UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE SISTEMAS LOGÍSTICOS
GUILHERME BANDONES CORRÊA

Dimensionamento de um sistema de transporte containerizado dedicado
à cabotagem

São Paulo

2019

GUILHERME BANDONES CORRÊA

Dimensionamento de um sistema de transporte containerizado dedicado
à cabotagem

Dissertação apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração:
Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador: Prof. Dr. Rui Carlos Botter

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catálogo-na-publicação

Corrêa, Guilherme Bandones

Dimensionamento de um sistema de transporte containerizado dedicado à cabotagem / G. B. Corrêa -- versão corr. -- São Paulo, 2019.

77 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Produção.

1.CABOTAGEM 2.SIMULAÇÃO 3.CONTÊINERES I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

DEDICATÓRIA

A Rafael Alves Corrêa e à Rosana Bandones,
exemplos de vida, dedicação e superação.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Professor Doutor Rui Carlos Botter, pelos ensinamentos passados, pela oportunidade concedida, pela orientação e pela confiança que depositou em mim.

Aos professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo pela paciência e dedicação nas disciplinas.

A todos do Centro de Inovação em Logística e Infraestrutura Portuária da USP, pelo apoio e amizade durante todo esse processo.

Aos amigos Renan Sallai, Julia Amaral, Fabio Emanuel e Maurício Vinícios que sempre me socorreram nas dificuldades desse projeto.

À Janaina Carli de Freitas pela companhia e suporte em todas as horas mais difíceis e turbulentas desse trabalho.

À minha família que sempre me apoiou em todos os meus sonhos.

Resumo

O Brasil possui uma matriz de transporte onde apenas 13% das cargas utilizam vias marítimas, o que não condiz com a realidade de seu território, onde sua extensa área e litoral fazem do modal aquaviário uma importante alternativa na movimentação de cargas. Nesse contexto, o presente trabalho simulou um sistema de cabotagem onde navios circulam entre três portos dedicados, localizados em Suape, Santos e Rio Grande, e tem como objetivo dimensionar o número de berços por porto e a número e tamanho dos navios necessários para transportar, exclusivamente por contêineres, uma parcela da carga rodoviária. O trabalho considera as atividades de pré-operação, operação (carregamento e descarregamento), pós-operação, viagem entre portos e eventuais filas de entrada, em uma abordagem estocástica desses fatores, além do balanceamento e movimentação de contêineres vazios. Os resultados mostram que o tamanho da infraestrutura necessária para a implementação de um sistema dedicado à cabotagem é viável e seria uma alternativa para melhorar o sistema de transporte de carga entre os estados estudados.

Palavras-chave: Cabotagem, dimensionamento de frota, transporte, simulação, contêiner.

Abstract

Only 13% of Brazilian loads are transported by ships, which does not match the reality of its territory, where its extensive area and coastline make the waterway mode an important alternative in cargo handling. In this context, the present work aims to simulate a short sea shipping system where ships circulate between three dedicated ports, located in Suape, Santos and Rio Grande, in order to size the number of berths per port and the number and size of the ships necessary to transport, exclusively by containers, a portion of the road load. The work considers the pre-operation, operation (loading and unloading), post-operation, travel between ports and eventual entry queues, in a stochastic approach of these factors, and beside that the balancing and movement of empty containers. The results show that the infrastructure size required for the implementation of a short sea shipping system is feasible and would be an alternative to improve the system of cargo transportation among the states studied.

Keywords: Short sea shipping, fleet sizing, transport, simulation, container.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Circuito do sistema projetado Fonte: O autor.....	40
Figura 2 - STS sobre trilhos.....	42
Figura 3 - Fluxograma de elaboração de uma simulação Fonte: José e Porto (1999)	46
Figura 4 - Modelo Conceitual	49
Figura 5 - Esquema de cargas transportadas	51

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Custo logístico em relação ao PIB Fonte: ILOS (2015)	14
Gráfico 2 - Toneladas movimentadas por cabotagem Fonte: ANTAQ (2016)	16
Gráfico 3 - Principais mercadorias transportadas por cabotagem no Brasil Fonte: ANTAQ (2016).....	17
Gráfico 4 - Transporte de contêineres na cabotagem Fonte: ANTAQ (2016)	27
Gráfico 5 - Custos de aluguel x Frota Fonte: Shyshou, Gribkovskaia e Barceló, 2010	34
Gráfico 6 - Movimentação em TEUS dos principais terminais Fonte: ANTAQ (2017 1º S).....	38
Gráfico 7 - Tempo médio de fila (minutos) x Número de replicações.....	56
Gráfico 8 - Atendimento da demanda.....	57
Gráfico 9 - Sazonalidade da demanda x modelo.....	57
Gráfico 10 - 2000 TEUs.....	58
Gráfico 11 - Fila média para atracação 2000 TEUs	59
Gráfico 12 - 3000 TEUs.....	60
Gráfico 13 - Fila média para atracação 3000 TEUs	60
Gráfico 14 - 4000 TEUs.....	61
Gráfico 15 - Fila média para atracação 4000 TEUs	61
Gráfico 16 - Frete em relação a frota de navios próprio, 100% da carga	68
Gráfico 17 - Frete em relação a frota de navios arrendados, 100% da carga	68
Gráfico 18 - Frete em relação a frota de navios próprio, 20% da carga	69
Gráfico 19 - Frete em relação a frota de navios arrendados, 20% da carga	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comparação da matriz de transportes	15
Tabela 2 - Comparação entre modais	25
Tabela 3 - Distribuições de probabilidade	33
Tabela 4 - Métodos de resolução	36
Tabela 5 - Distância e volume de carga transportado entre portos	39
Tabela 6 - Categorias Porta-contêineres.....	41
Tabela 7 - Velocidade dos STSs no mundo	43
Tabela 8 - Carga rodoviária estimada	53
Tabela 9 - Contêineres movimentados.....	53
Tabela 10 - Tempos de operação (horas)	54
Tabela 11 - Tempo de viagem (horas)	55
Tabela 12 - Resultados das simulações.....	62
Tabela 13 - Frete Mínimo Rodoviário	67

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Dados de entrada.....	48
Quadro 2 - Resultados esperados.....	50

LISTA DE SIGLAS

ANTAQ - Agencia Nacional de Transportes Aquaviário

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

CNT - Confederação Nacional do Transporte

DWT – DeadWeight Tonnage

ICMS - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Serviços

ILOS - Instituto de Logística e Supply Chain

MHC - *Mobile Harbor Crane*

MPH - Movimentos Por Hora

PIB - Produto Interno Bruto

PNLT - Plano Nacional de Logística e Transporte

PSV - *Platform Support Vessel*

SEP - Secretaria de Portos

SSS - *Short Sea Shipping*

STS - *Ship to Shore*

TEU - *Twenty foot Equivalent Unit*

TUP - Terminal de Uso Privado

Sumário

1	Introdução.....	14
1.1	Justificativa e motivação	15
1.2	Objetivo	18
1.3	Metodologia da pesquisa	18
1.4	Delineamento do trabalho	20
2	Revisão Bibliográfica	21
2.1	Cabotagem.....	21
2.2	Carga containerizada	25
2.3	Dimensionamento de frota	27
3	Características do sistema de cabotagem proposto	37
3.1	Portos.....	37
3.2	Navios	40
3.3	Equipamentos de cais.....	41
4	Modelagem por simulação do sistema de cabotagem.....	44
4.1	Premissas	46
4.2	Dados de entrada.....	47
4.3	Modelo Conceitual.....	48
4.4	Cenários e resultados esperados.....	50
5	Dimensionamento do sistema dedicado à cabotagem	51
5.1	Cálculo dos tempos de operação em cada porto do sistema.....	51
5.2	Cálculo dos tempos de viagem entre os portos do sistema	55
5.3	Número de replicações	55
5.4	Validação dos cálculos e simulação.....	56
5.5	Resultados	58

6	Custos do transporte.....	64
6.1	Resultados	67
7	Conclusão.....	72
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 Introdução

O custo logístico no Brasil, que foi de 12,3% do PIB em 2015 segundo o instituto ILOS (2015), é elevado quando comparado a outros países como os Estados Unidos, onde esse custo representa cerca de 8% do PIB. De 2010 a 2015 esses custos têm aumentado, como mostra o gráfico 1. A ineficiência e falta de investimento na infraestrutura do sistema logístico brasileiro podem explicar esse aumento. Como o transporte é o principal componente desse sistema, em termos de custo, o presente trabalho estuda uma alternativa para aumentar a eficiência do transporte de carga no Brasil e assim reduzir os custos relacionados a ele.

Gráfico 1 - Custo logístico em relação ao PIB
 Fonte: ILOS (2015)

No Brasil, cerca de 60% do transporte de carga é feito por caminhões, ou seja, as rodovias do país são as mais utilizadas para transportar os produtos comercializados, sendo que muitos trechos já se encontram saturados, superando o

uso das ferrovias e das vias marítimas CNT (2016). O Brasil é um país de dimensões continentais e possui um litoral com mais de sete mil quilômetros e a maior parte da sua economia, cerca de 60%, fica a menos de 250 quilômetros da costa, IBGE (2010). Essas características não justificam a matriz de transporte brasileira, pois muitos dos deslocamentos dos produtos comercializados no país são de milhares de quilômetros, que favorecem os modais ferroviários e aquaviários.

1.1 Justificativa e motivação

Priorizando o modal rodoviário mesmo em longos percursos, o Brasil perde em eficiência logística. Os modais ferroviário e aquaviário se mostram mais vantajosos tanto na escala envolvida nesse modais, que reduzem a energia gasta por tonelada transportada, quanto nos custos de manutenção que são menores quando comparados aos das rodovias ILOS (2015). Estes fatores fazem com que o custo total do frete seja mais competitivo que o rodoviário em percursos longos. Isso pode ser observado nas matrizes de transporte de outros países que possuem características territoriais semelhantes às do Brasil, como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparação da matriz de transportes

País	Hidroviário e outros	Ferroviário	Rodoviário
EUA	25%	43%	32%
Canadá	11%	46%	43%
Rússia	11%	81%	8%
México	34%	11%	55%
Austrália	4%	43%	53%
Brasil	17%	25%	58%

Fonte: PNLT (2007)

Em uma comparação do peso do custo do combustível no frete no modal marítimo com o modal rodoviário, mesmo os armadores pagando o óleo de acordo com o preço internacional e os caminhões pagando óleo diesel subsidiado pelo governo, observa-se uma vantagem do transporte aquaviário, principalmente em longas distâncias. O trecho Santos a Manaus, por exemplo, quando feito por uma

embarcação de 700 TEUs, o custo do combustível representa 5,0% do frete, enquanto quando feito por caminhão esse custo representa 23,0% do frete (ONO, 2001).

Para que a matriz de transporte brasileira mude, reduzindo a sua dependência do transporte rodoviário, a utilização de vias aquáticas passando pelo mar ou cabotagem aparece como uma alternativa a ser estudada para grandes e médias distancias. A cabotagem possui algumas vantagens em relação ao transporte rodoviário e as que mais se destacam são: o custo do transporte por tonelada, a eficiência energética, a baixa emissão de gases poluente e a segurança no transporte.

No Brasil, o uso da cabotagem teve um crescimento constante nos últimos anos como mostra o gráfico 2, porém o ritmo de crescimento não é grande o suficiente para que o país atinja suas metas do Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) de 2011 de ampliação desse tipo de transporte nos próximos anos PNLT (2011).

Gráfico 2 – Toneladas movimentadas por cabotagem
Fonte: ANTAQ (2016)

Na Europa um programa chamado Marco Polo foi implementado com o objetivo de diminuir o número de caminhões nas rodovias do continente e assim melhorar o congestionamento e a poluição. Para cumprir esse objetivo o programa realizou algumas ações que tinham como meta fazer com que parte do transporte de produtos por rodovias fosse transportado por modais menos poluidores, deixando o

percurso rodoviário o mais curto possível. As alternativas de transporte para esse fim foram o *Short Sea Shipping*, que pode ser comparado com a cabotagem brasileira, a navegação interior, as ferrovias ou uma combinação desses modais. Segundo a *European Commission*, como resultado dessas ações o programa retirou cerca de 1,23 milhões de viagens de caminhões das rodovias europeias entre 2003 e 2006, esses produtos passaram a ser transportados pelos outros modais.

O Brasil pretende aumentar de forma significativa a participação do modal aquaviário na matriz de transporte de carga nos próximos anos, isso é visto no PNLT, que prevê a mudança de 13% para 29% no uso do transporte aquaviário até 2025. Esse aumento só se dará se a cabotagem for utilizada por mais setores da economia, já que em 2016 mais de 75% das cargas transportadas por cabotagem no Brasil eram petróleo ou bauxita, como visto no gráfico 3.

Gráfico 3 - Principais mercadorias transportadas por cabotagem no Brasil
Fonte: ANTAQ (2016)

Para que mais empresas passem a encarar a cabotagem como uma alternativa real de transporte, ela precisa de uma maior frequência e confiabilidade além de um frete competitivo. Para que isso ocorra é preciso que alguns fatores ampliem ou se tornem realidade no Brasil, tais como portos eficientes, menor burocracia na liberação de carga e transporte porta-a-porta, onde apenas uma única empresa responsável pelo transporte do remetente ao destinatário utilizando vários modais e

assim integrando o modal rodoviário à cabotagem. Um nível de serviço e custos competitivos nesse tipo de transporte dependem diretamente de uma logística integrada no transporte multimodal (CNT, 2013).

