fosse feito um experimento com a temporização dos sinais, as consequências poderiam ser a ocorrência de diversos acidentes e trânsito muito intenso. O que torna a utilização da simulação essencial para que a sincronização seja feita de forma segura e eficiente.

Ainda de acordo com Andrade (2012, p. 123), outra razão para se utilizar a simulação seria que “o sistema observado pode ser tão complexo que se torne impossível descrevê-lo em termos de um conjunto de equações matemáticas de solução analítica viável”.

O exemplo dado por Andrade (2012) é de analisar globalmente uma grande empresa, envolvendo todos seus departamentos e funções ou até mesmo definir seu melhor sistema e controle de estoque, minimizando seus custos.

O último motivo mencionado por Andrade (2012, p. 124), é o fato de que muitas vezes desenvolver o modelo matemático é possível, entretanto sua solução é muito trabalhosa e pouco flexível, como é o caso da aplicação de um sistema de filas quando os dados de entrada do sistema correspondem a distribuições pouco conhecidas.

Cabe ressaltar ainda que a simulação não gera resultados específicos ou define a melhor solução para um determinado problema, mas sim apresenta diversos cenários permitindo a elaboração de diversas análises e estudos para que a tomada de decisão seja tomada da melhor forma possível. (HILLER; LIEBERMAN, 2013).

Portanto, a simulação é uma ferramenta versátil e potente, entretanto para a obtenção de seus melhores resultados é necessária uma análise cuidadosa e criteriosa dos resultados obtidos, caso contrário a técnica não desempenhará o objetivo almejado, e as melhores opções possíveis não serão utilizadas, como afirma Brighendi (2006, p. 8):

A simulação não é uma ferramenta que substitui o trabalho de interpretação humana, mas sim uma ferramenta capaz de fornecer resultados para análises mais elaboradas a respeito da dinâmica do sistema, permitindo desta maneira uma interpretação mais profunda e abrangente do sistema estudado.

Como mencionado anteriormente, a simulação está vinculada com o uso do computador, sendo assim existem diversos programas que são utilizados para o desenvolvimento do modelo, como: “ARENA[®], TAYLOR[®], PROMODEL[®], AUDOMOD[®], GPSS[®], entre outros”. (PRADO, 2010, p.24).

Cada *software* mencionado possui características diferentes sobre como ele enxerga o sistema que será simulado e conseqüentemente a forma com os dados são inseridos e os relatórios finais fornecidos são distintos. (PRADO, 2010).

Por este motivo, para cada simulação existe um programa mais adequado, sendo que o próximo tópico trata justamente sobre um desses programas, o ARENA[®], visto que o mesmo foi o escolhido para o desenvolvimento desse estudo.

2.4.4 Arena

O ARENA[®] é um *software* de simulação de processos que é subdividido em blocos ou módulos, os quais utilizam linguagem de programação para elaborar o modelo de simulação. Um dos diferenciais do ARENA[®] é a simplificação do processo através de uma Interface Gráfica para o usuário, o qual permite que o modelo seja construído utilizando apenas o *mouse*. (PRADO, 2010).

O programa conta ainda com duas ferramentas poderosas o analisador de dados de entrada (*Input Analyzer*), a qual fornece para o usuário a distribuição estatística que melhor se aplica para determinada sequência de dados e o analisador de resultados (*Output Analyzer*), que permite fazer a análise dos resultados durante a simulação, lembrando ainda que essa análise pode ser feita com o auxílio de relatórios ou gráficos. (PRADO, 2010).

Como mencionado no capítulo anterior, cada programa possui uma maneira distinta de enxergar a simulação. No caso do ARENA®, essa visão é simplificada através de eventos discretos, os quais utilizam a linguagem SIMAN. (RABELO, [20--])

Segundo Prado (2010, p. 28), o sistema conta ainda com a seguinte forma de identificar o mundo real:

O ARENA® visualiza o sistema a ser modelado como constituído de um conjunto de estações de trabalho que contém um ou mais recursos que prestam serviços a clientes (também chamados de entidades ou transações) que se movem através do sistema. O movimento pode ser feito pela própria entidade ou por transportadores (empilhadeiras, por exemplo), ou correias.

Por conseguinte, para elaborar um modelo no ARENA®, segundo Rabelo ([20--]), existem alguns passos a serem seguidos, são eles: criar um modelo básico, refinar o modelo, simular o modelo, analisar os resultados da simulação e por fim selecionar a melhor alternativa.

Sendo assim, o primeiro passo é justamente fazer um esboço das estações de trabalho e das entidades, lembrando que o fluxo de informações ocorrerá conforme a programação inserida no sistema.

O ARENA® trabalha com fluxogramas, sendo que cada parte é denominada de módulos ou blocos. Esses módulos estão disponíveis através dos seguintes *templates*: "Advanced Process, Advanced Transfer, Agent Util, Basic Process, Blocks, Contact Data, CSUtil, Elements, Flow Process, Flow Process Util, Packing, Script e Util Arena". (PRADO, 2010, p. 51), portanto para a elaboração de um modelo é necessário definir quais módulos serão utilizados, sendo que cada módulo possui uma função específica.

A etapa de construção se faz "arrastando os blocos lógicos que representam processos decisórios, criação de entidades, métodos de transporte e outros para

dentro da área de projeto” (RABELO, [20--], p.5). Sendo que, a ligação dos blocos representa o fluxo do processo real.

No desenvolvimento deste estudo foram utilizados apenas os blocos disponíveis nos *templates Advanced Process* e *Basic Process*, os quais serão detalhados a seguir.

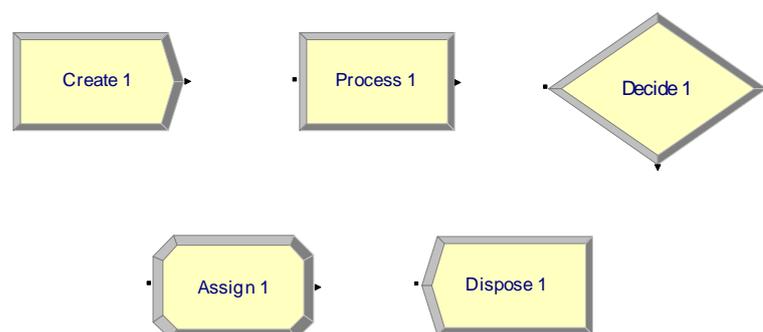
Referente aos blocos disponíveis no *Basic Process*, é importante mencionar o bloco *create*, que é utilizado para inserir os dados de entrada no sistema, ou seja, nesse momento é possível definir qual será a entidade e qual o intervalo de chegada entre elas. (PRADO, 2010).

Há também o módulo *process*, o qual tem por objetivo simular os processos, em outras palavras, são inseridas informações como tempo de processamento e necessidade da utilização de recursos. (PRADO, 2010).

Já o *decide* permite que o fluxo da simulação seja ramificado, ou seja, é possível definir os caminhos por onde as entidades devem passar, através de probabilidades ou condições. O bloco *assign*, por sua vez, permite que o programador faça alterações nos valores das variáveis, entidades ou atributos, por intermédio da atribuição de expressões aritméticas. Nesse *template* há ainda o módulo *dispose*, no qual as entidades são liberadas do sistema. (PRADO, 2010).

Segue Figura 03, para a visualização dos blocos citados:

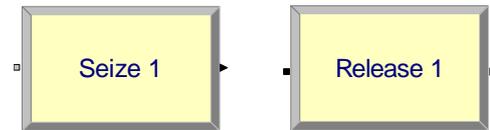
Figura 03: Módulos básicos do ARENA



Fonte: Elaboração própria.

No que tange o *template Advanced Proces*, cabe mencionar apenas 2 blocos, o *seize* que tem como principal objetivo deixar um recurso ou atributo em uso e o *release*, bloco antagônico ao *seize*, ou seja, é utilizado para liberar o recurso ou atributo. (PRADO, 2010). Segue Figura 04, com a visualização gráfica dos blocos mencionados acima.

Figura 04: Módulos avançados do ARENA



Fonte: Elaboração própria.

Lembrando que no capítulo 5 (Desenvolvimento do Modelo), será detalhado cada informação inserida nos blocos supracitados.

Cabe mencionar ainda a necessidade da programação das variáveis utilizadas no sistema, pois as mesmas possuem por características a aleatoriedade e estão relacionadas ao tempo, como por exemplo, a espera em uma fila, quantidade de atendentes, entre outros. (PRADO, 2010).

Já na etapa de refinar o modelo, é feita uma revisão da lógica aplicada, ou seja, são identificados e solucionados possíveis erros. Neste ponto também podem ser inseridas as animações do sistema, que permitem uma melhor visualização do que foi programado. (RABELO, [20--]).

Após a construção do modelo é necessário efetuar as simulações, pois assim vários cenários podem ser testados, além de que é nessa etapa que se identifica a representatividade da realidade com o modelo construído. (RABELO, [20--]).

O próximo passo é a análise dos relatórios gerados, sendo que os mesmos podem ser customizados durante a elaboração do modelo. Os relatórios do Arena, geram informações como a utilização de recursos, tempo de espera das entidades, entre outros. (RABELO, [20--]).

Por fim deve-se selecionar a melhor alternativa, neste momento é possível realizar diversas simulações, buscando abranger todos os cenários possíveis para que então seja realizada a análise e a tomada de decisão da melhor forma possível. (RABELO, [20--]). Pode-se perceber que o ARENA é um programa de fácil utilização e muito versátil, podendo ser aplicado nas mais diversas situações, auxiliando sempre na tomada de decisão com base no desenvolvimento de modelos que representam a realidade, visto que no mercado de trabalho, o modelo desenvolvido deverá conter a menor distorção possível.

3 METODOLOGIA

Para atingir o resultado pretendido o primeiro passo foi realizar o levantamento das operações portuárias no complexo portuário do Espírito Santo, ou seja, coletar dados referentes ao número de navios que atracaram e desatracaram nos Portos capixabas, as datas e horários em que as manobras ocorreram e a quantidade de rebocadores utilizados no ano de 2016. Sendo que para um melhor enquadramento, essa etapa também englobou o berço da manobra e o *deadweight*¹⁸ do navio.

Para a elaboração do modelo, além da tabulação das informações acima citadas, foi necessária a utilização da ferramenta *Input Analyzer* do *Software ARENA*[®], com o intuito de verificar qual a melhor distribuição estatística que representa o tempo de permanência dos navios em cada berço, visto que os tempos possuem grande variação.

Já referente ao tempo de duração das manobras de atracação e desatracação, foi possível a utilização da média dos tempos, visto que os valores possuíam pequenos desvios, sendo assim os mesmos foram agrupados por berços e por tipo de manobra (atracação ou desatracação), para que então o tempo médio fosse encontrado.

Por fim, foi efetuada a validação do modelo, ou seja, foi verificada qual a margem de erro dos valores simulados com os valores reais coletados no ano de 2016.

Após o entendimento geral do desenvolvimento da pesquisa e antes de abordar sua caracterização, é importante destacar como o modelo foi parametrizado, ou seja, quais os parâmetros utilizados em sua construção.

3.1 PARAMETRIZAÇÃO DO MODELO

Como já abordado, para o desenvolvimento do modelo matemático apresentado, foram utilizados os dados das movimentações ocorridas no ano de 2016 em todo o complexo portuário do Espírito Santo (Porto de Tubarão, Vitória, Praia Mole e Barra do Riacho). Lembrando mais uma vez, que devido ao incidente da barragem de

¹⁸*Deadweight* ou tonelagem de Porto bruto: “é a diferença entre o deslocamento máximo e o deslocamento mínimo”. Já o deslocamento é: “quanto a embarcação desloca em peso de água quando flutuando em águas tranquilas, normalmente é expresso em toneladas”. (BARROS, 2001, p.11).

Mariana, o Porto de Anchieta (Ubu) não teve movimentações nesse período, e, portanto, foi desconsiderado no desenvolvimento do trabalho.

Todas as informações apresentadas foram cedidas pela filial Vitória da empresa Saam Smit Towage Brasil, a qual presta serviços de apoio portuário em toda costa brasileira, e conta com a atuação de dois rebocadores no estado capixaba.

Para as manobras de atracação e desatracação dos navios, existem algumas regras que delimitam o número de rebocadores utilizados em cada manobra, sendo que os pontos cruciais para tais determinações são o *deadweight* do navio, a manobra que será executada (atracação ou desatracação) e o berço da manobra.

Para melhor entendimento, vide Anexos A, B e C, os quais apresentam um quadro com todas as regras de utilização dos rebocadores para atracação e desatracação dos navios nos Portos capixabas.

Após o levantamento de todos os dados, referentes à movimentação portuária no Espírito Santo no ano de 2016, foram compiladas algumas informações que serão utilizadas no desenvolvimento do modelo.

