

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES E LOGÍSTICA

RAIZA CELEGHIN BENEDECTI

AVALIAÇÃO OPERACIONAL E ECONÔMICA DE UM SERVIÇO HIDROVIÁRIO NA
CADEIA LOGÍSTICA DO PORTO ITAPOÁ

Joinville

2022

RAIZA CELEGHIN BENEDECTI

AVALIAÇÃO OPERACIONAL E ECONÔMICA DE UM SERVIÇO HIDROVIÁRIO NA
CADEIA LOGÍSTICA DO PORTO ITAPOÁ

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de bacharel no Curso de Graduação em Engenharia de Transportes e Logística do Centro Tecnológico de Joinville da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Eng. Vanina Macowski Durski Silva.

Coorientador: M. Eng. Gustavo Adolfo Alves da Costa.

Joinville

2022

RAIZA CELEGHIN BENEDECTI

AVALIAÇÃO OPERACIONAL E ECONÔMICA DE UM SERVIÇO HIDROVIÁRIO NA
CADEIA LOGÍSTICA DO PORTO ITAPOÁ

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville (SC), 21 de julho de 2022.

Banca Examinadora:

Dra. Eng. Vanina Macowski Durski Silva
Orientador(a)/Presidente

Dra. Eng. Elisete Santos da Silva Zagheni
Membro(a)
Universidade Federal de Santa Catarina

Sergni Pessoa Rosa Júnior
Membro
Porto Itapoá

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente aos meus pais por incentivarem a minha vinda à Joinville, me apoiarem em todas as decisões ao longo da minha jornada acadêmica e por compreenderem a minha ausência em diversos momentos nos últimos anos. Agradeço também aos meus irmãos por toda experiência compartilhada e todo aconselhamento. Sem vocês, nada disso seria possível!

Ao meu namorado por todo suporte em diversas fases da minha formação, por sempre acreditar no meu melhor e me ajudar a manter a determinação para não desanimar. Obrigada por dividir comigo momentos bons, mas também os mais difíceis, e estar sempre ao meu lado!

À todas amigadas construídas durante a graduação que compartilharam comigo esta jornada e ajudaram a tornarem os momentos difíceis mais leves e descontraídos.

Ao Porto Itapoá pela oportunidade de desenvolvimento de um projeto complexo e de tamanho impacto, resultando neste trabalho. Aos meus colegas de projeto (Gustavo, Lucas e Natália) por todo auxílio e parceria. Aos meus orientadores Vanina e Gustavo por desempenharem tal papel com dedicação, por acreditarem no meu potencial, compartilharem e instigarem a busca por conhecimento, além das experiências proporcionadas, contribuindo para o meu crescimento pessoal, profissional e acadêmico. Obrigada por estarem sempre à disposição para ajudar e por toda paciência.

Agradeço a todos que de certa forma contribuíram com fornecimento de dados e materiais que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa que possibilitou a realização deste trabalho.

Agradeço a todos os professores da UFSC pelos ensinamentos e por contribuírem para eu chegar até aqui. Um obrigado especial à professora Francielly por me iniciar no mundo da simulação e, a cima de tudo, por estar presente em grande parte da minha graduação, me auxiliando e aconselhando em diversos momentos.

Obrigada aos membros da banca, Elisete e Sergni, por aceitarem o convite e por dividirem comigo este momento.

RESUMO

O comércio internacional possui grande relevância na economia do Brasil, destacando o importante papel do transporte marítimo para essa atividade, já que em 2021 88% das exportações e 73% das importações foram realizadas pelo modal. Destas movimentações, 11% são de cargas containerizadas, proporção que cresce ano após ano. Santa Catarina vem aumentando sua participação nacional na movimentação deste tipo de carga, passando de 16% em 2010 para 24% em 2021, conquistando a posição de segundo estado mais movimentador de contêiner. Com a relevância nacional do porto de Itapoá para cargas containerizadas (5º lugar) e da cidade de Joinville, sendo o segundo município que mais movimenta carga pelo porto, chama-se a atenção para o estudo da cadeia logística portuária da região. Caracterizada por depender unicamente do modal rodoviário, os *Depots* que atendem a cidade estão localizados nas cidades portuárias, resultando em baixa eficiência de operação e altos valores de emissão de gases causadores do efeito estufa, já que são necessárias longas viagens de caminhão para contemplação das atividades englobadas no comércio internacional. Neste contexto, o trabalho tem como objetivo estudar a viabilidade econômica e operacional de implantação de um terminal multimodal em Joinville com serviço de *Depot* que ofereça transporte hidroviário para cargas containerizadas entre o município e o porto de Itapoá. Através de simulação baseada em agentes e análises financeiras, a operação proposta se mostra operacional e economicamente viável, além de se mostrar uma opção competitiva com custo para o cliente final 2% menor que o cenário atual. Os resultados mostram impacto positivo no nível de serviço aos clientes de Joinville, reduzindo em 65% o tempo de permanência dos caminhões no sistema e menor impacto ao meio ambiente, emitindo 65% menos de gases de efeito estufa, já que proporciona a redução da quantidade de caminhões utilizados na movimentação das cargas em 48% por dia e, reduz a distância média percorrida pelos mesmos em 84%.

Palavras-chave: Cadeia logística portuária. Simulação baseada em agentes. Terminal multimodal. Transporte hidroviário. Avaliação operacional e econômica.

ABSTRACT

The global trade is relevant for the Brazilian economy, emphasising the great importance of the maritime transport role in the activity, as in 2021 88% of the exports and 73% of the imports were moved by the modal. 11% of these were related to container freight, which is assuming bigger shares year by year. Also, enhancing Santa Catarina's national share for this type of freight, going from 16% in 2010 to 24% in 2021, conquering the second place for container handling in the country. The national relevance of the Itapoá port for container handling and Joinville as the second city that uses the port service the most, draws our attention to study the local maritime supply chain. Depending only on the local road and having Depots located only in the port cities, the maritime supply chain is characterized by its low efficiency and high greenhouse gases emissions, once long truck trips are needed to accomplish the global trade activities. In this context, the aim of this paper is to analyse the economic and operational feasibility of adding an inland container terminal in Joinville with Depot services that also offers freight transportation by barge up to Itapoá port. For this study an agent-based model and financial analysis were developed, revealing a competitive new maritime supply chain arrangement that is operational and economic feasible with a 2% reduction of the client final cost. The results have shown a positive impact in the level of service for the Joinville clients, reducing 65% the average time in the system, hence a planet friendly is assured, as it lowers the greenhouse emissions int 65%. This is a consequence of having 48% less trucks daily and reducing its average distance in 84%.

Keywords: Maritime supply chain. Agent based model. Simulation. Inland terminal. Barge transportation. Operational and economic evaluation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Participação do comércio internacional no PIB mundial para as nove maiores economias do mundo.	16
Figura 2 – Proporção dos tipos de cargas transportadas no longo curso no Brasil em 2021.	17
Figura 3 - Evolução da movimentação de contêineres no longo curso no Brasil e a participação de Santa Catarina.	18
Figura 4 – Contribuição por estado na movimentação de contêiner no longo curso.	18
Figura 5 – Principais portos brasileiros na movimentação de contêineres no longo curso.	19
Figura 6 – Polos Produtivos de Santa Catarina.....	20
Figura 7 – Três grupos de produtos mais exportados por SC em 2021.....	21
Figura 8 – Três grupos de produtos mais importados por SC em 2021.....	21
Figura 9 - Relevância de Joinville nos grupos de produtos mais importados pelo estado (2021).....	22
Figura 10 - Porto de Joinville.....	23
Figura 11 – Agentes da cadeia logística portuária.	30
Figura 12 – Ciclo logístico do contêiner.	32
Figura 13 – Reach stacker.	33
Figura 14 - Empty handlers.	33
Figura 15 – Fluxograma das etapas deste trabalho.	39
Figura 16 - Etapas de desenvolvimento da simulação.....	42
Figura 17 – Terminal Multimodal Tecon Santa Clara (RS).....	44
Figura 18 – Representação da operação atual.	45
Figura 19 – Representação da operação proposta.	46
Figura 20 - Barcaça autopropelida com guindaste.....	47
Figura 21 - Alcance do guindaste da barcaça.....	47
Figura 22 - Localização do Distrito Industrial e Bairro Vigorelli.	48
Figura 23 – Layout básico do terminal multimodal no Vigorelli – Joinville.....	49
Figura 24 - Modelo Conceitual.	50
Figura 25 – Nível de utilização da barcaça.	63
Figura 26 – Fluxo de atividades nas movimentações do contêiner.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo da revisão bibliográfica.....	41
Quadro 2 – Itens de Infraestrutura do terminal multimodal no Vigorelli – Joinville. ...	48
Quadro 3 – Premissas do modelo.	51
Quadro 4 – Dados de entrada do modelo.	52
Quadro 5 – Movimentação anual estimada.....	55
Quadro 6 – Parâmetros para dimensionamento do terminal multimodal e <i>Depot</i>	57
Quadro 7 – Estimativa de custos com infraestrutura do terminal multimodal.	58
Quadro 8 – Estimativa de custos com pessoal.....	58
Quadro 9 – Estimativa de Custo fixo por contêiner.	58
Quadro 10 – Estimativa de custos fixos com mão de obra por <i>reachstacker</i>	59
Quadro 11 – Estimativa de custo fixo <i>reachstacker</i> por contêiner.....	60
Quadro 12 – Estimativa de custo variável de <i>reachstacker</i> por contêiner.....	60
Quadro 13 – Estimativa de custos com tripulação.	61
Quadro 14 – Estimativa de custo fixo por contêiner.	61
Quadro 15 – Estimativa de custo variável da barcaça.	62
Quadro 16 – Estimativa do custo total por transporte de contêiner por fluxo.	65
Quadro 17 – Cálculo BDI.	66
Quadro 18 – Estimativa de preço do serviço multimodal por contêiner e receita anual.	66
Quadro 19 – Resultados da simulação.	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANTAQ – Agência Nacional de Transportes Aquaviários

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

BDI – Benefícios e Despesas Indiretas

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICT – Inland Cargo Terminal

FCL – Full Container Load

FOB – Free on Board

FTC – Ferrovia Tereza Cristina

FUNAG – Fundação Alexandre de Gusmão

GEE – Gases do Efeito Estufa

MDIC – Ministério Do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MDO – Maritime Diesel Oil

NVO – Non-Vessel Operating

PIB – Produto Interno Bruto

PNLT – Plano Nacional de Logística e Transportes

SEBRAE – Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas

SC – Santa Catarina

TEU – Twenty-Foot Equivalent Unit

TGS – TEU Ground Slot

TKU – Toneladas por Quilômetro Útil

UNCTAD – United Nations Conference on Trade and Development

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO	15
1.2. OBJETIVOS	24
1.2.1. Objetivo Geral	24
1.2.2. Objetivos Específicos	25
1.3. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO.....	25
1.3.1. Econômica e Operacional	25
1.3.2. Acadêmica	26
1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	28
2.1. CADEIA LOGÍSTICA PORTUÁRIA	28
2.1.1. Depot	31
2.1.2. Inland Container Terminal (ICT)	34
2.2. SIMULAÇÃO	36
3. MÉTODO	39
3.1. OBJETO DE ESTUDO	39
3.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	39
3.3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO	42
3.3.1. Caracterização do problema e desenvolvimento do modelo conceitual ..	42
3.3.2. Coleta de dados	51
3.3.3. Definição da ferramenta	52
3.3.4. Desenvolvimento do modelo de simulação	53
4. ANÁLISE DE INVESTIMENTO, CUSTOS E DOS RESULTADOS DOS CENÁRIOS SIMULADOS	55
4.1. ANÁLISE DE INVESTIMENTOS E CUSTOS.....	55
4.1.1. Infraestrutura e pessoal	56
4.1.2. Uso de equipamentos para movimentação interna	58
4.1.3. Utilização da barcaça	60
4.1.4. Estimativa de custos e investimentos	63
4.2. ANÁLISE DOS CENÁRIOS E RESULTADOS	67
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69

1. INTRODUÇÃO

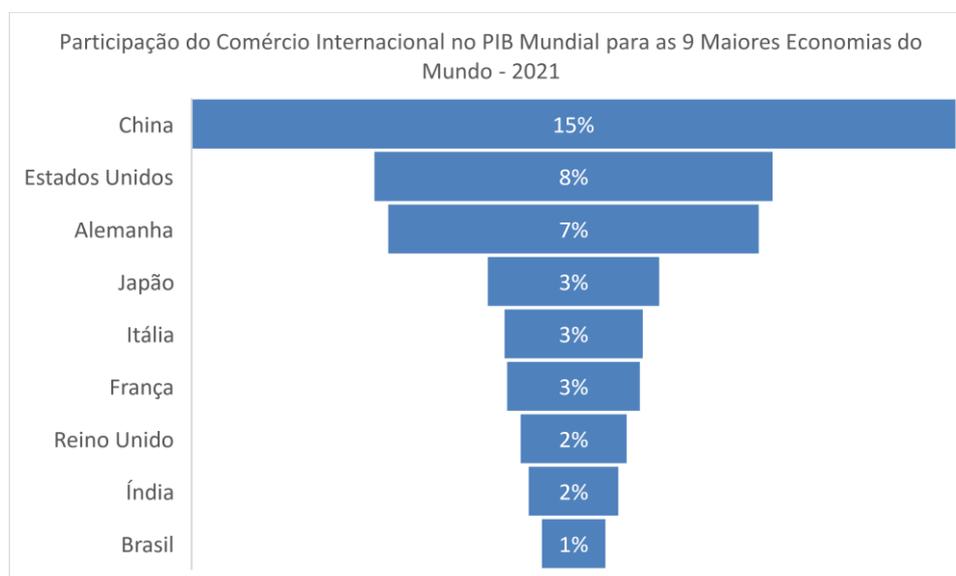
1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O comércio exterior existe desde a antiguidade, quando os povoados realizavam trocas de mercadorias entre territórios distantes e distintos. Sem a possibilidade de produzir tudo que se necessitava, por questões climáticas, ambientais e geográficas, os homens passaram a trocar produtos excedentes por mercadorias que não se encontravam em seu povoado (TAVARES, 2013).

Na mesma lógica, o comércio internacional se desenvolveu a partir da necessidade das nações suprirem suas carências de produtos (RODRIGUES; BENEDICTO, 2009) e está diretamente relacionado com o desenvolvimento dos países, já que oferece a possibilidade de integração econômica, cultural e social. A atividade é reconhecida por contribuir para o desenvolvimento socioeconômico devido ao potencial gerador de emprego e renda, além de proporcionar acesso a recursos externos para empresas se tornarem mais competitivas no mercado global (TAVARES, 2013).

Desde 1950, o comércio exterior vem apresentando um aumento substancial na participação do PIB mundial, ocupando um espaço cada vez maior na economia global, assumindo, em 2007, 50% do Produto Interno Bruto (PIB) mundial pela primeira vez e permanecendo acima desta marca até os dias de hoje (NOTTEBOOM; PALLIS; RODRIGUE, 2021; WORLD BANK, 2021). O aumento da receita e consumo dos bens e serviços, bem como a diminuição dos custos com transporte e tarifas, redução da burocracia e acordos comerciais, são alguns dos fatores que explicam o aumento da relevância do comércio internacional no mundo (NOTTEBOOM *et al.*, 2021). A participação do comércio internacional no PIB mundial de acordo com a UNCTAD (2022) em cada um dos países listados como as nove maiores economias do mundo pela Fundação Alexandre de Gusmão – FUNAG (2021), pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 – Participação do comércio internacional no PIB mundial para as nove maiores economias do mundo.



Fonte: Adaptado de UNCTAD (2022).

A China, apesar de ser a segunda maior economia do mundo de acordo com o instituto FUNAG (2021), apresenta a maior contribuição no PIB mundial (15%), deixando os Estados Unidos em segundo lugar com 8%. No terceiro lugar aparece a Alemanha com 7% de contribuição, seguida do Japão (3%), Itália (3%), França (3%), Reino Unido (2%), Índia (2%) e Brasil (1%) (UNCTAD, 2022).

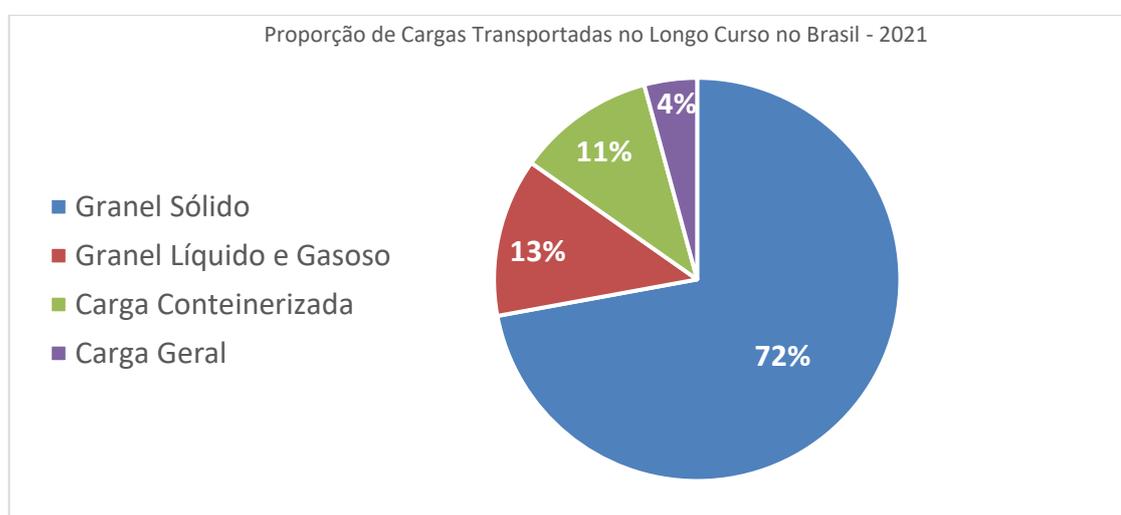
As movimentações de importação e exportação têm relevância para a economia do Brasil, já que o país tem um PIB de R\$ 7,4 trilhões (IBGE, 2021) e apresentou um superávit de US\$61,4 bilhões em 2021 (MDIC, 2022a). Na balança comercial, o superávit acontece quando as exportações excedem as importações (RODRIGUES; BENEDICTO, 2009), diferença que pode ser notada pelos valores do MDIC (2022a).

De acordo com Notteboom *et al.* (2021), sem transporte não existe comércio global e, nesse cenário, o transporte marítimo tem relevante papel em função do baixo custo de operação quando comparado com outros modais e ao se considerar que navios apresentam capacidade de transportar grandes quantidades de mercadorias simultaneamente (TAVARES, 2013). De acordo com o MDIC (2022a), o Brasil exportou US\$248,35 bilhões e importou US\$160,92 bilhões por via marítima no ano de 2021, o equivalente à movimentação de 687 milhões de toneladas para a exportação e 164 milhões de toneladas na importação, valores que representam,

aproximadamente, 88% e 73% das quantidades totais exportadas e importadas pelo país por diferentes modais.

No Brasil, o transporte de longo curso, definido como transporte marítimo entre países diferentes (seja na importação ou na exportação de mercadorias), teve uma participação de 70,5% das movimentações portuárias no ano de 2021 (ANTAQ, 2022). Desta parcela, 11% das cargas são containerizadas, sendo a terceira categoria mais movimentada (Figura 2) no país, depois de cargas em granel sólido (72%) e granel líquido e gasoso (13%) (ANTAQ, 2022).

Figura 2 – Proporção dos tipos de cargas transportadas no longo curso no Brasil em 2021.