1.2 Objetivo

O principal objetivo do trabalho é dimensionar um sistema de transporte containerizado dedicado a cabotagem, para substituir uma parcela da carga rodoviária, que consiga promover uma melhora no sistema logístico brasileiro e discutir suas principais características. Esse trabalho pretende responder qual o tamanho da frota de navios e quantos berços em cada porto são necessários para uma determinada demanda de transporte de carga.

Com o auxílio de simulação computacional, testando alguns cenários, serão dimensionados os principais componentes do sistema, bem como sua capacidade, afim de encontrar a infraestrutura necessária, número de navios e berços, para a implementação do sistema proposto.

Para contextualizar o leitor no assunto, alguns aspectos da cabotagem e da containerização assim como uma breve explanação sobre o transporte de carga no Brasil são apresentados.

O trabalho busca entender o impacto de um sistema dedicado a cabotagem, onde a burocracia seja menor e a confiabilidade seja maior que a atual, nos custos logísticos, nos danos ambientais e na segurança do transporte de carga.

1.3 Metodologia da pesquisa

Como o problema proposto irá dimensionar uma frota de navios e a infraestrutura portuária de um sistema de transporte dedicado à cabotagem, a metodologia de pesquisa que melhor direciona o estudo à solução é a que possui uma abordagem empírica quantitativa.

A pesquisa empírica quantitativa é baseada em modelos quantitativos, a principal preocupação do pesquisador nesse tipo de pesquisa é assegurar que exista uma alta correlação entre o modelo proposto e a realidade. O modelo criado tem que replicar com fidelidade as relações causais existentes no problema real. Esse tipo de pesquisa preocupa-se em testar processos reais, com a validade dos modelos científicos obtidos pela pesquisa teórica quantitativa, e com a utilidade e desempenho das soluções resultantes (MIGUEL, 2012).

A solução do problema se dará por um modelo de pesquisa operacional, que segundo Miguel (2012) tem dois níveis de abstração, primeiro abstrai-se o sistema real em um modelo conceitual que é uma simplificação da realidade onde apenas uma fração das variáveis originais são consideradas. Em seguida o modelo conceitual pode ser abstraído tanto em um modelo matemático analítico como em um modelo experimental de simulação. Esse último procura emular por relações lógicas o funcionamento do sistema. Nesse contexto, a simulação se mostra mais adequada para abordar o dimensionamento do sistema.

Miguel (2012) apresenta cinco fases para a resolução sob a ótica da pesquisa operacional:

- Definição do problema;
- Construção do modelo;
- Solução do modelo;
- Validação do modelo;
- Implementação da solução.

Essas fases nem sempre são percorridas uma única vez, podendo haver ciclos entre a primeira e a quinta fase para correções. É importante ressaltar que as soluções do modelo servem de base para a tomada de decisões e não como substituto dos tomadores de decisões.

1.4 Delineamento do trabalho

Neste capítulo foi abordado o panorama da cabotagem brasileira e seus desafios. Além disso apresentou-se o objetivo e a descrição da metodologia para a resolução do problema.

O segundo capítulo apresenta trabalhos da literatura que identificam vantagens e desvantagens da cabotagem no Brasil e os empecilhos que ela enfrenta, uma breve revisão dos efeitos da containerização no transporte de carga e uma pesquisa bibliográfica de trabalhos, com abordagens distintas, que resolveram o problema de dimensionamento de frota.

O terceiro capítulo descreve os principais elementos do sistema a ser modelado, cada elemento tem suas características e nível de detalhamento analisados. Neste capítulo é definida a localização dos portos que serão utilizados no modelo.

O quarto capítulo apresenta as etapas de uma simulação, as premissas adotadas no trabalho e a descrição do modelo conceitual.

O capítulo cinco descreve o desenvolvimento do modelo de simulação e seus resultados.

O sexto capítulo apresenta a estimativa de custo do transporte por cabotagem nos vários cenários simulados.

O capítulo sete traz as conclusões sobre o trabalho e uma breve discussão dos impactos da implementação do sistema proposto.

2 Revisão Bibliográfica

2.1 Cabotagem

Ballou (2001) afirma que o transporte apresenta o maior peso entre todas as outras atividades logísticas na composição de custos logísticos, logo os sistemas de transportes econômicos ajudam na diminuição dos preços dos produtos. A escolha do modal(ais) que será(ão) utilizado(s) para transporte da carga é uma das decisões mais importantes da operação logística.

As características do território brasileiro, com milhares de quilômetros de litoral , extensa área e grande quantidade de vias navegáveis, além do fato da maior parte da população e da economia ficarem perto do litoral são fatores que contrapõem a matriz de transporte do país, majoritariamente rodoviário e com baixo uso da cabotagem. Essa grande utilização do modal rodoviário no Brasil gera problemas estruturais e muitos trechos saturados, causando gargalos nas operações logísticas (CNT, 2016).

Com base nessa discrepância na matriz de transporte, estudos e trabalhos são desenvolvidos para entender como a matriz de transporte brasileira ficou como ela é hoje e quais são barreiras para o transporte aquaviário em especial a cabotagem. A definição de cabotagem utilizada pela Agência Nacional de Transportes Aquaviários (ANTAQ) é toda navegação realizada entre portos ou pontos do território brasileiro, utilizando a via marítima ou esta e as vias navegáveis interiores, isso significa que qualquer transporte de carga dentro do território nacional que passe pelo mar é considerado um transporte por cabotagem.

A CNT (2013) aponta algumas vantagens e desvantagens da cabotagem. Como vantagens são apontados: a grande capacidade, o baixo consumo de combustível por tonelada transportada, a segurança contra danos à carga, o menor custo tanto do frete por tonelada quanto do seguro, além da menor emissão de poluentes. As desvantagens apontadas são: velocidade e frequência menores, custo elevado de implementação e maior burocracia. Ballou (2001) destaca que em relação a outros modais o aquaviário tem um custo em perdas e danos no transporte relativamente

baixo.

A regularidade e frequência do serviço oferecido no transporte de cabotagem tem que ser de tal forma que os clientes possam fazer uma programação de transporte, isso se dá quando há uma continuidade desses serviços, e uma frequência que não imponha grandes restrições ao tipo de carga transportada, como os produtos perecíveis que tem um lead-time aceitável de no máximo quatro dias. O aumento da frota de embarcações de cabotagem para uma rota viável é uma solução para esses problemas (ONO, 2001).

A Constituição de 1988 estabelece que as embarcações que são utilizadas no transporte de cabotagem sejam obrigatoriamente embarcações nacionais. Essa condição protege as empresas que possuem navios nacionais da concorrência de navios estrangeiros. A baixa concorrência faz com que as empresas cobrem fretes com valores elevados, um fator que desestimula a utilização desse tipo de transporte.

A exigência de que os navios usados na cabotagem sejam construídos no Brasil cria situações desfavoráveis para a eficiência da matriz de transporte do país, se um navio de bandeira estrangeira chega no Brasil vindo do exterior e tem escala em alguns portos brasileiros, ele não pode realizar o transporte de contêineres entre esses portos mesmo que tenha espaço disponível e disposto a oferecer o serviço de transporte a um preço reduzido (LACERDA, 2004).

Segundo a CNT (2013) para garantir a competitividade das mercadorias e eficiência da economia é fundamental que se tenha um sistema moderno e integrado de transporte, utilizando diversos modais e aproveitando-se da vantagem de cada um. Assim, o aumento da utilização da cabotagem para complementar a cadeia de transporte junto com os outros modais é uma estratégia importante para obter uma melhora na eficiência na economia brasileira. Para Paixão Casaca e Marlow (2009), é necessário uma integração contínua na cadeia de transporte multimodal e uma oferta de serviço de transporte porta-a-porta para que a cabotagem possa ter seu potencial aproveitado ao máximo.

Oliveira Fonseca (2015) argumenta que os portos, os terminais de uso privativo e a navegação de cabotagem não devem ser vistos apenas como elementos integrantes

da cadeia logística. Esses elementos em conjunto podem reestruturar a matriz de transporte brasileira, melhorando sua intermodalidade e multimodalidade, contribuindo para o aumento da fluidez no território nacional.

Oliveira e Pinheiro (2016) levantam dados relacionados à integração da cabotagem com os outros modais disponíveis, procurando os gargalos na cadeia logística com base nos componentes operacionais, sendo eles: instalações, estoques, transportes e informações. Com essa pesquisa é proposto melhorias nesses componentes operacionais para agilizar o processo como todo. A componente informação foi a que se apresentou mais deficitário devido à enorme burocracia que ainda existe na cabotagem brasileira.

Ono (2001) aponta a falta de uma documentação unificada, já que cada porto ou terminal possui diferentes normas de cabotagem e/ou transbordo, como um problema que pode aumentar o custo desse tipo de transporte. Há também, no transporte porta a porta, um problema de bitributação do ICMS pois a parcela de ambos os modais, marítimo e rodoviário, tem que estar no conhecimento de carga, sendo que o rodoviário já é cobrado anteriormente.

O transporte de cabotagem seria melhor aproveitado se houvesse, além da integração do transporte multimodal, uma política para que parte da carga que é movimentada pelo modal rodoviário passasse a ser movimentada por cabotagem, melhorando o aproveitamento dos modais e assim matriz de transporte ficaria mais equilibrada. A maior utilização da cabotagem provavelmente terá melhor eficiência nos portos, segurança da carga, custos mais competitivos, menores tempo de espera nos portos e rotas adequadas (CRUZ, 2007). Para (ONO, 2001) a mudança na matriz de transporte aumentando a utilização dos modais aquaviário e ferroviário faz com que o frete sofra uma redução sensível, isso implica em redução nos custos globais dos processos envolvidos na cadeia logística.

Um componente importante da cabotagem são os operadores, suas ações influenciam diretamente na competitividade desse modal. Nesse contexto, Paixão Casaca e Marlow (2009) fizeram uma pesquisa com os operadores de *Short Sea Shipping* na Europa para identificar as principais estratégias a serem aperfeiçoadas para que esse tipo de transporte fique mais competitivo. O resultado do estudo mostra que as principais estratégias a serem consideradas pelos operadores são as

de: gerenciamento de qualidade, integração, encaminhamento de mercadorias, parcerias, armazenamento, terminal, terceirização e gerenciamento de tempo.

Em outro estudo Paixão Casaca e Marlow (2005), por meio de questionários, buscam coletar dados empíricos sobre os atributos do serviço de transporte marítimo de curta distância na Europa, quando este modo é integrado em cadeias de fornecimento em uma logística multimodal. Os dados foram analisados e foi possível identificar oito fatores a serem melhorados e integrados na cadeia logística multimodal, esse fatores são:

- design e velocidade da rede logística do transportador;
- custo de serviço (taxas de frete) e confiabilidade / qualidade;
- representantes de vendas dos transportadores e comportamento pós-venda;
- política de investimento;
- imagem corporativa;
- políticas de relacionamento comercial / operacional e de transportador-carregador;
- envolvimento na indústria de encaminhamento;
- garantia de serviço.

A cabotagem depende da demanda por transporte de carga no trecho em que se deseja implementá-la, para entender como essa demanda Santos e Soares (2017) desenvolveram um modelo que avalia a demanda potencial por cabotagem em uma rota. O modelo criado pode auxiliar o estudo de viabilidade da instalação de um serviço de cabotagem, considerando entre outros fatores a potencial de troca de modal. O modelo é construído com base em navios ro-ro de carga.

Os resultados do modelo mostram a quantidade de carga adequada para a cabotagem em uma determinada rota. Os fatores mais importantes para essa determinação de quantidade de carga transportada por cada modal é o frete e a velocidade de navegação das embarcações, sendo que o frete leva consistentemente a um aumento na demanda pela cabotagem.

Comparando os modais cabotagem, ferroviário e rodoviário, Teixeira (2018) construiu uma tabela com os dados, por tonelada transportada, de consumo de combustível, emissão de gás carbônico e custo médio de transporte de carga geral,

tabela 2.

Tabela 2 - Comparação entre modais

Indicador	Modal cabotagem	Modal ferroviário	Modal rodoviário
Unidades equivalentes	Embarcação de 6.000 t	2,9 comboios Hopper, 86 vagões de 70 t	172 carretas de 35 t
Consumo médio de combustível para transportar uma tonelada por mil quilômetros	4,1 litros	5,7 litros	15,4 litros
Emissão de gás carbônico (gCO ₂ /TKU)	20,0	23,3	101,2
Custo médio de transporte, carga geral por 1.000 km (R\$/t)*	R\$ 50,74	R\$ 67,54	R\$ 239,74

Fonte: Texeira (2018)

Com esses dados é possível mensurar as vantagens da cabotagem e a importância do crescimento de sua participação no transporte de carga brasileiro. A cabotagem é mais sustentável, consome 27% do combustível e emite um quinto de gás carbônico por tonelada do modal rodoviário, e é mais barata, o seu custo é menos de um quarto do que o transporte por caminhões.