A primeira estatística utilizada foi o número de manobras que ocorreram em cada Porto no ano de 2016. Essa informação foi essencial para que se pudesse analisar a movimentação portuária e assim, utilizar tais dados para definir a probabilidade de atracação de um navio em cada Porto. Segue Tabela 01 com resumo estatístico dos dados levantados:

Tabela 01: Compilação do Número de Atracções por Porto

Quantidade de Atracções		
Porto	Número de Navios	Percentual
Barra do Riacho	375	15,37%
Praia Mole	524	21,48%
Vitoria	765	31,35%
Tubarão	776	31,80%
Total:	2440	100,00%

Fonte: Elaboração Própria.

Com a análise da tabela acima, pode-se perceber que a movimentação do Porto de Vitória e de Tubarão foi muito similar, sendo que Tubarão atracou 776 navios,

enquanto Vitória atracou 765. Em terceiro lugar em movimentação está o Porto de Praia Mole, com 524 atracações e por fim Barra do Riacho com 375, o que totaliza no ano de 2016, 2440 movimentações.

Para um resultado mais preciso, as movimentações portuárias ainda foram analisadas de acordo com o berço de atracação, sendo que cada Porto é composto pelos seguintes berços:

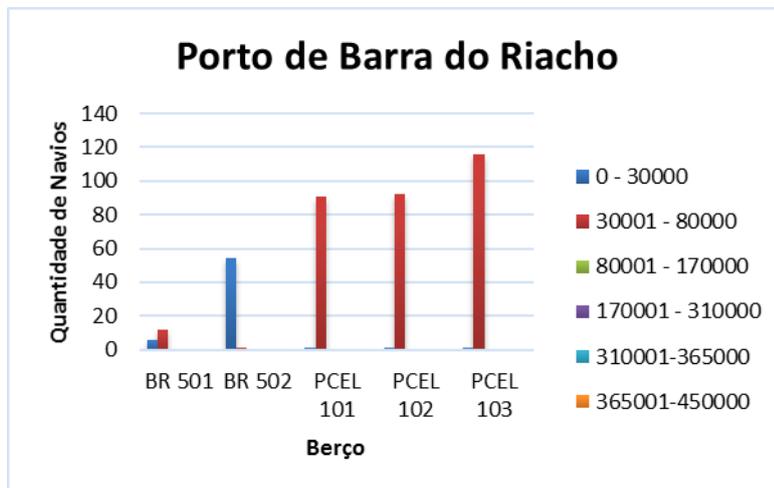
- **Porto Barra do Riacho:** Portocel 101 (PCEL 101), Portocel 102 (PCEL 102), Portocel 103 (PCEL 103), BR 501 e BR502.
- **Porto de Praia Mole:** Carvão 01 (CV1), Carvão 2 (CV2), Placas 1 (S1), Placas 2 (S2) e Placas 3 (S3);
- **Porto de Vitória:** Capuaba 201 (B201), Capuaba 202 (B202), Capuaba 203 (B203), Capuaba 204 (B204), PEIU (B206), PAUL (B905), B903, B101, B102, B103, B906;
- **Porto de Tubarão:** Píer 1 Norte (LN), Terminal de Produtos Diversos 3 (PD3), Terminal de Produtos Diversos 4 (PD4), Píer Sul (LS), Terminal de Granéis Líquidos (TGL) e P2;

Após a separação por berços, é possível passar para o próximo passo da parametrização do modelo, que é o detalhamento por berço e por *deadweight* do navio movimentado.

A primeira etapa a ser apresentada é referente ao Porto de Barra do Riacho. Com análise dos dados levantados sobre este terminal, percebe-se que os navios movimentados no Porto são de pequeno porte, sendo que todos possuem porte bruto inferior a 80.000 toneladas.

Cabe mencionar nesse ponto que os berços BR501 e BR502 são para movimentação de navios petroleiros. Já os demais berços têm por especialidade a movimentação de celulose, a qual está diretamente ligada a presença da empresa Fibria em Aracruz. Segue Gráfico 01, com a compilação das informações mencionadas:

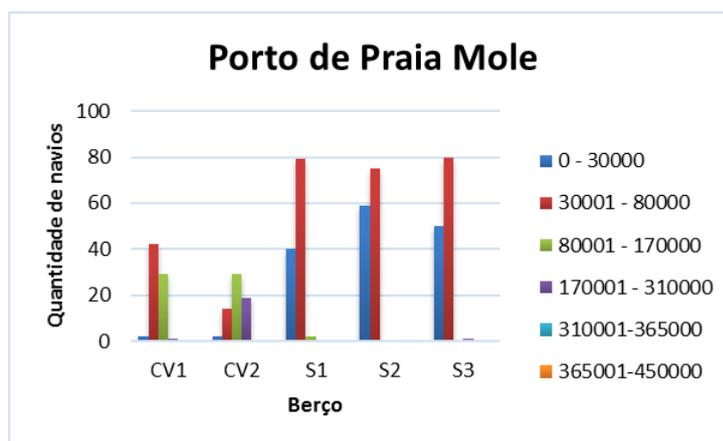
Gráfico 01 – Quantidade atracções por berço e *Deadweight* – Porto de Barra do Riacho



Fonte: Elaboração Própria.

Já ao avaliar as manobras no Porto de Praia Mole, percebe-se que aproximadamente 85% dos navios possuem *deadweight* de até 80.000 toneladas de porte bruto, e a maioria das atracções ocorreram nos berços de placas (S1, S2 e S3), totalizando 386 navios contra 138 movimentações nos berços de carvão (CV1 e CV2). Tal cenário pode ser observado no Gráfico 02 apresentado a seguir:

Gráfico 02 - Quantidade atracções por berço e *Deadweight* – Porto de Praia Mole

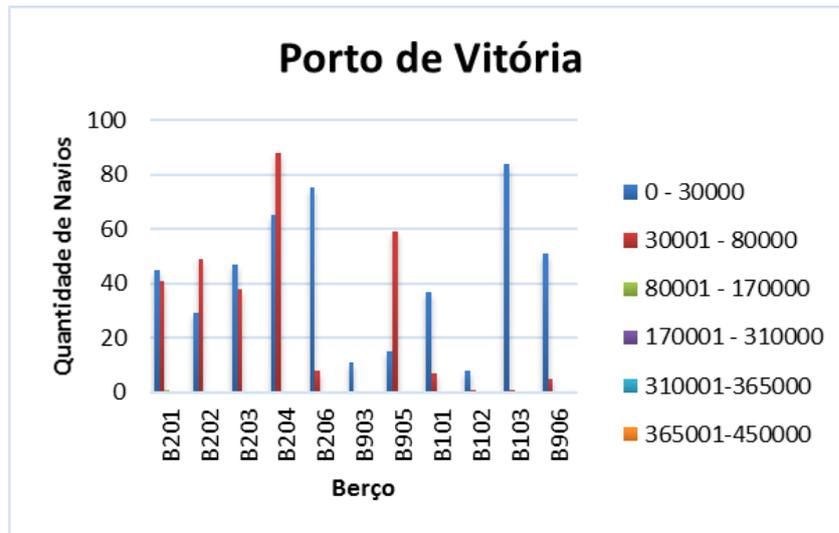


Fonte: Elaboração Própria.

No Porto de Vitória, cujas cargas predominantes são contêineres, granéis, grãos, veículos e cargas em geral, nota-se que o porte dos navios é menor, no entanto, dentre todas as movimentações realizadas apenas 1 navio possuía mais de 80.000

toneladas de porte bruto. Esse fato ocorre não somente pelo tipo de carga, mas também por questão de acessibilidade, pois a profundidade do canal e a altura da Terceira Ponte restringem o tamanho dos navios que podem atracar no Porto. Segue gráfico 3 para melhor compreensão:

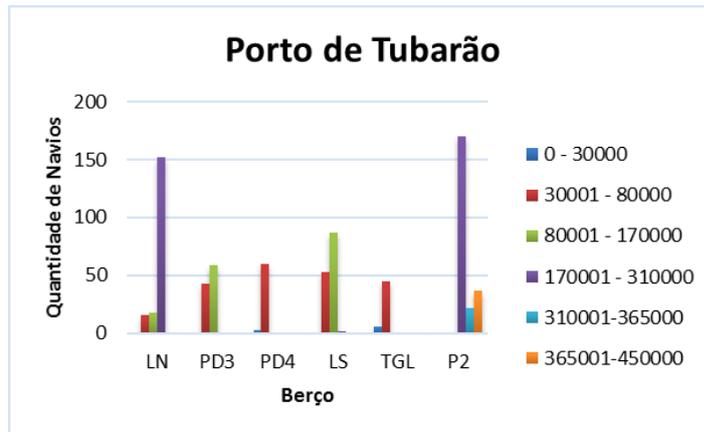
Gráfico 03 - Quantidade atracações por berço e *Deadweight* – Porto de Vitória



Fonte: Elaboração Própria.

No que tange ao Porto de Tubarão, pode-se perceber que foi o terminal que movimentou as maiores embarcações, foram 383 navios com *deadweight* acima de 170.000 toneladas, de um total de 404 movimentações para esse porte de embarcações em todo o complexo portuário capixaba.

Como já mencionado, o Porto de Tubarão é responsável pela movimentação de minério de ferro e é pertencente à empresa Vale. Tal cenário pode ser melhor visualizado no Gráfico 04, exposto abaixo:

Gráfico 04 - Quantidade atracções por berço e *Deadweight* – Porto de Tubarão

Fonte: Elaboração Própria.

A segregação do número de movimentações pelo porte das embarcações se fez necessária, pois esses dados impactam diretamente na quantidade de rebocadores utilizados em uma manobra, principalmente nos Portos de Tubarão e Praia Mole. Portanto, ao desenvolver o modelo, a quantidade de navios que atracam em berço de acordo com uma determinada faixa de *deadweight* é essencial para que a estatística lançada no modelo represente a realidade.

Outro ponto relevante é o tempo que o navio permanece atracado em um berço, pois essa informação alimenta o modelo com o tempo que as entidades irão permanecer no sistema, lembrando que o tempo de duração da manobra de atracação e desatracação, também devem ser considerados.

Referente ao tempo de permanência do navio no Porto, essa informação foi compilada com o auxílio da ferramenta *Input Analyzer* do *Software Arena*, a qual foi alimentada com o tempo de permanência de todos os navios que atracaram em cada berço, gerando assim a melhor distribuição estatística que representa esses dados, como pode ser visto nas Tabelas 02,03, 04 e 05, apresentadas abaixo:

Tabela 02 - Distribuição estatística por berço do Porto de Barra do Riacho

Porto Barra do Riacho		
Berço	Distribuição	Expressão
BR 501	Beta	$930 + 2.91e+003 * BETA(0.635, 0.942)$
BR 502	Weibull	$120 + WEIB(2.65e+003, 1.3)$
PCEL 101	Weibull	$970 + WEIB(3.06e+003, 1.12)$
PCEL 102	Weibull	$750 + WEIB(4.3e+003, 0.635)$
PCEL 103	Exponential	$840 + EXPO(4.88e+003)$

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 03 - Distribuição estatística por berço do Porto de Praia Mole

Porto de Praia Mole		
Berço	Distribuição	Expressão
CV1	Erlang	$625 + ERLA(2.77e+003, 2)$
CV2	Beta	$2.93e+003 + 1.58e+004 * BETA(1.09, 2.35)$
S1	Erlang	$640 + ERLA(1.51e+003, 2)$
S2	Erlang	$380 + ERLA(1.56e+003, 2)$
S3	Weibull	$1.19e+003 + WEIB(2.59e+003, 1.36)$

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 04 - Distribuição estatística por berço do Porto de Vitória

Porto de Vitória		
Berço	Distribuição	Expressão
B201	Weibull	$1.32e+003 + WEIB(2.16e+003, 1.1)$
B202	Weibull	$281 + WEIB(3.26e+003, 1.17)$
B203	Weibull	$735 + WEIB(2.38e+003, 1.21)$
B204	Weibull	$510 + WEIB(1.15e+003, 1.05)$
B206	Beta	$294 + 4.47e+004 * BETA(0.418, 4.51)$
B903	Exponential	$240 + EXPO(8.87e+003)$
B905	Exponential	$1.72e+003 + EXPO(2e+003)$
B101	Exponential	$340 + EXPO(2.99e+003)$
B102	Triangular	$TRIA(725, 2.67e+003, 8.64e+003)$
B103	Beta	$870 + 1.31e+004 * BETA(1.04, 2.95)$
B906	Weibull	$311 + WEIB(2.62e+003, 0.746)$

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 05 - Distribuição estatística por berço do Porto de Tubarão

Porto de Tubarão		
Berço	Distribuição	Expressão
LN	Normal	NORM(2.2e+003, 654)
PD3	Normal	NORM(2.2e+003, 654)
PD4	Normal	NORM(5.85e+003, 3.76e+003)
LS	Weibull	257 + WEIB(2.32e+003, 2.07)
TGL	Triangular	TRIA(675, 1.42e+003, 4.17e+003)
P2	Gamma	620 + GAMM(423, 3.14)

Fonte: Elaboração Própria.