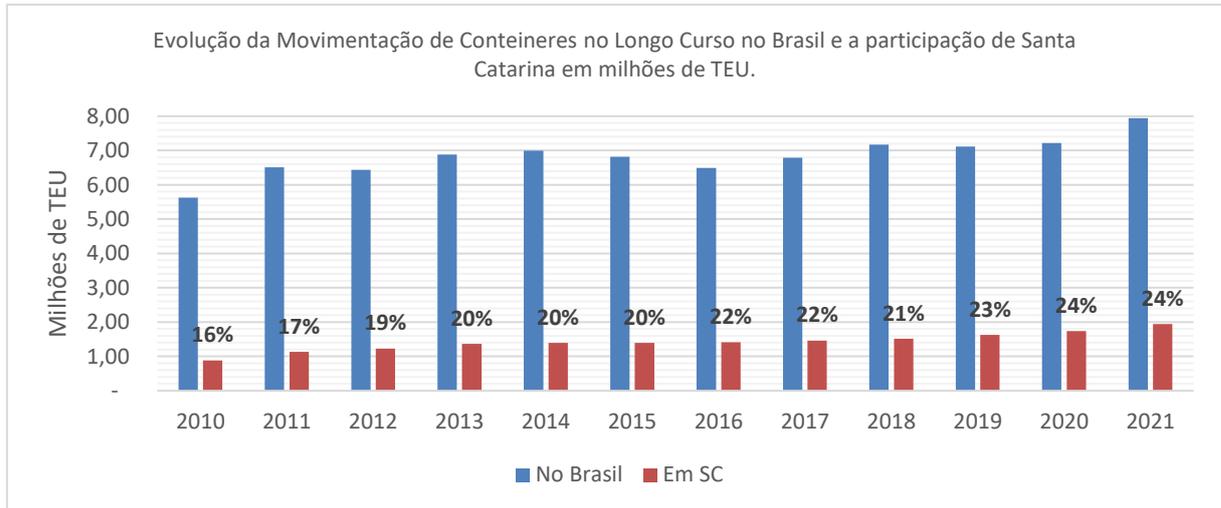
Fonte: Adaptado de ANTAQ (2022a).

Apesar das cargas containerizadas representarem uma participação relativamente baixa (11%), essa parcela vem crescendo nos últimos anos. Em 2021, os portos públicos e privados demonstraram aumento de 8,3%, aproximadamente 422 mil TEU (*Twenty-Foot Equivalent Unit*), e 14,25% (305 mil TEU) respectivamente na movimentação de cargas containerizadas quando comparado com o ano anterior (ANTAQ, 2022).

No transporte de longo curso, no aspecto geral, houve também avanço de 10,4% na exportação e 9,76% na importação no uso de carga containerizada no ano mesmo ano, com destaque para o Porto de Navegantes (+27,58%) (ANTAQ, 2022). Na Figura 3 é possível observar esta evolução na movimentação de contêineres no

longo curso, no Brasil, no período de 2010 a 2021, bem como a parcela movimentada pelo estado de Santa Catarina (SC).

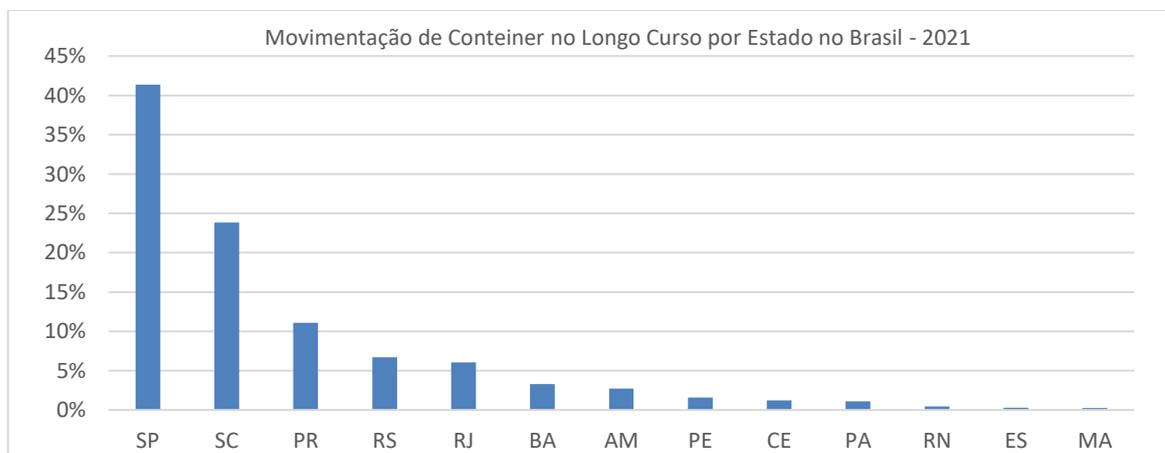
Figura 3 - Evolução da movimentação de contêineres no longo curso no Brasil e a participação de Santa Catarina.



Fonte: Adaptado de ANTAQ (2022a).

A significância dos portos do estado de Santa Catarina na movimentação de contêineres no cenário nacional pode ser percebida na Figura 3, onde é possível observar a crescente participação do estado. Como complementação, as Figuras 4 e 5 apresentam um panorama detalhado da participação de cada estado e porto, respectivamente, no ano de 2021.

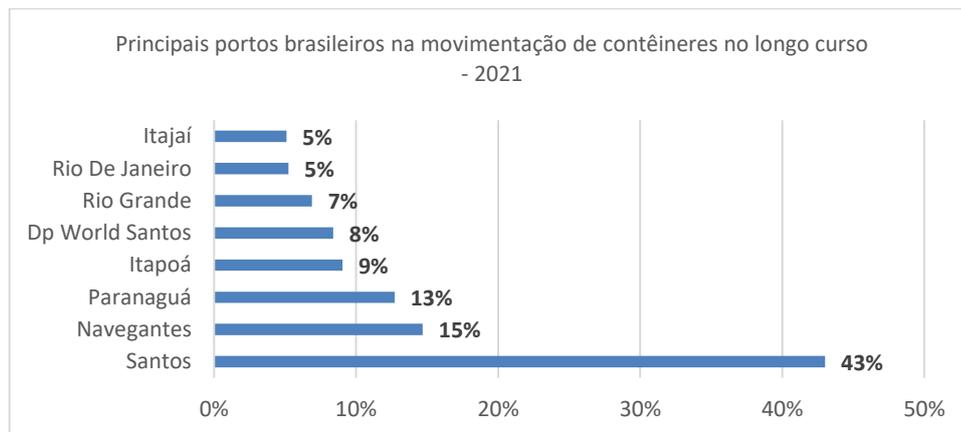
Figura 4 – Contribuição por estado na movimentação de contêiner no longo curso.



Fonte: Adaptado de ANTAQ (2022a).

Na Figura 4 nota-se a posição de Santa Catarina como segundo maior movimentador de cargas containerizadas, tendo movimentado 24% do total no ano de 2021, atrás apenas de São Paulo, que movimentou 41%. A Figura 5 demonstra, ainda, a relevância dos 7 portos brasileiros que mais movimentam contêineres no longo curso, ressaltando a participação do porto de Itapoá-SC (ANTAQ, 2022).

Figura 5 – Principais portos brasileiros na movimentação de contêineres no longo curso.



Fonte: Adaptado de ANTAQ (2022a).

Com a notória relevância nacional do Porto de Itapoá tanto na importação como na exportação de cargas containerizadas e, ainda considerando que Joinville é a segunda cidade do estado que mais movimenta carga através deles (PORTO DE ITAPOÁ, 2021), se faz necessário estudar aspectos da cadeia logística portuária da região, no que tange aos elevados fluxos de contêineres que circulam entre o centro industrial de Joinville e a cidade portuária – Itapoá.

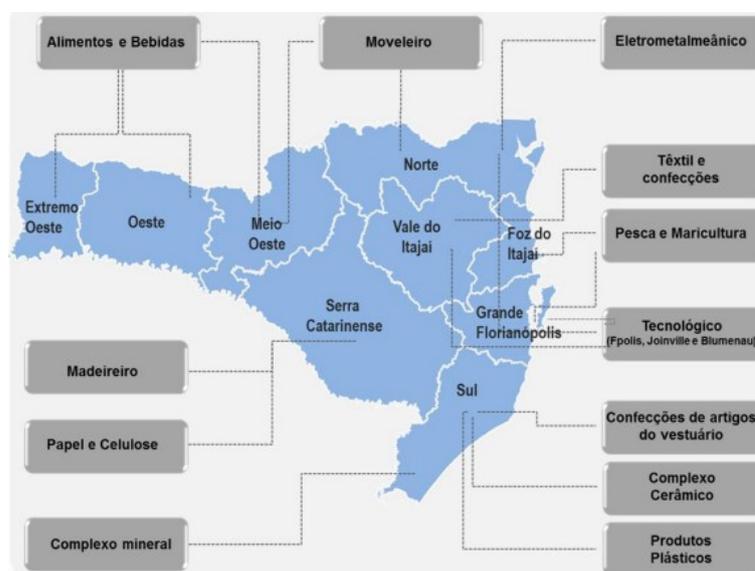
A cadeia logística portuária se refere aos agentes que estão envolvidos nas atividades de produção, logística, transporte e consumo na atividade de exportação e importação, incluindo atores intermediários e terceirizados, como por exemplo os *Depots* e ICT (Inland Container Terminal). Neste cenário, os portos devem se ajustar às práticas do exportador/importador, adicionando valor ao processo (HERZ E FLÄMIG, 2014). No entanto, Notteboom *et al.* (2021) acreditam que as operações em terra são a chave do sucesso da integração ao longo da cadeia, o que acaba por intensificar o desempenho operacional dos portos. Nessa perspectiva, a logística é considerada uma ferramenta competitiva, que auxilia nas tomadas de decisões estratégicas e mercadológicas, na manutenção da qualidade das operações e do nível

de serviço, além de atuar na redução de custos, no aumento da rapidez dos processos e assim alcançar patamares que não se tem hoje e chegar onde os outros não chegam (BALLOU, 1993).

Por outro lado, os serviços em terra dependem da frequência e das tarifas do transporte disponíveis na região, fazendo com que seja um elemento de grande relevância nos custos e no nível de serviço oferecido (TAVARES, 2013). A intermodalidade, por sua vez, oferece uma boa relação de preço e *lead time*, além de permitir a instalação de retroáreas distantes dos terminais portuários, oferecendo vantagens competitivas aos portos (NOTTEBOOM *et al.*, 2021).

O estado de Santa Catarina é dividido em macrorregiões que são reconhecidas por suas localizações geográficas e potenciais produtivos, como apresentado na Figura 6, compreendendo Grande Florianópolis, Vale do Itajaí, Foz do Itajaí, Norte, Meio Oeste, Oeste, Extremo Oeste, Serra Catarinense e Sul (Serviço de Apoio às Micro e Pequenas Empresas – SEBRAE, 2014).

Figura 6 – Polos Produtivos de Santa Catarina.



Fonte: SEBRAE (2014).

De acordo com o MDIC (2022a), 69% do valor de mercadorias exportadas (já excluindo taxas e fretes – valor FOB (Free On Board) (MDIC, 2022c) pelo estado é dividido em três grandes grupos de produtos, sendo eles: produtos de origem animal (35%), madeira e seus derivados (17%) e, reatores nucleares e instrumentos mecânicos/elétricos (17%) – Figura 7.

Figura 7 – Três grupos de produtos mais exportados por SC em 2021.

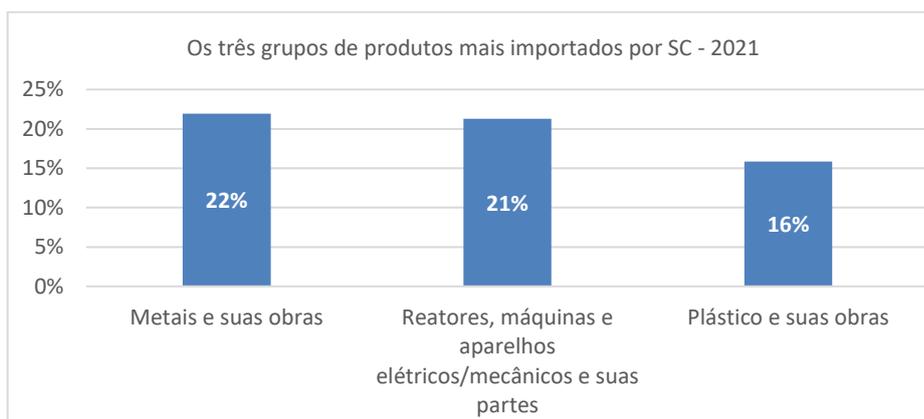


Fonte: Adaptado de MDIC (2022a).

Joinville, localizado no polo eletro metalmeccânico do estado, detém 84% da produção de reatores nucleares e instrumentos mecânicos (PORTO DE ITAPOÁ, 2021).

Já para a importação, nota-se a presença de três categorias de produtos com representatividade de 33% nesta movimentação: metais e suas obras (22%), reatores nucleares, instrumentos mecânicos e aparelhos elétricos (21%) e plásticos e suas obras (16%) – Figura 8.

Figura 8 – Três grupos de produtos mais importados por SC em 2021.

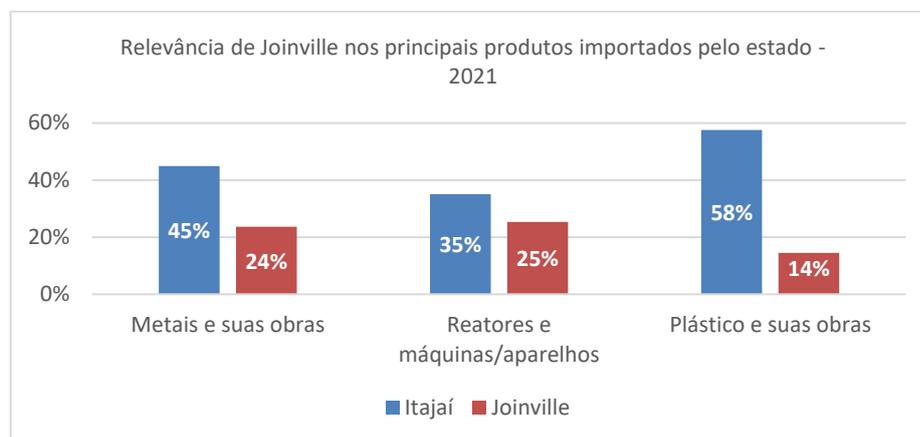


Fonte: Adaptado de MDIC (2022a).

Para estes três grupos de produtos, de acordo com MDIC (2022b), destaca-se Joinville como a segunda cidade que mais os importam conforme ilustrado na

Figura 9, que devido sua proximidade à costa litorânea, conecta-se aos portos do estado através da BR-101 (BRASIL, 2009).

Figura 9 - Relevância de Joinville nos grupos de produtos mais importados pelo estado (2021).



Fonte: Adaptado de MDIC (2022b).

O município de Joinville tem grande representatividade na balança comercial do Estado de SC e em 2021 ocupou a posição de 3º maior exportador, com participação de US\$ 1.076,27 milhões e 2º maior importador com US\$ 4.136,40 milhões (MDIC, 2022b).

É válido citar que o transporte rodoviário está presente em 67,61% (Toneladas por Quilômetro Útil – TKU) das movimentações de carga no país, de acordo com o Plano Nacional de Logística e Transportes (BRASIL, 2021), demonstrando dependência da economia nacional desse modal. Em Santa Catarina, isso se dá devido ao relevo do estado ser caracterizado pela presença de serras que separam o litoral do interior, dificultando a comunicação regional (BARBOSA, 2013) e favorecendo a presença de rodovias.

Cruzando as informações dos polos produtivos de SC com a malha do transporte multimodal do estado apresentado por Brasil (2009), nota-se a predominância de determinados produtos em cada malha de transporte. As rodovias federais BR-470 e 282 concentram um fluxo considerado de produtos provenientes dos setores do agronegócio, com o foco para proteína animal, além de atender a indústria madeireira, do papel e da celulose. Já a BR-280 apresenta um destaque para o transporte de móveis, produtos do setor eletro metalmeccânico e tecnológico. As BR-101 e 116, por cruzarem o estado de Norte a Sul e se conectarem às outras rodovias,

acabam por reunir os diferentes tipos de mercadoria (BRASIL, 2009; BRASIL, 2014). As ferrovias da região, por sua vez apresentam majoritariamente o escoamento de graneis sólidos agrícolas. Apesar das linhas ferroviárias se conectarem aos portos, não há exploração deste modal para transporte de contêineres (BRASIL, 2021).

A predominância do modal rodoviário implica não só dependência econômica, mas também fortes impactos ambientais, sendo responsável por 72,06% das emissões de gases de efeito estufa liberados por todos modais em conjunto e por até 30% das emissões dos gases de efeito estufa em âmbito nacional de acordo com o relatório publicado pelo Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC, 2014. Tais informações levam a acreditar na necessidade de adequar a matriz de transporte brasileira, aproveitando-se de recursos naturais disponíveis, como rios (BRAGA, 2011), que não são explorados como poderiam.

No entanto, existem registros da exploração do modal fluvial para transporte de pessoas e cargas na metade do século XIX entre Joinville e São Francisco do Sul através do Rio Cachoeira e da Baía da Babitonga, citando ainda a presença de um porto em Joinville (JOINVILLE, 2019) – Figura 10. Porém, nos anos de 1920, a navegação fluvial em SC foi desativada devido a expansão da ferrovia, que posteriormente foi suplantada pelas rodovias (GOULART FILHO, 2009) e atualmente a conexão com os portos se dá predominantemente através do modal rodoviário, o que acarreta em maior emissão de GEE (gases do efeito estufa) e maior custo logístico aos clientes.

Figura 10 - Porto de Joinville.



Fonte: Joinville (2019).

Apesar de o transporte fluvial ter sido desativado, o estudo realizado por Corrêa e Guerreiro (2010) indica que o transporte de contêineres por hidrovias pode apresentar grande capacidade de carga e baixo custo, sendo uma boa alternativa ao modal rodoviário. Além disso, de acordo com Barros *et al.* (2018), o modo hidroviário é capaz de emitir 67,32% menos CO₂ que o modo rodoviário. Esta é uma forma de integrar diferentes modais (PIMPANIT; JARUMANEEROJ, 2021) e assim trazer benefícios ao meio ambiente (ESTADOS UNIDOS, 2014) além de melhorar o desempenho logístico da cadeia logística portuária (IBI, 2006) e, a inserção de um ICT que possibilite a conectividade entre o modal rodoviário e o hidroviário pode ser considerado uma boa opção.

Com tais aspectos em mente, surge o questionamento: *Existe viabilidade operacional e econômica para um sistema de transporte hidroviário para cargas containerizadas entre Joinville e o Porto de Itapoá-SC?*

Para responder a esse questionamento, propõe-se este estudo para entender melhor o fluxo de cargas entre Joinville e o Porto de Itapoá e avaliar a possibilidade de desenvolvimento de uma rede multimodal para o transporte dessas cargas containerizadas.

1.2. OBJETIVOS

Para melhor entender os fluxos de carga proveniente e com destino a Joinville que passam pelo Porto de Itapoá e analisar o impacto de uma rede multimodal baseada no transporte de carga containerizada por barcaça, propõe-se neste trabalho os seguintes objetivos.

1.2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um modelo de simulação para a rede logística portuária de carga containerizada das empresas de Joinville atendidas pelo Porto de Itapoá considerando a inserção de um ICT e o transporte hidroviário por barcaças, no intuito de avaliar aspectos econômicos e ambientais e o impacto no nível de serviço aos clientes.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Identificar os principais fluxos de movimentação (exportação e importação) de cargas containerizadas entre Joinville - SC e o Porto de Itapoá.
- Identificar os principais modais utilizados na movimentação de cargas containerizada que se originam/destinam a Joinville - SC.
- Realizar análises de investimento e de custos para a implantação do Terminal Multimodal em Joinville – SC considerando a oferta de transporte hidroviário por barcaças.
- Propor um modelo de simulação baseado em agentes para uma nova rede logística de atendimento aos portos catarinenses.