2.2 Carga containerizada

O surgimento do contêiner nos meados da década de cinquenta foi um marco para o transporte mundial, eles surgiram para facilitar o transporte de carga geral. Desde que o contêiner começou a ser utilizado cada vez mais produtos se beneficiam desse tipo de transporte, até alguns produtos que antigamente eram embarcados a granel hoje são containerizados, isso acontece pelas vantagens oferecidas pela padronização dos volumes transportados.

Com a containerização da carga o transporte ficou mais rápido devido a especialização tanto dos veículos, terrestres e marítimos, quanto dos equipamentos de movimentação e transbordo que permitiram uma intermodalidade eficiente tornando o serviço porta-a-porta mais ágil, também ficou mais seguro já que a proteção do contêiner reduz avarias na carga.

Houve muitas mudanças nos equipamentos e armazenamento nos portos com o aparecimento do contêiner. Lacerda (2004) pontua como a principal mudança nos portos com a containerização de cargas sendo a grande redução da quantidade de mão-de-obra necessária para o manuseio e para as operações de embarque e desembarque de cargas, reduzindo os custos operacionais.

As vantagens oferecidas pela unitização de carga estão em praticamente toda a cadeia logística. O acondicionamento das cargas pode ser descentralizado, feito da maneira que seja mais eficiente para o exportador. As empresas também possuem centros de consolidação, nesses locais é feita a unitização em contêineres da carga de várias empresas que são depois transportadas ao porto de destino (MOURA; BOTTER, 2011).

O uso do contêiner tem como uma grande desvantagem a movimentação das unidades vazias. Como a quantidade de contêineres carregados e descarregados em um terminal pode ter grandes diferenças, dependendo da demanda de importação e exportação, alguns terminais podem sofrer com a falta de disponibilidade de contêineres. Para que isso não ocorra, é necessário que exista uma programação de movimentação de unidades vazias para balancear as quantidades delas em cada terminal. Em 2016 no Brasil, segundo a ANTAQ, cerca de 43% de todos os contêineres transportados por cabotagem estavam vazios. Logo, um planejamento de alocação desses contêineres é muito importante para a redução dos custos desse tipo de transporte.

No Brasil o transporte de contêineres pela cabotagem teve um crescimento constante nos últimos anos, principalmente nas TUPs (Terminais de uso privado) que de 2010 a 2016 tiveram um salto de 290%, como pode ser visto no gráfico 4. A participação das TUPs nesse tipo de transporte passou de 26,4% em 2010 para 36,8% em 2016.

Gráfico 4 - Transporte de contêineres na cabotagem
Fonte: ANTAQ (2016)

O transporte marítimo de contêineres é feito por navios cada vez maiores e mais caros, isso fez com que esse tipo de serviço ficasse cada vez mais concentrado e as empresas que oferecem esse tipo de transporte expandissem sua atuação do trecho marítimo para o trecho terrestre e assim dando a opção de um serviço porta-a-porta para o exportador (LACERDA, 2004).

2.3 Dimensionamento de frota

Não existe uma única forma de dimensionar uma frota, desta forma foi realizada uma pesquisa com uma variedade de trabalhos que buscam esse objetivo e buscou-se avaliar qual a metodologia empregada para o tipo de problema a ser enfrentado. Uma forma simples de abordar o dimensionamento é dividindo a demanda pela capacidade da frota, esse foi o método escolhido em Suzano (2013).

Em um problema de abastecimento de uma plataforma *offshore* Suzano (2013) mostra o número necessário de embarcações PSV (*PLATFORM SUPPORT VESSEL*) para atender a demanda de suprimentos que mantém as operações das unidades marítimas e a manutenção de pessoas e equipamentos.

No trabalho, foram utilizados cálculos matemáticos para se chegar ao número adequado de embarcações a serem utilizadas. Nesses cálculos foram considerados os tempos e distâncias envolvidos no processo, a demanda da plataforma e os parâmetros dos navios, como capacidades de carga útil, autonomia, velocidade média e disponibilidade. Todos esses dados utilizados são determinísticos.

A metodologia utilizada consiste em calcular a capacidade do PSV em viagens por mês com a embarcação completamente carregada, com base nas características da embarcação e dos processos para abastecimento da plataforma, e calcular a demanda em viagens por mês, com base na estimativa anual. O número adequado de embarcações para suprir a demanda é obtido pelo resultado da divisão do número de viagens mensais necessária, pelo número de viagens de uma embarcação por mês.

Com um método diferente para solucionar um problema semelhante, Koo, Lee e Jang (2004) estudam um problema de dimensionamento de frota de veículos que transportam contêineres entre o pátio de armazenamento de um porto e alguns locais menores e mais afastados, que também são usados quando não há mais espaço o porto. O objetivo do trabalho é encontrar a frota mínima necessária para executar todo esse transporte e o roteamento de cada veículo.

Primeiro foi encontrado um limite inferior para o tamanho da frota, isso pode ser obtido pois a quantidade de contêineres que serão movimentados entre os locais de armazenamento, os tempos de viagem entre esses locais, os tempos de carregamento e descarregamento dos contêineres são determinísticos. O limite inferior é calculado dividindo a soma de todos os tempos de transporte e de carregamentos e descarregamentos pelo tempo de disponibilidade dos veículos no período. Como o tempo total de viagens contém as viagens feitas com o veículo vazio, um modelo de otimização é utilizado para se obter uma quantidade mínima de viagens sem carga. Esse modelo tem como função objetivo:

$$\text{Min} \sum_i \sum_j x_{ij} t_{ij}^b$$

Onde:

- x_{ij} é a viagem de um veículo vazio do local i para j;
- t_{ij}^b é o tempo de viagem de um veículo vazio, identificado pelo índice b, do local i para j.

Sujeitos à:

- $\sum_j x_{ij} = nf(i)$ se o fluxo da rede para o local i é não negativo;
- $\sum_k x_{ki} = -nf(i)$ se o fluxo da rede para o local i é negativo.

Onde:

$$nf(i) = (\sum_j v_{ji} + f_i) - (\sum_j v_{ij} + g_i)$$

- f_i é a quantidade de veículos disponíveis no começo de um turno;
- g_i é a quantidade de veículos solicitados no final de um turno;
- v_{ij} é a quantidade de veículos carregados que devem fazer a viagem de i até j.

A quantidade de veículos gerada com esse modelo de otimização serve apenas de limite inferior para o problema completo pois ele não considera que os veículos podem carregar apenas um contêiner e quando um veículo parte e termina sua viagem em um mesmo local o fluxo de contêiner nesse local será nulo, assim não haverá veículos começando deste local, o que pode subestimar o tempo de viagens de veículos vazios.

Depois dessa primeira etapa foi utilizado um algoritmo heurístico baseado em uma busca tabu para definir as rotas e o tamanho da frota. Na primeira busca tabu foi usada a frota gerada pela primeira etapa de otimização, nesse algoritmo tenta-se diminuir ao máximo o tempo de operação de cada veículo. Se algum veículo tinha seu tempo de operação maior do que o período de planejamento depois de concluída a busca tabu, acrescenta-se um veículo na frota e repete-se o processo até que essa restrição seja respeitada.

Ribeiro e Iachan (2009) estudaram um problema real para determinar o tamanho da frota de supridores, embarcações que fornecem suprimentos às plataformas da Petrobrás, que deve ser contratada nos anos subsequentes. O trabalho define quais embarcações, entre as disponíveis, devem fazer parte dessa frota de supridores, as rotas que serão utilizadas e as rotas que cada embarcação deve seguir.

Para chegar ao tamanho da frota e às rotas de cada embarcação alguns métodos foram utilizados, as rotas foram obtidas por meio de uma heurística de roteamento de veículos e a alocação otimizada das embarcações nas respectivas rotas foram resultado de uma programação inteira. Um modelo de simulação de eventos discretos foi proposto para contemplar as características aleatórias das operações envolvidas no problema.

Na simulação de eventos discretos, para representar a aleatoriedade do problema, foram definidos por distribuições de probabilidade: a carga da ordem, a unidade que requisitou a ordem, o momento que esta ordem é gerada e está à disposição para embarque, o prazo máximo de entrega e o tamanho da carga. Para os últimos três parâmetros as curvas foram obtidas empiricamente em cada unidade marítima.

A frequência de ordens das unidades pode influenciar a quantidade de rotas e assim mudar o tamanho da frota suficiente para cumprir as ordens do período analisado. As ordens geradas nessa simulação são utilizadas como dados de entrada da heurística de roteamento que determinará quantas e quais embarcações serão necessárias nesse período.

O trabalho utilizou uma abordagem baseada na heurística construtiva de inserção, que é rápida e consegue, em problemas com bastante restrições, bons resultados. Depois dessa etapa, sabendo a quantidade e quais embarcações serão utilizadas, foi feita uma programação inteira com o objetivo de minimizar os custos fixos e variáveis de cada embarcação. A função objetivo desse problema é dada por:

$$\min\left\{\sum_{r \in R} \sum_{v \in V} c_{rv} x_{rv} + \sum_{v \in V} f_v y_v\right\}$$

Onde:

c_{rv} : custo variável da rota $r \in R$ sendo percorrida pela embarcação $v \in V$;

f_v : custo fixo da embarcação $v \in V$;

x_{rv} : igual a 1, se a rota $r \in R$ será percorrida pela embarcação $v \in V$. Igual a 0, caso contrário;

y_v : igual a 1, se a embarcação $v \in V$ for selecionada. Igual a 0, caso contrário.

Sujeitos à:

$$\sum_{i \in N^+} x_{ih}^{rv} - \sum_{j \in N^+} x_{hj}^{rv} = 0 \quad \forall h \in N \quad \forall r \in R \quad \forall v \in V$$

$$\sum_{i \in N^+} x_{0i}^{rv} = 1 \quad \forall r \in R \quad \forall v \in V$$

$$\sum_{i \in N^+} x_{i(n+1)}^{rv} = 1 \quad \forall r \in R \quad \forall v \in V$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{v \in V} \sum_{j \in N^+} x_{ij}^{rv} \leq 1 \quad \forall i \in N$$

$$w_{0t}^{rv} = \sum_{i \in \Delta(t)} d_i * \left(\sum_{j \in N} x_{ji}^{rv} \right) \quad \forall r \in R \quad \forall v \in V \quad t = C \setminus \{C^+ \cup B\}, A, D$$

$$w_{it}^{rv} = \sum_{j \in N^+} w_{jt}^{rv} * x_{ji}^{rv} - d_i \quad \forall v \in V \quad \forall r \in R \quad \forall i \in \Delta(t) \quad t = \{C, A, D\}$$

$$w_{it}^{rv} \leq Q_t^v \quad \forall v \in V \quad \forall r \in R \quad \forall i \in \Delta(t) \quad t = \{C, A, D\}$$

$$t_i^{rv} + s_i + t_{ij} - M * (1 - x_{ij}^{rv}) \leq t_j^{rv} \quad \forall (i, j) \in A^+ \quad \forall r \in R \quad \forall v \in V$$

$$a_i * \left(\sum_{j \in N^+} x_{ij}^{rv} \right) \leq t_i^{rv} \leq b_i * \left(\sum_{j \in N^+} x_{ij}^{rv} \right) \quad \forall i \in N \quad \forall r \in R \quad \forall v \in V$$

$$t_0^{rv} \geq \beta^v \sum_{i \in N} s_i * \left(\sum_{j \in N^+} x_{ij}^{rv} \right) \quad \forall r \in R \quad \forall v \in V$$

$$t_i^{rv} \leq t_j^{rv} \quad \forall v \in V \quad \forall r \in R \quad \forall (i, j) \in \Lambda(i^+, i^-)$$

$$t_i^{rv} \leq t_0^{rv} + t_{max} \quad \forall i \in N \cup \{n+1\} \quad \forall r \in R \quad \forall v \in V$$

$$t_0^{lv} + M * (1 - q_{kl}) \geq t_{n+1}^{kv} + \sum_{i \in N} s_i * \left(\sum_{j \in N^+} x_{ij}^{lv} \right) \forall k, l (k < l) \in R \forall v \in V$$

$$\sum_{i \in N^+} x_{ij}^{rv} - z^{rv} \leq 0 \forall v \in V \forall r \in R \forall j \in N^+$$

$$\sum_{r \in R} z^{rv} - y^v \leq 0 \forall v \in V$$

$$NE - \sum_{v \in V^+} y^v \leq M\delta$$

$$\sum_{v \in V^-} y^v \leq M(1 - \delta)$$

$$\sum_{j \in N \setminus \{\delta(R)\}} x_{ji}^{rv} = 0 \forall r \in R \forall v \in V \forall i \in \Delta(R)$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{v \in \Omega(u)} \sum_{i \in \Theta(u)} \sum_{j \in N} x_{ji}^{rv} = 0 \forall u \in U$$

$$\sum_{r \in R} \sum_{v \in \Phi(t)} \sum_{i \in \Delta(t)} \sum_{j \in N} x_{ji}^{rv} = 0 \forall t \in T$$

$$x_{ij}^{rv} = \{0, 1\} \quad z^{rv} = \{0, 1\} \quad y^v = \{0, 1\} \quad q^{kl} = \{0, 1\} \quad \delta = \{0, 1\} \quad t_i^{rv} \geq 0 \quad w_{it}^{rv} \geq 0$$

Os resultados desse método de dimensionamento de frota foram considerados bons quando implementado para períodos anteriores e comparados com a frota contratada no mesmo período. O dimensionamento encontrado pelo modelo foi utilizado no processo de decisão para a contratação das embarcações para os anos de 2009 e 2010.