Já no que diz respeito ao tempo médio de duração das manobras, tais informações foram obtidas através do tempo das manobras realizadas durante o ano de 2016 pelos rebocadores da Saam Smit Towage Brasil, como mostrado nas tabelas 06, 07, 08 e 09.

Tabela 06 – Tempo médio de duração das manobras – Porto de Barra do Riacho

Porto de Barra do Riacho		
Berço	Atracação (minutos)	Desatracação (minutos)
BR 501	80	27
BR 502	61	31
PCEL 101	62	39
PCEL 102	80	45
PCEL 103	73	41

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 07 - Tempo médio de duração das manobras – Porto de Praia Mole

Porto de Praia Mole		
Berço	Atracação (minutos)	Desatracação (minutos)
CV1	90	43
CV2	83	40
S1	70	27
S2	70	31
S3	63	31

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 08 - Tempo médio de duração das manobras – Porto de Vitória

Porto de Vitória		
Berço	Atracação (minutos)	Desatracação (minutos)
B201	68	41
B202	69	58
B203	73	44
B204	67	46
B206	77	59
B903	101	55
B905	101	53
B101	78	48
B102	63	67
B103	70	56
B906	82	50

Fonte: Elaboração Própria.

Tabela 09 – Tempo médio de duração das manobras – Porto de Tubarão

Porto de Tubarão		
Berço	Atracação (minutos)	Desatracação (minutos)
LN	93	45
PD3	88	35
PD4	71	32
LS	82	39
TGL	121	47
P2	110	46

Fonte: Elaboração Própria.

Nessa etapa o *deadweight* do navio não foi levado em consideração, pois o mesmo não tem influência significativa no tempo médio de duração de uma manobra.

Ao avaliar os dados levantados, percebe-se que alguns Portos possuem características semelhantes, como o Porto de Vitória e Barra do Riacho, nos quais a média de duração da atracação e desatracação possuem valores próximos dentro de cada terminal. Já os berços dos Portos de Tubarão e Praia Mole, possuem tempos médios de manobras distintas.

Por fim, o último tempo que influencia o sistema é o tempo de deslocamento do rebocador até o Porto no qual a manobra será efetuada. Nesse momento, cabe

ressaltar que nove rebocadores, dos treze¹⁹disponíveis para o atendimento aos navios no complexo portuário do Espírito Santo, ficam atracados no Porto de Vitória, os demais ficam baseados no Porto de Tubarão. Por este motivo, o tempo de deslocamento utilizado para simular a movimentação teve como premissa que os rebocadores saíam de Vitória. Segue Tabela 10 com os tempos médios expressos em minutos:

Tabela 10: Tempo Médio de Deslocamento

Tempo médio de deslocamento em minutos	
Tubarão	40
Vitória	20
Praia Mole	40
Barra do Riacho	240

Fonte: Elaboração Própria.

Os tempos médios de deslocamento foram acrescentados ao tempo médio de duração das manobras, exceto na desatracação dos navios no Porto de Vitória, visto que os rebocadores ficam atracados no mesmo cais que os navios. Esses tempos foram acrescentados nas manobras de atracação e desatracação com o intuito de representar o tempo total que um rebocador é utilizado em uma manobra, ou seja, desde o momento de saída até o momento de retorno à sua base.

Todas as informações acima demonstradas foram utilizadas para alimentar o modelo desenvolvido no software Arena[®], para tanto, cada dado foi inserido separadamente, a fim de retratar a realidade da movimentação e utilização dos rebocadores nos Portos capixabas.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Já para a caracterização da metodologia aplicada na pesquisa que segue, foi levado em consideração principalmente o problema da pesquisa, visto que “o problema tipifica a natureza do estudo, que pode ser mais quantitativo ou mais qualitativo, descritivo ou explicativo” (BOAVENTURA, 2011, p.64).

¹⁹ Como um rebocador fica baseado no Porto de Anchieta e é exclusivo para manobras nesse Porto, o mesmo foi desconsiderado no processo de simulação, visto que este Porto não teve nenhuma movimentação no ano de 2016.

Seguindo esta linha de raciocínio, e entendendo que a pesquisa quantitativa é caracterizada “pelo emprego da quantificação tanto nas modalidades de coleta de informações, quanto no tratamento dessas através de técnicas estatísticas” (BOAVENTURA, 2011, p.56). A pesquisa que segue tem como caráter predominante o quantitativo, visto que o trabalho se desenvolveu a partir de técnicas da pesquisa operacional. Em outras palavras, foram levantados dados estatísticos sobre a movimentação portuária do ano de 2016, e a partir de tais informações foi desenvolvido e validado um modelo matemático que representa o cenário real da utilização dos rebocadores no complexo portuário do Espírito Santo.

No que tange a natureza da pesquisa, a mesma é aplicada, visto que buscou encontrar um meio de otimizar a operação portuária capixaba. Esta classificação teve como base a afirmação de Silva e Menezes, (2005, p.20), “a pesquisa aplicada objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais”.

É importante ainda caracterizar a pesquisa quanto aos seus objetivos, e seguindo a classificação dada por Gil (1991), a pesquisa é exploratória, pois conforme supracitado buscou-se o estudo do cenário atual dos Portos capixabas, com auxílio de dados reais baseados em experiências/conhecimentos práticos sobre o tema abordado.

Ainda de acordo com Gil, (1991), para o desenvolvimento do trabalho, foram utilizados dados de pesquisa bibliográfica, documental e ação. A parte bibliográfica é caracterizada principalmente pela utilização de livros, artigos científicos e materiais divulgados na internet, já a documental através de informações coletadas com uma empresa de rebocagem marítima, a qual a autora labora.

E a pesquisa ação está relacionada ao fato de que a frota de rebocadores do complexo portuário do Espírito Santo é de interesse coletivo e impacta na operacionalidade do Porto e conseqüentemente na movimentação de cargas da região.

Como já citado, a autora labora em uma empresa que presta serviços de apoio portuário o que caracteriza o envolvimento participativo entre a autora e o problema levantado, e assim confirma mais uma vez a classificação de pesquisa-ação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO DA PESQUISA

Este capítulo tem por objetivo demonstrar a construção e validação do modelo matemático desenvolvido. Para tanto, a apresentação foi dividida em duas etapas.

A primeira parte diz respeito em como o modelo foi construído, nesse momento serão apresentados todos os blocos utilizados. Já na segunda etapa será apresentada a validação, a qual foi obtida por intermédio da comparação dos dados de saída do modelo desenvolvido com as informações reais coletadas.

4.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO

O modelo desenvolvido tem por objetivo representar a movimentação do complexo portuário capixaba, mas com foco na utilização dos rebocadores.

De um modo geral, as manobras de atracação são marcadas pelo agente marítimo, junto ao terminal portuário e passadas as informações da manobra para praticagem e para a empresa de rebocagem, a qual deverá designar os rebocadores para a manobra, lembrando que a quantidade de rebocadores utilizada depende do tipo da manobra, do berço e do *deadweight* do navio.

Antes do detalhamento do modelo, é importante entender a lógica do desenvolvimento. Em sua totalidade, a simulação começa pela marcação da manobra. Em seguida vem a especificação do Porto o qual a manobra acontecerá. Posteriormente são feitas ramificações no modelo de acordo com a regra de cada berço para a designação dos rebocadores de atracação, logo é simulada a atracação em si. Após essa etapa, foi construído um processo representando o tempo que o navio permanece atracado no Porto para carga e descarga. Em seguida, ocorre a simulação da desatracação com o auxílio dos rebocadores e por fim o navio é liberado do sistema.

Visto posto, além dos blocos de construção, o modelo conta com entidades, recursos e variáveis. As entidades são os navios que chegam ao complexo portuário do Espírito Santo. Esse item não exigiu nenhuma configuração específica, referente a custos, como pode ser evidenciado na Tabela 11 abaixo:

Tabela 11 – Entidades ARENA

Tipo de Entidade	Figura Inicial	Custo de não processamento	Custo Inicial do Valor Agregado	Custo Inicial do Valor Não Agregado	Custo Inicial de Espera	Custos Iniciais com Transporte	Outros Custos Iniciais
navio	<i>Picture.Report</i>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Fonte: Elaboração Própria.

Já como recursos, foram cadastrados os rebocadores, cuja capacidade foi configurada como 13, visto que há 13 rebocadores atuantes no complexo portuário capixaba e os berços com capacidade igual a um. Este cadastro se fez necessário para que o berço fique ocupado com apenas um navio de cada vez. Segue Tabela 12 com o cadastro dos recursos para uma melhor compreensão.

Tabela 12 – Recursos – ARENA

Nome	Tipo	Capacidade
REBOCADOR	<i>Fixed Capacity</i>	13
Lado Norte	<i>Fixed Capacity</i>	1
PD3	<i>Fixed Capacity</i>	1
P2	<i>Fixed Capacity</i>	1
PD4	<i>Fixed Capacity</i>	1
TGL	<i>Fixed Capacity</i>	1
CV1	<i>Fixed Capacity</i>	1
CV2	<i>Fixed Capacity</i>	1
S1	<i>Fixed Capacity</i>	1
S2	<i>Fixed Capacity</i>	1
S3	<i>Fixed Capacity</i>	1
LS	<i>Fixed Capacity</i>	1
BR 501	<i>Fixed Capacity</i>	1
BR 502	<i>Fixed Capacity</i>	1
PCEL 101	<i>Fixed Capacity</i>	1
PCEL 102	<i>Fixed Capacity</i>	1
PCEL 103	<i>Fixed Capacity</i>	1
B201	<i>Fixed Capacity</i>	1
B202	<i>Fixed Capacity</i>	1
B203	<i>Fixed Capacity</i>	1
B204	<i>Fixed Capacity</i>	1
B206	<i>Fixed Capacity</i>	1
B903	<i>Fixed Capacity</i>	1
B905	<i>Fixed Capacity</i>	1
B101	<i>Fixed Capacity</i>	1
B102	<i>Fixed Capacity</i>	1
B103	<i>Fixed Capacity</i>	1
B906	<i>Fixed Capacity</i>	1

Fonte: Elaboração Própria.

Ainda no que diz respeito aos recursos, cabe ressaltar que foram retiradas as colunas referentes à configuração dos custos dos recursos, quando os mesmos estão sendo utilizados e enquanto estão parados, visto que tais questões não foram aplicadas no modelo, e por este motivo todas as colunas ficaram preenchidas com 0.0.

As variáveis por sua vez, foram utilizadas para representar se um berço está ocupado ou não. Nesse caso, apenas algumas variáveis foram consideradas, pois a ocupação de apenas quatro berços influencia na quantidade de rebocadores utilizados em manobras de outros berços. A Tabela 13 abaixo visa propiciar uma melhor visualização das variáveis cadastradas, sendo que todas são classificadas como reais.

Tabela 13 – Variáveis - ARENA

Nome	Tipo de Dado
LN OCUPADO	Real
PD3 OCUPADO	Real
LS OCUPADO	Real
P2 OCUPADO	Real

Fonte: Elaboração Própria.

Além dos pontos acima citados, foram utilizados os blocos, *create*, *assign*, *process*, *decide*, *seize*, *realese* e *dispose*. Todos serão explicados antes da apresentação do modelo.

No caso do bloco *create*, o mesmo foi configurado com as informações de entrada do sistema. Com o auxílio da ferramenta *input analyzer*, foi possível descobrir qual a melhor distribuição para simular a chegada dos navios no Porto. Para tanto, os dados colocados no sistema foram a quantidade de navios que chegaram por dia no Complexo Portuário do Espírito Santo, no ano de 2016. A configuração desse bloco pode ser vista na Tabela 14.

Tabela 14 - Create - ARENA

Nome	Tipo de Entidade	Tipo	Expressão	Unidade	Entidades por chegada	Número máximo de chegada
Chegada dos Navios	navio	<i>Expression</i>	$-0.5 + WEIB(7.98, 3.46)$	<i>Minutes</i>	1	2440

Fonte: Elaboração Própria.

O bloco *assign* foi utilizado para identificar se um berço está ocupado ou não, através da alteração do valor das variáveis cadastradas. Como já abordado essa condição influencia no número de rebocadores utilizados nas manobras de atracação nos berços LS, PD3, TGL, PD4 ambos no Porto de Tubarão. A configuração exata do bloco pode ser vista na Tabela 15.

Tabela 15 – Assign - ARENA

Nome	Tipo	Nome da Variável	Novo Valor
Berco LN ocupado	<i>Variable</i>	LN OCUPADO	LN OCUPADO + 1
Berco LN desocupado	<i>Variable</i>	LN OCUPADO	LN OCUPADO - 1
Berco PD3 ocupado	<i>Variable</i>	PD3 OCUPADO	PD3 OCUPADO + 1
Berco PD3 desocupado	<i>Variable</i>	PD3 OCUPADO	PD3 OCUPADO - 1
Berco LS ocupado	<i>Variable</i>	LS OCUPADO	LS OCUPADO + 1
Berco LS desocupado	<i>Variable</i>	LS OCUPADO	LS OCUPADO - 1
Berco P2 ocupado	<i>Variable</i>	P2 OCUPADO	P2 OCUPADO + 1
Berco P2 desocupado	<i>Variable</i>	P2 OCUPADO	P2 OCUPADO - 1

Fonte: Elaboração Própria.