1.3. JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

1.3.1. Econômica e Operacional

Através de inspeções locais realizadas durante o estudo, constatou-se que atualmente o transporte de carga containerizada entre Joinville o porto depende unicamente do modal rodoviário devido a inexistência de alternativas de outros modais. Como agravante, a região é caracterizada por apresentar *Depots* apenas nas cidades portuárias, fazendo com que as empresas importadoras e exportadoras localizadas em Joinville tenham que percorrer 45km até a retroárea mais próxima (Itapoá). Assim, para a realização do ciclo completo de atividades na importação - retirada do contêiner cheio, descarregamento, devolução do contêiner vazio e retorno à garagem – e exportação – retirada do contêiner vazio, carregamento, entrega do contêiner cheio e retorno do caminhão para a garagem –, os caminhões precisam realizar 2 viagens de ida e volta, totalizando em média 180km de viagem.

Adicionalmente, a predominância do modal rodoviário e a falta de infraestrutura de apoio para a segunda cidade de maior relevância no comércio internacional no Estado acarretam em altos valores de emissão de gases poluentes causadores do efeito estufa e elevado tempo para realização do ciclo de atividades, resultando em baixa eficiência de operação, além de afetar o nível de serviço do porto.

Portanto, através do gerenciamento eficaz da cadeia logística se torna possível obter redução de custos e aprimoramento de serviços (CHRISTOPHER,

2009), resultando em uma posição de maior competitividade nas atividades do comércio internacional. Assim, com a proposta de operação apresentada neste estudo, acredita-se que através das análises de investimento e simulação, possa ser proposto um cenário competitivo à operação atual com mais eficiência, maior nível de serviço e menor agressividade ao meio ambiente.

O sistema de operação sugerido neste trabalho resulta também em novos postos de trabalho, geração de renda, propõe uso comercial da baía da Babitonga e ainda elimina a dependência do modal rodoviário para transporte de cargas na região.

Por esta razão, este trabalho apresenta um conteúdo de relevância econômica e operacional para o país, pois avalia a operação da cadeia logística portuária atual para o transporte de cargas entre Joinville e o Porto de Itapoá, a segunda cidade que mais movimenta carga no estado (PORTO DE ITAPOÁ, 2021) e o quarto porto com maior relevância nacional em transporte de contêineres (ANTAQ, 2022).

1.3.2. Acadêmica

Devido à escassez de publicações científicas a respeito da cadeia logística portuária e sua integração (HERZ; FLÄMIG, 2014; VENKATESH *et al.*, 2020), este trabalho apresenta um conteúdo inédito com potencial de contribuir no âmbito acadêmico, apresentando definições dos elos da cadeia logística portuária e esquematização de suas diferentes configurações.

A aplicação de simulação baseada em agentes neste contexto também apresenta um potencial pouco explorado, tanto pelo método aplicado, como o assunto abordado. Apesar de existirem publicações que relatam a aplicação de simulação para otimização de processos portuários e de alguns elos isolados da cadeia logística portuária, não foi encontrado nenhum estudo voltado para a avaliação de desempenho de uma nova configuração da cadeia logística portuária.

Ainda, com a integração de ferramentas de simulação e de análise econômica de investimentos e custos de operação, este trabalho apresenta conteúdo de grande valia para a academia e que contribui para o estado da arte no que tange ao estudo de desempenho e viabilidade de implantação e operação de uma nova de cadeia logística portuária.

1.4. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está organizado da seguinte maneira: no capítulo 1 apresenta-se a introdução do estudo, no capítulo 2 a fundamentação teórica, contendo a definição de cadeia logística portuária bem como de seus agentes principais e, aspectos relevantes sobre modelos de simulação e diferentes métodos. No capítulo 3 é apresentado o método utilizado para o desenvolvimento do estudo e seus objetivos, levantamento bibliográfico dos trabalhos que relatam a aplicação de simulação na cadeia logística portuária e detalhes do modelo de simulação desenvolvido. No capítulo 4 tem-se a representação dos cálculos de custos e investimentos necessários para implantação e operação do terminal multimodal em Joinville e as análises dos cenários propostos e seus resultados. No capítulo 5 são apresentadas, por fim, as considerações finais deste estudo.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção serão abordados os conceitos relevantes para um amplo entendimento do estudo realizado. Assim, será conceituada a Cadeia Logística Portuária, bem como alguns agentes da mesma como *Depot*, *Inland Container Terminal* (ICT), além de ser abordada a importância do uso de modelos de simulação para se analisar cenários com diferentes configurações para esta cadeia.

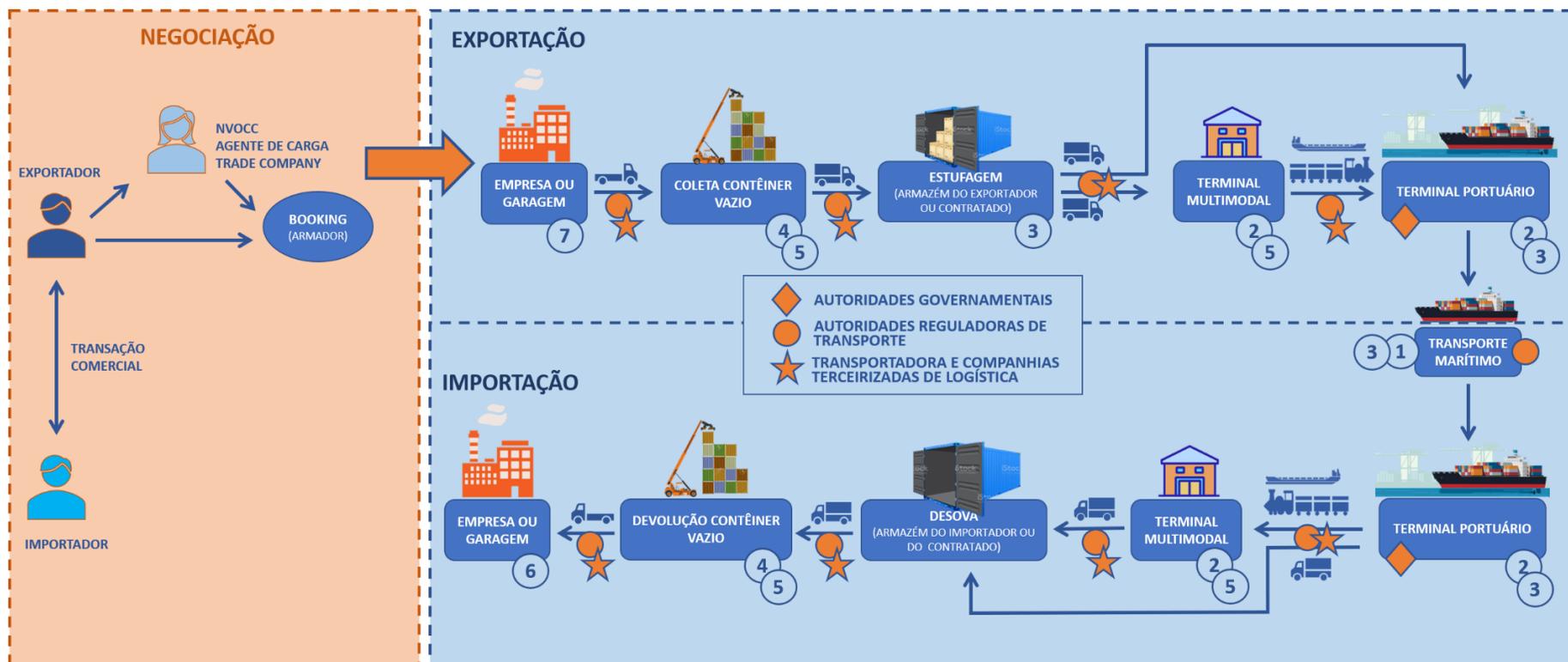
2.1. CADEIA LOGÍSTICA PORTUÁRIA

Cadeia logística portuária engloba aos agentes que estão envolvidos nas atividades de produção, logística, transporte e consumo na atividade de exportação e importação, incluindo atores intermediários e terceirizados (HERZ *et al.*, 2014). Assim, devido à atuação de diferentes agentes na cadeia logística portuária, sua forma pode oferecer múltiplas opções de distribuição, tornando-se mais complexa do que uma cadeia de suprimento da indústria manufatureira, por exemplo (BAALEN; ZUIDWIJK; NUNEN, 2008; VENKATESH *et al.* 2020). Além disso, os portos deixaram de ser simples pontos de carregamento e descarregamento de cargas, tornando-se locais essenciais que oferecem serviços de gerenciamento e coordenação financeira, de cargas e de informação, o que agrega valor ao produto (BAALEN *et al.*, 2008; SEETHAMSETTY; OGOTI, 2020), como estocagem, consolidação, desconsolidação, empacotamento, transporte multimodal, entre outros (VANKATESH *et al.* 2020; SEETHAMSETTY *et al.*, 2020). Para auxiliar nestas novas atividades desempenhadas pelos portos, agentes como *Depots*, centros de distribuição, terminais de transbordo, operadores de transporte, logística e agentes de carga passaram a atuar na cadeia logística (BAALEN *et al.*, 2008; SEETHAMSETTY *et al.*, 2020).

Os portos, por serem considerados *hubs* de uma cadeia logística global e oferecerem a possibilidade de conexão intercontinental de fluxo de carga até localidades distribuídas e mais regionais (BAALEN *et al.*, 2008; SEETHAMSETTY *et al.*, 2020), necessitam do auxílio de diversos agentes e atuação de intermediários e agências de serviços, os quais auxiliam a realização das atividades da cadeia logística portuária (BAALEN *et al.*, 2008) e, desta forma, cada transação pode assumir uma forma diferente de distribuição (BAALEN *et al.*, 2008).

Assim, estes agentes incluem autoridades regulatórias de transporte (ferroviária, rodoviária e aquaviária) e governamentais, transportadoras, companhias de navegação (1), operadores de terminais (2), companhias terceirizadas de logística (3), *Depots* (4), ICTs (5), além dos importadores (6) e exportadores (7), sendo que estes dois últimos podem ser compradores e vendedores diretos ou intermediários, como *Non Vessel Operating Common Carrier* (NVOCC), agente de carga, ou uma *trade company*, atuando somente no transporte marítimo ou no fluxo todo de carga (CLOTT, 2000; DE LANGEN, 2006; HERZ *et al.*, 2014; HIDALGO *et al.*, 2017; KISTENMACHER; ROCHA, 2008; RAN *et al.*, 2010; SEETHAMSETTY *et al.*, 2020; VANKATESH *et al.* 2020; ZAIN *et al.*, 2013). A Figura 11 foi baseada em Baalen *et al.* (2008) e representa o fluxo de interação destes agentes na cadeia logística portuária.

Figura 11 – Agentes da cadeia logística portuária.



Fonte: Adaptado de Baalen *et al.* (2008).

A etapa de negociação pode ocorrer diretamente entre o exportador e o armador ou através de intermediários, (NVOCC, agente de carga ou *trade company*). De acordo com conversa com profissionais da área portuária, os exportadores, podendo ser representados por setores industriais ou comerciais, encaminham suas cargas para a estufagem em sua própria planta ou um armazém contratado e posteriormente ao porto, onde serão embarcadas. Para a primeira opção, se faz necessária a retirada do contêiner vazio no *Depot* ou no ICT para estufagem. O transporte da carga entre os agentes da cadeia pode ser realizado por diferentes modais ou até de maneira intermodal (JANOTTI *et al.*, 2012), a depender da infraestrutura presente. Estando no terminal portuário de embarque, a carga a ser movimentada é transportada ao porto de destino pelo transporte aquaviário, seja por cabotagem ou longo curso, necessitando de transbordo ou não (DA ROCHA, 2006). Uma vez no terminal portuário final, a carga é transferida diretamente ao importador ou, para o armazém contratado, onde ocorre a desconsolidação, podendo passar por *cross docking*, por exemplo e, ser encaminhada para o importador no modal disponível (NOTTEBOOM *et al.*, 2021). Após o descarregamento do contêiner, vazios, são devolvidos para o *Depot* ou ICT para inspeção e reposicionamento em caso de *imbalance* (ZACHRISSON; NAPEROTTI, 2018).

Em todos os processos de transporte, independente do modal utilizado, está presente a agência reguladora de transporte do modal, assim como as autoridades portuárias e governamentais que atuam na fiscalização das atividades desempenhadas nos portos (SILVA, 2021). No entanto, outros agentes como as transportadoras, companhias terceirizadas de logística, NVOCC, agentes de carga, *trade companies*, ICT e *Depots* podem atuar ou não na cadeia, a depender da escolha das empresas importadoras e/ou exportadoras.

É válido comentar que a fim de obter sucesso, eficiência, rapidez no processo como um todo e aumentar a capacidade de superar possíveis disrupções e atrasos, todos os elos da cadeia precisam estar dispostos a estabelecer uma relação colaborativa e com alto grau de coordenação (ZAIN *et al.*, 2014).

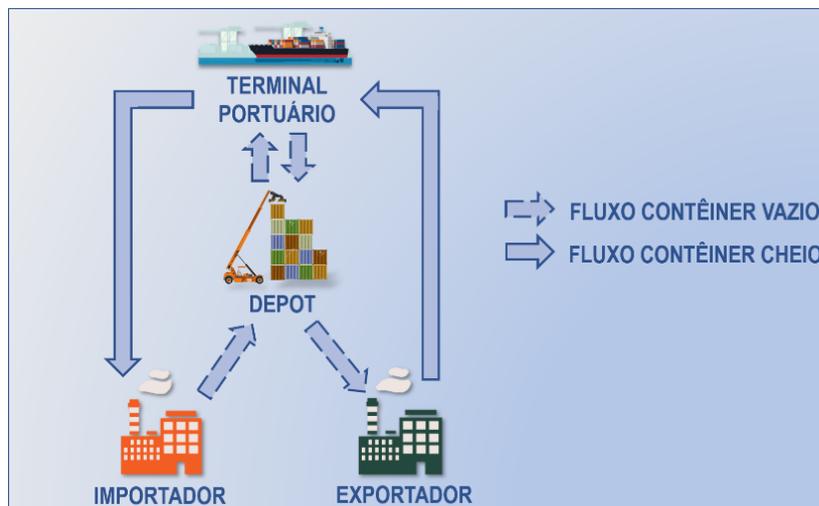
2.1.1. Depot

Os *Depots* são áreas de armazenamento de contêineres vazios, onde também são realizadas atividades complementares para preparar os contêineres para uso pelo

próximo cliente, garantindo os padrões de qualidade exigidos. Possuem importante papel na cadeia logística portuária requisitados no mundo inteiro, pois auxiliam nas atividades do comércio internacional (KARAKAYA; VINEL; SMITH, 2021), atuando como um *buffer* do desbalanceamento causado pela diferença das atividades de importação e exportação (KARAKAYA *et al.*, 2021; MARTÍN; MARTÍ, 2009; WENG; TAN; RAHMAN, 2020).

As atividades prestadas pelos *Depots* para os armadores abrangem: inspeção, orçamentação para reparo, manutenção, limpeza e armazenagem (KARAKAYA *et al.*, 2021; NETO, 2006; WENG; TAN; RAHMAN, 2020; ZACHRISSON *et al.*, 2018; ZAIN *et al.*, 2014). Esses serviços fazem parte de uma importante etapa, já que garantem que os contêineres sejam preparados para a próxima reserva ou para ser reposicionado (MARÍN *et al.*, 2009). A Figura 12 esclarece a relação do *Depot* com o porto e os clientes exportadores e importadores da cadeia.

Figura 12 – Ciclo logístico do contêiner.



Fonte: Adaptado de Zain *et al.* (2014).

Como um elo da cadeia logística portuária (HIDALGO *et al.*, 2017), os *Depots* estão inseridos no ciclo logístico do contêiner, onde este passa por diferentes estágios com *status* de cheio ou vazio (MARÍN *et al.*, 2009). Quando o navio atraca no porto, os contêineres cheios são direcionados aos clientes para serem descarregados. Vazios, são transportados para o *Depot* para serem reparados se necessário e preparados para serem reutilizados em posterior exportação ou então para reposicionamento em caso em *imbalance* (MARÍN *et al.*, 2009; NETO, 2006;

ZACHRISSON *et al.*, 2018; ZAIN *et al.*, 2014). O *imbalance* acontece quando o tipo, tamanho e/ou quantidade de contêineres ofertada e demandada, em âmbito regional ou global, diverge (ZACHRISSON *et al.*, 2018). De acordo com Zain *et al.* (2014), a movimentação de contêineres vazios compreende aproximadamente 20% das movimentações de contêineres pelos portos do mundo inteiro e se gerenciado indevidamente, a cadeia toda irá operar de maneira ineficiente.

Vários tipos de contêineres passam pelos serviços dos *Depots*, como o padrão, *open top*, *flat rack*, *high cube*, plataforma e o refrigerado. Por isso, o *Depot* deve ser bem estruturado e organizado, com áreas destinadas ao armazenamento específico de cada tipo de contêiner, evitando custos extras gerados internamente devido ao mal planejamento da área (KARAKAYA *et al.*, 2021; MARÍN *et al.*, 2009). Os operadores dos *Depots* ainda enfrentam desafios como elaboração do plano de empilhamento dos contêineres de acordo com seu tipo e proprietário, dimensionamento das áreas de reparo e de armazenamento de contêineres que necessitam de infraestruturas especiais, como o caso do refrigerado, além do planejamento do espaço para a movimentação dos equipamentos específicos utilizados, como os *reach stacker* e *empty handlers* (ver Figuras 13 e 14) (KARAKAYA *et al.*, 2021; ZACHRISSON *et al.*, 2018).

Figura 13 – Reach stacker.



Fonte: Hyster (2021).

Figura 14 - Empty handlers.



Fonte: Kalmar (2021)

Os equipamentos indicados nas Figuras 8 e 9 auxiliam na agilidade de atendimento do *Depot*, melhorando seu nível de serviço (WENG *et al.*, 2020), e conseqüentemente, impactam na eficiência dos portos (ZAIN *et al.*, 2014). Isto acontece, pois os *Depots* reduzem a quantidade de contêineres vazios armazenados

na área dos portos, resultando em maior produtividade para estes (ESTADOS UNIDOS, 2014). Além dos equipamentos, a qualidade do gerenciamento do *Depot* pode ser visto como um ponto estratégico na operação e performance da cadeia, adicionando valor ao processo (MARÍN *et al.*, 2009). A má coordenação das atividades e a escolha da política de estoque equivocada pode resultar em atrasos, em limitação do fluxo de informações e de atividades administrativas, aumento de custos e de congestionamento no *Depot*, fazendo com que os motoristas dos caminhões esperem por horas enquanto os contêineres são coletados e preparados para serem transportados (MARÍN *et al.*, 2009; RAHMAN; ZAIN *et al.*, 2014; ZAIN *et al.*, 2014). Com estes aspectos em mente, para dimensionamento de *Depots*, leva-se em consideração parâmetros como quantidade de equipamentos e seus tempos de operação e tamanho do galpão de armazenamento (MOHSENI, 2011; ZAIN *et al.*, 2014).