Uma empresa que utiliza navios de movimentação de equipamentos para suas operações em plataformas de petróleo não possui esse tipo de embarcação, que são contratados a longo prazo ou no mercado à vista, estes geralmente com valores mais elevados de contrato. Decidir qual o tamanho da frota a ser contratada a longo prazo, para tentar minimizar o custo na contratação no decorrer do período estabelecido, é o objetivo do trabalho de Shyshou, Gribkovskaia e Barceló (2010).

O problema tem algumas incertezas que são consideradas, como as condições climáticas que podem impedir as operações das embarcações quando as ondas ficam muito altas e os valores de contrato que são muito voláteis, o que o torna difícil a tarefa de prever o tamanho ideal da frota a ser contratada. Além dessas incertezas cada plataforma tem um cronograma que é planejado de forma independente, aumentando a complexidade do problema. Por estas razões foi escolhido a simulação de eventos discretos como metodologia.

O primeiro passo para desenvolver a simulação foi descrever o modelo com seus principais dados como o tempo de movimentação entre plataformas, a duração dos períodos de marés alta e baixa e os valores de contrato de aluguel de curto prazo. Essas informações serão descritas por distribuições de probabilidade, as distribuições relevantes para o problema estão na tabela 3.

Tabela 3 - Distribuições de probabilidade

Notação	Descrição	Função
$\exp(\beta)$	Distribuição exponencial com média β	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\beta} e^{-\frac{x}{\beta}}, & x > 0 \\ 0, & c. c. \end{cases}$
$\text{gama}(\beta, \alpha)$	Distribuição gama com parâmetro de forma α e parâmetro de taxa β	$f(x) = \begin{cases} \frac{\beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}}}{\Gamma(\alpha)}, & x > 0 \\ 0, & c. c. \end{cases}$
$\text{beta}(\beta, \alpha)$	Distribuição beta com parâmetro de forma β e α	$f(x) = \begin{cases} \frac{x^{\beta-1} (1-x)^{\alpha-1}}{B(\beta, \alpha)}, & 0 < x < 1 \\ 0, & c. c. \end{cases}$
$\text{tria}(a, m, b)$	Distribuição triangular com mínimo (a), moda (m) e máximo (b). a, m, b são reais e $a < m < b$	$f(x) = \begin{cases} \frac{2(x-a)}{(m-a)(b-a)}, & a \leq x \leq m \\ \frac{2(b-x)}{(b-m)(b-a)}, & m \leq x \leq b \\ 0, & c. c. \end{cases}$
$\text{weibull}(\beta, \alpha)$	Distribuição weibull com parâmetro de forma α e parâmetro de taxa β	$f(x) = \begin{cases} \alpha \beta^{-\alpha} x^{\alpha-1} e^{-(x/\beta)^\alpha}, & 0 < x < 1 \\ 0, & c. c. \end{cases}$
$\text{LN}(\mu_l, \sigma_l)$	Distribuição log-normal com parâmetro de taxa μ e parâmetro de forma σ	$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{x\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}}, & 0 < x < 1 \\ 0, & c. c. \end{cases}$

Fonte: Shyshou, Gribkovskaia e Barceló, 2010

Cada evento simulado foi colocado em uma distribuição de probabilidade que melhor representava sua aleatoriedade, a escolha dessa curva foi dada pelo p-valor, parâmetro estatístico que rejeita ou não rejeita uma hipótese dentro de uma faixa de

confiança, sendo o p-valor maior que 0,05, isso caracterizaria que uma aderência entre a curva teórica e a real está fora do intervalo de confiança escolhido. Quando isso acontece com todas as distribuições testadas é escolhida a que apresentar o menor erro quadrático. Essas análises foram feitas com o auxílio do programa *Arena Input Analyzer*.

Algumas simulações foram realizadas no programa Arena®, cada uma com um número de navios contratados no longo prazo. A validação foi feita comparando o número de embarcações contratadas no curto prazo na simulação com as contratações reais em um período em que essas contratações são conhecidas. Essas simulações foram replicadas 100 vezes cada uma, para que os resultados tivessem a confiança estatística desejada, e os custos totais do aluguel de embarcações calculados, a média e os desvios desses custos para cada frota de navios contratados no longo prazo são mostrados no gráfico 5. Esses dados levam em conta um valor de contrato no curto prazo igual a média dos anos anteriores.

Gráfico 5 - Custos de aluguel x Frota
Fonte: Shyshou, Gribkovskaia e Barceló, 2010

Este mesmo gráfico foi construído nos cenários em que os valores de contrato no curto prazo aumentam e diminuem em relação a médias dos anos anteriores, os dados mostraram uma insensibilidade do gráfico quando esses valores aumentam e uma grande sensibilidade quando diminuem. O resultado do trabalho apresenta uma

simulação que serve como uma ferramenta suporte a decisão na contratação de embarcações no longo prazo que otimizem os custos totais dos alugueis.

Santos e Guedes Soares (2017) desenvolveram uma metodologia para determinar quais embarcações e o tamanho da frota de navios ro-ro necessária para atender a demanda de uma determinada rota SSS na Europa. Esse estudo foi capaz de determinar o tamanho dos navios e frota mais apropriada dependendo da fatia de mercado que for transferida do modal rodoviário para o marítimo.

O critério utilizado para a determinação do ponto ótimo de operação é a maximização do lucro por navio ao longo do ano, os dois parâmetros analisados para essa otimização foram a velocidade do navio e a taxa de frete. A penetração de mercado desse tipo de transporte é um parâmetro muito importante no desempenho econômico do serviço, determinando em alguns casos a mudança das dimensões das embarcações. Segundo os autores o trabalho pode auxiliar as autoridades da União Europeia a selecionar financiamento de projetos de SSS em rotas de alta demanda e lucratividade para as companhias de navegação.

Koenigsberg e Lam (1976) abordam com um modelo analítico um problema de dimensionar uma frota de navios carregados de gás natural líquido, que possuem um ponto de carga e um ou dois pontos de descarga e assim fazem um ciclo fechado entre poucos terminais. Dada uma determinada frota, as equações do modelo calculam o número de embarcações em cada estágio do processo, sendo eles: operação de carga e descarga e navegação de ida e volta, além de calcular o tempo de fila esperado em cada ponto. Os resultados são comparados para se saber o efeito do tamanho da frota na razão entre o tempo de navegação e o tempo nos portos, dado o número de berços.

Zeng e Yang (2007) desenvolveram um modelo de otimização com o intuito de melhorar a eficiência do transporte marítimo de carvão na China. O modelo tem dois objetivos, o primeiro é determinar a quantidade e os tipos de navios pois dependendo do tipo o navio precisa ser abastecido em mais de um porto e o segundo é otimizar as rotas para minimizar o custo de transporte. O modelo é resolvido com um algoritmo baseado em uma busca tabu em duas fases. Os resultados do modelo proposto mostram que o custo de envio pode ser reduzido

assim como o atraso nos portos melhorando a eficiência e a confiabilidade do sistema de transporte marítimo de carvão na China.

Cheng e Duran (2004) utilizam a simulação de eventos discretos e controle ótimo do sistema combinado de estoque e transporte para elaborar uma ferramenta de apoio a decisão a um sistema de transporte de óleo cru. Foi utilizado um processo de decisão de Markov discreto que incorpora incertezas na demanda bruta e no tempo de viagem do petroleiro para se chegar a um controle ótimo de armazenagem e transporte. Como a ferramenta tem como objetivo minimizar os custos de armazenagem e de transporte do óleo cru, a simulação é utilizada para avaliar estratégias de operação, já que ela é capaz de incorporar os comportamentos do mundo real no sistema. Essa ferramenta ainda precisa de mais validações e aperfeiçoamentos para ser implementada em um problema real.

Foi possível perceber nos trabalhos de dimensionamento de frota analisados que a simulação de eventos discretos é uma ferramenta que nem sempre é utilizada nas resoluções, alguns problemas podem ser resolvidos apenas com modelos analíticos, heurísticas, programação matemática ou a combinação dessas técnicas, observou-se que nesses problemas os parâmetros importantes e utilizados nas equações foram considerados determinísticos. A simulação de eventos discretos foi utilizada quando a incerteza e/ou a volatilidade de certos eventos dinâmicos era relevante no contexto e influenciavam nos resultados. A tabela 4 resume os métodos utilizados em cada estudo para a resolução dos respectivos problemas.

Tabela 4 - Métodos de resolução

Modelo:	Análítico	Heurístico	Otimização	Simulação
Suzano (2013)	X			
Koo, Lee e Jang (2004)		X	X	
Ribeiro e Iachan (2009)		X	X	X
Shyshou, Gribkovskaia e Barceló, 2010				X
Koenigsberg e Lam (1976)	X			
Zeng e Yang (2007)		X	X	

Fonte: O autor

3 Características do sistema de cabotagem proposto

O sistema proposto no trabalho consiste em três portos ou terminais dedicados a cabotagem e que transportam exclusivamente contêineres, entre esses pontos navios porta-contêineres trafegam em um circuito fechado, ou seja, os navios começam e terminam em um mesmo porto.

Nesse contexto os principais elementos do sistema estudados são:

- portos;
- navios;
- equipamentos de carregamento.

A escolha dos portos é baseada na distância entre eles e no volume de carga comercializada entre os estados onde estes portos estão localizados, já que o modal mais vantajoso para o transporte de carga depende diretamente do tamanho do percurso e o custo de implementação só é justificado dependendo da demanda.

O tamanho das embarcações é o principal elemento para sua escolha, as dimensões dessas embarcações têm um papel importante no valor do frete, quanto maior a embarcação maior é a economia de escala, por outro lado possuem um maior custo inicial e os portos e terminais podem ter restrições ao tamanho das embarcações. O valor do frete reduzido melhora a competitividade desse tipo de transporte.

Para que o modal tenha uma frequência adequada no serviço prestado é necessária uma eficiência nos portos de tal forma que os navios fiquem o menor tempo possível parados, os equipamentos de cais que carregam e descarregam os navios com contêineres são as peças fundamentais para a eficiência do terminal, assim a escolha desses equipamentos é baseada na produtividade deles.

3.1 Portos

A escolha dos portos começa pelo principal mercado brasileiro, o paulista ANTAQ (2016). O estado de São Paulo foi responsável por 32% do produto interno bruto

brasileiro em 2014 segundo o IBGE, a liderança na produção de bens e serviços no país faz o estado ser um local ideal pela demanda elevada por transporte de carga. O gráfico 6 mostra a movimentação em TEUs por cabotagem dos principais terminais do país.

Gráfico 6 - Movimentação em TEUS dos principais terminais
Fonte: ANTAQ (2017 1ºS)

A ideia do sistema é que em Santos se estabeleça um porto ou terminal dedicado à cabotagem e ele seja um ponto intermediário entre os outros dois portos escolhidos. Nessa configuração os navios passarão pelo estado de São Paulo tanto na ida quanto na volta dos portos mais distantes. O circuito assim terá um formato em oito fazendo o seguinte trajeto: porto 1 - Santos - porto 2 - Santos - porto 1.

O transporte aquaviário, segundo BALLOU (2001), possui alto custo em equipamentos de transporte e terminais e baixo custo de percurso, o frete da tonelada por quilômetro sofre uma redução considerável com o aumento da distância percorrida e da carga transportada.

Neste sentido, como o porto de Santos será um ponto intermediário do sistema, sendo que ele é um potencial hub dos portos brasileiro, e os outros dois portos serão escolhidos um ao norte e um ao sul, o porto mais ao sul será o de Rio Grande no Rio Grande do Sul pois além de possuir o maior volume de transporte aquaviário com o estado de São Paulo os outros dois estados estão mais próximos a São

Paulo, como observado na tabela 5, sendo a competição com o modal rodoviário nesses casos mais difícil.

O porto ao norte será o de Suape em Pernambuco, o critério usado é o mesmo do porto ao sul de São Paulo, Pernambuco possui o segundo maior volume de carga aquaviária comercializada com São Paulo perdendo apenas para o estado do Espírito Santo, porém a distância entre Pernambuco e São Paulo torna a cabotagem mais competitiva, sendo mais fácil de atrair a carga rodoviária que existe entre esses estados.