Quando um berço está ocupado, ele tem sua variável correspondente incrementada de um, já quando ele fica desocupado esse valor é decrementado de um, logo, se a variável possui um valor maior que zero, o berço está ocupado.

O módulo *process* foi utilizado para representar os processos de atracação, desatracação e o carregamento ou descarregamento do navio, ou seja, o tempo em que o mesmo permanece no cais. Para os blocos que representam a atracação e desatracação dos navios, foram utilizados os números de rebocadores empregados como recursos e o tempo médio das manobras mais o tempo de deslocamento dos rebocadores como tempo de duração do processo, conforme apresentado no capítulo de parametrização do modelo.

Já os processos que representam o tempo em que o navio fica atracado no berço, os dados utilizados foram os adquiridos por intermédio do *input analyzer*, também explicado no item anterior. Segue Tabela 16 com a configuração de todos os blocos *process* utilizados. Cabe ressaltar que para uma melhor visualização da tabela, as colunas *type*, *unitits*, *priority* e *report statistics*, foram excluídas, visto que todas são consideradas como *standard*, *minutes*, *medium* e *yes* respectivamente, ou seja, o

modelo desenvolvido é considerado como base (não será trabalhado com sub modelos), a unidade trabalhada em todos os casos é minuto, a prioridade foi sempre considerada como média e todas as estatísticas foram solicitadas.

Tabela 16 - Process - ARENA

(continua)

Nome	Ação	Nome do Recurso	Quantidade	Tipo de Espera	Valor	Expressão
Atracacao LN com 2 rebocadores ate 80000	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	133	
Atracacao LN com 3 rebocadores ate 170000	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	3	<i>Constant</i>	133	
Atracacao LN com 4 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	4	<i>Constant</i>	133	
Navio LN atracado faixa 1	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		NORM(2.2e+003, 654)
Desatracacao LN	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	85	
atracacao PD3 com 3 reboc	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	3	<i>Constant</i>	128	
atracaco PD3 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	128	
atracacao PD3 com 4 reboc acima de 80001	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	4	<i>Constant</i>	128	
atracacao PD3 com 3 reboc acima de 80001	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	3	<i>Constant</i>	128	
Navio atracado PD3	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		NORM(2.2e+003, 654)
Desatracacao PD3	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	75	
Atracaco PD4 com 3 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	3	<i>Constant</i>	111	
Atracaco PD4 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	111	
Navio atracado PD4	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		NORM(5.85e+003, 3.76e+003)
Desatracacao PD4	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	72	
Atracacao LS com 4 rebocadores DWT acima de 80000	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	4	<i>Constant</i>	122	
Atracacao LS com 3 rebocadores DWT acima de 80000	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	3	<i>Constant</i>	122	
Atracacao LS com 3 rebocadores DWT abaixo de 80000	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	3	<i>Constant</i>	122	
Atracacao LS com 2 rebocadores DWT abaixo de 80000	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	122	
Navio LS atracado	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		257 + WEIB(2.32e+003, 2.07)
Desatracacao LS	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	79	

Tabela 16- Process ARENA

(continuação)

Nome	Ação	Nome do Recurso	Quantidade	Tipo de Espera	Valor	Expressão
Atracao TGL com 3 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	3	<i>Constant</i>	161	
Atracao TGL com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	161	
Navio TGL atracado	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		TRIA(675, 1.42e+003, 4.17e+003)
Desatracacao TGL com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	87	
Atracao P2 com 4 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	4	<i>Constant</i>	150	
Atracao P2 com 5 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	5	<i>Constant</i>	150	
Atracao P2 com 6 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	6	<i>Constant</i>	150	
Navio P2 atracado	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		620 + GAMM(423, 3.14)
Navio P2 atracado DWT acima de 365000	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		620 + GAMM(423, 3.14)
Desatracacao P2 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	86	
Desatracacao P2 com 3 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	3	<i>Constant</i>	86	
Atracao CV1 com 3 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	3	<i>Constant</i>	130	
Atracao CV1 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	130	
Navio atracado CV1	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		625 + ERLA(2.77e+003, 2)
Desatracacao CV1 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	83	
Atracao CV2 com 3 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	3	<i>Constant</i>	123	
Atracao CV2 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	123	
Navio atracado	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		2.93e+003 + 1.58e+004 * BETA(1.09, 2.35)
Desatracacao CV2 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	80	
Atracao S1 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	110	
Navio atracado S1	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		640 + ERLA(1.51e+003, 2)

Tabela 16- Process ARENA

(continuação)

Nome	Ação	Nome do Recurso	Quantidade	Tipo de Espera	Valor	Expressão
Desatracacao S1 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracacao S2 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado S2	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		380 + ERLA(1.56e+003, 2)
Desatracacao S2 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracacao S3 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado S3	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		1.19e+003 + WEIB(2.59e+003, 1.36)
Desatracacao S3 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracacao BR 501 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado BR 501	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		930 + 2.91e+003 * BETA(0.635, 0.942)
Desatracacao BR 501 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracacao BR 502 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado BR 502	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		120 + WEIB(2.65e+003, 1.3)
Desatracacao BR 502 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracacao PCEL101 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado PCEL 101	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		970 + WEIB(3.06e+003, 1.12)
Desatracacao PCEL 101 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracacao PCEL102 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado PCEL 102	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		750 + WEIB(4.3e+003, 0.635)
Desatracacao PCEL 102 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracacao PCEL103 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado PCEL 103	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		840 + EXPO(4.88e+003)

Tabela 16 - Process ARENA

(continuação)

Nome	Ação	Nome do Recurso	Quantidade	Tipo de Espera	Valor	Expressão
Desatracacao PCEL 103 com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant	281	
Atracacao B201 com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant	88	
Navio atracado B201	Delay			Expression		$1.32e+003 + WEIB(2.16e+003, 1.1)$
Desatracacao B201 com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant		
Atracacao B202 com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant		
Navio atracado B202	Delay			Expression		$281 + WEIB(3.26e+003, 1.17)$
Desatracacao B202 com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant		
Atracacao B203 com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant		
Navio atracado B203	Delay			Expression		$735 + WEIB(2.38e+003, 1.21)$
Desatracacao B203 com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant		
Atracacao B204 Com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant		
Navio atracado B204	Delay			Expression		$510 + WEIB(1.15e+003, 1.05)$
Desatracacao B204 com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant		
Atracacao B206 Com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant		
Navio atracado B206	Delay			Expression		$294 + 4.47e+004 * BETA(0.418, 4.51)$
Desatracacao B206 com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant	59	
Atracacao B903 Com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant	121	
Navio atracado B903	Delay			Expression		$240 + EXPO(8.87e+003)$
Desatracacao B903 com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant		
Atracacao B905 Com 2 rebocadores	Seize Delay Release	Rebocador	2	Constant		
Navio atracado B905	Delay			Expression		$1.72e+003 + EXPO(2e+003)$

Tabela 16 - Process ARENA

(conclusão)

Nome	Ação	Nome do Recurso	Quantidade	Tipo de Espera	Valor	Expressão
Desatracacao B905 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracao B101 Com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado B101	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		340 + EXPO(2.99e+003)
Desatracacao B101 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracao B102 Com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado B102	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		TRIA(725, 2.67e+003, 8.64e+003)
Desatracacao B102 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracao B103 Com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado B103	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		870 + 1.31e+004 * BETA(1.04, 2.95)
Desatracacao B103 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Atracao B906 Com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>		
Navio atracado B906	<i>Delay</i>			<i>Expression</i>		311 + WEIB(2.62e+003, 0.746)
Desatracacao B906 com 2 rebocadores	<i>Seize Delay Release</i>	Rebocador	2	<i>Constant</i>	50	

Fonte: Elaboração Própria.

A próxima etapa de construção a ser detalha é o bloco *decide*, o qual foi utilizado para definir a probabilidade de um navio ir para um determinado Porto ou berço, a faixa de *deadweight* do navio que será manobrado e a verificação se um determinado berço está ocupado ou não.

Lembrando mais uma vez que a última configuração mencionada foi utilizada somente no caso dessa informação impactar no número de rebocadores utilizados na manobra. Segue Tabela 17 com as configurações do bloco:

Tabela 17: *Decide* - ARENA

Nome	Tipo	Percentual Verdadeiro	Se	Nome da Variável	For	Valor
Qual Porto?	<i>N-way by Chance</i>	31.8 21.48 15.37				
Qual DWT LN?	<i>N-way by Chance</i>	8 10				
Qual o berco de tubarao?	<i>N-way by Chance</i>	23.97 13.14 8.25 18.43 6.57				
Qual DTW PD3?	<i>2-way by Chance</i>	42				
LS ocupado?	<i>2-way by Condition</i>		<i>Variable</i>	LS OCUPADO	>	0
LS atracado?	<i>2-way by Condition</i>		<i>Variable</i>	LS OCUPADO	>	0
LS ou PD3 ocupado?	<i>2-way by Condition</i>		<i>Expression</i>		>=	LS OCUPADO > 0 PD3 OCUPADO >0
Qual DWT LS?	<i>2-way by Chance</i>	37				
PD3 ocupado?	<i>2-way by Condition</i>		<i>Variable</i>	PD3 OCUPADO	>	0
PD3 atracado?	<i>2-way by Condition</i>		<i>Variable</i>	PD3 OCUPADO	>	0
LN e P2 ocupados?	<i>2-way by Condition</i>		<i>Expression</i>		>=	LN OCUPADO > 0 && P2 OCUPADO > 0
Qual DWT P2?	<i>N-way by Chance</i>	74 10				
Qual berco de Praia Mole?	<i>N-way by Chance</i>	14 12 23 26				
DWT CV1 acima de 80000	<i>2-way by Chance</i>	41				
DWT CV2 acima de 80000	<i>2-way by Chance</i>	75				
Qual berco Barra do Riacho?	<i>N-way by Chance</i>	4.8 14.67 24.53 24.80				
Qual o berco de Vitoria?	<i>N-way by Chance</i>	11.37 10.20 11.11 20 10.85 1.44 9.67 5.75 1.18 11.11				

Fonte: Elaboração Própria.

Para um melhor entendimento da Tabela 17 acima, cabe mencionar que na configuração desse bloco foi utilizado a opção *N-way-by chance*, quando em um processo de decisão existem vários caminhos de acordo com a probabilidade dos acontecimentos, *2-way by chance* quando existe apenas um caminho para verdadeiro e outro para falso e *2 way by condition* para decisões de acordo com uma determinada condição. Neste quesito tivemos duas situações distintas.

A primeira ocorrência é referente a averiguação se um determinado berço está ou não ocupado. Essa etapa é realizada por intermédio da verificação se o valor da variável correspondente é superior a zero.

Já a segunda situação diz respeito a verificação da combinação se dois berços estão ocupados. Nessa etapa foi elaborada uma expressão a qual verifica se uma variável e/ou outra possuem o valor maior que zero.

Com o intuito de garantir que apenas um navio permaneça atracado por vez em um determinado berço, foram utilizadas as funções *seize* e *release*, as quais alocam e liberam os recursos berços.

Como a configuração dos blocos acima mencionados são similares e dependentes, elas serão apresentadas em conjunto, lembrando que em ambos os casos os blocos foram nomeados com a ação que está ocorrendo, ou seja, se um determinado berço está sendo ocupado ou desocupado.

Cabe lembrar ainda que as colunas referentes às filas e ao grau de prioridade foram retiradas da tabela, pois em todos os casos a prioridade foi considerada como média e as filas são classificadas sempre com o mesmo nome do bloco criado.