2.1.2. Inland Container Terminal (ICT)

Os ICT são terminais localizados mais distantes dos portos e realizam atividades locais de armazenamento de contêineres vazios e cheios, desconsolidação e consolidação de cargas, estufagem de contêineres, além de enviarem cargas a serem exportadas para o porto e receberem as importações a serem distribuídas para os clientes locais (ESTADOS UNIDOS, 2014; JARZEMSKIS; VASILIAUSKAS, 2007). Assim, por estarem mais ao interior, os clientes acabam se beneficiando, já que poderão liberar e/ou buscar suas cargas e devolver ou retirar contêineres vazios em localidades mais próximas, reduzindo a quantidade de viagens, as distâncias percorridas e, conseqüentemente, o consumo de combustível e a emissão de gases poluentes (ESTADOS UNIDOS, 2014; ZACHRISSON *et al.*, 2014).

Com estes aspectos em mente, a localização do ICT se torna relevante para o desempenho da cadeia logística portuária. Uma vez estando próximo de polos importadores e exportadores e conectado a diferentes malhas modais, como a rodoviária, ferroviária e aquaviária, maior alcance terá a cadeia logística portuária (BEHDANI *et al.*, 2020). Desta forma, um ICT pode ser também um terminal multimodal responsável por integrar diferentes modais e auxiliar nas atividades desempenhadas pela retroárea de portos (PIMPANIT; JARUMANEEROJ, 2021).

Para muitos portos, a deficiência na conexão entre os elementos da sua cadeia está localizada no acesso à sua retroárea. Estas regiões centralizam os *Depots* e os consolidadores de cargas e, por isso, causam congestionamento, refletindo em atrasos e aumento nos custos de transporte (BEHDANI *et al.*, 2020).

Assim, a disponibilidade de infraestrutura de transporte é um fator de relevância nacional, já que está relacionado ao desenvolvimento econômico do país. O transporte deve estar disponível a preços razoáveis a fim de atender a demanda, que é impulsionada pelo desenvolvimento da economia do país (BRASIL, 2011). De acordo com Notteboom *et al.* (2021), quanto melhor a eficiência da cadeia logística portuária em realizar um *design* de transporte entre as origens e os destinos, melhor sua capilaridade; sendo que um *layout* ótimo oferece qualidade, confiabilidade e *lead time* pelo menor custo possível.

Behdani *et al.* (2020) revelam que a conectividade multimodal é um fator determinante no *market share* de um porto em uma dada região. No comércio internacional, apesar de o maior trecho do transporte das cargas ser realizada por embarcações, são outros modais que garantem que os produtos cheguem em seus destinos finais (importação) ou até os portos para exportação. É neste momento que os terminais multimodais atuam. Com um papel crucial na cadeia logística do comércio internacional, esses terminais são capazes de aumentar a cobertura do transporte e proporcionar uma economia de escala e, assim, reduzir os custos (PIMPANIT; JARUMANEEROJ, 2021).

Por esta razão, os Estados Unidos, Europa e Austrália vêm desenvolvendo estudos de implantação de ICTs a fim de melhorar desempenho logístico, quando se trata de movimentação de cargas, e aliviar impactos causados nas comunidades próximas as regiões portuárias (IBI, 2006), além de proporcionar maior alcance da área de influência dos portos e acessibilidade para regiões mais distantes (IBI, 2006; RUSGIYARTO *et al.*, 2018). Os ICTs estão sendo, cada vez mais, reconhecidos mundialmente por demonstrarem benefícios significantes no tráfego regional, na economia, na sociedade e no meio ambiente (ESTADOS UNIDOS, 2014). Zachrisson *et al.* (2014) defendem a implantação de ICTs devido a mudança de padrão que as indústrias e empresas vêm apresentando atualmente, buscando instalações em regiões mais internas devido ao elevado custo das áreas próximas aos terminais portuários. No entanto os mesmos autores revelam que a atividade de

reposicionamento de contêineres vazios para solucionar problemas de *imbalance* em ICTs é mais demandante quando comparado aos *Depots* próximos aos portos.

De acordo com Hidalgo *et al.* (2017), como os ICT podem assumir atividades de portos internos e *Depots*, aspectos como definição do design dos espaços do pátio e armazenamento de vazios, localização e quantidade dos blocos de empilhamento de contêineres e quantidade de equipamentos estão diretamente relacionados à qualidade e eficiência da operação. Mohseni (2011) define que o design de um terminal está relacionado ao equipamento de *handling* a ser empregado e que para sua elaboração precisam ser considerados: tempo de carga e descarga, tamanho e número de berços, tamanho do cais, capacidade do pátio e tempo de funcionamento do terminal. Parâmetros que serão considerados no desenvolvimento deste estudo.

2.2. SIMULAÇÃO

Em muitos casos, a fim de resolver problemas, é impossível buscar soluções através de erros e acertos, por exemplo construindo e desconstruindo, já que esta tentativa pode se tornar cara e perigosa. Como alternativa, buscam-se os modelos, que podem ser mentais, de fórmulas, de caixas e setas, planilhas, maquetes ou simulações (BORSHCHEV, 2015). Os modelos de simulação, enfoque deste trabalho, são reconhecidos por serem uma metodologia de solução de problemas reais e de análise e comparação de cenários atuais e futuros, ajudando no processo de tomada de decisões e na avaliação do comportamento de sistemas quando surge perguntas “e se..?”, levando a determinação de ações mais eficientes em cenários complexos (BANKS, 199; IVANOV, 2020; PUJAWAN *et al.*, 2015).

Os estudos envolvendo simulações vêm ganhando mais espaço na academia devido à possibilidade de adição de detalhes e complementos que auxiliam em análises mais robustas para diferentes cenários antes mesmo destes serem colocados em prática, evitando assim grandes gastos indesejáveis (IVANOV, 2020). Além disso, Banks (1999) cita outras vantagens como: examinar um processo em poucos minutos, ou então em *slow motion*, avaliar interações entre variáveis de sistemas complexos, identificar gargalos, explorar novas políticas, operações e métodos sem gastos extras, entre outros. Algumas desvantagens também são reveladas, como a necessidade de mão de obra qualificada para sua elaboração e o fato de que os resultados obtidos podem ser de difícil interpretação (BANKS, 1999).

Complementando, o modelo precisa ser acurado, mas nem tão complexo ou simples, ou então os resultados não serão fiéis (BALCI, 1990; BROOKS; TOBIAS, 1996).

Assim, os métodos de simulação podem ser classificados entre sistemas dinâmicos, eventos discretos ou baseados em agentes, a depender do nível de abstração que se deseja (ANYLOGIC, 2020; BORSHCHEV, 2015). A abordagem de sistema dinâmicos apresenta um nível alto de abstração, onde os processos são modelados como fluxos entre estoques, sendo mais aplicado em gerenciamento estratégico, marketing e problemas macroeconômicos (ANYLOGIC, 2020). O método de eventos discretos necessita de um nível médio de abstração para representar um sistema como uma sequência de operações, como um *flowchart* contendo variáveis de estado que mudam com o tempo de acordo com o acontecimento de eventos, sendo amplamente empregado nas áreas de manufatura (ANYLOGIC, 2020; BANKS, 1999). Já a simulação baseada em agentes descreve um sistema através da interação dos componentes entre si e com o ambiente, podendo ser de baixa ou alta abstração de detalhes (BORSHCHEV, 2015). Esta metodologia possui ampla aplicabilidade, podendo ser utilizadas para simular processos produtivos ou até sistemas complexos (ANYLOGIC, 2020; MCKAY; YIN, 2018).

A exigência por uma eficiência operacional maior da cadeia logística portuária nos últimos anos, tem aumentado a demanda por aplicação de softwares e hardwares na tomada de decisão em atividades do ramo (ZHOU et al., 2021). Abordagens como experimentos físicos, programação matemática e simulação vêm sendo aplicadas para atribuir complexidades do sistema de *supply chain* (MEDINA et al., 2013). De acordo com Medina et al. (2013), os experimentos físicos são limitados devido aos seus altos orçamentos, enquanto as modelagens matemáticas se tornam impraticáveis em cenários complexos que envolvem aspectos estocásticos e elos conectados dinamicamente, que é o caso da cadeia logística portuária. Já a abordagem por simulação proporciona a integração de diferentes metodologias para o desenvolvimento de modelos capazes de reproduzirem redes complexas, como a do presente estudo.

Segundo os autores supracitados, no ramo da cadeia logística portuária, métodos de simulação vêm sendo aplicados há anos, relatando usos desde 1992. No entanto, as abordagens estão voltadas principalmente para dimensionamento e planejamento aplicados em três diferentes processos: operação do terminal portuário, do transporte marítimo e da retroárea (MEDINA et al., 2013; ZHOU et al., 2021).

Porém, não citam exemplos onde avalia-se a integração destes processos, mas sim cada um deles de forma isolada, como alocação de berço, operação de pátio e alocação de tarefas e frota (ZHOU et al., 2021, SILVA et al., 2017; TRISKA, et al., 2020).

3. MÉTODO

O método adotado para o desenvolvimento deste trabalho pode ser dividido em sete etapas, sendo que as quatro primeiras são descritas com maiores detalhes nas subseções a seguir, deixando as análises de investimentos, custos, dos cenários e dos resultados para o capítulo 4 . A Figura 15 exibe o fluxograma da execução das etapas deste trabalho.

Figura 15 – Fluxograma das etapas deste trabalho.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2021).

3.1. OBJETO DE ESTUDO

A fim de averiguar a viabilidade econômica e operacional de implantação de um terminal multimodal em Joinville com serviço de *Depot* que ofereça transporte hidroviário para cargas containerizadas entre o município e o porto de Itapoá foram definidos os objetivos gerais e específicos para este trabalho, apresentados respectivamente na seção 1.2.

3.2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Inicialmente, para o desenvolvimento deste trabalho, foi realizado o levantamento bibliográfico a respeito de cadeias logísticas portuárias a fim de mapear os principais agentes e fluxos de cargas entre eles. Na sequência, realizou-se a busca de trabalhos acadêmicos para avaliar o estado da arte referente ao uso de simulação híbrida para aplicações voltadas à cadeia logística portuária e sua operação, objetivando a análise dos impactos de inserção de novos agentes no sistema, mais

especificamente, de um ICT que integre as funções de *Depot* e terminal multimodal. O propósito desta busca foi de encontrar trabalhos que corroborassem o uso desta metodologia no estudo.

Para a pesquisa foi utilizada a base Scopus com a combinação das seguintes palavras-chave inclusas no título, resumo e palavras-chave: “*maritime logistic**” OR “*maritime supply chain*” AND “*simulation*”. A busca foi restringida para artigos e *conference papers* e como resultado foram encontrados 50 documentos, sendo o mais antigo de 2002. Apesar do objetivo da busca ser para identificar publicações que fazem uso de simulação para avaliar a inserção de ICTs em cadeias logísticas portuárias, não foi possível encontrar nenhum trabalho ao adicionar na busca as palavras “*Depot*” ou “*ICT*” ou “*inland terminal*”.

Após a leitura dos títulos, e posteriormente dos resumos, foram excluídos 34 documentos, incluindo 5 duplicados, que não estavam diretamente relacionados ao objetivo da busca, ou seja, não relatavam o uso de simulação aplicada na cadeia logística portuária. Com a leitura dos 16 documentos selecionados, percebeu-se que 12 relatavam sobre otimizar a eficiência das atividades desempenhadas por terminais portuários em específico, como alocação de berços (LEÓN *et al.*, 2021; BRIANO *et al.*, 2005), equilíbrio da carga de trabalho, controle ou otimização de operação de equipamentos (CUONG *et al.*, 2022; GARRO *et al.*, 2015; SCHOLZ-REITER *et al.*, 2010), capacidade ou estratégia de carregamento de embarcações (ARATA *et al.*, 2012; BRUZZONE *et al.*, 2011; MEDINA *et al.*, 2015; MONACO; SAMMARRA, 2008; PRASAD; GAVIRNENI, 2010; SUGRUE; ADRIAENS, 2021; TENGKU-ADNAN; SIER; IBRAHIM, 2009) e minimização de custos (PUJAWAN *et al.*, 2015).

Os outros quatro documentos que não relatavam sobre o desempenho de terminais portuários, estão voltados para o gerenciamento de entrega peças e agendamento de manutenção no melhor porto da rota de embarcações (KIAN; BEKTAS; OUELHADJ, 2019), avaliar os benefícios de aumentar a visibilidade de processos e de informações na cadeia logística portuária para minimizar atrasos (RAN *et al.*, 2010), entender a influência da competição entre os portos e dos serviços retroportuários (REN *et al.*, 2021) e analisar o impacto das velocidades das embarcações na cadeia logística portuária (TRAN; LAM, 2022).

Para os 16 documentos encontrados, foi realizada uma análise dos métodos de simulação aplicados e dos softwares utilizados e foi resumido ao conteúdo presente no Quadro 1.

Quadro 1 – Resumo da revisão bibliográfica.

Autor	Método de Simulação	Software	Problemática
(BRUZZONE <i>et al.</i> , 2002)	Heurísticas, Inteligência artificial e Simulação	Não mencionado	Avaliação de configuração de frota de navios.
(BRIANO <i>et al.</i> , 2005)	Simulação de Eventos Discretos e Programação Linear	LINGO para a programação linear. Software de simulação não mencionado.	Alocação de berços e empilhamento de contêineres.
(MONACO <i>et al.</i> , 2008)	Heurística e Programação linear	LINGO	Minimização do tempo de carregamento dos navios.
(TENGGU-ADNAN <i>et al.</i> , 2009)	Simulação de Eventos Discretos	Larmer's Witness	Avaliação do impacto das regras de prioridade dos navios.
(RAN <i>et al.</i> , 2010)	Não mencionado	Não mencionado	Avaliar benefícios do aumento de visibilidade dos processos e de informações na cadeia logística portuária.
(PRASAD <i>et al.</i> , 2010)	Heurística	Não mencionado	Simulação voltada para operações do porto, auxiliando no planejamento e processamento de navios.
(SCHOLZ-REITER <i>et al.</i> , 2010)	Event driven process chain	Não mencionado	Propõe um novo método para o <i>handling</i> de chapas de aço.
(GARRO <i>et al.</i> , 2015)	Simulação Baseada em Agentes e Programação Matemática.	Repast Symphony Toolkit	Simulação de um terminal de transbordo.
(MEDINA <i>et al.</i> , 2015)	Distributed simulation	Arena Distributed Simulation Coordination	Determinar o volume máximo possível suportado pela frota de navios.
(PUJAWAN <i>et al.</i> , 2015)	Análises estatísticas	ARENA	Avaliação do impacto de variáveis como capacidade de armazenamento, tamanho da frota, horas de operação e regras de despacho no custo logístico.
(KIAN <i>et al.</i> , 2019)	Programação Matemática	CPLEX	Agendamento de manutenção em embarcações operando.
(SUGRUE, ADRIAENS, 2021)	Regressão linear e análises estatísticas	Não mencionado	Modelo para previsão de capacidade de carregamento das embarcações e tempo de viagem.
(LEÓN <i>et al.</i> , 2021)	Algoritmo genético	Não mencionado	Alocação de berços.
(REN <i>et al.</i> , 2021)	Modelagem matemática	Não mencionado	Avaliação da influência da intensidade da competição entre portos e os custos logísticos da retroárea.
(TRAN <i>et al.</i> , 2022)	Não mencionado	Não mencionado	Avaliar os efeitos da velocidade dos navios na cadeia logística portuária.
(CUONG, <i>et al.</i> , 2022)	Rede neural e Letka-Volterra	Não mencionado	Proporcionar melhor alocação de mão de obra e maquinários na gestão portuária.

Fonte: Desenvolvido pela autora (2022).

Com o conteúdo apresentado no Quadro 1, observa-se que 12 documentos, apesar de apresentarem a palavra *simulation* no resumo, título ou nas palavras-chave, não faz uso das técnicas de simulação, mas sim de métodos heurísticos, programação

matemática ou análises estatísticas. Apenas quatro dos 16 trabalhos relatam a aplicação de métodos de simulação (baseada em agentes ou eventos discretos).

3.3. DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Devido ao resultado da pesquisa da seção 3.2 revelar a escassez de trabalhos voltados ao uso de simulação para análise de inserção de novos elos em cadeias logísticas portuárias, como ICTs e terminais, optou-se por desenvolver um modelo de simulação com tal abordagem a fim de melhor analisar a operacionalização de um serviço hidroviário na cadeia logística do porto de Itapoá.

A sequência de etapas seguidas para a elaboração do modelo de simulação foi baseada nas metodologias propostas por Banks (1999), Balci (1990) e McKay et al. (2018) – Figura 16.

Figura 16 - Etapas de desenvolvimento da simulação.



Fonte: Adaptado de Banks (1999) e Balci (1990).

Unindo as propostas dos dois autores, as etapas desenvolvidas foram: caracterização do problema, formulação do modelo conceitual em paralelo com a etapa de coleta de dados, seguidas das etapas de identificação da técnica de simulação a ser aplicada, da compilação e da análise de resultados. Cada uma dessas etapas é abordada com mais detalhes nas subseções a seguir.

3.3.1. Caracterização do problema e desenvolvimento do modelo conceitual

A elaboração do modelo conceitual depende do nível de abstração da representação de cada entidade incluída na simulação (GARRO *et al.*, 2005) e para esta definição é preciso passar pela fase caracterização do problema, que é por onde todo projeto de simulação se inicia (BANKS, 1999). É nesta etapa inicial onde o

problema é bem definido, estabelecendo-se os objetivos e os questionamentos que serão respondidos, guiando o desenvolvedor da simulação durante a estruturação do projeto (BALCI, 1990; BANKS, 1999).

A problemática estudada surgiu como proposta de um projeto de iniciação científica, onde buscava-se entender a possibilidade de desenvolver uma rede multimodal para o transporte de cargas conteineirizadas entre Joinville e o porto de Itapoá-SC baseado no modal hidroviário. Com este questionamento como guia, buscou-se um entendimento mais aprofundado do problema através de visitas técnicas aos principais portos de Santa Catarina, a uma transportadora e a um terminal multimodal da região, inspeções locais dos trajetos realizados entre Joinville e os portos, além de reuniões com especialistas do ramo.

Adicionalmente, foi realizada uma análise sobre o uso do sistema hidroviário em outros locais, como na Europa e nos Estados Unidos, onde o uso de barcaça para transporte de cargas é altamente difundido, apresentando diversas rotas de navegação. Para a Europa, devido à proximidade de outros países, o modal é utilizado também para transporte internacional. Para ambos, não foi constatado um padrão para o tipo de barcaça utilizada (autopropelida ou empurrada), mas que o modal depende de equipamentos em terra para carga e descarga, como portêineres.

No Brasil, o uso de barcaças para transporte de carga pode ser encontrado apenas na Bacia Hidrográfica do Amazonas e do Atlântico Sul. A primeira inclui os Portos de Porto Velho (RO), Manaus (AM), Santarém (PA), Vila do Conde (PA) e Santana (AP) enquanto a segunda atende o Porto do Rio Grande (RS), conectando-o ao Terminal de Santa Clara (Figura 17) no Polo Petroquímico de Triunfo (RS). No Amazonas predomina a utilização de balsas com empurrador e operações de carga e descarga em rampas por *reachstackers*. Já no Rio Grande do Sul, a operação faz uso de barcaças autopropelidas e portêineres em terra.

Figura 17 – Terminal Multimodal Tecon Santa Clara (RS).



Fonte: Wilson Sons (2021).