Tabela 5 - Distância e volume de carga transportado entre portos

	Santos - SP	
	Distância (km)	Carga (t)
Manaus AM	6112	1,149,497
Belém - PA	4463	870,062
São Luis - MA	3924	1,209,079
Fortaleza - CE	3145	936,088
Natal - RN	2663	525,870
Suape - PE	2332	2,324,152
Maceió - AL	2167	418,536
Salvador - BA	1746	1,696,807
Vitória - ES	889	6,410,941
Rio de Janeiro - RJ	407	1,390,624
Paranaguá - PR	311	272,842
Florianópolis - SC	470	336,503
Rio Grande - RS	1122	475,425

Fonte: ANTAQ (2016)

Portanto a rota entre portos apresenta formato cíclico em oito, iniciando por Santos, seguindo para Suape, Santos, Rio Grande e retornando para Santos, onde o ciclo se reinicia, como indicado na figura 1.

Figura 1 - Circuito do sistema projetado
Fonte: O autor

3.2 Navios

Os porta-contêineres são navios, que por carregarem e descarregarem contêineres em cada porto ao longo de seu trajeto, possuem uma estrutura que ajuda na movimentação desses contêineres. Ao longo do tempo, esses navios foram ficando cada vez maiores e mais velozes como pode ser visto na tabela 6. O aumento do tamanho do navio acarreta em uma diminuição da participação do custo fixo total de cerca de 46% para navios menores e de até 26% para os maiores, isso acontece por diversos motivos, como o custo de capital por contêiner, a razão entre a tripulação e a capacidade de carga das embarcações, o consumo de combustível por unidade de carga transportada e o valor das taxas portuárias por TEU (LACERDA, 2004).

No sistema simulado o tamanho e a velocidade do navio são fundamentais para o resultado do dimensionamento da frota e dos berços nos terminais, como o modelo tenta maximizar a ocupação dos navios, as características deles alteram os tempos

de carregamento e de locomoção, alterando a frequência do serviço. Desta forma, as simulações serão rodadas com alguns tipos de porta-contêineres para que se possa comparar os resultados e discutir o navio a ser utilizado.

Tabela 6 - Categorias Porta-contêineres

GERAÇÃO	Aumento do Porte e Dimensões dos Navios				
	Tipo	Comprimento	Calado	TEU*	Velocidade (nós)
PRIMEIRA Geração (1956-1970)	Navio Cargueiro Convertido	135,0m	9,0m	500	10/12
	Navio Tanque Convertido	200,0m	9,0m	800	10/12
SEGUNDA Geração (1970-1980)	Navio Container Celular	215,0m	10,0m	1.000/ 1.200	12/18
TERCEIRA Geração (1980-1988)	Classe Panamax	250,0m	11,0m	3.000	18
		290,0m	12,0m	4.000	22
QUARTA Geração (1988-2000)	Post Panamax	275,0m 305,0m	11,0m 13,0m	4.000 5.000	22/26
QUINTA e SEXTA Gerações (2000-2011)	Post Panamax Plus	335,0m 365,0m	14,0m 15,0m	6.000 12.000	28 (+)
	Super Porta-Contêiner (Emma Maersk)	397,0m	15,5m	14.500	15.5/14.4

Fonte: SEP - Secretaria de Portos (2013)

É importante ressaltar o tamanho da economia de escala sobre os custos de uma embarcação, fato que vem levando os armadores a encomendarem navios cada vez maiores. (STOPFORD, 1997) apresenta em números essa economia na comparação de valores de custos de um navio com capacidade para 1200 TEUs com um para 6500 TEUs, a redução no custo diário é de cerca de 55% por TEU.

3.3 Equipamentos de cais

No carregamento e descarregamento de navios porta contêineres no terminal existem dois equipamentos que são mais utilizados, o MHC – *Mobile Harbor Crane* e o Portêiner ou STS - *Ship to Shore Crane*, mostrado na figura 2. O MHC é um

guindaste sobre rodas, possui maior mobilidade e flexibilidade que o STS, mas é menos utilizado pela sua baixa produtividade.

Figura 2 - STS sobre trilhos
Fonte: <http://www.liebherr.com.br> - Agosto/2017.

O STS é o equipamento mais comum na movimentação dos contêineres entre o navio e o terminal, ele é o principal equipamento nas operações logísticas em um terminal de contêineres e são fixos nos berços de atracação. Os STSs se diferenciam pelo tamanho, capacidade de carga, alcance de lança, altura e produtividade.

A produtividade do STS será a única variável considerada na simulação deste equipamento nos terminais do sistema pois como ele é construído no local de operação as outras características são definidas de acordo com a necessidade do terminal. O valor nominal da produtividade do STS é medida em MPH (movimentos por hora), mas a produtividade real, que é dependente também do treinamento dos operadores e das condições climáticas, é um parâmetro não determinístico.

Thoresen Carl (2003) mostra o resultado de uma pesquisa com 671 STSs dispostos ao redor do mundo, ela apresenta a média de movimentos por hora realizados pelos equipamentos, como pode ser visto na tabela 7. A conclusão é de que a velocidade dos equipamentos é menor do que as nominais informadas pelos fabricantes.

Tabela 7 - Velocidade dos STSs no mundo

MPH	STSs
Até 20	12%
21 até 25	39%
26 até 30	33%
31 até 35	14%
Mais de 35	1%

Fonte: Thoresen Carl (2003)

Os STSs operam cerca de 80% do tempo que o navio fica ancorado no berço. O ciclo médio desses guindastes é de 90 a 120 segundos ou cerca de 30 a 40 contêineres por hora, teoricamente. Nos maiores portos até seis STSs podem operar simultaneamente por um curto período nos maiores navios porta contêineres, mas deve-se assumir que apenas quatro deles operam juntos. Se esses guindastes estiverem em ambos os lados da embarcação o número de equipamentos operando simultaneamente em um único navio pode chegar a oito (THORESEN CARL, 2003).

Desta forma, esses parâmetros dos STSs serão utilizados tanto para os cálculos da média de tempo de carregamento e descarregamento dos navios em cada porto quanto para a definição da curva de probabilidade que define a produtividade do equipamento, utilizadas na simulação.

4 Modelagem por simulação do sistema de cabotagem

Os eventos que são contemplados no sistema de cabotagem estudado têm um alto grau de aleatoriedade e não previsibilidade, como a velocidade de carregamento dos navios que dependem de vários equipamentos funcionando em cadeia e das condições climáticas que impedem algumas operações, e a existência de filas de navios nos portos esperando um berço livre para atracação, esses são fatores que tornam o problema complexo e difícil de modelar matematicamente para otimizar os recursos necessários no sistema.

Em tal conjuntura a simulação de eventos discretos se apresenta como uma ferramenta adequada para abordar o problema, já que este possui uma natureza dinâmica, ou seja, muda de estado ao longo do tempo e pelo fato da simulação também conseguir representar com fidelidade as características aleatórias do mundo real, procurando em um modelo computacional repetir o mesmo comportamento que o sistema apresentaria submetido às mesmas condições de contorno. (CHWIF;MEDINA ,2006).

Assim como qualquer método a simulação tem vantagens e desvantagens, as principais vantagens são a facilidade em se alterar e simular os cenários desejados, avaliar diversas políticas propostas, analisar a sensibilidade do sistema a cada elemento presente nas operações e avaliar períodos de tempos diversos, simular eventos no curto e longo prazo com o mesmo modelo.

Como desvantagem destacam-se a simplificação e/ou exclusão de alguns elementos do sistema pois o julgamento do que pode ser excluído ou simplificado pode gerar distorções no resultado final, a interpretação dos resultados pode ser prejudicada pela aleatoriedade do sistema já que muitas vezes é difícil analisar se um fenômeno observado é significativo para o sistema ou é apenas resultado da aleatoriedade introduzida nele.

Segundo Chwif e Medina (2006) o desenvolvimento de um modelo de simulação possui três grandes etapas:

- Concepção ou formulação do modelo;

- Implementação do modelo;
- Análise dos resultados do modelo.

Na primeira etapa decide-se o escopo do modelo, suas hipóteses e o nível de detalhamento. Os dados de entrada são coletados nesta fase, a qualidade desses dados deve ser verificada para que os resultados tenham a utilidade desejada, entradas de dados ruins geram saídas ruins. Depois da concepção (modelo abstrato) deve-se gerar um modelo conceitual.

Na segunda etapa o modelo computacional é construído com base no modelo conceitual, depois da implementação do modelo em algum simulador comercial ele deve ser avaliado, mostrando que sua operação atende ao que foi estabelecido na etapa de concepção. A validação do modelo computacional se dá pela geração de alguns resultados, os quais são conhecidos na situação real. A comparação desses resultados, quando o modelo não tem um comportamento divergente do real, o modelo pode ser validado.

Na última etapa, os experimentos são realizados utilizando o modelo, os resultados são analisados e documentados. Nesta etapa, o número de replicações é um parâmetro muito importante para que os resultados sejam mais precisos, normalmente quanto mais replicações se faz, mais apurados serão os resultados. Com base nesses resultados são geradas as conclusões e recomendações sobre o sistema analisado.

Na mesma linha, José e Porto (1999) propõem uma sistematização para a elaboração de uma simulação que consiste em um roteiro dividido em dez passos que estão resumidos no fluxograma mostrado na figura 3.

Para evitar falhas no projeto de simulação, a metodologia deve ser seguida. Alguns erros que podem ocorrer ao não seguir todos os passos necessários são: definição equivocada dos objetos estudados na simulação, nível inadequado de detalhamento, interpretações erradas das operações do sistema, falhas na aquisição de dados representativos do comportamento das operações, programa computacional de simulação inadequado, falha na consideração de comportamentos aleatórios do sistema e utilização de medidas de desempenho inadequadas (JULIÁ, 2010).

Figura 3 - Fluxograma de elaboração de uma simulação
Fonte: José e Porto (1999)

4.1 Premissas

No modelo do projeto, algumas simplificações serão adotadas com o objetivo de restringir o problema ao escopo proposto. Como os navios trafegam em um circuito fechado, não haverá uma curva de probabilidade para a chegada dos navios, eles serão gerados uma única vez na quantidade da frota a ser analisada.

Kauczynski (2012) faz um estudo que gera a curva de probabilidade de velocidade de navios porta contêineres que trafegam entre o Brasil e a Europa. As diferentes velocidades verificadas são influenciadas principalmente pelas condições climáticas, essas curvas serão utilizadas na simulação para se obter o tempo de viagem dos navios.

As operações terrestres como a movimentação de carga no pátio, a chegada dos contêineres bem como a organização do empilhamento deles para que haja a minimização de movimentos, não são contempladas no estudo, pois nos terminais serão dimensionados apenas o número de berços de atracação e a quantidade de STSs por berço. Logo, as operações anteriores ao carregamento e descarregamento do navio serão consideradas concluídas no momento em que o navio está pronto no cais.

A quantidade de carga a ser carregada e descarregada em cada porto mensalmente será na mesma proporção dessas operações nos respectivos estados nos meses de 2016, esses dados estão disponíveis no anuário da ANTAQ. O tempo de operação determinará a carga recebida e retirada do navio, assim será calculada a quantidade de navios que devem passar por cada porto para que a demanda desejada seja atendida.

O tempo de operação em cada porto varia de acordo com a demanda de importação e exportação de cada estado e com a velocidade dos STSs. Essa velocidade mudará conforme a curva de probabilidade de produtividade do equipamento que normalmente é representada por uma distribuição normal segundo Wanke (2011).

A movimentação para o balanceamento de contêineres vazios nos portos será calculada com demanda de importação e exportação deles, o desequilíbrio desses números gera uma demanda ou oferta de contêineres vazios, como a rota da carga é cíclica, a cada volta os navios serão carregados com uma quantidade de contêineres vazios que equilibre o sistema.

4.2 Dados de entrada

A qualidade dos dados de entrada é de suma importância para a validade da simulação, se o modelo recebe dados com muitos ruídos ele devolverá dados de má qualidade, por isso a expressão *garbage in, garbage out* se aplica ao desenvolvimento de uma simulação.

Os dados de entrada da simulação que serão considerados estão listados na quadro 1.

Quadro 1 - Dados de entrada

Local	Dados de entrada
Portos	Produtividade dos STSs
	Tempo de operação
	Quantidade de berços
Navios	Capacidade
	Velocidade
Sistema	Tamanho da frota
	Demanda
	Distância entre portos

Fonte: O autor

4.3 Modelo Conceitual

O modelo conceitual contempla três portos dedicados, por onde navios, gerados no Porto de Santos, transportam contêineres percorrendo um trajeto cíclico em forma de oito, indicado na Figura 1 do capítulo anterior.

Depois de gerados (1) os navios começam o ciclo, saindo do porto de Santos (5) em direção ao porto de Rio Grande (6) carregados com contêineres cheios vindos tanto de Pernambuco quanto de São Paulo, todos descarregados em Rio Grande, e contêineres vazios para balancear o sistema. O tempo de viagem entre os dois portos varia conforme a curva de probabilidade da velocidade dos navios, assim como todos os outros trechos do circuito.

No porto de Rio Grande o navio espera em fila (7) para que um berço seja desocupado, quando um berço fica livre para atracação são realizadas as atividades de pré-operação (8), operação (9) e pós-operação (10). O tempo de operação será a soma da descarga dos contêineres cheios e eventuais contêineres vazios com a carga das mercadorias destinadas a São Paulo e Pernambuco e eventuais contêineres vazios, esse tempo varia de acordo com a produtividade dos STSs que será regida por uma curva de probabilidade, assim como todos os carregamentos e descarregamentos nos portos de Santos e Suape.