As filas, entretanto, exercem um papel importante, pois representam o tempo que o navio aguarda para ser atendido, como se a embarcação estivesse no fundeadouro. Segue Tabela 18 com as informações descritas acima:

Tabela 18 –Seize e Release - ARENA

SEIZE			RELEASE		
Nome	Nome do Recurso	Quantidade	Nome	Nome do Recurso	Quantidade
Ocupando LN	Lado Norte	1	Desocupando LN	Lado Norte	1
Ocupando PD3	PD3	1	Desocupando PD3	PD3	1
Ocupando PD4	PD4	1	Desocupando PD4	PD4	1
Ocupando LS	LS	1	Desocupando LS	LS	1
Ocupando TGL	TGL	1	Desocupando TGL	TGL	1
Ocupando P2	P2	1	Desocupando P2	P2	1
Ocupando CV1	CV1	1	Desocupando CV1	CV1	1
Ocupando CV2	CV2	1	Desocupando CV2	CV2	1
Ocupando S1	S1	1	Desocupando S1	S1	1
Ocupando S2	S2	1	Desocupando S2	S2	1
Ocupando S3	S3	1	Desocupando S3	S3	1
Ocupando BR501	BR 501	1	Desocupando BR 501	BR 501	1
Ocupando BR502	BR 502	1	Desocupando BR 502	BR 502	1
Ocupando PCEL 101	PCEL 101	1	Deocupando PCEL 101	PCEL 101	1
Ocupando PCEL 102	PCEL 102	1	Deocupando PCEL 102	PCEL 102	1
Ocupando PCEL 103	PCEL 103	1	Deocupando PCEL 103	PCEL 103	1
Ocupando B201	B201	1	Desocupando B201	B201	1
Ocupando B202	B202	1	Desocupando B202	B202	1
Ocupando B203	B203	1	Desocupando B203	B203	1
Ocupando B204	B204	1	Desocupando B204	B204	1
Ocupando B206	B206	1	Desocupando B206	B206	1
Ocupando B903	B903	1	Desocupando B903	B903	1
Ocupando B905	B905	1	Desocupando B905	B905	1
Ocupando B101	B101	1	Desocupando B101	B101	1
Ocupando B102	B102	1	Desocupando B102	B102	1
Ocupando B103	B103	1	Desocupando B103	B103	1
Ocupando B906	B906	1	Desocupando B906	B906	1

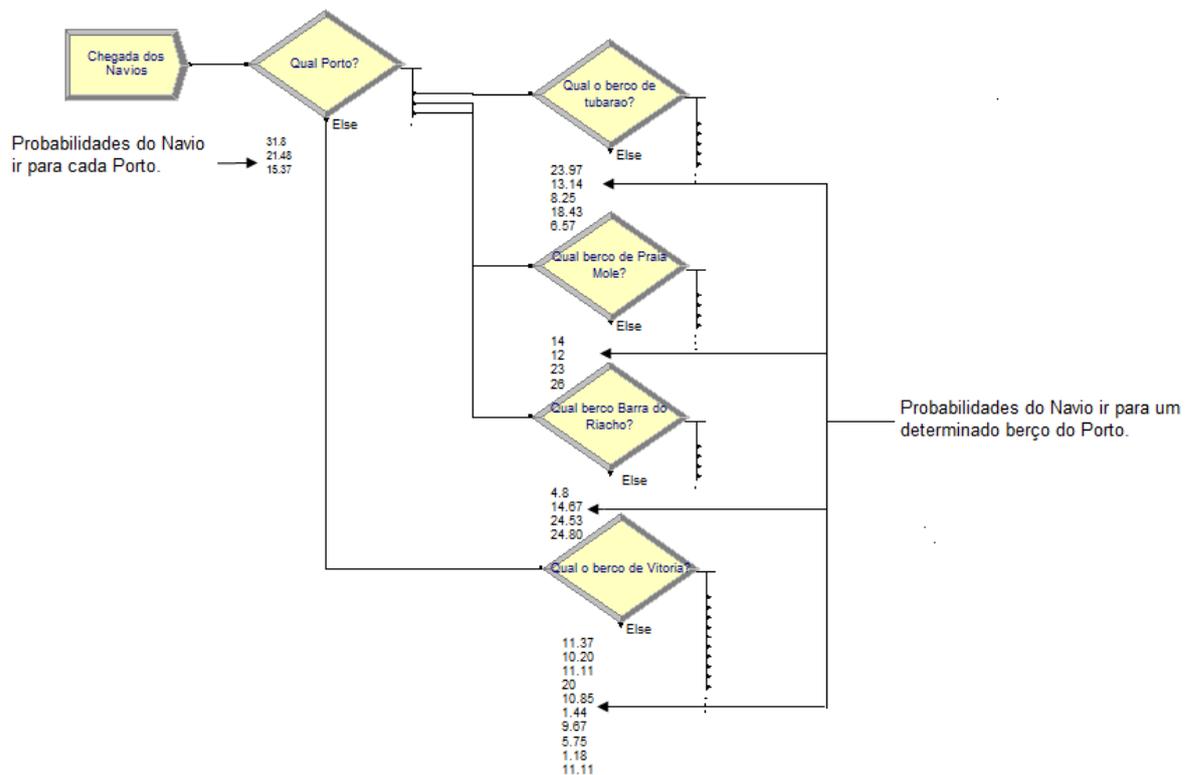
Fonte: Elaboração Própria.

Por fim, o último bloco utilizado foi o *dispose*, o qual retira os navios do sistema, neste caso cabe apenas mencionar que cada bloco foi nomeado de acordo com a saída dos navios de cada Porto.

Com o exposto acima, é possível ter em mente a ideia geral do funcionamento do modelo, o qual será apresentado por partes, com o intuito de facilitar o entendimento total. Cabe lembrar que o modelo inteiro pode ser visto no Apêndice A, no final deste trabalho.

A primeira parte do modelo engloba a entrada das entidades e a definição para qual Porto e qual berço a entidade irá. Como pode ser visto na Figura 05 abaixo:

Figura 05 –Chegada das entidades, definição do Porto e berço de atracação



Fonte: Elaboração Própria.

Com a análise do fluxograma acima, pode-se perceber que de todos os navios que chegam no Complexo Portuário do Espírito Santo, 31,8% vão para o Porto de Tubarão, 21,48 % para Praia Mole, 15,37% para Barra do Riacho e 31,35% para o Porto de Vitória.

Como mencionado, nessa etapa ainda foram definidas as probabilidades de atracação para cada berço por Porto. Dessa forma, de todos os navios que foram para o Porto de Tubarão, 23,97% foram para o LN, 13,14% para o PD3, 8,25% para o PD4, 18,43% para o LS, 6,57% para o TGL e 29,64% para o P2.

Referente ao Porto de Praia Mole, as probabilidades ficaram distribuídas da seguinte forma: 14% dos navios atracaram no CV1, 12% no CV2, 23% no S1, 26% no S2 e 25% no S3.

Em Portocel a distribuição foi a seguinte: 4,8% para o berço BR 501, 14,67% BR 502, 24,53% PCEL 101, 24,80% PCEL 102 e 31,20% PCEL 103.

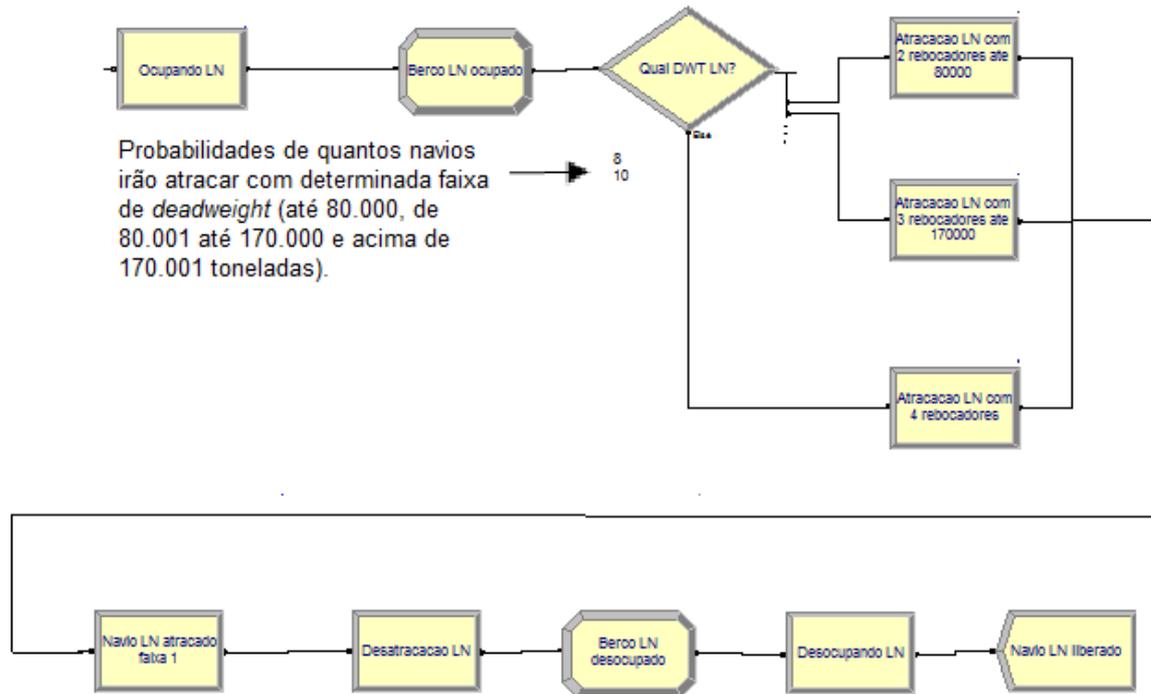
Por fim, no último bloco *decide*, foram inseridas as probabilidades para atracação de cada berço no Porto de Vitória, sendo 11,37% para B201, 10,20% B202, 11,11% B203, 20% B204, 10,85% B206, 1,44% B903, 9,67% B905, 5,75% B101, 1,18% B102, 11,11% B103 e 7,32% B906.

Como já citado, cada Porto possui regras específicas sobre a quantidade de rebocadores utilizada na atracação e desatracação dos navios, sendo que o Porto de Tubarão possui uma regra para cada berço, e por este motivo essa parte do fluxograma será apresentado por partes.

Por conseguinte, a próxima etapa de construção vem a ser a inserção das regras portuárias. A primeira a ser apresentada, diz respeito à atracação e desatracação dos navios no LN, a qual informa que navios com até 80.000 toneladas de porte bruto, deve atracar com 2 rebocadores, entre 80.001 e 170.000 são utilizados 3 rebocadores, e por fim navios com *deadweight* acima de 170.001 utilizam 4 rebocadores. Já para a desatracação são sempre utilizados 2 rebocadores, independente do porte bruto da embarcação.

Tal regra pode ser visualizada na Figura 06, a qual representa a movimentação do berço em questão.

Figura 06 – Atracação e Desatracação LN



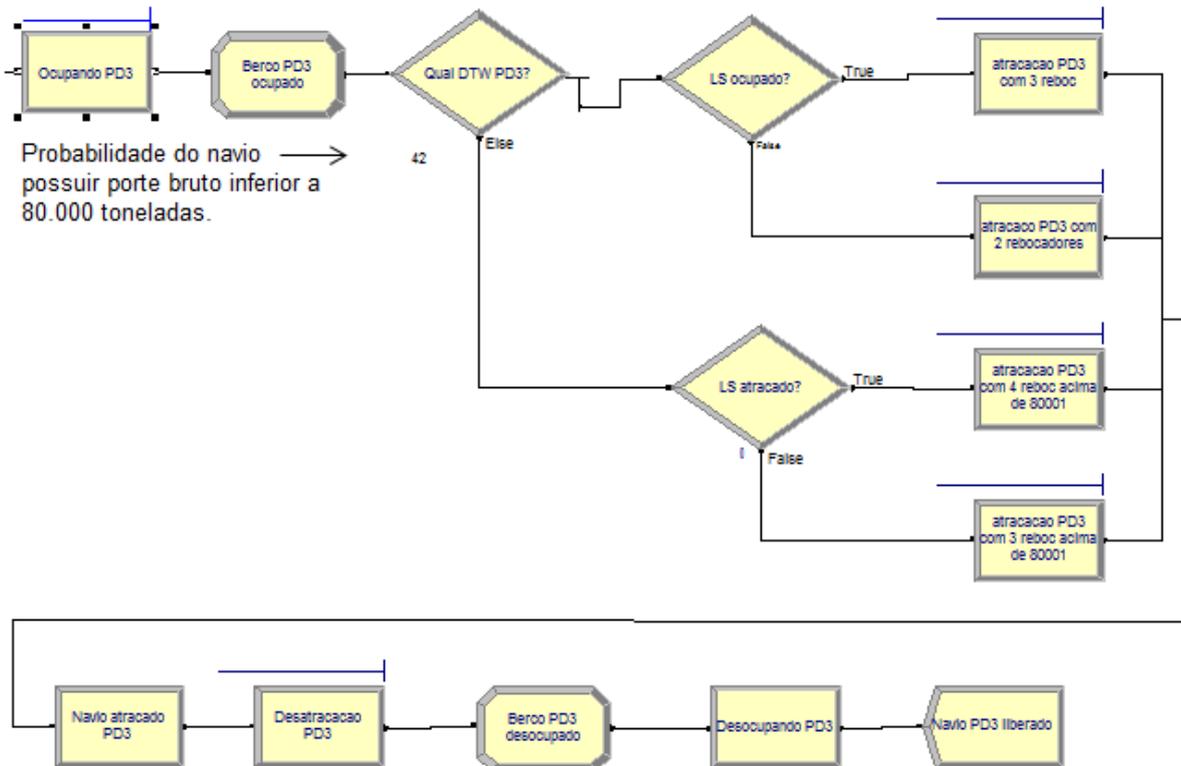
Fonte: Elaboração Própria.

Já no que diz respeito à atracação dos navios do PD3, a regra além de envolver a faixa de *deadweight* do navio engloba também a ocupação do berço LS.