Apesar de Joinville estar geograficamente localizada em uma região que poderia se beneficiar da malha hidroviária que possui, constatou-se que atualmente o transporte de cargas entre a cidade e Itapoá é feito exclusivamente pelo modal rodoviário. Outro aspecto característico é que para as empresas de Joinville importarem ou exportarem produtos, são obrigadas a contratarem os serviços de *Depots* e terminais multimodais localizados nas cidades portuárias devido a inexistências destas facilidades na região empresarial. Assim, para a contemplação dos ciclos de atividades, para importação ou exportação, são realizadas 2 viagens de ida e volta entre o polo industrial e a cidade portuária. Localizada a 45km do Porto de Itapoá, 95km do Porto de Navegantes e 99km do Porto de Itajaí, a distância média percorrida por caminhão fica em torno de 319km, causando congestionamentos nas rodovias, altos valores de emissão de gases poluentes e de consumo de borracha, elevados custos de operação, além de prejudicar a comunidade dos arredores do porto.

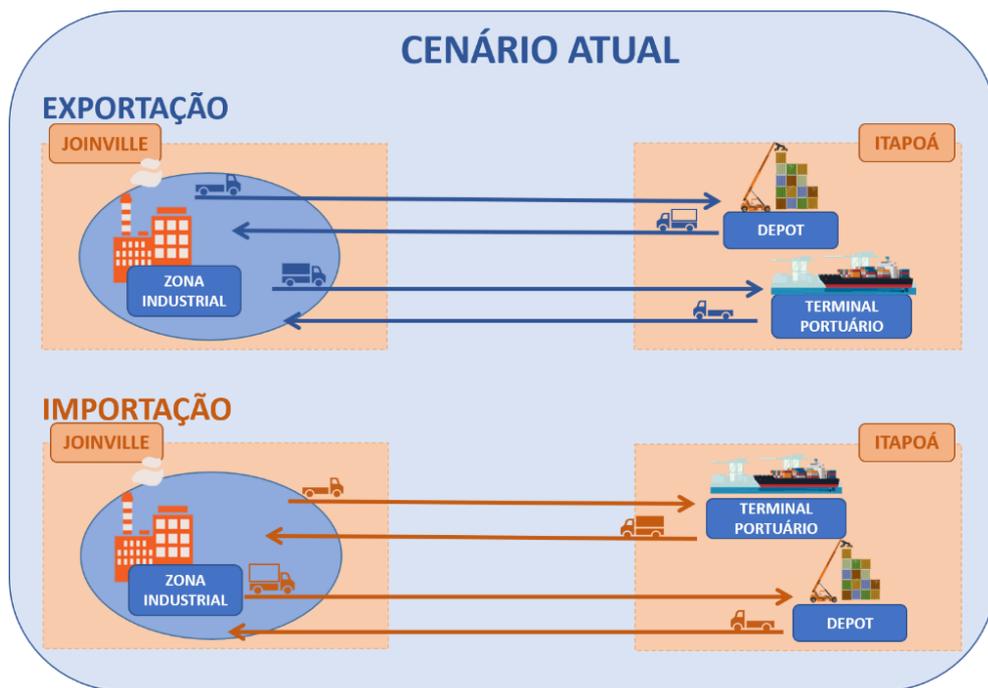
Uma vez caracterizado o problema de estudo, iniciou-se a construção do modelo conceitual a ser utilizado na elaboração do modelo de simulação, etapa de relevância para o desenvolvimento de qualquer simulação, sendo considerado por Robinson (2007) a de maior importância. De acordo com Pereira e Chwif (2010), um modelo mal elaborado ou a ausência do modelo conceitual pode acarretar muitos retrabalhos ou então em um projeto que não seja capaz de atingir os objetivos desejados. Como um dos primeiros produtos de uma simulação, o modelo conceitual independe da linguagem ou do *software* a serem empregados, já que trata de uma representação abstrata do modelo mental (PEREIRA *et al*, 2010).

Nesta etapa é onde são definidos o escopo, as premissas, as simplificações e os cenários serem considerados neste trabalho (BANKS, 199; PEREIRA *et al*, 2010;

ROBINSON, 2015). O escopo se refere a abrangência do estudo e o grau de profundidade do modelo (PEREIRA *et al*, 2010). Para o modelo de simulação desenvolvido, por exemplo, não foi considerada a operação do transporte marítimo, enquanto os processos internos dos *Depots* e terminais portuários são representados através de tempos genéricos baseados em distribuições estatísticas de acordo com dados coletados em visitas técnicas, conversas e entrevistas com profissionais do ramo.

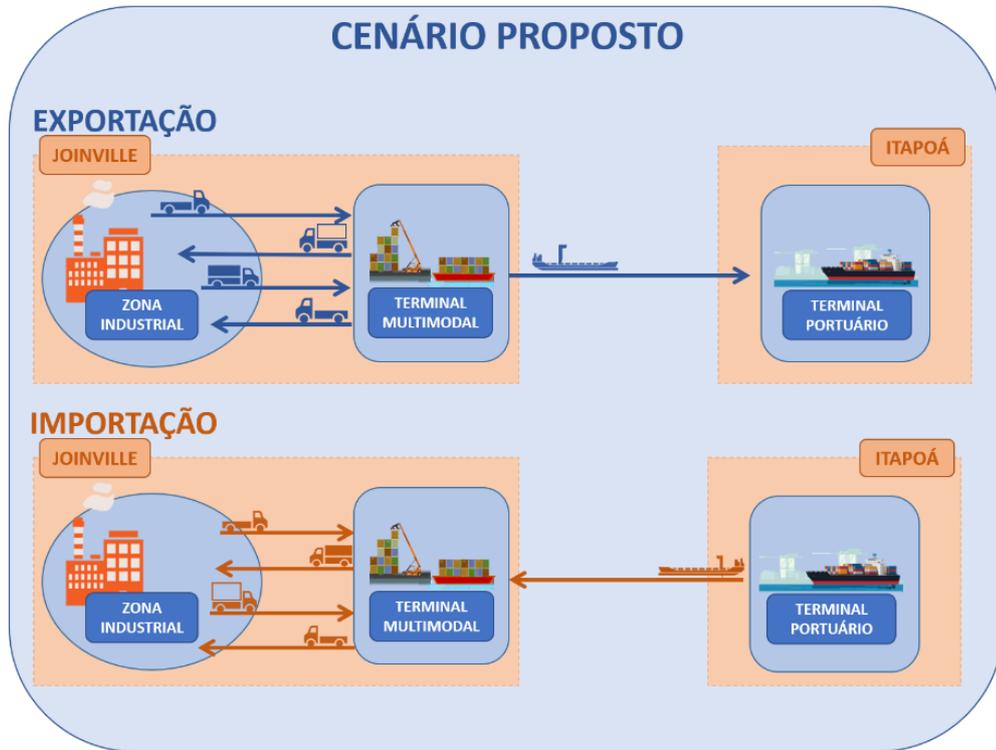
Para o estudo serão considerados 2 cenários com fluxos diferentes para a movimentação de carga containerizada (de importação e de exportação) entre Joinville e o porto de Itapoá, representando a operação atual e a operação proposta, respectivamente – Figura 18 e 19.

Figura 18 – Representação da operação atual.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Figura 19 – Representação da operação proposta.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No cenário atual (Figura 18), as empresas localizadas em Joinville precisam deslocar caminhões até Itapoá para realizar a retirada e devolução dos contêineres vazios e cheios, realizando 4 viagens entre as duas cidades. No cenário proposto (Figura 19) considera-se a inclusão de um terminal multimodal em Joinville, onde as empresas da cidade podem retirar e devolver contêineres vazios e cheios, reduzindo a distância percorrida pelos caminhões. Isto é possível já que na modelagem operacional do cenário proposto uma só empresa gerencia os serviços do *Depot* e do terminal. Os contêineres de importação e exportação são transportados entre o terminal multimodal e o terminal portuário de Itapoá por uma barcaça autopropelida com guindaste acoplado, como a barcaça proposta pela empresa Port Feeder Barge – Figura 20.

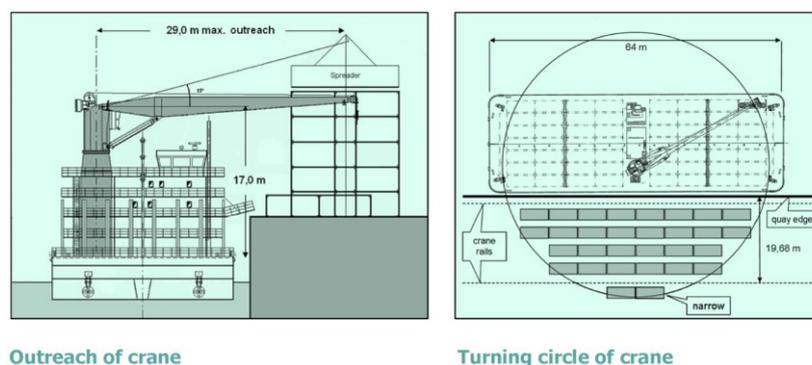
Figura 20 - Barcaça autopropelida com guindaste.



Fonte: Port Feeder Barge (2021).

A escolha do modelo da barcaça considera que o Terminal em Joinville não possuirá um nível de movimentação que justifique o investimento em portêiner, que por sua vez também demandaria reforço no cais de atracação. Com o guindaste acoplado, a barcaça realiza a carga e descarga dos contêineres no terminal multimodal e possui maior flexibilidade de operação no Porto Itapoá, podendo fazer uso dos portêineres do porto quando disponíveis ou então operar com maior independência. Outro aspecto a ser citado é a viabilização da operação mais otimizada no terminal multimodal proposto, pois a lança do guindaste tem capacidade de alcançar as pilhas de contêineres no pátio do terminal – Figura 21. Logo, pode-se adotar um planejamento de pátio que aloque os contêineres de embarque ao longo da faixa do cais, dentro do alcance da lança do guindaste e, na descarga, deve-se alocar espaço no pátio para armazenamento direto após descarga.

Figura 21 - Alcance do guindaste da barcaça.



Fonte: Port Feeder Barge (2021).

O cenário proposto considera ainda a alocação do terminal multimodal de Joinville na região do Vigorelli (Figura 22). A localização foi definida considerando a proximidade ao distrito industrial da cidade, a acessibilidade rodoviária e aquaviária e

não estar em zona urbana. O bairro já apresenta serviço de transporte de veículos por balsa entre Joinville e São Francisco do Sul e contém algumas áreas atualmente ocupadas com restaurantes ou pequenas casas podem ser adquiridas para desenvolvimento do terminal.

Figura 22 - Localização do Distrito Industrial e Bairro Vigorelli.



Fonte: adaptação do Google Maps (2022).

Com a localização do terminal definida, foi realizado seu dimensionamento levando em considerações parâmetros mencionados por Hidalgo *et al.* (2017) e Mohseni (2011) na seção 2.1.2. O Quadro 2 apresenta um resumo destes parâmetros e os itens de infraestrutura para seu layout básico e na Figura 23 consta sua representação.

Quadro 2 – Itens de Infraestrutura do terminal multimodal no Vigorelli – Joinville.

Características do Terminal	Fator para Dimensionamento
Berço Atracação	Dimensões da Barcaça
Pátio de Armazenagem	Movimentação de Contêineres
Gates	Movimentação de Contêineres
Prédio Administrativo	Quadro de Funcionários
Oficina de Manutenção	Quantidade de Equipamentos
Área de Espera de Caminhões	Movimentação de Contêineres
Área para Depot	Movimentação de Contêineres

Fonte: Desenvolvido pela autora (2022).

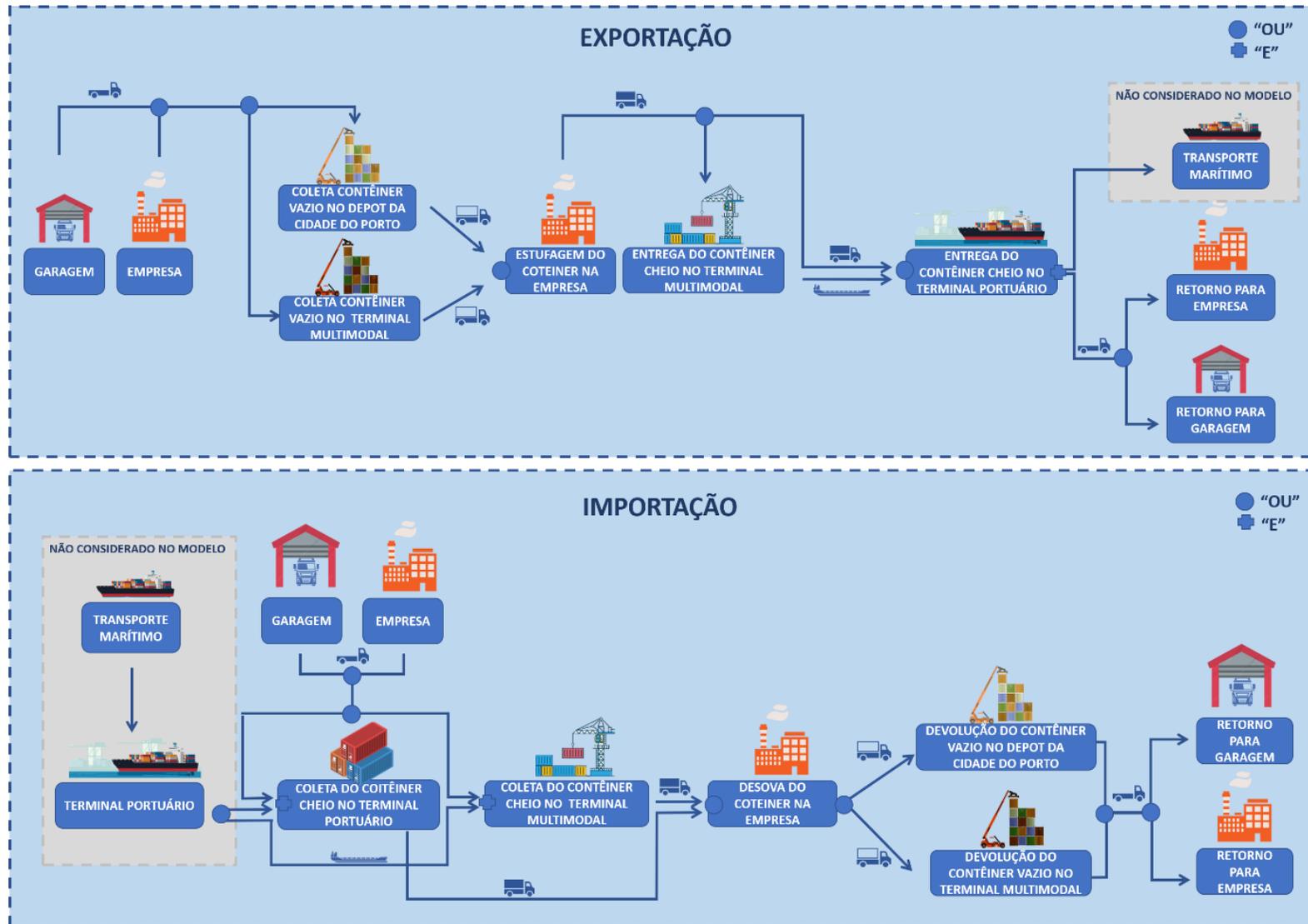
Figura 23 – Layout básico do terminal multimodal no Vigorelli – Joinville.



Fonte: Desenvolvido pela autora (2021).

A fim de proporcionar um melhor entendimento do modelo da simulação, a Figura 24 apresenta o modelo conceitual elaborado para este estudo, contendo os dois cenários de forma condensada.

Figura 24 - Modelo Conceitual.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

E assim, para um melhor desenvolvimento do modelo de simulação algumas premissas foram adotadas, sendo apresentadas na Quadro 3.

Quadro 3 – Premissas do modelo.

Premissas		
1	As empresas de Joinville são representadas como um ponto genérico na zona industrial;	
2	Os caminhões se originam sempre na zona industrial e para ela retornam no fim da atividade;	
3	O terminal multimodal foi alocado no Vigorelli;	
4	Estufagem e desova dos contêineres são realizadas nas próprias empresas;	
5	Os contêineres não foram diferenciados entre 20', 40' e reefer;	
6	Equações de emissão de GEE (Barros, et al, 2018; CENTRO CLIMA, 2016 ;IPCC,2018)	$Emissão_{CH_4} [g] = km_{rodado} [km] * fator emissão_{CH_4} [\frac{g}{L}]$
7		$Emissão_{N_2O} [g] = km_{rodado} [km] * fator emissão_{N_2O} [\frac{g}{L}]$
8		$Emissão_{CO_2} [kg] = \frac{km_{rodado} [km]}{rendimento [\frac{kg}{L}]} * fator emissão_{CO_2} [\frac{kg}{L}]$
9	A programação da barcaça é saindo diariamente às 19h do Terminal Portuário;	
10	No caso de maior volume de importação do que exportação, os vazios são liberados para serem utilizados pelos Clientes de outras cidades;	
11	Apenas FCL (Full Container Load) é considerado;	
12	A operação do terminal é 24h durante os 7 dias da semana;	
13	O custo de operação de depot do terminal multimodal não influencia no estudo, já que no cenário atual esse gasto existe também;	
14	Otimização da frota, fazendo que um caminhão possa transportar mais de um contêiner por dia.	

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O preço do transporte de barcaça por contêiner utilizado no modelo, incluindo todos os processos do terminal multimodal (*handling*, armazenamento e carregamento/descarregamento da barcaça), é determinado no capítulo 4, onde é explicado detalhadamente as considerações e cálculos dos custos.

3.3.2. Coleta de dados

Para a realização desta etapa, alguns dados foram cedidos pelo Porto de Itapoá (2021) e adicionalmente foram realizadas visitas técnicas aos principais portos de Santa Catarina, a terminais de carga, transportadoras e terminal multimodal, incluindo ainda conversas e reuniões com gestores e profissionais da área para melhor entender cada função desempenhada por cada elo da cadeia logística e coletar informações visuais e em forma de dados para elaboração da simulação – Quadro 4.

Quadro 4 – Dados de entrada do modelo.

Dados de Input		
Parâmetros	Valor	Unidade
Velocidade dos caminhões (COOPER CARGO, 2021)	triangular(56,76; 45,48; 51,12)	km/h
Tempo de atendimento + fila no porto (COOPER CARGO, 2021)	triangular(2,5; 3; 2,7)	horas
Tempo retirada/entrega de vazio no Depot (ATM, 2021)	30	minutos
Tempo retirada/entrega de vazio no Terminal Multimodal (ATM, 2021)	30	minutos
Tempo de estufagem/desova nas empresas (ATM, 2021)	triangular(40; 60; 50)	minutos
Fator de emissão CH ₄ caminhão e barcaça (CENTRO CLIMA, 2016)	0,06	g/L
Fator de emissão N ₂ O caminhão e barcaça (CENTRO CLIMA, 2016)	0,3	g/L
Fator de emissão CO ₂ caminhão (CENTRO CLIMA, 2016)	2,6	kg/L
Rendimento caminhão (BRASIL, 2014)	3,4	km/l
Fator de emissão CO ₂ barcaça e guindaste (CENTRO CLIMA, 2016)	2,89	kg/L
Rendimento barcaça (PORT FEEDER BARGE, 2021)	0,05181	km/l
Rendimento guindaste (PORT FEEDER BARGE, 2021)	1	L/contêiner
Frete Rodoviário (cenário atual)	1.500,00	R\$/contêiner
Frete Rodoviário (cenário proposto)	700,00	R\$/contêiner
Custo operacional Barcaça + Rodoviário	1473,68	R\$/contêiner
Capacidade da Barcaça (PORT FEEDER BARGE, 2021)	168	TEU
Tempo de viagem da Barcaça + atracação + desatracação	2	horas
Tempo de operação do guindaste (PORT FEEDER BARGE, 2021)	3	min/movimento
Quantidade de contêineres de importação por dia (PORTO DE ITAPOÁ, 2021)	44	contêiner/dia
Quantidade de contêineres de exportação por dia (PORTO DE ITAPOÁ, 2021)	16	contêiner/dia

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Informações como velocidade média dos caminhões, tempo de atendimento no terminal portuário de Itapoá e nos *Depots*, tempo de estufagem e desova de contêineres e frete rodoviário foram estimados através dos bancos de dados das empresas do setor, como transportadoras e *Depots*. Enquanto os dados referentes à operação da barcaça foram obtidos com a empresa Port Feeder Barge e os valores de movimentação diária de contêineres com o próprio Porto de Itapoá. Apenas para os fatores de emissão do CH₄, N₂O e CO₂, bem como suas equações de emissão apresentadas na seção anterior, e o rendimento médio em km/litro dos caminhões foi necessário realizar busca *online* em documentos.