Depois da desatracação (10) no porto de Rio Grande o navio segue para o porto de Santos (11), chegando o navio entra na fila de atracação do porto (2) até que um berço seja desocupado, depois da atracação (3) o navio descarrega apenas a carga que era destinada para São Paulo e eventuais contêineres vazios e carrega os contêineres com carga destinados a Pernambuco e contêineres vazios se preciso for (12).

Depois da desatracação no porto de Santos (5), como o navio veio do sul ele segue para o porto de Suape (13), chegando o navio entra na fila de atracação (14) do porto até que um berço seja desocupado, depois da atracação (15) o navio descarrega todos os contêineres com carga e eventuais contêineres vazios e carrega os contêineres com carga destinados a São Paulo e Rio Grande do Sul e contêineres vazios se preciso for (16).

O navio segue para o porto de Santos (18) depois da desatracação em Suape (17), chegando em Santos ele espera em fila (2) até que tenha espaço para atracar, depois da atracação (3) o navio descarrega a carga destinada a São Paulo e contêineres vazios caso seja necessário e carrega a carga destinada ao Rio Grande do Sul e eventuais contêineres vazios (4). O navio desatraca (5) e segue para o porto de Rio Grande (6) recomeçando o ciclo. A figura 4 mostra o modelo conceitual.

Figura 4 - Modelo Conceitual

Fonte: O autor

4.4 Cenários e resultados esperados

Os cenários simulados se diferenciaram pelo tamanho da frota de navios percorrendo o sistema, pelos tipos de navios, que podem ter tanto a capacidade de carga quanto a velocidades diferentes e pelo número de berços em cada terminal.

A demanda de carga utilizada na simulação foi igual a 100% da carga rodoviária atualmente comercializada entre os estados de São Paulo, Pernambuco e Rio Grande do Sul. A quadro 2 mostra todos os resultados esperados na simulação.

Quadro 2 - Resultados esperados

Local	Saída
Portos	Ocupação
	Fila
	Número de navios atendidos
Navios	Número de ciclos realizados
	Ocupação
	Tempo médio do ciclo
Sistema	Quantidade de carga transportada
	Frequência do serviço

Fonte: O autor

5 Dimensionamento do sistema dedicado à cabotagem

O presente trabalho utilizou a simulação de eventos discretos para dimensionar a infraestrutura do sistema de cabotagem proposto. O primeiro passo para construir o modelo de simulação é a definição (tabela 7) e o cálculo dos dados de entrada. A seguir são mostrados como esses dados são calculados e o resultado desses cálculos.

5.1 Cálculo dos tempos de operação em cada porto do sistema

Para o cálculo dos tempos que os navios irão permanecer em cada porto para o carregamento e descarregamento dos contêineres, é preciso separar cada trecho do percurso e estabelecer algumas restrições para que se respeite o tamanho do navio e a demanda mensal de cada estado. A separação desses trechos foi feita conforme a figura 5, onde CXY é a carga que deve ser carregada do porto x até o y em cada viagem.

Figura 5 - Esquema de cargas transportadas
Fonte: O autor

Tomando CN como a carga útil do navio, apresenta-se as quatro restrições de carga do sistema:

- $C13 + C12 \leq CN$
- $C13 + C23 \leq CN$
- $C31 + C32 \leq CN$
- $C31 + C21 \leq CN$

Quando alguma restrição não é respeitada, limita-se a soma das cargas ao tamanho do navio e as cargas são calculadas proporcionais as demandas dos trechos. Assim enquanto o trecho tem demanda suficiente para encher o navio ele tráfegará cheio e só deixará de tráfegar cheio quando o número de viagens for grande o suficiente ou ultrapassar o necessário para atender a demanda do trecho.

Essas restrições e as filas geradas nos portos são os principais elementos que limitam a capacidade do sistema, logo o dimensionamento do sistema depende fortemente desses fatores.

Além dessas restrições os tempos de operação nos portos têm que levar em conta as operações dos contêineres vazios. Para computar esse tipo de contêiner nos tempos, compara-se o tempo carregamento e o descarregamento total em cada porto, o maior tempo é dobrado para termos o tempo total de operação nos porto 1 e 3, no porto 2 faz-se o mesmo mas separa-se a operações por sentido. Fazendo isso quando um porto tem mais carga para embarcar do que para desembarcar ou o contrário, a diferença de cargas é eliminada com contêineres vazios, equilibrando o sistema.

A demanda de carga rodoviária de cada estado é estimada extrapolando os valores movimentados por cabotagem entre esses estados, obtidos no anuário da ANTAQ 2017, proporcionalmente a matriz da CNT de transportes do Brasil neste ano, que apresenta a participação dos modais aquaviário e rodoviário no Brasil. Desta forma, a carga encontrada é apresentada na tabela 8.

Tabela 8 - Carga rodoviária estimada

Rota	Carga Rodoviária (t)
PE - SP	4.000.086
SP - PE	7.583.783
RS - SP	238.211
SP - RS	2.131.367
PE - RS	1.177.370
RS - PE	2.031.077

Fonte: O autor

Estimada a carga rodoviária em toneladas é preciso calcular a quantidade de contêineres necessária para movimentar essa carga. Segundo dados da ANTAQ 2017 um terço da carga movimentada na cabotagem brasileira é feita por contêineres de 20 pés e o restante de 40 pés e a capacidade desses contêineres é de 21,78 e 28,8 toneladas respectivamente. Ainda segundo a ANTAQ 2017 esses contêineres circulam com 70% da capacidade em média. Os resultados desses cálculos são mostrados na tabela 9.

Tabela 9 - Contêineres movimentados

		SANTOS - Suape	Suape - SANTOS	SANTOS - Rio Grande	Rio Grande - SANTOS	Rio Grande - Suape	Suape - Rio Grande
Carga	t	7.583.783	4.000.086	2.131.367	238.211	2.031.077	1.177.370
Carga 20'	t	2.777.461	1.464.979	780.585	87.242	743.855	431.197
Carga 40'	t	4.806.322	2.535.107	1.350.782	150.970	1.287.221	746.174
Cntr 20'	#	182.176	96.089	51.199	5.722	48.790	28.283
Cntr 40'	#	238.409	125.749	67.003	7.489	63.850	37.013
Mix Contr. 20'	%	43%	43%	43%	43%	43%	43%
Mix Contr. 40'	%	57%	57%	57%	57%	57%	57%
Contêineres	#	420.585	221.839	118.202	13.211	112.640	65.295

Fonte: O autor

Com a quantidade de contêineres a ser transportada em cada trecho calculada e com a velocidade de carregamento e descarregamento dos STSs, em movimentos por horas, a quantidade desses equipamentos em cada berço e a o tamanho dos navios calcula-se o tempo de operação em cada porto por mês dependendo da sazonalidade da demanda de cada trecho. Esses cálculos geraram uma tabela de valores para a entrada da simulação, ela é mostrada na tabela 10.

Tabela 10 - Tempos de operação (horas)

	Santos - Suape			Suape - Santos			Santos –Rio Grande			Rio Grande - Santos		
	min	moda	max	min	moda	max	min	moda	max	min	moda	max
jan	46,9	52,1	57,3	108,0	120,0	132,0	39,1	43,5	47,8	43,8	48,7	53,6
fev	30,5	33,9	37,3	104,2	115,8	127,4	21,3	23,7	26,0	46,0	51,1	56,2
mar	42,2	46,8	51,5	101,0	112,3	123,5	61,5	68,3	75,2	42,0	46,7	51,4
abr	30,6	34,0	37,4	92,2	102,5	112,7	37,4	41,6	45,7	37,4	41,6	45,7
mai	36,4	40,4	44,4	85,7	95,2	104,7	23,8	26,5	29,1	18,8	20,9	23,0
jun	41,8	46,5	51,1	108,0	120,0	132,0	51,2	56,9	62,6	82,6	91,8	100,9
jul	42,0	46,7	51,4	106,4	118,2	130,0	17,9	19,9	21,9	40,7	45,2	49,8
ago	49,1	54,5	60,0	106,7	118,5	130,4	33,7	37,4	41,2	36,4	40,5	44,5
set	24,2	26,9	29,5	83,2	92,5	101,7	18,1	20,2	22,2	37,4	41,6	45,7
out	47,6	52,9	58,2	108,0	120,0	132,0	37,5	41,6	45,8	57,2	63,5	69,9
nov	48,1	53,4	58,7	108,0	120,0	132,0	36,6	40,7	44,8	47,8	53,1	58,4
dez	51,3	57,0	62,7	108,0	120,0	132,0	57,2	63,6	69,9	47,1	52,3	57,6

Fonte: o autor

Esses tempos foram calculados somando-se a demanda de carga do estado dividido pela produtividade do equipamento, gerando assim o tempo de descarregamento, com a demanda de carga dos outros estados pelas mercadorias do estado em questão dividido pela produtividade dos equipamentos, obtendo-se assim o tempo de carregamento. Esses dois tempos somados correspondem à 80% do tempo de operação do navio no porto, logo, dividindo esse tempo por 0,8, temos o tempo total de operação no terminal.

Os tempos obtidos nessa tabela possuem um limite superior, que é a capacidade do navio que está operando. Os tempos respeitam uma curva triangular de probabilidade na qual o limite superior e inferior estão 5% acima e abaixo da média respectivamente. Os tempos foram calculados mês a mês conforme a demanda mensal retirada do anuário da ANTAQ.

Foram adotadas a produtividade dos STSs conforme descrito por Thoresen Carl (2003), em uma distribuição triangular que é uma simplificação à distribuição normal, que segundo Dragovic et al. (2005) é normalmente utilizada para as operações de carregamento e descarregamento de navios.

5.2 Cálculo dos tempos de viagem entre os portos do sistema

Os tempos de viagem entre os portos do sistema dependem da distância e da velocidade média das embarcações, o tabela 11 mostra os tempos calculados para cada trecho do circuito.

Tabela 11 - Tempo de viagem (horas)

		Santos <- >Suape	Santos <-> Rio Grande
Tempo de Viagem	Mín	85	41
	Moda	90	43
	Máx	94	45

Fonte: O autor

O trabalho de Kauczynski (2012) mostra que a distribuição triangular é uma boa aproximação para os tempos de viagem de porta contêineres entre o Brasil e a Europa, desta forma, esta será a distribuição adotada para o tempo de viagens entre os portos do sistema.

Os outros dados de entrada são: os tempos de duração de atracação e desatracação dos navios, o número de berços em cada porto e a frota de navios do sistema.

5.3 Número de replicações

O programa utilizado para realizar a simulação, Simul8®, possui uma calculadora que gera o número de replicações necessário para que os resultados tenham confiança estatística desejada. Com essa ferramenta foi calculado um total de 40 replicações para se obter uma confiança estatística de 5%.

Esse número também pode ser obtido graficamente, buscando-se o número de replicações necessárias para que um valor de saída, neste caso foi escolhido a fila no porto de Suape, se mantenha com uma variação menor que 5%, com o aumento das replicações. O gráfico 7 mostra como a fila em Suape se comporta conforme o aumento de replicações da simulação.

Gráfico 7 - Tempo médio de fila (minutos) x Número de replicações
Fonte: O autor

É possível observar a média do tempo de fila em Suape começa a se estabilizar após 40 replicações, esse será a quantidade utilizada no modelo de simulação para que os resultados tenham uma confiança estatística.

5.4 Validação dos cálculos e simulação

Para a validação dos cálculos dos tempos de operação, afim de verificar se as demandas de cada estado serão atendidas e também se essas demandas não serão ultrapassadas, foram realizadas rodadas de simulação com o aumento gradativo da frota, cada tamanho de frota foi simulado para o período de um ano, sem restrição de berços, observando o percentual de atendimento da demanda em cada porto e assim gerando os resultados mostrados no gráfico 8.

Gráfico 8 - Atendimento da demanda
Fonte: O autor

O gráfico acima mostra que há uma coerência entre o tamanho da demanda do estado e o tamanho da frota necessária para suprimir essa demanda. Observando o estado com menor demanda, exportação de Rio Grande (porto 1) para Santos, nota-se que essa demanda é a primeira a quase alcançada com uma frota de apenas duas embarcações e com o aumento da frota o atendimento desse trecho ficou por volta de 100%, esse é o comportamento esperado da simulação.

O modelo deve respeitar a sazonalidade das demandas, o gráfico 9 apresenta a sazonalidade real da demanda do porto de Rio Grande, grafico de cima, e do recebimento de contêineres por esse porto ao longo do ano no modelo. Como é possível observar o modelo respeita o comportamento da demanda real.

Demanda Real X Modelo

Gráfico 9 - Sazonalidade da demanda x modelo
Fonte: O autor

A simulação também foi testada para eventos extremos em que o resultado é conhecido. Um desses cenários é uma frota muito grande, onde a demanda pode até ser atendida mas as filas nos terminais tendem a crescer exponencialmente, em outro cenário foram colocados mais berços em cada terminal do que o tamanho da frota, assim não foi possível observar filas nos terminais, como esperado.