Desta forma, o número de rebocadores utilizados na manobra de atracação, respeita a seguinte regra: navios com até 80.000 toneladas de porte bruto e o berço LS ocupado utiliza-se 3 rebocadores, navios com a mesma faixa de *deadweight*, mas com o LS desocupado, utiliza-se 2. No entanto, navios com porte bruto superior a 80.001 toneladas atracam com 4 rebocadores se LS estiver ocupado e com 3 caso contrário.

Assim como no LN, para a desatracação são sempre acionados 2 rebocadores. Segue Figura 07 representando esta parte do fluxograma:

Figura 07 - Atracação e Desatracação PD3



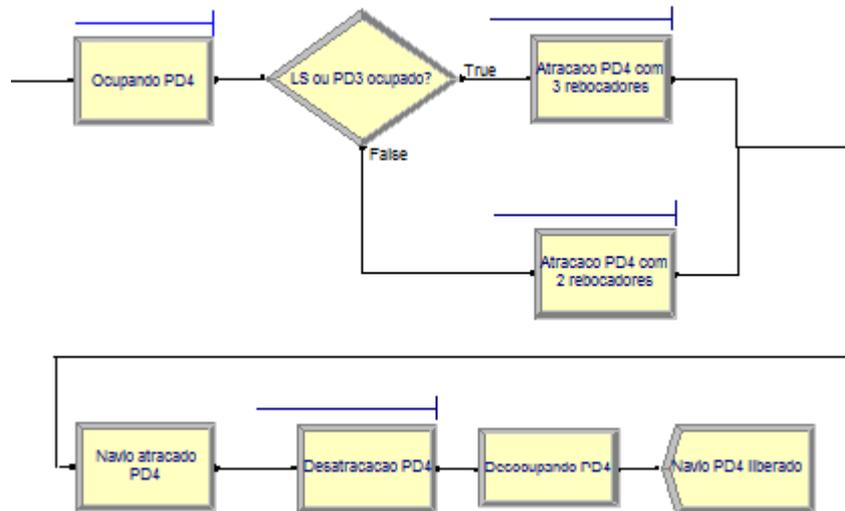
Fonte: Elaboração Própria.

O próximo berço a ser apresentado é o PD4, no qual o número de rebocadores utilizados na atracação depende somente se os berços LS ou PD3 estiverem ocupados.

Caso tal condição seja afirmativa, utiliza-se três rebocadores. Caso contrário, são empregados somente dois. Na desatracação são sempre utilizados dois rebocadores.

Segue Figura 08 com o detalhamento do fluxograma referente a etapa supracitada:

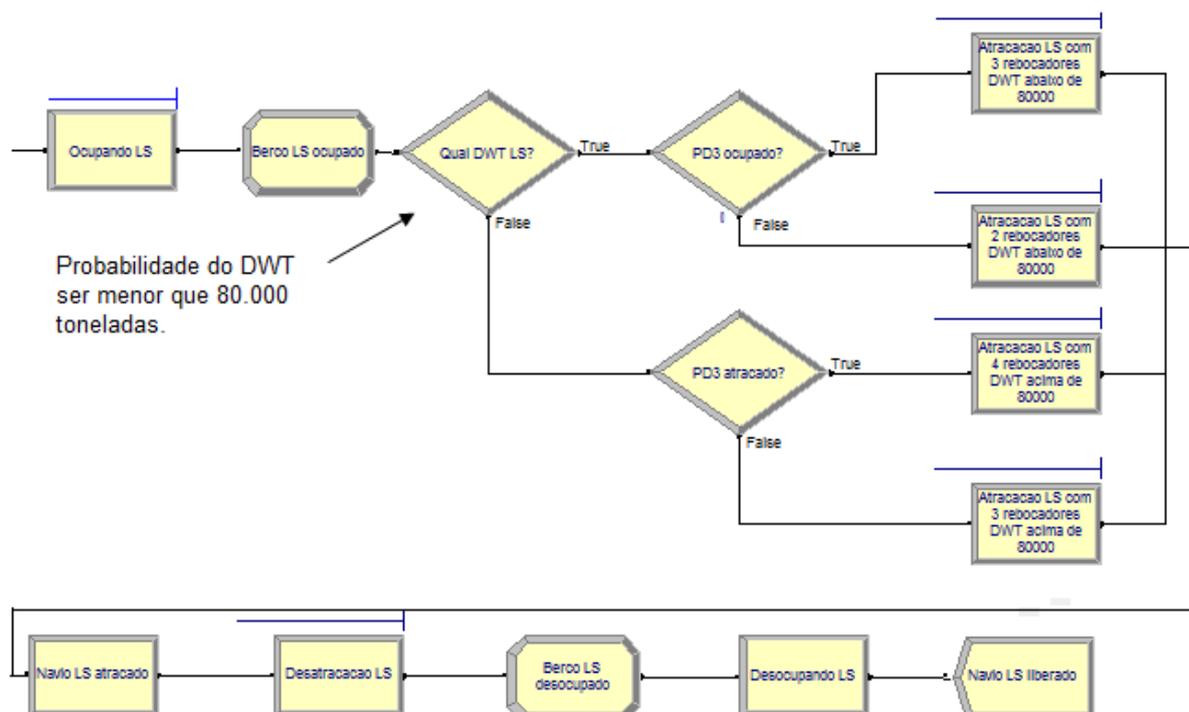
Figura 08 – Atracação e Desatracação PD4



Fonte: Elaboração Própria.

O LS possui regra semelhante ao do berço PD3, sendo que navios com porte bruto abaixo de 80.000 toneladas utilizam 2 rebocadores na entrada, mas se o LS estiver ocupado utiliza-se 3. Para navios com *deadweight* superior a 80.001 toneladas, utiliza-se 3 rebocadores, entretanto se o LS estiver ocupado deve-se utilizar 4, como pode ser visto na Figura 09.

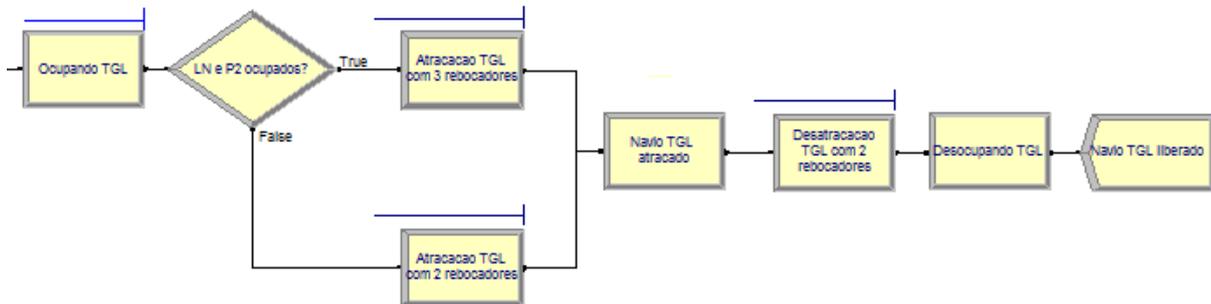
Figura 09 – Atracação e Desatracação LS



Fonte: Elaboração Própria.

A próxima parte do fluxograma a ser apresentada é referente a movimentação do TGL, no qual normalmente são utilizados dois rebocadores na entrada e dois na saída, com exceção apenas para a entrada quando o P2 e LN estiverem atracados, que são utilizados três rebocadores, como pode ser visto na Figura 10.

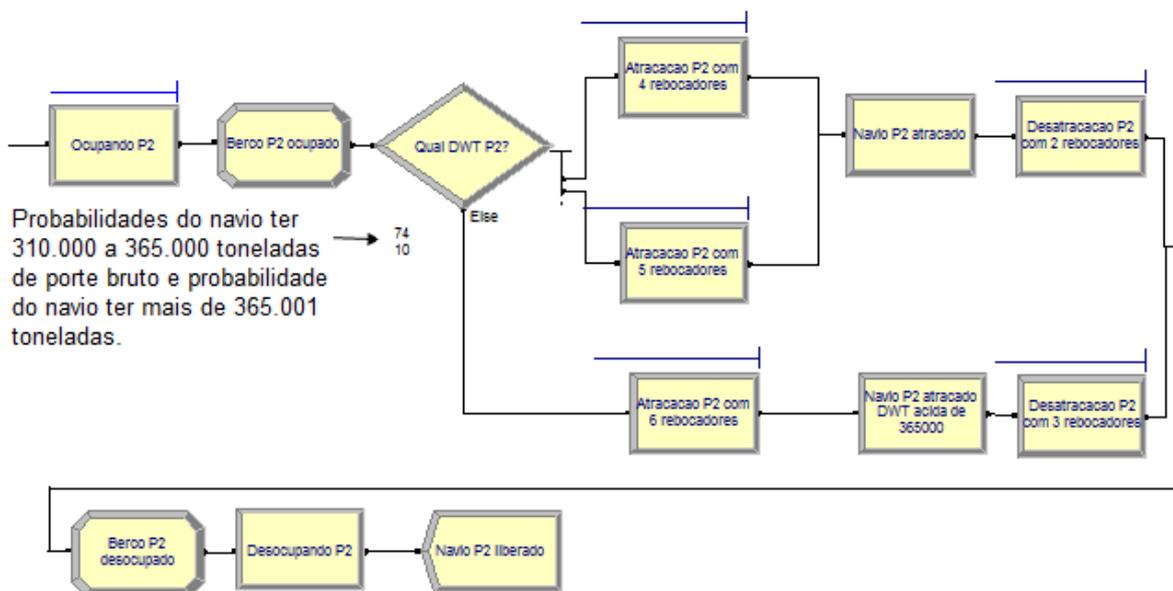
Figura 10 – Atracação e Desatracação TGL



Fonte: Elaboração Própria.

O último berço de Tubarão a ser apresentado é o P2, o qual para a atracação de navios com até a 310.000 utilizam quatro, de 310.001 a 365.000 toneladas utilizam cinco rebocadores e acima de 365.001 utilizam seis rebocadores. Já para a desatracação navios abaixo de 365.000 toneladas utilizam dois rebocadores e acima dessa faixa de *deadweight* utilizam três. Fluxograma apresentado na Figura 11

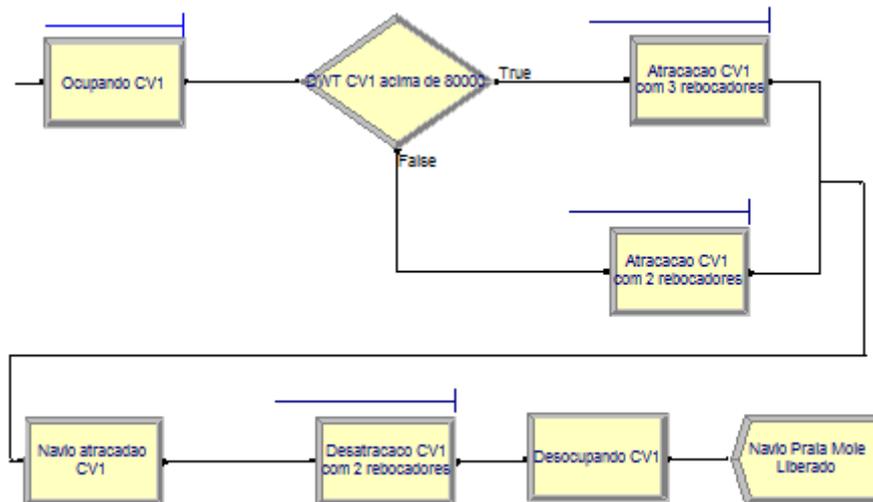
Figura 11 – Atracação e Desatracação P2



Fonte: Elaboração Própria.

Após apresentação do modelo referente a movimentação portuária no Porto de Tubarão, segue detalhamento do Porto de Praia Mole. Os berços CV1 e CV2, possuem a mesma regra de atracação, navios com porte bruto abaixo de 80.000 entram com dois rebocadores e acima utilizam três rebocadores. Já para a desatracação são utilizados sempre dois rebocadores. Como os dois fluxogramas possuem a mesma dinâmica será apresentada apenas a parte do CV1 na Figura 12. Já para o fluxo do CV2 serão alterados apenas o nome dos blocos e as configurações internas dos mesmos.

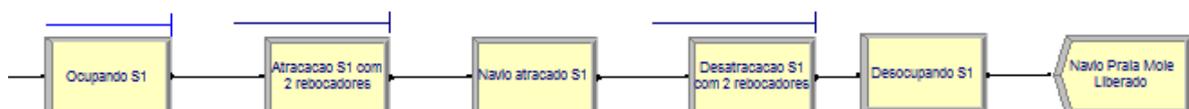
Figura 12 – Atracação e Desatracação CV1 e CV2



Fonte: Elaboração Própria.

Assim como a regra dos berços, CV1 e CV2 são iguais, a regra para os berços S1, S2 e S3, também são iguais, porém para esses berços são utilizados sempre dois rebocadores independente da manobra e do tamanho do navio. Segue Figura 13 com o fluxograma do berço S1, representando os três berços restantes de Praia Mole.