Os dados apresentados na Quadro 4 serão utilizados como *input* na simulação, ressaltando a importância da fonte e da precisão destes valores para o desenvolvimento de um modelo de simulação que represente um cenário calibrado com a realidade.

3.3.3. Definição da ferramenta

A escolha dos métodos a serem utilizados e a definição do nível de abstração do problema, ou a seleção de quais detalhes são relevantes para a modelagem, são críticos para o sucesso da simulação (BORSHCHEV, 2015). Assim, o método de simulação baseada em agentes foi escolhido em função de garantir maior flexibilidade e controle de movimentos para os agentes considerados neste estudo como

contêineres, caminhões e barcaças que se deslocam pelo mapa de Santa Catarina de acordo com o trajeto da carga para importação, exportação e, atividades complementares da cadeia como devolução dos contêineres vazios no *Depot*.

Com a definição do método a ser aplicado, decidiu-se pelo uso do *software* Anylogic®, já que oferece diferentes bibliotecas de simulação baseada em agentes, suportando diferentes níveis de abstração (BORSHCHEV, 2015). Após a escolha do *software*, foi necessário um período de estudo da plataforma, dedicando-se a um curso rápido de 22 horas para entender as principais funcionalidades disponibilizadas.

3.3.4. Desenvolvimento do modelo de simulação

Na etapa de compilação é quando o modelo conceitual é transformado em um modelo lógico que seja executável pela plataforma escolhida (GARRO et al, 2005), incluindo todas as premissas e parâmetros, passando pelas fases de *design* e desenvolvimento, verificação e validação (MCKAY et al., 2018). Quando finalizado, o modelo deve fornecer como *output* resultados relacionados ao propósito da análise que auxiliarão, neste caso, na avaliação e comparação dos cenários modelados (BALCI, 2012; MCKAY et al., 2018).

O modelo proposto foi elaborado, inicialmente, de maneira simples, sendo aperfeiçoado continuamente com a inclusão de novos recursos até ser alcançado um modelo complexo e genérico. Para a construção do modelo foram utilizados elementos da biblioteca *Process Modeling Library* e dois tipos de agentes foram inseridos: fixos e dinâmicos. O primeiro tipo foi utilizado para representar o terminal multimodal no Vigorelli, o terminal portuário de Itapoá, um cliente genérico localizado no distrito industrial de Joinville e um *Depot* em Itapoá, já que estes não se movem. Os agentes dinâmicos foram criados para representarem os caminhões, contêineres e a barcaça. Para a fixação daqueles agentes que não se movem, foi utilizada a ferramenta GIS *Map* para posicioná-los em pontos geográficos específicos. Para a movimentação dos agentes dinâmicos, bastou configurar a lógica através de blocos de modelagem indicando a origem e destino de cada um deles de acordo com a atividade desempenhada. Ou seja, para o caminhão que precisa se mover da zona industrial de Joinville para o terminal multimodal foi preciso codificar seu descolamento do agente cliente até o agente terminal multimodal.

Tanto as velocidades médias dos caminhões e da barcaça, bem como os tempo de estufagem e desova dos contêineres foram alimentadas no modelo de acordo com os dados coletados em campos e com empresas do ramo, assim como apresentado no Quadro 4. Nesta etapa também foram incluídas as equações de emissão de GEE e os preços de transporte e movimentação dos contêineres, que constam no Quadro 4, para gerar os dados de *output*.

Durante seu desenvolvimento, o modelo passou por diversas validações e verificações através de testes e avaliações de comportamento da lógica construída, sendo necessário por muitas vezes reavaliar a lógica implementada, rever os dados coletados e o funcionamento de certas ferramentas do Anylogic.

O processo de verificação consiste em examinar os *outputs* gerados a partir dos dados de *input* e compará-los com o comportamento esperado. A validação está relacionada ao comportamento do modelo e sua acurácia na representação do problema (MCKAY et al., 2018; BALCI, 2012). Com essas duas etapas é possível garantir que o modelo final de simulação seja uma representação fiel do processo real.

4. ANÁLISE DE INVESTIMENTO, CUSTOS E DOS RESULTADOS DOS CENÁRIOS SIMULADOS

Este capítulo apresenta a análise de viabilidade econômica da nova configuração de operação da cadeia logística do Porto Itapoá, visando obter estimativas de custos unitários para comparação dos cenários simulados. Também são realizadas análises da simulação baseada nos cenários detalhados no tópico 3.3.1

4.1. ANÁLISE DE INVESTIMENTOS E CUSTOS

Aqui serão abordados os investimentos necessários para implantação da proposta (aquisição de terreno e construção do terminal multimodal) e os custos relacionados à operação, incluindo funcionários, movimentações internas e uso de equipamentos e da barcaça. Estes custos são divididos entre custo fixo e variável e são repassados às atividades desempenhadas pelo terminal, compondo o preço do serviço oferecido. Em mais detalhes serão explorados cada um destes assuntos nos 4 subtópicos subsequentes. Vale ressaltar que considerou-se apenas o custo de implantação do *Depot*, mas não seus custos operacionais, já que estes estão presentes em ambos cenários.

Para o dimensionamento do terminal multimodal e do *Depot*, aquisição de seu terreno e construção foi considerada a movimentação anual de contêineres fornecida pelo Porto Itapoá (2021). Estes valores foram utilizados também para os cálculos unitários. Como os valores fornecidos são referentes ao ano de 2020, foi realizado um ajuste para 2022 e uma previsão de crescimento do fluxo de exportação e importação até 2042 baseados na estimativa de crescimento do PIB mundial e de Santa Catarina, respectivamente (Quadro 5).

Quadro 5 – Movimentação anual estimada.

Movimentação	2022	2031	2042
Descarga	27,360	35,872	50,188
Embarque	24,120	32,462	46,396
Depot	54,720	71,743	100,375

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Para as estimativas de movimentação, considerou-se como base o mês de maior movimentação diária observada em 2020 a fim de dimensionar o terminal de forma que seja capaz de operar mesmo com as flutuações anuais. É importante observar que, embora o estudo tenha como base o atendimento dos clientes de Joinville, foi incluída parcialmente a movimentação dos clientes que operam no Porto Itapoá e que estão localizados nas cidades dentro da área de influência do terminal multimodal no Vigorelli (Araquari, Jaraguá do Sul e Itajaí), visando o potencial de abrangência da operação futura do terminal.

Para os cálculos das movimentações anuais e mensais foram considerados 30 dias por mês e 12 meses por ano. Para a estimativa anual de movimentação adotaram-se taxas anuais de crescimento como sendo: 3,6% (2023), 3,4% (2024 e 2025) e 3,3% a partir de 2026 (UNCTAD, 2021).

4.1.1. Infraestrutura e pessoal

Para o cálculo de investimento com infraestrutura, faz-se necessário o dimensionamento do terminal multimodal, para que seja determinada a área de terreno a ser adquirida. Os custos mencionados neste subtópico são fixos, já que não variam de acordo com a movimentação mensal.

O cálculo da área do terminal multimodal é feito considerando a movimentação do ano 2042, uma vez que será necessário adquirir a totalidade da área para implantação do terminal. Este dimensionamento é feito calculando-se as áreas da faixa de cais, do pátio de armazenamento e do *Depot*, incluindo ainda as áreas administrativas e de estacionamento, que são calculadas como um percentual da soma das anteriores.

Utilizando as equações apresentadas no trabalho de Mohseni (2011), a área de pátio foi calculada de acordo com a Equação (1).

$$\text{Área do pátio} = \frac{C * Td * O * Fp}{365 * M * H} \quad (1)$$

Sendo:

C = movimentação da importação + exportação;

Td = tempo médio de permanência dos contêineres no pátio;

O = área ocupada por um TEU, inclui o espaço ocupado por um TGS (Teu Ground Slot) e faixas de tráfego e áreas de manobra que dependem do tipo de equipamento utilizado para movimentação dos contêineres;

Fp = fator de pico da movimentação;

M = fator de utilização do pátio;

H = altura das pilhas de armazenagem (TEU/TGS)

Os valores adotados para o dimensionamento terminal multimodal e *Depot* são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6 – Parâmetros para dimensionamento do terminal multimodal e *Depot*.

Terminal			
Item	Quantidade	Unidade	Observação
C	167,592	TEU	Soma da Exportação + Importação
Td	2	dia	Tempo de permanência
O	39	m ² /TGS	Área ocupada utilizando Reachstackers
Fp	1	-	Já está sendo considerada a movimentação máxima
M	85%	-	Utilização máxima sem ter gargalos operacionais
H	4	TEU/TGS	Altura das pilhas utilizando Reachstackers

Depot			
Item	Quantidade	Unidade	Observação
C	172,393	TEU	Soma da Exportação + Importação
Td	2	dia	Tempo de permanência
O	39	m ² /TGS	Área ocupada utilizando Empty Handlers
Fp	1	-	Já está sendo considerada a movimentação máxima
M	85%	-	Utilização máxima sem ter gargalos operacionais
H	6	TEU/TGS	Altura das pilhas utilizando Empty Handlers

Fonte: Adaptado de STS-10(2019).

O Quadro 7 contém os valores calculados com a Equação (1) e custos necessários de investimento para aquisição da área e construção do local baseado no material do STS-10 (2019). O custo total geral de investimento estima-se em R\$77.364.578,00.

Quadro 7 – Estimativa de custos com infraestrutura do terminal multimodal.

Item	Quantidade	Unidade	Custo Unitário	Unidade	Custo Total	Unidade	Observação
Faixa de Cais e Berços	400	m ²	15,427.00	BRL/m ²	6,170,800	BRL	Considera-se 100 m de cais e 4 m de largura
Área do Pátio	10,534	m ²	2,818.00	BRL/m ²	29,683,677	BRL	Cálculo utilizando a metodologia de dimensionamento
Área do Depot	7,224	m ²	2,818.00	BRL/m ²	20,356,028	BRL	Cálculo utilizando a metodologia de dimensionamento
Administração	1,053	m ²	1,800.00	BRL/m ²	1,896,047	BRL	Adotado 10% da área do Pátio
Total	19,211	m²			58,106,552	BRL	
Drenagem, Segurança, Iluminação, Cercamento, etc.					5,810,655	BRL	Adotado 10% da custo da área do Terminal
Aquisição da área	19,211	m ²	700	BRL/m ²	13,447,371	BRL	Adotado
Total geral					77,364,578	BRL	

Fonte: Adaptado de STS-10 (2019).

O custo com o quadro de pessoal gerencial e administrativo do terminal multimodal é apresentado no Quadro 8.

Quadro 8 – Estimativa de custos com pessoal.

Quadro Pessoal	Quantidade	Salário	Unidade
Direção	3	20,000	BRL
Administrativo e Operacional	10	4,000	BRL
Encargos Sociais		72%	%
Custo Total Quadro de Pessoal		1,666,667	BRL/ano

Fonte: Adaptado de STS-10 (2019).

Somando o custo de infraestrutura ao custo com pessoal, tem-se o custo fixo do terminal para o ano de 2022. Levando em consideração ainda a depreciação da infraestrutura e a movimentação anual, chega-se ao custo fixo de operação por contêiner (Quadro 9).

Quadro 9 – Estimativa de Custo fixo por contêiner.

Item	Valor	Unidade
Prazo Depreciação Infraestrutura	25	anos
Depreciação Infraestrutura Anual	3,094,583	BRL/ano
Custo Quadro Pessoal	1,666,667	BRL/ano
Movimentação 2022	51,480	contêiner/ano
Custo Fixo por Contêiner	92.5	BRL/contêiner

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.1.2. Uso de equipamentos para movimentação interna

O custo anual do uso de equipamentos para a movimentação interna dos contêineres é dividido em custo fixo e variável. O custo fixo está relacionado à

aquisição e manutenção dos equipamentos e à mão de obra necessária. Já o custo variável refere-se ao consumo de combustível dos maquinários (*reachstacker*).

Primeiramente, para o cálculo do custo de mão de obra por *reachstacker*, foram considerados os parâmetros presentes no Quadro 10, como salário, encargos e benefícios, número de turnos e quantidade de operador por maquinário. Assim, o custo fixo com mão de obra por *reachstacker* é estimado a R\$1.646.237,00 por ano.

Quadro 10 – Estimativa de custos fixos com mão de obra por *reachstacker*.

Item	Valor	Unidade
Salário Normal - Pleno	6.019,5	BRL
% Adicional de Insalubridade e Periculosidade	30%	%
Salário Total	7.825,4	BRL
Encargos Sociais	72,00%	%
Total por Operador de Reachstacker	13.459,6	BRL
Passagem ônibus em Joinville	5	BRL
Dias de Trabalho por mês	30	dias
Vale Transporte	300	BRL
Auxílio Refeição	30	BRL
Cesta Basica	500	BRL
Auxílio Refeição e Alimentação	1.400,0	BRL
Treinamento	83	BRL
Total por Operador	15.242,9	BRL
Número de Turnos	3	
Quantidade de Operadores por Reachstacker	3	
Total Mensal Mão Obra por Reachstacker	137.186	BRL/mês
Custo Anual de Mão de Obra por Reachstacker	1.646.237	BRL/ano

Fonte: Adaptado de STS-10 (2019).

O custo fixo com mão de obra por *reachstacker* compõe o custo fixo com *reachstacker* por contêiner e este inclui ainda sua depreciação e manutenção (Quadro 11). Dividindo estes valores pela quantidade de maquinários e pela movimentação anual, tem-se um custo de R\$110,62 por contêiner.

Quadro 11 – Estimativa de custo fixo *reachstacker* por contêiner.

Custo Fixo Reachstacker	Custo	Unidade
Custo de Aquisição	2.100.000	BRL
Prazo de Depreciação	10	ano
Depreciação	210.000	BRL/ano
Manutenção	42.000	BRL/ano
Sub Total	252.000	BRL/ano
Mão de Obra	1.646.237	BRL/ano
Custo Fixo Total por Reachstacker	1.898.237	BRL/ano
Quantidade de Reachstackers	3	-
Custo Fixo Total Reachstackers	5.694.711	BRL/ano
Movimentação 2022	51.480	contêiner/ano
Custo Fixo Reachstacker por contêiner 2022	110,62	BRL/contêiner

Fonte: Adaptado de STS-10 (2019).

O cálculo do custo variável das *reachstackers* está relacionado ao fluxo de contêineres, já que refere-se à movimentação destes no terminal multimodal para operação do *gate* e da barcaça. Para seu cálculo considera-se apenas o consumo médio de diesel, o preço do combustível e a produtividade média da *reachstacker* (Quadro 12).

Quadro 12 – Estimativa de custo variável de *reachstacker* por contêiner.

Custo Variável Reachstacker	Custo	Unidade
Consumo de Diesel	20.00	litros/hora
Preço Médio do Óleo Diesel	7.00	BRL/litro
Custo do Óleo Diesel por hora	140.00	BRL/hora
Produtividade Média	12	Contêineres/hora
Custo de Variável por contêiner	11.67	BRL

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

4.1.3. Utilização da barcaça

O custo por contêiner considerando-se a utilização da barcaça é dividido em custo fixo e variável, sendo o primeiro referente à aquisição da barcaça, manutenção, mão de obra e consumo de combustível para o transporte dos contêineres e, o segundo, ao consumo de combustíveis para a movimentação da carga pelo guindaste acoplado a barcaça.

O Quadro 13 apresenta os custos envolvidos com a tripulação, estimando a necessidade de 6 tripulantes, sendo 1 comandante, 1 imediato, 1 piloto, 1 oficial de máquinas, 1 cozinheiro e 1 marinheiro de convés. De acordo com a NORMAM (2011),

para a realização deste tipo serviço não se faz necessário praticagem, excluindo este custo da análise. Com os salários e encargos, tem-se um gasto anual de R\$2.334.384,00.

Quadro 13 – Estimativa de custos com tripulação.

Item	Valor	Quantidade	Unidade
Salário Comandante	15,000	1	BRL
Salário Imediato	9,000	1	
Salário Piloto	7,000	1	
Salário Oficial de Máquinas	7,000	1	
Salário Cozinheiro	3,000	1	
Salário Marinheiro de Convés	2,500	1	
Total Salários	43,500		BRL
% Adicional de Insalubridade e Periculosidade	30%		%
Salário Total	56,550		BRL
Encargos Sociais	72.00%		%
Custo Salarial da Tripulação	97,266		BRL
Quantidade de Tripulações		2	
Custo Anual de Tripulação	2,334,384		BRL/ano

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Repassando o valor calculado para o Quadro 14, somando ainda ao custo de aquisição da barcaça, prazo de depreciação e manutenção, chega-se no custo fixo total da barcaça, por ano. E assim, considerando o fluxo anual de contêineres, estima-se o custo fixo da operação da barcaça em de R\$142,87 por contêiner.

Quadro 14 – Estimativa de custo fixo por contêiner.

Custo Fixo Barcaça	Custo	Unidade
Custo de Aquisição	50,000,000	BRL
Prazo de Depreciação	20	ano
Depreciação	2,500,000	BRL/ano
Manutenção	750,000	BRL/ano
Mão de Obra	2,334,384	BRL/ano
Sub Total	5,584,384	BRL/ano
Tempo Viagem Vigorelli - Porto	2	horas
Tempo Viagem Porto Vigorelli	2	horas
Tempo Viagem Redonda	4	horas
Viagens Redondas por dia	1	horas
Horas Navegando por ano	1,460	horas
Consumo MDO Navegando	0.2	ton/hora
Custo MDO	1,189	USD/ton
Taxa de Câmbio	5	USD/BRL
Custo Anual MDO	1,770,659	BRL/ano
Custo Fixo Total Barcaça	7,355,043	BRL/ano
Movimentação 2022	51,480	contêiner/ano
Custo Fixo Barcaça por contêiner 2022	142.87	BRL/contêiner

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Vale ressaltar aqui que o custo de aquisição da barcaça foi estimado considerando o valor informado pela Empresa PORT FEEDER BARGE e valores de

mercado. Ainda, MDO refere-se ao Marine Diesel Oil, o combustível utilizado em navegação. Outro aspecto importante a ser mencionado é a respeito do consumo de combustível da barçaça. Este foi considerado nos cálculos do custo fixo, pois foi adotado que a barçaça relizará uma viagem por dia com duração de 4 horas, havendo desta forma um consumo fixo e previsível de combustível.

O custo variável relacionado a operação da barçaça é apresentado no Quadro 15. Este refere-se ao consumo de MDO pelo guindaste, e foi considerado como variável pois não se tem um valor fixo de movimentação de contêiner por mês. Desta forma, considerando o consumo do guindaste de 1litro/contêiner e o custo do MDO, tem-se uma estimativa do custo variável da barçaça de R\$5,23 por contêiner.