5.5 Resultados

Foram rodadas simulações para navios com capacidade de transportar 2000, 3000 e 4000 TEUs, para determinar a capacidade de transporte do sistema com uma frota homogênea. A frota foi aumentando gradativamente, para cada tamanho de frota o número de contêineres com carga transportados para cada porto foi dividido por sua demanda, obtendo-se assim o percentual da demanda atendido. Os gráficos 10, 12 e 14 mostram esses resultados obtidos com o modelo construído.

Gráfico 10 - 2000 TEUs
Fonte: O autor

O gráfico 10 mostra que com uma frota de navios com capacidade de transportar 2000 TEUs são necessárias 30 embarcações para que o sistema tenha a capacidade de absorver 100% da demanda rodoviária entre os três estados, Rio Grande (porto 1), Santos e Suape (porto 3), com uma ocupação média dos navios de 46,1%. Na mesma simulação foi obtido o número de berços que cada porto deve ter para que a fila média para atracação não passe de cinco horas, gráfico 10.

Gráfico 11 - Fila média para atracação 2000 TEUs
Fonte: O autor

O gráfico 11 mostra o comportamento do tempo médio de fila para a atracação, em cada porto do sistema, subtraindo um berço a cada nova simulação. É possível notar que esse tempo sobe abruptamente em todos os portos a partir de um certo número de berços, esse comportamento é esperado pois como o número de berços discreto e a demanda não é alterada, isso faz com que a partir do momento que comece a formar fila para o atendimento das embarcações, ela se acumule rapidamente pela falta de recursos no porto.

A quantidade de berços necessária nos portos de Santos, Suape e Rio Grande para uma frota de 30 navios de 2000 TEUs é de 8, 7 e 5, respectivamente. Esses valores são os pontos no gráfico 11 imediatamente antes da subida abrupta do tempo de fila de atracação.

Gráfico 12 - 3000 TEUs
Fonte: O autor

Com uma frota de navios com capacidade de transportar 3000 TEUs é preciso 22 navios com uma ocupação média de 52,1% para suprir 100% da demanda de transporte rodoviário entre os estados do sistema, gráfico 12. O gráfico 13 mostra o comportamento do tempo médio de fila em cada porto com a retirada de berços.

Gráfico 13 - Fila média para atracação 3000 TEUs
Fonte: O autor

Pelo gráfico é possível verificar que são necessários 7, 8 e 5 berços nos portos de Santos, Suape e Rio Grande respectivamente.

Gráfico 14 - 4000 TEUs
Fonte: O autor

Quando simulado um sistema com navios de 4000 TEUs de capacidade, foi encontrada uma frota de 19 embarcações para o sistema ter a capacidade de incorporar 100% do transporte rodoviário, gráfico 14.

Gráfico 15 - Fila média para atracação 4000 TEUs
Fonte: O autor

Nos portos de Santos, Suape e Rio Grande seriam necessários 8, 10, 6 berços respectivamente. Na atualidade o porto de Santos tem 17 berços de atracação para contêineres, os portos Suape e Rio Grande possuem 3 berços desse tipo cada.

Pelos gráficos 10, 12 e 14 é possível observar que não há uma correlação linear entre o tamanho dos navios e a capacidade de transporte do sistema, isso acontece por causa de trechos ociosos que ocorrem tanto pela sazonalidade da demanda de cada estado quanto pela baixa demanda geral do trecho, quando a demanda é pequena o tamanho do navio pode não aumentar a capacidade do sistema naquele pedaço da rota.

As simulações rodadas mostram a capacidade do sistema, com a maior ocupação possível dos navios, isso significa que esse volume de transporte simulado só será atingido se a demanda for igual ou superior a simulada. A ocupação média é um parâmetro de grande importância para o sistema já que um dos maiores fatores de atratividade da cabotagem é o valor do frete, que é mais diluído por contêiner quanto maior for a ocupação da embarcação.

A tabela 12 mostra o resumo dos dados de saída das simulações feitas para que o sistema possa absorver toda a carga rodoviária entre os estados de São Paulo, Pernambuco e Rio Grande do Sul. Nessa tabela pode-se observar que quanto menor a frota necessária maior é a ocupação porém a frequência do serviço diminui, interessante notar que a quantidade de berços não tem uma relação direta com o tamanho do navio, isso acontece pois quanto maior o navio mais tempo ele fica no porto em operação de carga e descarga, o que faz as filas nos portos aumentarem, porém, como os navios percorrem um circuito fechado, esse tempo de operação maior faz aumentar o tempo médio de ciclo, diminuindo as filas nos portos.

Tabela 12 - Resultados das simulações

		Tamanho Navio (TEUs)								
		2000			3000			4000		
Frota		30			22			19		
Ocupação média Navios		46.1%			52.1%			54.0%		
Frequência de serviço		0.58 dias			0.97 dias			1.31 dias		
Tempo médio de ciclo		17.40 dias			21.34 dias			24.89 dias		
Porto		Santos	Suape	Rio Grande	Santos	Suape	Rio Grande	Santos	Suape	Rio Grande
Berços	Quantidade	8	7	5	7	8	5	8	10	6
	Ocupação	47%	70%	42%	52%	59%	41%	46%	47%	36%
Navios atendidos		1266	633	633	754	378	377	560	279	282

Fonte: O autor

Nos gráficos 10, 12 e 14 é possível observar a variação da ocupação média com o aumento da frota, é preciso escolher uma frota que não seja tão ociosa a ponto de perder a competitividade com os outros modais existentes. Para se chegar ao

tamanho da frota, além de estimar a capacidade de transporte dela, é necessário estimar o valor do frete desse sistema de cabotagem, que o torna economicamente viável, em comparação ao frete rodoviário.

6 Custos do transporte

Para a estimativa do custo do transporte por cabotagem no percurso escolhido foi utilizado o modelo de custos de transporte descrito por Rorato (2003) engloba os custos da embarcação, dos contêineres e portuários. Nos custos portuários temos:

- estiva das embarcações
- aluguel de material para a estiva
- taxas de administração de estiva
- conferência de cargas
- vistoria de lacres
- remuneração dos trabalhadores do porto
- serviços de Praticagem
- rebocadores
- taxas portuárias de atracação ou acostagem
- defensas
- amarradores
- vigias
- despacho

Os custos acima podem ser obtidos nos sites oficiais de cada porto. Os custos de embarcação são compostos pelos custos marítimos diário:

- de capital;
- da tripulação;
- administrativo;
- de material de bordo;
- de manutenção e reparo;
- de seguro;
- de combustível no mar;
- de lubrificante no mar;
- de rastreamento.

No porto esses custos são os mesmos, menos os custos de combustível e lubrificante, esses são substituídos pelos custos diário de combustível no porto e de lubrificante no porto.

No caso do custo de contêineres, fazem parte, segundo Rorato (2003), os seguintes elementos:

- Custo diário de capital para o número de contêineres;
- Custo diário de refrigeração para o número de contêineres;
- Custo diário de mão-de-obra administrativa para o número de contêineres;
- Custo diário de manutenção para o número de contêineres.

No relatório da secretaria de portos da presidência da república do Paraná de 2011 foi elaborada uma ferramenta computacional com o objetivo de calcular o frete mínimo para viabilizar a implementação de uma linha regular de cabotagem. A ferramenta desenvolvida considera os aspectos logísticos e financeiros envolvidos nessa modalidade de transporte, essas são separadas nos seguintes elementos:

- Demanda;
- Oferta;
- Parâmetros de custos;
- Demanda x Oferta;
- Fluxo de caixa contábil;
- Fluxo de caixa do financiamento;
- Financiamento;
- Fluxo contêiner anuais;
- Dados operacionais dos navios;
- Dados operacionais dos portos.

É considerada a demanda entre os portos de origem, destino e escala, além da demanda rodoviária e ferroviária entre os estados dos respectivos portos, há a possibilidade de escolher o percentual dessa demanda que será transferida dos modais ferroviário e rodoviário para o modal marítimo. A oferta de transporte é apresentada nessa ferramenta com diversas características como as distâncias marítimas entre os portos, os tempos de viagem e os tempos nos portos.

No parâmetro de custo da ferramenta são apresentados todos os parâmetros para o cálculo final do custo de transporte de contêineres via cabotagem na rota determinada como os custos fixos e variáveis dos navios, os custos portuários e os custos tributários.

A demanda e oferta de transporte são comparadas e assim é calculada a taxa de ocupação da frota, com essa taxa e a consignação mínima estabelecida é feita uma comparação para saber se a ociosidade da frota está dentro do aceitável.

O fluxo de caixa contábil ano a ano é apresentado para a operação, no fluxo de caixa do financiamento apresenta-se todas as operações financeiras do investimento proposto. Esses fluxos são calculados tanto para uma frota própria quanto para uma quanto para uma frota afretada.

As condições de financiamento e os cálculos referentes a esta operação são consideradas e apresentadas na ferramenta. O fluxo anual de contêiner do sistema é determinado pelos fluxos existentes entre todas as regiões de influência dos portos, dividido por modal.

Os dados operacionais dos navios considerados são a capacidade nominal, o DWT (soma de todos os pesos variáveis que um navio é capaz de embarcar em segurança), o consumo e os custos operacionais. Os dados operacionais dos portos considerados são os custos, a capacidade de movimentação e os tempos de espera.

Essa ferramenta foi utilizada para se chegar em um valor de frete mínimo, para isso os dados de custos e da cotação cambial foram atualizados. Os valores de frete mínimo foram calculados para tamanhos de frota diferentes e para uma transferência de carga do modal rodoviário para cabotagem compatível com o tamanho da frota escolhida, esse dado foi retirado da simulação relatada no Capítulo 5.

Para comparar o frete calculado, acrescido dos fretes rodoviários, da origem até o porto e do porto até o destino final, foi definido como definido como origem e destino as respectivas capitais dos estados do sistema. Os valores dos fretes rodoviários de contêineres com carga geral entre as cidades de origem e destino foram obtidos por meio da planilha de preço mínimo de frete da ANTT.

Na planilha da ANTT, estabelecida na resolução 5820, define-se alguns parâmetros principais para se chegar ao valor do frete mínimo, o tipo de carga, o número de eixos, a distância percorrida e se há carga para de retorno. O carga foi definida como geral, foram escolhidos 3 eixos pois é o necessário para carregar o peso da carga média do sistema, as distâncias rodoviárias entre as capitais são de 3604 quilômetros entre São Paulo e Recife e de 3070 quilômetros entre São Paulo e Porto Alegre e foi considerado que sempre haverá carga de retorno.

Tabela 13 - Frete Mínimo Rodoviário

Contêiner	Tipo de carga	SP - PE	SP - RS
40	Geral	R\$ 10,200	R\$ 8,650
20		R\$ 6,800	R\$ 5,800
40	Granel	R\$ 10,050	R\$ 8,570
20		R\$ 6,700	R\$ 5,700
40	Neogranel	R\$ 9,080	R\$ 7,740
20		R\$ 6,050	R\$ 5,160
40	Frigorificada	R\$ 7,130	R\$ 6,080
20		R\$ 4,760	R\$ 4,050
40	Perigosa	R\$ 6,500	R\$ 5,530
20		R\$ 4,330	R\$ 3,680

Fonte: ANTT(2018)

A Tabela 13 mostra o frete rodoviário calculado para os trechos do sistema, levando em consideração o tipo de carga carregada, separadas nas cinco categorias que constam na norma da ANTT, tanto para o transporte de um contêiner de 40 pés quanto para um de 20 pés. Como a tabela de frete da ANTT ainda é recente, há resistência à sua aplicação, mas ainda assim é uma boa referência para o objetivo dela no presente trabalho que é de estabelecer um parâmetro de comparação entre os valores do frete em cada modal.

6.1 Resultados

O frete calculado para a cabotagem leva em conta uma taxa de retorno de 15% para uma frota própria e um frete que dê um fluxo de caixa igual a zero para uma frota arrendada. Os cálculos foram feitos para vários tamanhos de frota para assim conseguir analisar o comportamento do frete mínimo com a inclusão de navios na frota, como mostram os gráficos 15 e 16.

Gráfico 16 - Frete em relação a frota de navios próprio, 100% da carga
Fonte: O autor

Gráfico 17 - Frete em relação a frota de navios arrendados, 100% da carga
Fonte: O autor

Os gráficos 16 e 17 mostram o comportamento do frete com a alteração do tamanho da frota sendo que a demanda esperada toda a carga rodoviária existente entre os estados do sistema, sendo o primeiro gráfico uma frota de navios próprios e o

segundo de navios arrendados. Os valores de frete para navios próprios estão vinculados à taxa de retorno que se espera do capital investido, já nos navios arrendados o frete calculado é aquele que cobre os gastos de arrendamento e operação.

Quando não há uma variação relevante no valor do frete com o aumento do número de navios na frota, deve-se escolher a maior frota, já que além de ter uma capacidade maior de transporte, a frequência do serviço é aumentada. Desta forma as frotas escolhidas pelo gráfico do valor do frete mínimo são de 12, 14 e 20 navios de 4000, 3000 e 2000 TEUs, respectivamente.

Esses mesmos gráficos foram gerados para outros cenários mais realistas onde apenas uma parcela, 20% da carga rodoviária, é transferida pra a cabotagem, gráficos 18 e 19.