Figura 13 – Atracação e Desatracação dos berços S1, S2 e S3



Fonte: Elaboração Própria.

Os Portos de Vitória e Barra do Riacho utilizam sempre dois rebocadores para atracação e desatracação. Por esse motivo e para facilitar a visualização do fluxo, segue Figura 14 com fluxograma ilustrativo da movimentação desses Portos. Cabe mencionar que, no modelo real, foi feito um fluxo para cada berço, pois o tempo de permanência e a taxa de ocupação de cada berço são distintos. Lembrando mais uma vez, que o fluxograma completo pode ser visto no Apêndice A.

Figura 14 – Esquema de Atracação e Desatracação no Porto de Vitória e Barra do Riacho



Fonte: Elaboração Própria.

Antes de apresentar a próxima etapa, a validação do modelo, é importante mencionar que para o desenvolvimento do trabalho as manobras de Porto foram desconsideradas, pois as mesmas ocorrem apenas no Porto de Vitória e sua incidência é muito baixa (noventa ocorrências em um universo de duas mil quatrocentas e quarenta movimentações de navios), e por este motivo, não geram um impacto significativo no resultado do modelo.

Outra situação não abordada é a solicitação de rebocadores extras durante a manobra. Assim como no item anterior, o impacto é mínimo e só ocorre quando há condições climáticas severas.

4.2. VALIDAÇÃO DO MODELO

Como já abordado, após a construção do modelo, é necessário validá-lo. Para tanto, o modelo foi simulado dez vezes por um período de um ano, sendo que para a modelagem ser considerada válida, busca-se uma diferença da realidade de no máximo 3%.

O foco do modelo desenvolvido é a utilização dos rebocadores, por tanto nesta etapa está a primeira comparação feita. No ano de 2016, os rebocadores portuários disponíveis em todo o complexo portuário capixaba, foram utilizados 11.108 vezes.

Já na simulação do modelo desenvolvido, tais embarcações foram acionadas 10.913 vezes, o que gera uma margem de erro de 1,76%, ou seja, o critério de utilização dos rebocadores foi validado.

A segunda parte da validação diz respeito ao número de navios atendidos. Neste ponto, tanto no sistema real, quanto no modelo simulado, foram considerados o número de navios que entraram e saíram do sistema, ou seja, atracaram e desatracaram no período estudado.

Dessa forma, no sistema real tiveram 2422 navios movimentados e na simulação realizada 2371 navios, o que gera um erro de 2,15%, validando assim o critério de navios atendidos.

Como os dois erros obtidos foram inferiores a 3%, o modelo foi considerado válido, ou seja, representa uma aproximação da realidade da movimentação do Complexo Portuário do Espírito Santo. Lembrando que o relatório final gerado pelo ARENA® pode ser visualizado no Apêndice B.

Apesar terem sido utilizados dois critérios para a validação do modelo, os quais estão intimamente ligados ao papel dos rebocadores no complexo portuário, há outro ponto que ainda poderia ter sido utilizado nesta etapa. Entretanto tal comparativo não foi possível por falta informações reais e globais para verificação da distorção do modelo para com a realidade.

O critério diz respeito à taxa de ocupação ²⁰ dos berços e dos rebocadores. Tais dados são interessantes para a tomada de decisões e apuro da produtividade das empresas de rebocadores bem como da otimização da ocupação dos berços.

Com a aplicação do modelo, foi possível identificar as taxas de ocupação dos rebocadores, berços e Portos. No que tange a ocupação dos rebocadores, averiguo-se que os mesmos são utilizados apenas 19,41% do tempo, ou seja, possuem uma taxa de ociosidade com cerca de 80%.

Já no que diz respeito as taxas de ocupação dos berços e portos, pode-se auferir qual o berço de maior taxa de ocupação, bem como o Porto, como pode ser visualizados nas tabelas 19 e 20.

²⁰ A taxa de ocupação dos rebocadores diz respeito ao tempo que os rebocadores permaneceram em operação durante o ano de 2016. Já a taxa de ocupação dos berços corresponde ao tempo que o mesmo permaneceu ocupado (com navio atracado), durante o período estudado.

Tabela 19 – Taxa de Ocupação

Taxa de Ocupação por Porto	
Porto de Praia Mole	91,11%
Porto de Tubarão	74,41%
Porto de Barra do Riacho	64,80%
Porto de Vitória	44,85%

Fonte: Elaboração Própria.

Segundo o modelo, o Porto com maior movimento é o de Praia Mole, com 91,11%, seguido por Tubarão com 74,41%, Barra do Riacho 64,80% e Porto de Vitória, com 44,85%.

Tabela 20 – Ranking dos Berços com Maior Taxa de Ocupação

Berços com maior taxa de ocupação		
	Berço	Ocupação
Porto de Barra do Riacho	Pcel103	99,97%
Porto de Praia Mole	CV1	94,50%
Porto de Tubarão	P2	92,37%
Porto de Vitória	B206	74,02%

Fonte: Elaboração Própria.

Já referente aos berços que tiveram maior taxa de ocupação de cada Porto são: Pcel 103, no Porto de Barra do Riacho, CV1 em Praia Mole, P2 em Tubarão e B203 em Vitória.

Cabe mencionar neste ponto, que para a análise desse dado com relação a utilização dos rebocadores, deve-se tomar cuidado com o número de movimentações do berço, visto que é possível um berço ter maior taxa de ocupação, com menor movimentação de rebocadores.

Por exemplo, se um navio permanecer 365 dias atracado em um determinado berço, o mesmo terá ocupação de 100%, entretanto sem portuária, ou seja, sem a utilização dos rebocadores seria de 0%.

Neste ponto, cabe ainda fazer uma correlação das taxas de ocupação com a quantidade de atracções realizadas em cada Porto. Como visto no item 3.1 do Capítulo de metodologia, o qual diz respeito a parametrização do modelo, quase 65% das movimentações dos navios ocorreram nos Portos de Tubarão e Vitória (31,35% e 31,80% das atracções respectivamente). Entretanto, o porto de Vitória é

o que teve menor taxa de ocupação e o Porto de Tubarão teve o segundo maior índice, tal fato comprova que uma maior taxa de ocupação não implica em uma maior movimentação portuária.

Com base no que foi mencionado acima, pode-se dizer que além de representar uma aproximação da realidade, o modelo permite analisar outros dados que poderiam auxiliar a tomada de decisão de uma empresa, como é o caso da taxa de utilização dos berços e dos rebocadores.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A priori, a pesquisa teve como objetivo geral desenvolver e validar um modelo matemático que permitisse representar o cenário atual do Complexo Portuário do Espírito Santo, no que diz respeito à atuação dos rebocadores em 2016. Já os objetivos específicos foram definidos como apresentar a atividade portuária, analisar o movimento no complexo portuário capixaba, modelar a movimentação portuária, e por fim simular e validar o modelo apresentado.

No decorrer do desenvolvimento do estudo tais questões foram abordadas no quesito teórico e prático, ou seja, durante a pesquisa bibliográfica, coleta e análise dos dados compilados, buscando sempre identificar suas referidas respostas.

No que tange ao desenvolvimento do modelo matemático, averiguou-se ser possível desenvolver uma modelagem válida para toda a movimentação portuária.

Já durante a exposição teórica sobre o tema, pode-se entender o que é um Porto, seu funcionamento e seu papel no desenvolvimento econômico do país, como as operações portuárias acontecem, o que é um rebocador e qual o seu papel dentro dos terminais, quais os tipos de rebocadores existentes, assim como compreender o que é pesquisa operacional, quais as ferramentas de maior relevância, o que é simulação, qual o seu papel na tomada de decisão das empresas e por fim o que é o *software* Arena, como ele funciona e sua aplicabilidade.

Devido à falta de acesso as informações sobre o tempo de permanência dos navios na área de fundeio e sobre a prioridade da ordem de atracação, não foi possível confirmar a hipótese de que aplicar a teoria de filas determinaria o número de rebocadores necessários para atender toda a demanda de navios do complexo portuário capixaba de forma eficiente. Porém, com o desenvolvimento do modelo válido, essa hipótese ainda poderá ser verificada em estudos futuros.

Outras questões ainda poderão ser estudadas e aprimoradas, como a aplicação da teoria de filas com o intuito de dimensionar o número de rebocadores ideal para atender todo o complexo portuário, otimizando sua atuação e minimizando o tempo ocioso das embarcações.

Também é possível aplicar a lógica do modelo desenvolvido em outros Portos brasileiros, bem como incluir informações monetárias e definir o número de rebocadores ideal para uma determinada empresa.

No trabalho realizado, foi considerado o número total de rebocadores disponível em todos os Portos capixabas. Entretanto, seria possível ainda diferenciar os rebocadores de cada empresa, proporcionando assim uma análise mercadológica prática, e dessa forma, permitir que as empresas de apoio portuário aloquem seus rebocadores nos Portos brasileiros da maneira mais eficiente possível.

Referente à parte monetária, seria exequível inserir informações sobre o preço das manobras, permitindo ainda uma análise entre o valor gerado para uma determinada empresa versus o custo daquela embarcação.

Outra possibilidade existente é a verificação da necessidade de um rebocador a mais para uma empresa. Para tanto, seria plausível uma análise de quantos rebocadores extras foram necessários para atender um determinado contrato, visto que alguns navios atracam com quatro rebocadores e se uma empresa tiver apenas três disponíveis no momento da manobra, ela precisaria utilizar um de seu concorrente. A ideia neste momento seria verificar até que ponto essa subcontratação seria viável.

Com base no que foi exposto, pode-se afirmar que o presente trabalho cumpriu seu objetivo geral, desenvolvendo um modelo matemático válido, por intermédio do software ARENA®, permitindo assim que todas as movimentações portuárias, incluindo as movimentações dos rebocadores, fossem simulados de uma forma que represente de forma aceitável o sistema real.

REFERÊNCIAS

AGENCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO. **Resolução Nº 1766 de 23 de julho de 2010**. Aprova a norma que estabelece as atividades executadas nos Portos e terminais aquaviários por empresas brasileiras de navegação autorizadas a operar na navegação de apoio portuário. Brasília, 2010. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/Portal/pdfSistema/Publicacao/0000005033.pdf>> Acesso em: 20 de maio 2017.

ALMEIDA, Bruno. Z. S. **Principais Características e Problemas dos Portos do Brasil**. 2011. 76f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Construção Naval) – Universidade Estadual da Zona Oeste, Rio de Janeiro, 2011.

ANDRADE, Eduardo Leopoldino de. **Introdução à pesquisa operacional**, 4ed. Rio de Janeiro: LTC.2012.

BARRADAS FILHO, Luiz Carlos de Almeida. **Uma análise dos mercados de rebocadores portuários**. Dissertação 2009. 133 f. Dissertação de mestrado (Engenharia Oceânica). COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro.2009.

BARROS, Geraldo Luiz Miranda de, **Navegar é fácil**, 11 ed. Rio de Janeiro: Catau. 2001.

BELFIORE, Patrícia, FÁVERO, Luiz Paulo. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier. 2013.

BERGER, Flávio Roberto. **Portos e Terminais do Brasil**. 4. ed. Joinville: Fotoimagem, 2016.

BERNARDINO, José Carlos, M. **Abordagem experimental para avaliação de manobras de navios em modelos físicos de espaços náuticos**. 2015. 300f. Tese (Doutor em Engenharia) – Universidade de São Paulo, Escola Técnica, 2015.

BOAVENTURA, Edivaldo M. **Metodologia da Pesquisa**: monografia, dissertação, tese. 1.ed. 5reimpr. São Paulo: Atlas, 2011.

BÓSIO, F. C. Ângela de. **A política pública e os Portos brasileiros. Casos de estudo**: Terminais privados de Contêineres do Porto de Santos. 2013, 267f. Dissertação (Mestre em Planejamento e Governança Pública) – Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2013.

BRASIL, Legislação Complementar, lei nº 12.815, de 05 de junho de 2013. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2013/Lei/L12815.htm> Acesso em: 07 de nov. 2016.

BRASIL, Portal Planalto, **Investimentos impulsionaram modernização do setor portuário no Brasil em primeira fase de programa**. jun. 2015. Disponível em: <<http://www2.planalto.gov.br/noticias/2015/06/investimentos-impulsionam-modernizacao-do-setor-portuario-no-brasil>> Acesso em: 13 de nov. 2016.

BRIGHENTI, José Renato N. **Simulação e otimização de uma linha de manufatura em fase de projeto**, 2006. 113f. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção). Universidade Federal de Itajubá, 2006.

CAPITANIA DOS PORTOS DO ESPÍRITO SANTO. **Normas e Procedimentos**, NPCP-ES, 2016.

CHAVES, Viviane H. C. **Perspectivas históricas da Pesquisa Operacional**. 2011. 118 f. Dissertação de Mestrado (Educação Matemática). Universidade Estadual Paulista. 2011.