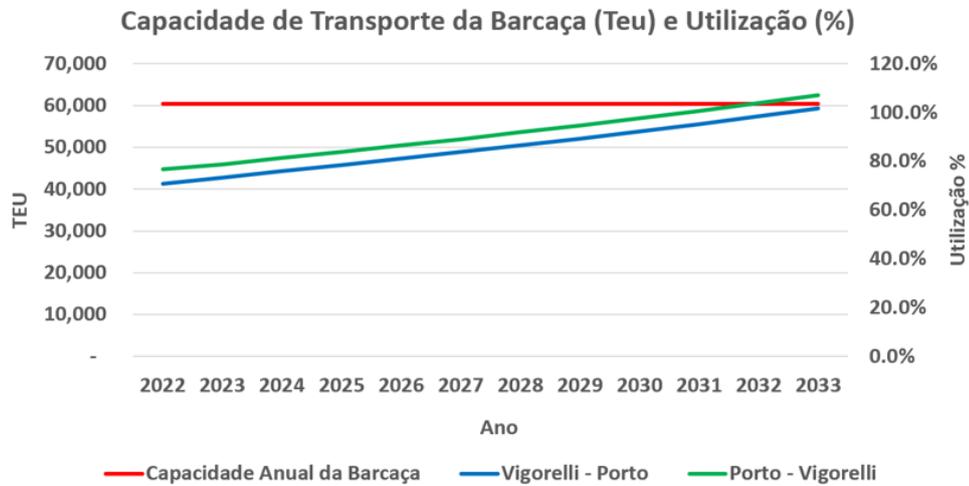
Quadro 15 – Estimativa de custo variável da barçaça.

Custo Variável Barçaça	Custo	Unidade
Consumo de MDO por contêiner	1.00	litro/contêiner
Conversão Tonelada para Litros de MDO	1,159.00	Litros/Ton
Custo MDO	6,063.90	BRL/ton
Custo de Variável por contêiner	5.23	BRL

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Na modelagem proposta considera-se apenas o uso de uma barçaça, mas deve-se observar que sua capacidade de transporte, em TEU, é fixa. Assim, seu nível de utilização aumenta com o crescimento dos fluxos de exportação e importação ano após ano. Na Figura 27 é possível observar a estimativa anual do nível de utilização da barçaça entre os anos de 2022 e 2033 e que entre 2031 e 2032 o sistema já está em seu limite com 100% de utilização no fluxo de importação (Porto Itapoá – Vigorelli).

Figura 25 – Nível de utilização da barçaça.

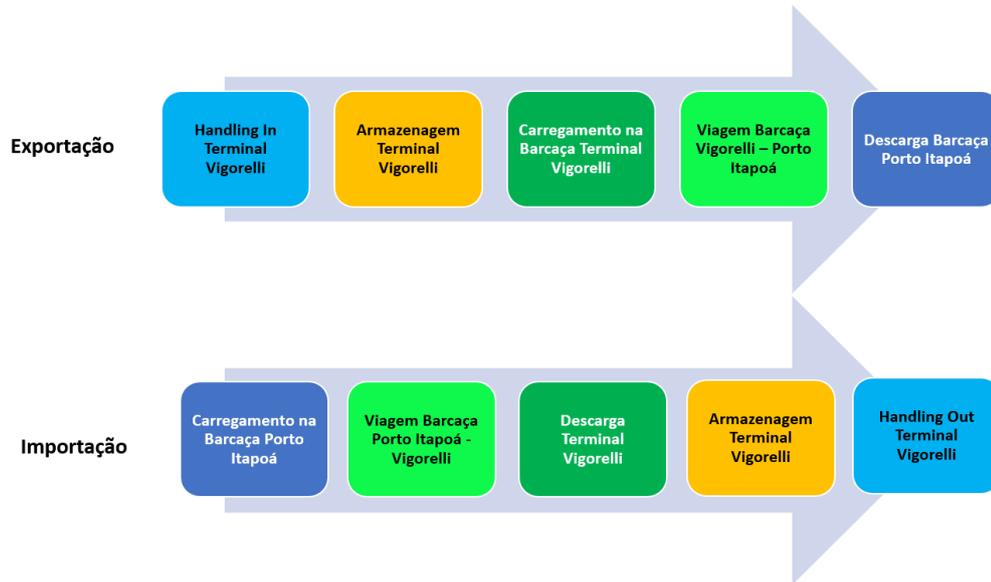


Através do gráfico é possível concluir que em 2032, por ser um momento crítico da operação, será necessário tomar uma decisão, seja na aquisição de outra barçaça ou na priorização dos clientes de Joinville.

4.1.4. Estimativa de custos e investimentos

Neste subtópico será abordada a distribuição dos custos mencionados anteriormente pelas atividades desempenhadas pelo terminal multimodal, seja de transporte, armazenamento ou movimentação do contêiner. A Figura 28 esquematiza o fluxo de atividades realizadas na importação e exportação.

Figura 26 – Fluxo de atividades nas movimentações do contêiner.



Fonte: Elaborado pela autora (2022).

A partir do momento que o contêiner chega no terminal multimodal para exportação, este é movimentado por uma *reachstacker* para o pátio de armazenagem (*handling in*), onde aguarda até ser carregado na barcaça pelo guindaste. Então, é transportado até o porto e lá é descarregado. Na importação o fluxo acontece na ordem inversa: o contêiner é carregado pelo guindaste, transportado pela barcaça, e descarregado no terminal multimodal, onde é armazenado e então movimento por uma *reachstacker* quando um caminhão realiza sua retirada (*handling out*).

Assim, independente do sentido do fluxo (importação ou exportação), o contêiner passa por 5 etapas: *handling in/handling out*, armazenamento no terminal multimodal, carregamento da barcaça pelo guindaste, transporte hidroviário e descarregamento da barcaça via guindaste. Desta forma, os custos apresentados anteriores são atrelados à estas atividades, como apresentado no Quadro 16. Adicionalmente considera-se o valor de R\$50,00 para utilização de caminhão durante a movimentação do contêiner no porto.

Quadro 16 – Estimativa do custo total por transporte de contêiner por fluxo.

Operação Exportação		
Custo Estimado	Operação	Custo (BRL)
Uso de equipamentos para movimentação interna - fixo	Custo fixo reachstacker Vigorelli	110,62
Uso de equipamentos para movimentação interna - variável	Custo variável reachstacker Vigorelli	11,67
Infraestrutura e pessoal	Armazenagem Terminal Vigorelli	92,49
Uso de equipamentos para movimentação interna - variável	Posicionamento para carregamento na barçaça	11,67
Utilização da barçaça - variável	Carregamento na barçaça	5,23
Utilização da barçaça - fixo	Transporte barçaça Vigorelli - Porto Itapoá	142,87
Utilização da barçaça - variável	Descarga no Porto Itapoá	5,23
	Utilização caminhão Porto Itapoá	50,00
	Custo Total por contêiner	429,78

Operação Importação		
Custo Estimado	Operação	Custo (BRL)
	Utilização Caminhão Porto Itapoá	50,00
Utilização da barçaça - variável	Carregamento na barçaça Porto Itapoá	5,23
Utilização da barçaça - fixo	Transporte barçaça Porto Itapoá - Vigorelli	142,87
Utilização da barçaça - variável	Descarga no Terminal Vigorelli	5,23
Uso de equipamentos para movimentação interna - variável	Posicionamento após descarga para Pilha	11,67
Infraestrutura e pessoal	Armazenagem Terminal Vigorelli	92,49
Uso de equipamentos para movimentação interna - fixo	Custo fixo reachstacker Vigorelli	110,62
Uso de equipamentos para movimentação interna - variável	Custo variável reachstacker Vigorelli	11,67
	Custo Total por contêiner	429,78

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

No Quadro 15 ainda foi considerada a atividade “Posicionamento após descarga para pilha”. Apesar de a operação ser dimensionada para as pilhas de contêiner no pátio do terminal multimodal serem posicionadas a uma distância dentro do alcance do braço do guindaste (29 metros), considerou-se o cenário de necessidade de empilhamento de contêineres em *slots* mais afastados, necessitando assim uma movimentação extra por *reachstacker*.

Vale lembrar que o custo total de R\$429,78 tende a decrescer ao longo do tempo, visto que existe uma parcela de custo fixo dividida pela movimentação anual de contêineres. Os valores do Quadro 15 representam os custos dos serviços prestados pelo terminal multimodal para o ano de 2022 e fluxo de movimentação de contêineres tende a aumentar.

Para formação do preço do serviço de transporte hidroviário por barçaça foi utilizado o cálculo baseado nos Benefícios e Despesas Indiretas (BDI), que embora não seja utilizado para tal finalidade é uma estimativa razoável de preço baseado em custos. O Quadro 17 apresenta os parâmetros estimados para o cálculo da formação de preço: despesas administrativas e financeiras, riscos, lucro e tributos.

Quadro 17 – Cálculo BDI.

Composição do BDI - Benefícios e Despesas Indiretas		
Administração Central - Despesas Administrativas	AC	5,00%
Riscos/Garantias/Contingências	SRG	5,00%
Lucro	L	30,00%
Despesas Financeiras	DF	15,00%
Tributos - ISS	T	5,00%
Tributos - PIS/COFINS		3,65%
Fórmula para o cálculo do BDI: $\{[(1+AC+SRG) \times (1+L) \times (1+DF)] / (1-T)\} - 1$		
Resultado do cálculo do BDI:		80,02%

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O valor obtido no Quadro 16 indica que para formação de preço do serviço do terminal multimodal, o custo do Quadro 16 (R\$429,78) deve ser somado a 80,02% do seu valor, resultando em R\$773,68/contêiner e gerando receita anual de R\$39.829.230,00 – Quadro 18.

Quadro 18 – Estimativa de preço do serviço multimodal por contêiner e receita anual.

Preço por Contêiner na Exportação e Importação	Valor	Unidade
Preço Venda Terminal Vigorelli	773,68	BRL/Contêiner
Movimentação Anual 2022	51.480	Contêiner
Receita Anual	39.829.230	BRL

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

Como os valores apresentados são referentes aos serviços oferecidos pelo terminal multimodal, não está inclusa a perna rodoviária entre o distrito industrial de Joinville e o terminal, a qual estima ser R\$700,00 de acordo com pesquisa de mercado. Desta forma, o custo total estimado para o cliente é de R\$1.473,68, o qual se torna bastante competitivo quando comparado ao transporte puramente rodoviário entre Joinville e o porto de Itapoá (R\$1.500,00). Estes valores (R\$700 + R\$773,68) foram alimentados como *input* na simulação no cenário da operação proposta.

Vale ressaltar que apesar da margem de lucro considerada no cálculo do BDI estar relativamente alta (30%), esta pode ser reduzida a fim de formar um preço ainda mais competitivo, caso haja necessidade.

4.2. ANÁLISE DOS CENÁRIOS E RESULTADOS

Para a obtenção dos resultados, a simulação foi rodada apenas uma vez para o período de um ano, já que os mesmos resultados são gerados toda vez que o modelo é rodado. Para ambos cenários, serão avaliados os seguintes indicadores: emissão de gases do efeito estufa por contêiner, quantidade de caminhões necessária por dia, distância média percorrida pelos caminhões, tempo de permanência no sistema e custo médio da operação por contêiner. O Quadro 19 apresenta o resumo dos resultados obtidos.

Quadro 19 – Resultados da simulação.

Resumo de resultados				
Parâmetro	Cenário Atual	Cenário Proposto	Variação	Unidade
Caminhões por dia	63	32	-49%	caminhão/dia
km rodado por caminhão	292,66	46,87	-84%	km/caminhão
Emissão GEE	0,22	0,07	-69%	ton/contêiner
Custo unitário da operação	1.500,00	1.473,68	-2%	R\$/contêiner
Permanência no sistema	9,40	3,37	-64%	horas

Fonte: Elaborado pela autora (2022).

O cenário um, representando a operação atual, resultou em uma quantidade alta de caminhões por dia (63) e em grandes distâncias percorridas por estes, com uma média de 292,5km. Estes resultados refletem em valores grandiosos de emissão de gases poluentes (0,22 toneladas/contêiner), acarretando em 4.752 toneladas por ano apenas para os clientes de Joinville. Devido a distância entre o terminal portuário e Joinville, a estimativa de tempo de permanência no sistema fica é de 9,4 horas, gerando uma demora e baixo nível de serviço.

O cenário proposto, por incluir um terminal multimodal no Vigorelli - Joinville, aproximando as distâncias, gerou redução de 84% da distância média percorrida por caminhão, aumentando o nível de serviço do porto para clientes da região, já que reduz o tempo de permanência no sistema para 3,3 horas (-65%). Devido a possibilidade de otimização de rotas, o cenário reduziu em 48% a quantidade de caminhões do sistema, utilizando apenas 33 caminhões por dia. Este aspecto somado à capacidade do modal hidroviário em transportar mais contêineres por viagem, indica redução de 65% dos gases de efeito estufa, passando para 0,008 ton/contêiner.

Outro aspecto a ser comentado é que com o deslocamento do núcleo de atendimento aos clientes de Joinville do porto para o Vigorelli, acaba por reduzir também o tamanho das filas em Itapoá e o trânsito local, resultando em menos incômodo para a comunidade de Itapoá e diminuindo também a taxa de acidentes. Sem contar a eliminação da dependência do modal rodoviário que o cenário proposto traz ao inserir uma rede multimodal na região.

Em relação ao preço final repassado aos clientes importadores e exportadores, apesar de as análises indicarem redução de apenas 2%, existe a possibilidade de um preço ainda mais competitivo para o cenário proposto, mostrando a viabilidade econômica além do potencial operacional que o projeto possui. A redução do preço final pode ser obtida através da diminuição da taxa de lucro do BDI (30%) e ainda considerar investimentos parciais para a construção do terminal multimodal no Vigorelli, diluindo ainda mais a parcela fixa dos custos e reduzindo o preço final.

Assim, o sistema mostrou-se com grande potencial, contribuindo e impactando positivamente a região, atuando como um atrativo para contratação dos serviços do Porto Itapoá, já que aumenta o nível dos serviços prestado aos clientes. A redução da quantidade de caminhões nas rodovias e das viagens realizadas resultam em benefícios ao meio ambiente, já que diminui a quantidade de gases poluentes emitidos na atmosfera por contêiner transportado, sendo um fator de atração para clientes que possuam programas com metas de redução da emissão de GEE em suas cadeias logísticas. No entanto, nota-se o surgimento de um alto fluxo de veículos pesados utilizando o terminal multimodal no Vigorelli, sendo necessário adequações nas vias de acesso para suportar este novo fluxo sem impactar a comunidade local.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o cumprimento do objetivo geral de desenvolvimento de um modelo de simulação para a rede logística portuária de contêineres entre Joinville e o porto de Itapoá através da inclusão de um terminal multimodal na cidade, foram gerados resultados que respondem a *research question* proposta: existe viabilidade operacional e econômica de um sistema de transporte hidroviário para cargas containerizadas entre Joinville e o porto de Itapoá?

Com a aplicação de simulação baseada em agentes e análises de investimento e custos, se tornou possível desenvolver um estudo completo, complexo e detalhado que reflete a realidade da operação logística existente entre Joinville e o Porto Itapoá. Os resultados mostraram melhorias no meio ambiente, no serviço ao cliente com potencial operacional e economicamente viável. Indicam ainda que a rede logística portuária proposta, além de impactar positivamente a região e o meio ambiente, permite gerar empregos e propõe a utilização comercial da baía da Babitonga, que atualmente é pouco explorada.

Como continuidade deste trabalho ou para estudos futuros, recomenda-se incluir no modelo de simulação, a representação da atividade do *Depot* e dos terminais por agentes que realizam as atividades, em vez de tempos genéricos, trazendo o modelo ainda mais próximo a realidade. Recomenda-se também a redução do tempo de operação do terminal multimodal mais adequado ao fluxo de Joinville. Como sugestão, propõe-se o aumento da abrangência do modelo, já que este representou apenas os clientes de Joinville, podendo ser incluídas também aquelas cidades localizadas mais ao sul do município, como Jaraguá, Araquari e Itajaí.

O estudo ainda contribui para o estado da arte no que tange a trabalhos que abordam o uso de simulação baseada em agentes voltado para integração de elos da cadeia logística portuária e para avaliação de desempenho desta. Ainda, com a análise de custos e investimentos, se mostrou economicamente possível de ser implementado e mantido o serviço hidroviário na cadeia logística do Porto Itapoá e Joinville. Outro aspecto a ser comentado é a respeito dos conceitos apresentados na fundamentação teórica, concentrando definições e esquemas baseados em artigos, livros e conversas com profissionais da área, enriquecendo o conteúdo apresentado, o qual apresentou certo nível de dificuldade em ser encontrado.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Brasília: ANTAQ, 2022. **Estatístico aquaviário 2.1.3**. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/Anuario/>. Acesso em: 2 jun. 2022.

ANYLOGIC. **Multimethod simulation modelling for business applications: overview with guided model building example**, 2020. 37 slides, color. Acesso exclusivo de inscritos no Curso de Anylogic em 3 dias. Disponível em: <https://www.anylogicbrasil.com.br/#treinamentos>. Acesso em: 10 set. 2021.

ARATA, Giacomo; FRASCHERI, Silvana; REVETRIA, Roberto; TESTE, Alessandro. *et al.* Evaluating different scenario in maritime coal supply chain using simulation. **Journal of Frontiers in Artificial Intelligence and Applications**, v. 246, p. 573-589, 2012.

ATM. Dados disponibilizados no curso da pesquisa do TCC. Documento privado da empresa. 2021.

BAALEN, Peter. J. Van; V.; ZUIDWIJK, Rob; NUNEN, Jo Van. Port inter-organizational information systems: capabilities to service global supply chains. **Technology, Information and Operations Management**, v. 2, n.2, 2008.

BALCI, Osman. Guidelines for successful simulation studies. *In: Proceedings of WINTER SIMULATION CONFERENCE*, New Orleans, 1990, v.1, p.25-32.

BALCI, Osman. A life cycle for modelling and simulation. **Journal of Sage Journals**, v. 88, n.7, 2012.

BALLOU, Ronald. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: planejamento, organização e logística empresarial. 4. ed. Porto Alegre: Bookilometroan, 1993.

BANKS, Jerry. Introduction to simulation. *In: Proceedings of WINTER SIMULATION CONFERENCE*, Phoenix, 1999, v.1, p.7-13.

BARBOSA, Aurora Maria Putton. **Rodoviarismo e integração**: a ideologia e a política da modernização conservadora catarinense. 2013. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

BARROS, Bruna Renata Cavalcante; CARVALHO, Eliezé Bulhões; MELO, Wesley Cândido; SANTOS, Elayne Barbosa; ABRASIL, Augusto Cesar de Mendonça. Comparação de emissão de CO_2 entre os modos rodoviário e hidroviário: ensaio sobre o corredor norte/eixo Tocantins. *In: 32º CONGRESSO DE PESQUISA E ENSINO EM TRANSPORTE DA ANPET*, **Anais [...] Gramado**, 2018. Disponível em: http://www.anpet.org.br/anais32/documentos/2018/Aspectos%20Economicos%20Sociais%20Politicos%20e%20Ambientais%20do%20Transporte/Transporte%20e%20Meio%20Ambiente%20I/5_81_AC.pdf. Acesso em: 10 ago. 2021.

BEHDANI, Behzad; WIEGMANS, Bart; ROSO, Viotela; HARALAMBIDES, Hercules. Port-hinterland transport and logistics: emerging trends and frontier research. **Review Maritime Economics & Logistics**, v. 22, p. 1-25, fev. 2020.

BORSHCHEV, Andrei. **The big book of simulation modelling**: multimethod modelling with Anylogic 6. AnyLogic North America, 2015.

BRAGA, Thiago Augusto. **Análise da situação atual da cabotagem brasileira**: um estudo de caso do porto de Santos. 2011. Monografia (Bacharelado em Ciências Econômicas) – Centro Sócio Econômico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

BRASIL. Fundação Alexandre de Gusmão. As 15 maiores economias do mundo. Novembro de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/funag/pt-br/ipri/publicacoes/estatisticas/as-15-maiores-economias-do-mundo>. Acesso em: 2 jun. 2022.