Gráfico 18 - Frete em relação a frota de navios próprio, 20% da carga
Fonte: O autor

Gráfico 19 - Frete em relação a frota de navios arrendados, 20% da carga
Fonte: O Autor

Os gráficos acima mostram que há um tamanho de frota onde o valor do frete é mínimo, ponto em que o transporte por cabotagem se torna ainda mais competitivo. Esse comportamento acontece pois existem dois fatores que são influenciados pela frota, a ociosidade, que se torna cada vez mais custosa quando se aumenta o número de navios na frota, e o custo do frete rodoviário que é contabilizada na demanda que não foi atendida.

Quando a demanda não é atendida pelo navio, o restante da carga é transportada por caminhões que possuem um custo de transporte maior, assim, quando a frota de navios não é grande o suficiente para atender toda a carga, o frete calculado é penalizado com o frete rodoviário.

Comparando com o frete rodoviário, tabela 13, a cabotagem se mostra vantajosa em todos os cenários analisados. O trecho de Santos até Rio Grande, que tem o menor valor de frete rodoviário do sistema, é quase o dobro do frete mais caro calculado para a cabotagem, somados os fretes rodoviários nas duas pontas, resultado importante desta análise, pois o valor do frete é um dos principais fatores de atratividade do transporte proposto.

Nos gráficos 18 e 19 é possível observar que o frete mínimo do transporte, para uma frota de navios com 2000 TEUs de capacidade, não varia significativamente para 2, 3 ou 4 navios na frota, sendo assim a frota escolhida é a de quatro navios por apresentar maior capacidade de transporte e uma maior frequência do serviço.

7 Conclusão

Com as curvas construídas para o dimensionamento do sistema proposto é possível concluir que a sua implementação para a substituição parcial e gradativa do modal rodoviário é viável, pois a frota e a infraestrutura necessária não estão distantes da realidade do transporte marítimo no Brasil. A utilização dessas curvas para estimar a infraestrutura necessária depende de uma boa estimativa de absorção da carga rodoviária para o sistema de cabotagem proposto.

Mesmo em um cenário em que esse sistema dedicado à cabotagem absorve 100% do transporte rodoviário desses estados escolhidos, o acréscimo no transporte de contêineres seria de cerca de um milhão e meio de TEUs, essa substituição representaria um acréscimo de cerca de 15% no total de carga movimentada por contêineres no país, que em 2017, segundo o anuário da ANTAQ, foi de 10 milhões de TEUs, incluindo navegação de longo curso, interior e por cabotagem.

Se o sistema conseguisse absorver toda a demanda de carga rodoviária entre esses estados, tal cenário diminuiria um milhão de viagens de caminhões, o que aliviaria a malha viária e tornaria o sistema de transporte do país mais sustentável, além de diminuir o custo do transporte. O custo de transporte marítimo calculado mostra que ele é competitivo mesmo para uma frota superestimada onde alguns trechos do percurso ficam bastante ociosos.

Pode-se observar que os custos de transporte aumentam significativamente a partir de um certo tamanho de frota, isso acontece pela grande ociosidade de trechos do percurso com o acréscimo de navios. Um exemplo é quando se tem uma estimativa de 20% de transferência de carga entre os modais, neste cenário as curvas mostram que pelo valor do frete, a frota ideal é de dois navios de 4000 TEUs ou dois navios de 3000 TEUs ou quatro navios de 2000 TEUs, sendo que a capacidade de transporte dessas frotas é de 13,6%, 12,5% e 19,9% da demanda respectivamente, com um berço em cada porto.

Desta forma, os números mostram que o sistema a ser escolhido, com navios de 3000 ou 4000 TEUs de capacidade, não consegue absorver toda a demanda esperada de 20% da carga rodoviária, sendo necessário um estudo mais aprofundado para analisar a viabilidade de se colocar em operação uma frota com

capacidade de atender toda a demanda projetada, uma vez que os custos de transporte são muito influenciados pelos trechos ociosos.

Já os navios de 2000 TEUs apresentaram um frete mínimo próximo ao valor mais baixo do seu gráfico, com uma frota que atende toda a demanda. Sendo assim, a frota de quatro navios foi a escolhida, tanto pelo valor do frete quanto pela capacidade de transporte.

A atratividade da cabotagem de contêineres vai além do valor do frete e suas vantagens operacionais, desafios logísticos e culturais também influenciam na viabilidade e implementação da substituição gradativa de parte do transporte rodoviário para portos dedicados à cabotagem.

Um dos desafios logísticos é a adequação de empresas e de seus clientes à estrutura necessária para o transporte em contêineres. A mudança de frequência do envio e recebimentos das mercadorias também se apresentaria como um desafio logístico, já que as empresas precisariam se adequar ao novo sistema, que alteraria o gerenciamento de estoques.

Um desafio cultural seria a resistência das transportadoras e de caminhoneiros autônomos à mudança de rotas, pois as rotas mudariam de um transporte entre as pontas para um transporte nas pontas, dos portos aos clientes e dos clientes aos portos. Isso diminuiria significativamente a média da distância percorrida pelos caminhoneiros que realizam o transporte de carga entre os estados onde o sistema seria implementado, podendo haver alguma resistência por parte dessa categoria.

Há ainda o viés ambiental e de segurança, que justificaria subsídios e incentivos fiscais por parte do governo, já que a substituição por transporte aquaviário é mais sustentável, com uma diminuição da emissão de gases do efeito estufa e do número de acidentes e congestionamentos no modal rodoviário, com menores distâncias percorridas utilizando caminhões. Um sistema similar foi implementado na Itália, com subsídios e incentivos fiscais por parte do governo como parte do projeto europeu, o *Motorway of the Sea* (APP, 2007).

Como limitações do modelo, tem-se que este não é expansível para mais portos sem que a modelagem seja alterada, sendo necessários novos cálculos de demanda de carga e reconfigurações de rota e tempos de operação nos portos. A simulação

foi criada de tal forma que possa ser alterada para outros portos, mantendo São Paulo como o porto central e mais dois portos, um ao norte e outro ao sul.

Não havendo, no Brasil, um modelo de portos dedicados à cabotagem semelhante ao avaliado, sua validação foi feita por meio de cenários extremos e pelas curvas de atendimento de demanda, o que possibilitou um bom dimensionamento da infraestrutura necessária para a implementação da cabotagem dedicada nesses portos.

Para pesquisas futuras, pode-se apontar:

- análise de outras configurações de portos, continuando com Santos como o porto intermediário;
- pesquisar a variação da frota e número de berços nos portos com a mudança da produtividade de carregamento e descarregamento dos navios.
- pesquisar o custo de implementação do sistema, desde o planejamento e construção dos terminais até os custos de equipamentos de cais e retaguarda e dos Navios;
- levantar as características de cada porto e a sua disponibilidade e viabilidade para a instalação de um terminal dedicado a cabotagem;
- dimensionar a área necessária de um terminal de contêineres para movimentar o volume de carga dependendo da demanda projetada;
- apurar as formas de levantar recursos para a realização desse projeto;
- pesquisar a demanda por esse tipo de transporte.

8 Referências Bibliográficas

- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS - ANTAQ. **Anuário 2016**. Disponível em: <<http://web.antaq.gov.br/anuario/>>. Acesso em: 09/09/2017.
- ANTT. **Resolução 5820**. Disponível em: <http://portal.antt.gov.br/index.php/content/view/53723/Resolucao_n__5820.html>. Acesso em: 10/11/2018
- ASSOCIAÇÃO DOS PORTOS DE PORTUGAL - APP. **Project for the organization and configuration of pilot actions for the development of motorways of the sea in Portugal**. Portugal: Fordesi, 2007. 66 p.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.
- CHENG, L.; DURAN, M. A. Logistics for world-wide crude oil transportation using discrete event simulation and optimal control. **Computers and Chemical Engineering**, v. 28, n. 6–7, p. 897–911, 2004.
- CNT. Pesquisa CNT do transporte aquaviário: Cabotagem. **Confederação Nacional do Transporte**, 2013. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Paginas/Pesquisas_Detalhes.aspx?p=7>.
- CRUZ, T. R. P. da V. Cabotagem No Transporte De Carga Pela Costa Brasileira: Uma Avaliação Hierárquica No Trecho Manaus – Santos. p. 145, 2007.
- IBGE. Censo 2010. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, 2010. Disponível em: <<https://censo2010.ibge.gov.br/resultados.html>>
- ILOS. Custo Logísticos no Brasil. **Instituto de Logística e Supply Chain**, 2015. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/custos-logisticos-no-brasil/>>
- JOSÉ, A.; PORTO, V. Proposta para sistematização de estudos de simulação. 1999.
- JULIÁ, A. F. Dimensionamento De Um Sistema Integrado Pátio-Porto Na Cadeia Do Minério De Ferro. **Tese de Mestrado - USP**, p. 167, 2010.
- KAUCZYNSKI, W. E. Study of the reliability of the ship transportation by applying the historical hindcast weather data. **Omae**, v. 31, p. 1–7, 2012.
- KOENIGSBERG, E.; LAM, R. C. Cyclic Queue Models of Fleet Operations. **Operations Research**, v. 24, n. 3, p. 516–529, 1976. Disponível em: <<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=6665111&site=ehost-live&scope=site>>.

- KOO, P. H.; LEE, W. S.; JANG, D. W. Fleet sizing and vehicle routing for container transportation in a static environment. **OR Spectrum**, v.26, p. 193–209, 2004.
- LACERDA, S. M. Navegação e Portos no Transporte de Contêineres. **Revista Do Bndes**, p. 215–243, 2004.
- MOURA, D. A. de; BOTTER, R. C. O Transporte por cabotagem no Brasil - Potencialidade para a intermodalidade visando a melhoria do fluxo logístico. **Revista Produção Online**, v.11, n. 2, p. 595–617, 2011.
- OLIVEIRA FONSECA, R. A navegação de cabotagem de carga no Brasil. **Mercator**, v. 14, n. 1, p. 21-46 2015. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/mercator/v14n1/1984-2201-mercator-14-01-0021.pdf>>.
- OLIVEIRA, R.; PINHEIRO, R. Oportunidades e desafios da atividade de cabotagem no Brasil: Um levantamento do potencial da cabotagem voltado à integração entre modais e seus respectivos gargalos através dos componentes logísticos operacionais. **XXXVI Encontro nacional de Engenharia de Produção**. 2016.
- ONO, R. T. Estudo de viabilidade do transporte marítimo de contêineres por cabotagem na costa brasileira. p. 151, 2001.
- PAIXÃO CASACA, A. C.; MARLOW, P. B. The competitiveness of short sea shipping in multimodal logistics supply chains: Service attributes. **Maritime Policy and Management**, v. 32, n. 4, p. 363–382, 2005.
- PAIXÃO CASACA, A. C.; MARLOW, P. B. Logistics strategies for short sea shipping operating as part of multimodal transport chains. **Maritime Policy and Management**, v. 36, n. 1, p. 1–19, 2009.
- PNLT. Projeto de Reavaliação de Estimativas e Metas do PNLT. **Plano Nacional de logística e Transporte**, 2011. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/images/2014/11/PNLT/2011.pdf>>
- RIBEIRO, L. S.; IACHAN, R. Dimensionamento da frota de supridores para plataformas de petróleo. **SOBRAPO**, v. 41, p. 49–60, 2009.
- RORATO, R. J. Alternativas de transporte rodo-marítimo na distribuição de cargas frigoríficas no Brasil. p. 1-112, 2003.
- SANTOS, T. A.; GUEDES SOARES, C. Methodology for ro-ro ship and fleet sizing with application to short sea shipping. **Maritime Policy and Management**, v. 44, n. 7, p. 859–881, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/03088839.2017.1349349>>.

- SANTOS, T. A.; SOARES, C. G. Modeling transportation demand in short sea shipping oa. **Maritime Economics and Logistics**, v. 19, n. 4, p. 695–722, 2017.
- SHYSHOU, A.; GRIBKOVSKAIA, I.; BARCELÓ, J. A simulation study of the fleet sizing problem arising in offshore anchor handling operations. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 1, p. 230–240, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2009.07.012>>.
- SUZANO, M. A. Uma metodologia para o dimensionamento de frota de embarcações de apoio “psv” para atender uma dada demanda de suprimento de combustível, considerando algumas plataformas “offshore”. **Sustainable Business International Journal**, n. figura 1, p. 1–15, 2013.
- TEIXEIRA, C. A. N.; ROCIO, M. A. R.; MENDES, A. P. A.; D’OLIVEIRA, L. A. S. Navegação de Cabotagem Brasileira. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 391-436, 2018.
- THORESEN, C. A. **Port Designer’s Handbook: Recommendations and Guidelines**, 2nd ed. London: Thomas Telford Books, 2003, 549 p.
- WANKE, P. Ship-berth link and demurrage costs: evaluating different allocation policies and queue priorities via simulation. **SOBRAPO**, v. 31, p. 113–134, 2011.
- ZENG, Q.; YANG, Z. Model Integrating Fleet Design and Ship Routing Problems for Coal Shipping. **Lecture Notes in Computer Science**, v. 4489, p. 1000–1003, 2007.