COMPLEXO portuário do Espírito Santo é o maior da América Latina, **Folha Vitória**, Vitória, 06 fev. 2012. Disponível em: <<http://www.folhavitoria.com.br/economia/noticia/2012/02/complexo-portuario-do-es-e-o-maior-da-america-latina.html>> Acesso em: 22 de ago. 2016.

CORDEIRO, Evilane L. Pesquisa Operacional: Modelagem Matemática na Tomada de Decisão de Ações Administrativas. **Revista São Luis Orione**. v. 1, n.3, jan- dez. 2009. Disponível em: < <http://www.catolicaorione.edu.br/portal/wp-content/uploads/2015/01/Pesquisa-Operacional-Modelagem-Matem%C3%A1tica-na-Tomada-de-Decis%C3%A3o-de-A%C3%A7%C3%B5es-Administrativas-Revista-S%C3%A3o-Luis-Orione-v.-1-n.-3-jan.dez.-2009.pdf>> Acesso em: 20 de maio 2017.

CUTRIM, Sergio S. ROBLES, Léo T. PEREIRA, Newton N. (Org). **Tópicos Estratégicos Portuários**, v. 1, São Luis: EDUFMA, 2015.

DIÁRIO OFICIAL, nº123 de 27 de jun de 1996. Seção I. Disponível em: <<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/servlet/INPDFViewer?jornal=1&pagina=18&data=27/06/1996&captchafield=firistAccess>> Acesso em: 08 de nov. de 2016.

DICIONÁRIO BÁSICO PORTUÁRIO, 2.ed., 2011. Disponível em:<<http://www.Portosdoparana.pr.gov.br/arquivos/File/dicionario2011.pdf>> Acesso em: 30 de abr. de 2017.

FOGLIATTO, Flávio. **Pesquisa Operacional**. Engenharia de Produção. DEPROT / UFRGS, [20--]. Disponível em: < http://www.producao.ufrgs.br/arquivos/disciplinas/382_po_apostila_completa_mais_livro.pdf > Acesso em: 03 de fev. 2017.

FRAGOSO Otávio A. CAJATY Marcelo, **Rebocadores portuários**. Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Praticagem, 2002.

GASTON, M. J. **Tugs today, modern vessels and towing techniques**, California: Haynes Publishing, 1996.

GAVIRA, Muriel de O. **Simulação computacional como uma ferramenta de aquisição de conhecimento**. Dissertação 2003. 163 f. Dissertação de Mestrado (Engenharia de Produção). Universidade de São Paulo. 2003.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 1991.

HILLER, Frederick S., LIBERMAN, Gerald J. *Introdução à pesquisa operacional*. Ed. 9 São Paulo: AMGH editora, 2013.

JANKOVSKI, Rafael, **Natureza e regime jurídico do serviço de praticagem portuária**, 2015. 139f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Direito) - Universidade Federal do Paraná, 2015.

LISBOA, Eurico F. A. **Pesquisa Operacional**. 57f. fev. 2002. Disponível em: <http://www.engenharia-puro.com.br/edwin/PO-l/po_EricoLisboa.pdf> Acesso em: 07 de fev. 2017

LUDOVICO, Nelson. **Logística internacional: um enfoque em comércio exterior**. São Paulo: Saraiva, 2007.

MADAGASCAR, Arthur, **O trabalho nos terminais de combustíveis**, 1ed. São Paulo: Biblioteca24horas, 2014.

MARTINS, Eliane M. Octaviano, **Curso de direito marítimo**, vol. 1, 4ed. Barueri: Manoele, 2013.

MATHEDI, Josué, O. P. **Embarcações de apoio à exploração de petróleo e gás**. Santos: 2010.

MAYER, Giovanna, **Regulação portuária brasileira: uma reflexão sob a luz da análise econômica do direito**, 2009, 160f. Dissertação (Mestre em Direito). Universidade Federal do Paraná, 2009.

MENDONÇA, Paulo C. C., KEEDI, Samir. **Transportes e Seguros no Comércio Exterior**. São Paulo: Aduaneiras, 2000.

MORABITO, Reinaldo *et. al.* **Pesquisa Operacional**, 2 ed. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil, 2007.

MOREIRA, Daniel Augusto, **Pesquisa Operacional: Curso Introdutório**, 2ed. São Paulo: Cengage Learning, 2011.

NEVES, Cheryl, L. **Sistema Portuário Brasileiro e sua Eficiência: Um Estudo sobre o Porto de Santos**, 2010, 101f. Monografia (Bacharel em Ciências Econômicas). Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

PRADO, Darci. **Usando o ARENA em simulação**. 4ed. Belo Horizonte: INDG TecS, 2010.

POLETTTO, Fernando M., **Determinação das possíveis áreas de risco atingidas por um derrame hipotético de óleo na área de fundeio do Porto de Itajaí – SC utilizando o modelo numérico DELFT3D**, 2013, 95f. Monografia (Bacharel em oceanografia). Universidade do Vale de Itajaí, 2013.

RABELO, Ricardo, J. **Manual do ARENA 9.0**. [S.l.: s.n., [20--]].

RADISIC, Zoran, **Principal types and characteristics of harbour tugs**, Promet – Traffic – Traffico, Vol. 15, 2003, nº 6, p.381-386. Disponível em: <<http://www.fpz.unizg.hr/traffic/index.php/PROMTT/article/viewFile/905/756>> Acesso em: 14 de nov. de 2016.

SCHEIN, Diana, **Uma metodologia para o dimensionamento de frota de rebocadores em terminais portuários**: uma aplicação ao Porto de Rio Grande, 2010, 109f. Dissertação (Mestre em engenharia oceânica). Universidade Federal do Rio Grande, 2010.

SEQUEIRA, A. Figueiredo, **A função logística dos Portos**, julho 2002. Disponível em: < <http://www.guialog.com.br/ARTIGO335.htm>> Acesso em: 28 de maio de 2017.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL, **Fundamentos portuários e retroportuários**. São Paulo: SENAI - SP Editora, 2014.

SHIPOWNERS, Security for Small & Specialist Vessels, **Loss Prevention: Tugs and Tows – A Practical Safety and Operational Guide**, 2015.

SILVA, Edna Lúcia da, MENEZES Estera Muszkat, Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação, 4ª ed. rev. atual. Florianópolis: USFC, 2005. Disponível em: <https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf> Acesso em: 26 de set. de 2016.

SILVA, Rogério de Castro, **Arte naval moderna**: aparelho e manobra dos navios, 2ed. 1949, Lisboa: Editorial de Marinha.

TRANSPORTE de cargas: modais e segmentos, **SEBRAE**, 2014. Disponível em: <http://www.sebraemercados.com.br/wp-content/uploads/2015/12/Mar_Serv_Transp_Cargas.pdf> Acesso em: 22 de ago. 2016.

TRANSPORTES, PORTOS e AVIAÇÃO CIVIL, Hidrovias, Transporte Aquaviário, Ministério dos transportes. 12/11/2014. Disponível em: <www.transportes.gov.br/transporte-aquaviario.html> Acesso em: 18 de ago. 2016.

APÊNDICES

**APENDICE A – MODELO DA MOVIMENTAÇÃO PORTUÁRIA PARA O
COMPLEXO PORTUÁRIO DO ESPÍRITO SANTO**

APÊNDICE B – RELATÓRIO DO ARENA

21:47:24

Category Overview

maio 28, 2017

Values Across All Replications

Unnamed Project

Replications: 10

Time Units: Hours

Key Performance Indicators

System

Average

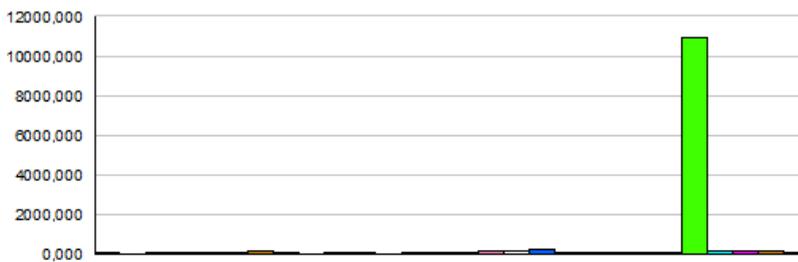
Number Out

2.371

Resource

Usage

Total Number Seized	Average	Half Width	Minimum Average	Maximum Average
B101	40,5000	5,89	28,0000	55,0000
B102	8,8000	2,23	4,0000	14,0000
B103	83,0000	7,64	65,0000	99,00
B201	85,3000	4,12	76,0000	96,0000
B202	76,4000	6,81	59,0000	89,0000
B203	81,2000	5,02	71,0000	92,0000
B204	157,20	10,77	128,00	179,00
B206	88,7000	5,17	81,0000	101,00
B903	11,1000	1,41	8,0000	14,0000
B905	74,4000	5,44	65,0000	87,0000
B906	55,3000	2,94	50,0000	64,0000
BR 501	19,9000	4,38	12,0000	28,0000
BR 502	54,1000	4,53	48,0000	70,0000
CV1	74,5000	2,91	67,0000	80,0000
CV2	58,2000	4,79	47,0000	67,0000
Lado Norte	182,80	8,67	164,00	200,00
LS	145,80	8,66	129,00	161,00
P2	223,60	10,25	204,00	244,00
PCEL 101	95,5000	5,68	85,0000	110,00
PCEL 102	75,7000	7,31	65,0000	92,0000
PCEL 103	82,4000	7,39	66,0000	99,00
PD3	99,20	7,11	83,0000	114,00
PD4	68,8000	6,69	59,0000	85,0000
REBOCADOR	10912,80	78,24	10703,00	11072,00
S1	118,10	7,56	102,00	130,00
S2	132,10	7,45	117,00	147,00
S3	127,30	4,02	119,00	135,00
TGL	54.5000	4.01	48.0000	66.0000



ANEXOS

ANEXO A – REGRAS PARA UTILIZAÇÃO DE REBOCADORES NO PORTO DE TUBARÃO

PORTO DE TUBARÃO				
BERÇO	MANOBRA	DWT DO NAVIO	QUANTIDADE MÍNIMA DE REBOCADORES	OBSERVAÇÃO
P2	ENTRADA	ATÉ 310.000	4	x
		310.001 A 365.000	5	x
		ACIMA DE 365.001	6	x
	SAÍDA	ATÉ 365.000	2	x
		ACIMA DE 365.001	3	x
LN	ENTRADA	ATÉ 80.000	2	x
		DE 80.001 A 170.000	3	x
		ACIMA DE 170.001	4	x
	SAÍDA	QUALQUER DWT	2	x
TGL	ENTRADA	QUALQUER DWT	2	ESTANDO LN E P2 OCUPADOS UTILIZAR MAIS 1 REBOCADOR
	SAÍDA	QUALQUER DWT	2	x
LS	ENTRADA	ATÉ 30.000	2	x
		DE 30.001 A 80.000	2	ESTANDO PD3 OCUPADO, UTILIZAR MAIS 1 REBOCADOR
		ACIMA DE 80.001	3	ESTANDO PD3 OCUPADO, UTILIZAR MAIS 1 REBOCADOR
	SAÍDA	QUALQUER DWT	2	x
PD3	ENTRADA	ATÉ 30.000	2	x
		DE 30.001 A 80.000	2	ESTANDO LS OCUPADO, UTILIZAR MAIS 1 REBOCADOR
		ACIMA DE 80.001	3	ESTANDO LS OCUPADO, UTILIZAR MAIS 1 REBOCADOR
	SAÍDA	QUALQUER DWT	2	x
PD4	ENTRADA	ATÉ 30.000	2	x
		ACIMA DE 30.000	3	ESTANDO LS OU PD3 OCUPADO, UTILIZAR MAIS 1 REBOCADOR
	SAÍDA	QUALQUER DWT	2	x

Fonte: Dados da SAAM SMIT Towage Brasil.

ANEXO B – REGRAS PARA UTILIZAÇÃO DE REBOCADORES NO PORTO DE PRAIA MOLE

PORTO DE PRAIA MOLE				
BERÇO	MANOBRA	DWT DO NAVIO	QUANTIDADE MÍNIMA DE REBOCADORES	OBSERVAÇÃO
CV1 E CV2	ENTRADA	ATÉ 80.000	2	x
		ACIMA DE 80.001	3	x
	SAÍDA	QUALQUER DWT	2	x
S1,S2 E S3	ENTRADA	QUALQUER DWT	2	x
	SAÍDA	QUALQUER DWT	2	x

Fonte: Dados da SAAM SMIT Towage Brasil.

ANEXO C – REGRAS PARA UTILIZAÇÃO DE REBOCADORES NO PORTO DE VITÓRIA E BARRA DO RIACHO

PORTO DE VITÓRIA E BARRA DO RIACHO				
BERÇO	MANOBRA	DWT DO NAVIO	QUANTIDADE MÍNIMA DE REBOCADORES	OBSERVAÇÃO
TODOS	ENTRADA	QUALQUER DWT	2	x
	SAÍDA	QUALQUER DWT	2	x

Fonte: Dados da SAAM SMIT Towage Brasil.