BRASIL. Ministério dos Transportes, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – DNIT. Mapa multimodal de Santa Catarina. Brasília, 2009. Disponível em: <https://bibliotecadigital.seplan.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/294/SC.pdf?sequence=24&isAllowed=y>. Acesso em: 13, set. 2021.

BRASIL. Ministério dos Transportes. **Plano nacional de logística e transportes**: projeto de reavaliação de estimativas e metas do PNLT. Brasília, setembro de 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/pnl-2011.pdf>. Acesso em: 1 set. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Rio de Janeiro: MDIC, 2022a. **Exportações e importações geral**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/geral>. Acesso em: 3 jun. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Rio de Janeiro: MDIC, 2022b. **Exportação e importação municípios**. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/municipio>. Acesso em: 3 jun. 2021.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior. Rio de Janeiro: MDIC, 2022c. **Perguntas Frequentes**. Disponível em <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/faq>. Acesso em: 3 jun. 2021.

BRASIL. Ministério da Infraestrutura. **Plano nacional de logística**: PNL 2035. Brasília, março de 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/participamaisbrasil/plano-nacional-de-logistica-pnl-2035>. Acesso em: 16 out. 2021.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Inventário nacional de emissões atmosféricas por veículos automotores rodoviários**: Relatório final. Brasília, janeiro de 2014. Disponível em: <https://iema-site-staging.s3.amazonaws.com/2014-05-27inventario2013.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.

BRASIL. Resolução nº 5.959, 21 de janeiro de 2022. Diário Oficial da União, Ministério da Infraestrutura, Brasília, janeiro de 2022. Seção 1, p.68. Disponível em:

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-n-5.959-de-20-de-janeiro-de-2022-375504795>. Acesso em: 23 mar. 2022.

BRIANO, Chiara; BRIANO, Enrico; BRUZZONE, Agostino; REVETRIA, Roberto. Models for support maritime logistics: A case study for improving terminal planning. *In: SIMULATION IN WIDER EUROPE - 19TH EUROPEAN CONFERENCE ON MODELLING AND SIMULATION, Anais [...]*, Riga, 2005.

BROOKS, R. J.; TOBIAS, A. M. Choosing the best model: level of detail, complexity, and model performance. **Mathematical and Computer Modelling**, v. 24, n. 4, p. 1-14, 1996.

BRUZZONE, Agostino; MADEO, Francesca; MASSEI, Marina; LONGO, Francesco. Modeling and simulation as support for decisions makers in petrochemical. *In: Proceedings of the SUMMER COMPUTER SIMULATION*, p 130-137, 2011.

CENTRO CLIMA. **Emissão de gases de efeito estufa – 2050**: Implicações econômicas e sociais do cenário de plano governamental. Rio de Janeiro: Centro Clima, 2016. Disponível em: <http://www.centroclima.coppe.ufrj.br/images/documentos/publicacoes/anexo.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.

CHRISTOPHER, Martin. **Logística e gerenciamento da cadeia de suprimento: criando redes que agregam valor**. 2. ed. São Paulo: Cengage Learning. 2009.

CLOTT, Christopher. Ocean Freight Intermediaries: An analysis of non-vessel operating common carriers (NVOCC's) and maritime reform. **Transportation Journal**, Penn, v. 40, n. 2, p. 17–26, 2000.

COOPER CARGO. Dados disponibilizados no curso da pesquisa do TCC. Documento privado da empresa. 2021.

CORRÊA, Pedro de Oliveira; GUERREIRO, Erico. Viabilidade da operação de embarcação autopropelida e autocarregável para transporte de contêineres na hidrovia Tietê-Paraná. **Tékhnē e Lógos**, v.2, n.2, Botucatu, fev. 2011.

CUONG, Truong Ngoc; KIM, Hwan-Seong; YOU Sam-Sang; NGUYEN, Duy Anh. Seaport throughput forecasting and post COVID-19 recovery policy by using effective decision-making strategy: a case study of Vietnam ports. **Computers and Industrial Engineering Journal**, v.168, jun. 2022.

DA ROCHA, Jão Luiz Hollanda. **Cabotagem, tendências e perspectivas para o porto de Santos**. 2006. Monografia (MBA em Portos e Logística) – Universidade Católica de Santos, Santos, 2006.

DE LANGEN, Peter. Chapter 20: stakeholders, conflicting interests and governance in port clusters. **Elsevier**, v. 17, n.1, p. 457-477, jan. 2006.

ESTADOS UNIDOS. Human Resources and Corporate Planning Department. **Inland port study**. Delta, setembro de 2014. Disponível em: <https://delta.civicweb.net/document/111945>. Acesso em: 5 out. 2021.

FERROVIA TERESA CRISTINA. **Quem somos.** Disponível em: <https://www.ftc.com.br/quemsomos>. Acesso em: 10 out. 2021.

GARRO, Alfredo; MONCAO, Maria Flávia; RUSSO, Wilma; SAMMARRA, Marcello; SORRENTINO, Gregorio, Agent-based simulation for the evaluation of a new dispatching model for the straddle carrier pooling problem. **Journal of Simulation**, v.91, n.2, p.181-202, 2015.

GOULART FILHO, Alcides. Navegação fluvial a vapor em Santa Catarina e o desempenho da companhia de navegação fluvial a vapor Itajahy-Blumenau. **Revista Esboços**, v. 16, n. 21, p. 159-180, mar. 2009.

HERZ, Nico; FLÄMIG, Heike. Understanding supply chain management concepts in the context of port logistics: an explanatory framework. **Transport**, Lituânia v.29, n.4, p.376-385, dez. 2014.

HIDALGO, Felipe; PASCUAL, Jimena; ARANDA, Diego; SMITH, Alice; KARAKAYA, Erhan; RAMIREZ, Rosa Guadalupe Ginzalez. Empty container stacking operations: case study of an empty container depot in Valparaiso Chile. *In: Proceedings of WINTER SIMULATIONS CONFERENCE*, Las Vegas, 2017. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/312568393_Empty_container_stacking_operations_Case_study_of_an_Empty_Container_Depot_in_Valparaiso_Chile. Acesso em: 23 out. 2021.

HYSTER. **Reachstacker:** heavy-ducy applications. Disponível em: <https://www.hyster.com/en-gb/europe/container-handlers/rs46/>. Acesso em: 10 set. 2021.

IBI GROUP. **Inland container terminal analysis:** Final report. 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA. **Produto interno bruto – PIB.** Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/explica/pib.php#:~:text=O%20PIB%20do%20Brasil%20em,%24%202%20048%2C0%20bilh%C3%B5es>. Acesso em: 18 ago. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **AR5 climate change 2014:** mitigation of climate change. Nova Iorque: IPCC, 2014. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em: 1 set. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Guidelines for national greenhouse gas inventories: Mobile combustion. Kanagawa: IPCC, 2018. v.2. Disponível em: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_3_Ch3_Mobile_Combustion.pdf <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>. Acesso em: 23 mar. 2022.

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION. Londres: IMO, 2021. **Fourth IMO GHG Study 2020:** Full Report. Disponível em: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Fourth%20IMO%20GHG%20Study%202020%20-%20Full%20report%20and%20annexes.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2022.

IVANOV, Dmitry. Predicting the impacts of epidemic outbreaks on global supply chains: A simulation-based analysis on the coronavirus outbreak (COVID-19/SARS-CoV-2) case. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v.136, abr., 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/transportation-research-part-e-logistics-and-transportation-review/vol/136/suppl/C>. Acesso em: 3 fev. 2021.

JANOTTI, Priscilla Rizzi; RODRIGUES, Isabel Cristina; RODRIGUES, Adréia Marize; REBELATO, Marcelo Giroto. A logística do açúcar e do etanol entre usinas paulistas e o porto de santos: um estudo comparativo entre agentes comerciais. **Revista de Administração da UNIMEP**, v.10, n.2, p.101-126, mai. 2012.

JARZEMSKIS, Andrius; VASILIAUSKAS, Aidas Vasilis. Research on dry port concept as intermodal node. **Journal of Transport**, v.22, n.3, p.207–213, 2007.

JOINVILLE. Secretaria de Cultura e Turismo. Porto de Joinville: memórias às margens do Cachoeira. 2019.

KALMAR. **Empty container handler**. Disponível em: <https://www.kalmarglobal.com/equipment-services/masted-container-handlers/empty-container-handler-DCG80/>. Acesso em: 10 set. 2021.

KARAKAYA, Ebran; VINEL, Alexander; SMITH, Alice. Relocations in container depots for different handling equipment types: Markov models. **Revista computers & industrial engineering**, Auburn, v.157, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/journal/computers-and-industrial-engineering/vol/157/suppl/C>. Acesso em: jul. 2021.

KIAN, Ramez; BEKTAS, Tolga; OUELHADJ, Djamilia. Optimal spare parts management for vessel maintenance scheduling. **Journal of Annals of Operations Research**, .272, n.1, p.323-353, 2019.

KISTENMACHER, Georgia Mueller Peres; DA ROCHA, Juliana. Embarque na exportação: estudo de caso na empresa South Service Trading S/A. **Revista Interdisciplinar Científica Aplicada**, Blumenau, v.2, n.2, p.01-25, 2008.

LÉON, Alan Dávila; RUIZ, Eduardo Lalla-Ruiz; BATISTA, Belén Melián; VEJA, João Marcos Moreno. A simulation–optimization framework for enhancing robustness in bulk berth scheduling. **Journal of Engineering Applications of Artificial Intelligence**. v.103, 2021.

MARÍN, Jesus E. Martínez; MARTÍ, Eugen. Analytical review of the empty container cycle. In: 4TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON MARITIME TRANSPORT, Anais [...], 2009. Disponível em: https://www.academia.edu/1422658/ANALITICAL_REVIEW_OF_THE_EMPTY_CONTAINER_CYCLE. Acesso em: 23 out. 2021.

MARINHA DO BRASIL. Diretoria de Portos e Costas. Normam-12/DPC, 2011. **Normas da autoridade marítima para o serviço de praticagem**. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dpc/sites/www.marinha.mil.br.dpc/files/processo-selecao/normam12.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2021.

MCKAY, Alison; YIN, Chenggang. Introduction to modelling and simulation techniques. *In: Proceedings* of THE 8TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON COMPUTATIONAL INTELLIGENCE AND INDUSTRIAL APPLICATIONS, 2018.

MEDINA, Afonso; NARDIN, Luis; PEREIRA, Newton; BOTTER, Rui; SICHMAN, Jaime. A distributed simulation model of the maritime logistics in an iron ore supply chain management. *In: Proceedings* of THE 3RD INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIMULATION AND MODELING METHODOLOGIES, TECHNOLOGIES AND APPLICATIONS, p. 453-460, 2013.

MOHSENI, Sharif. **Developing a tool for designing a container terminal yard.** 2011. Tese de Mestrado (Engenharia Hidráulica) – Maritime Division of Royal Haskoning, Delft University of Technology, Rotterdam, 2011.

MONACO, Maria Flávia; SAMARRA, Marcello. The ship stowage planning problem. *In: 10th INTERNATIONAL WORKSHOP ON HARBOR, MARITIME AND MULTIMODAL LOGISTICS MODELING AND SIMULATION*, p. 208-2013, 2008.

MONETA, Carmellah. The Estimation of Transportation Costs in International Trade. **Journal of Political Economy**, Chicago, v.67, n.1, p.41, 1959.

NETO, Lucas Pinheiro da Silva. **Programação das atividades de reparo em um terminal de contêineres.** 2006. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

NOTTEBOOM, Theo; PALLIS, Anthanasios; RODRIGUE Jean Paul. Port economics, management and policy. Nova York: Routledge, 2021.

NOVAES, Antonio G.N. Analysis and simulation of collaboration policies among manufacturing industries and its effects on the maritime transportation cost. *Marine Systems & Ocean Technology*, p. 1-15, 2017.

PEREIRA, Wilson Inacio; CHWIF, Lepnardo. Especificação do modelo conceitual em simulação de eventos discretos: aplicação em um caso real. *In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, São Carlos, 2010. Disponível em: http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2010_tn_sto_118_772_16587.pdf. Acesso em: 20 nov. 2021.

PIMPANIT, Phipat.; JARUMANEEROJ, Pisit. A Discrete event simulation model for evaluating inland terminal's efficiency: a case study of Ladkrabang inland container depot. *In: Proceedings* of the IIX INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND APPLICATIONS (ICIEA) Chengdu, 2021. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9436698>. Acesso em: 10 abr. 2021.

PORT FEEDER BARGE. **Por Feeder Barge:** Floating infrastructure for container handling. Documento disponibilizado pela empresa. 2021.

PORTO DE ITAPOÁ. **Data Liner.** Documento disponibilizado no curso da pesquisa do TCC. Documento privado da empresa. 2021.

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

PUJAWAN, Nyoman; ARIEF, Mansur Maturidi; TJAHHONO, Benny. KRITCHANCHAI, Duangpun. An integrated shipment planning and storage capacity decision under uncertainty: A simulation study. **Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v.45, n.9, p.913-937, 2015.

RAHMAN, Mohd Nizam Ab; ZAIN, Rosmaizura Mohd; NOPIAH, Zulkifli Mohd; SAIBANI, Nizaroyani. Understanding of empty container movement: a study on a bottleneck at an off-dock depot. *In: Proceedings of the AIP CONFERENCE*, 2014. v. 1613, n.1.

RAN, Li; VEENSTRA, Albert. YU, Ming; ZHAO, Lei; ZUIDWIJK, Rob. Information exchange in global logistics chains. *In: Proceedings of the INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICE OPERATIONS AND LOGISTICS, AND INFORMATICS*, p.264-269, Qingdao, 2010.

REN, Huanyu; MU, Dong; YUE, Xiongping. Seaport hinterland competition under the influence of the independent dry ports. *In: Proceedings of the CONFERENCE ON INDUSTRIAL AND BUSINESS ENGINEERING*, p 123 – 128, set. 2021.

ROBINSON, Stewart. Conceptual modelling for simulation Part I: definition and requirements. **Journal of the Operational Research Society**, p.278-290, jan. 2007.

ROBINSON, Stewart. A tutorial on conceptual modelling for simulation. *In: Proceedings of the WINTER SIMULATION CONFERENCE*, California, 2015.

RODRIGUES, Waldemar; BENEDICTO, Gideon Carvalho. Uma análise das políticas do comércio exterior brasileiro nos últimos quinze anos. **Revista Eletrônica de Estratégia e Negócios**, Florianópolis, v. 2, n. 2, jul./dez. 2009.

RUMO. **Mapa das estradas de ferro do Brasil - 2017**. Disponível em: <http://ri.rumolog.com/servicos-aos-investidores/mapa-das-ferrovias-do-brasil/>. Acesso em: 10 out. 2021.

RUSGIYARTO, Ferry; SJAFRUDDIN, Ade; FRAZILA, Russ Bona; BURHANI, Jzoalanda Tsavalista. Inland container depots effect for import container terminal performance at Kojia container terminal, Jakarta based on optimization–simulation model. *In: Proceedings of the AIP CONFERENCE*, 2018.

SCHOLZ-REITER, B; TERVO, J. T.; GÖRGES, M.; MATTHIES, R. Modelling and analysis of mechanical steel handling processes in seaports. *In: 12th CONFERENCE ON HARBOR, MARITIME AND MULTIMODAL LOGISTICS MODELING AND SIMULATION*, p. 73-78, 2010.

SEETHAMSETTY, Sarweswara Rao; OGOTI, Annapoorna Saisri. Significant role of port operations in supply chain management: a global study. **International Journal of Advanced Science and Technology**, v.29, n.6, p.3705-3710, 2020.

SERVIÇO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. Florianópolis: SEBRAE, 2014. **Coletânea de informações socioeconômicas de Santa Catarina**. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/Sebrae/Portal%20Sebrae/UFs/SC/Anexos/Colet%C3%A2nea%20de%20informa%C3%A7%C3%B5es%20socioecon%C3%B4micas%20de%20SC.pdf>. Acesso em: 20 set. 2021.

SILVA, Gabriel Lopes. Logística portuária: gestão dos portos brasileiros e a importância da marinha do Brasil. **Revista Científica Semana Acadêmica**, v.9, 2021.

SUGRUE, Dennis; ADRIAENS, Peter. A data fusion approach to predict shipping efficiency for bulk carriers. **Journal of Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v.149, 2021.

STS-10. **Área de Arrendamento STS-10**: Complexo Portuário de Santos, 2019. Disponível em: http://web.antaq.gov.br/Sistemas/WebServiceLeilao/DocumentoUpload/Audiencia%20105/_3_STS10___Secao_A___Apresentacao_rev.0.pdf. Acesso em: 20 out. 2021.

TAVARES, Anna Cláudia Oliveira Kiermes. **O porto de Natal**: sua importância para o comércio exterior do RN. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.

TENGGU-ADNAN, T.; SIER, D.; IBRAHIM, R. N. Performance of ship queuing rules at coal export terminals. *In*: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT, p. 1795-1799, 2009.

THE WORLD BANK GROUP. **Trade (% of GDP)**. World Bank, 2021. Disponível em: <https://data.worldbank.org/indicator/NE.TRD.GNFS.ZS?end=2020&start=1960&view=chart>. Acesso em: 11 out. 2021.

TRAN, Nguyen Khoi; LAM, Jasmine Siu Lee. Effects of container ship speed on CO2 emission, cargo lead time and supply chain costs. **Transportation Business and Management Journal**, v. 43, jun. 2022.

TRISKA, Yuri; FRAZZON, Enzo Morosini; SILVA, Vanina Macowski Durski. Proposition of a simulation-based method for port capacity assessment and expansion planning. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 103, p. 102098, 2020.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT. Geneva: UNCTAD, 2020. **International merchandise trade**. Disponível em: https://unctadstat.unctad.org/wds/ReportFolders/reportFolders.aspx?IF_ActivePath=P,15912&sCS_ChosenLang=en. Acesso em: 23 ago. 2021.

VAN NES, Rob. **Design of multimodal transport networks**: a hierarchical approach. 2002. Doctoral Thesis in Civil Engineering, Delft University, Delft, 2002.

VENKATESH, Mani; ZHANG, Abraham; SHI, Peter. Supply chain integration barriers to port-centric logistics: an emerging economy perspective. **Transportation Journal**, v.59, n.3, p. 215-252, jun. 2020.

WENG, Donnavan Tan Kong; TAN, Rayner; RAHMAN, Mohd Helmi bin Abdul. Review on container depot operations. **Critical Reviews**, v. 7, n.8, ago. 2020.

ZAIN, Mohd; RAHMAN, Mohd Nizam Ab; NOPIAH, Zulkifli Mohd; SAIBANI, Nizaroyani. Understanding of empty container movement: a study on a bottleneck at an off-dock depot. *In: STATISTICS AND OPERATIONAL RESEARCH INTERNATIONAL CONFERENCE (SORIC)*, **Anais [...]**, Sarawak, 2013.

ZACHRISSON, Niclas; NAPEROTTI, Mathias. **Empty container management in depots before and after outsourcing of container inspection**: a flow and cost related comparison. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Shipping and Logistics) – Department of Technology Management and Economics, Chalmers University of Technology, Gothenburg, 2018.

ZHOU, Chenhao; MA, Ning; CAO, Xihu; LEE, Loo Hay; CHEW, Ek Peng. Classification and literature review on the integration of simulation and optimization in maritime logistics studies. **IIE Transactions Journal**, v. 53, n10, p. 1157-1176, jan. 2021.