

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

PATRICIA APARECIDA BILINSKI

MAXIMIZAÇÃO DA MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE UM TERMINAL
RETROPORTUÁRIO

Joinville
2017

PATRICIA APARECIDA BILINSKI

MAXIMIZAÇÃO DA MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE UM TERMINAL
RETROPORTUÁRIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Transportes e Logística, no curso Engenharia de Transportes e Logística da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Orientador: Prof. Dr. Cassiano Augusto Isler

Joinville
2017

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial minha mãe, Sandra, pelo incentivo e apoio incondicional que sempre me deram.

Ao meu namorado, Giovane, por sempre acreditar no meu potencial, pelo companheirismo e compreensão das minhas ausências durante a graduação.

Ao meu orientador, professor Cassiano, por todo o apoio, orientação e paciência.

Ao Gustavo Costa, pelo suporte e conhecimento compartilhado.

À Raiza Lopes, Luciano Gresele, Marcelo Passos e todos que de alguma forma possibilitaram a realização deste trabalho.

Por fim, à banca avaliadora, professora Christiane e Gustavo, pelo interesse e disponibilidade em participar desta avaliação.

RESUMO

Na medida que o contêiner perpetuou-se como um impulsionador do comércio global de mercadorias, os portos de contêineres tiveram que acompanhar este crescimento, resultando no surgimento dos terminais retroportuários para oferecer flexibilidade operacional e integrar a cadeia logística do contêiner. A importância desses terminais retroportuários incorre no aumento da concorrência, o que torna cada vez mais necessário que estes terminais identifiquem a melhor forma de gerir suas operações, de modo a criar vantagens competitivas e aumentar o seu retorno financeiro. Nesse sentido, este trabalho tem o objetivo de determinar o número ótimo de operações por tipo de equipamento e carga que maximiza a margem de contribuição em um terminal retroportuário. Para isso, um modelo matemático de programação linear inteira foi proposto para atender às restrições operacionais e comerciais de uma empresa existente. Após a implementação do modelo matemático, foram estabelecidos cenários baseados nas operações e objetivos do terminal. A máxima margem de contribuição, de aproximadamente R\$9,6 milhões, foi obtida pela proposta de contratação de 8 funcionários em um dos setores e a entrada de um novo cliente na carteira da empresa, além de outras premissas operacionais e comerciais definidas. O segundo melhor resultado, de aproximadamente R\$ 9,3 milhões, foi obtido a partir de um cenário hipotético de criação de um terceiro turno em outro setor do terminal. Além desses resultados financeiros, foi possível realizar análises a respeito do nível de utilização dos recursos do terminal e estabelecer conclusões sobre possíveis gargalos em cada setor.

Palavras-chave: Terminal Retroportuário. Sistema de Apoio à Decisão. Programação Linear Inteira.

ABSTRACT

The container ports followed the growth of the container market as it perpetuated itself as a booster of global world trade. In this context, the hinterland terminals provide operational flexibility and make the container's supply chain more integrated. The importance of these hinterland terminals impacts the competitiveness, enforcing them to identify the better way to manage their operations in order to be advantageous and financially profitable. Therefore, the goal of this research is to determine the optimum number of operations per type of equipment and cargo that maximizes the net income of a hinterland terminal. An integer linear programming model is proposed attempting to satisfy the operational and commercial constraints of the studied company. After implementing the model and establishing scenarios based on the operations and goals of the terminal, the maximum net income, of approximately R\$ 9.6 million, was obtained by proposing the recruitment of 8 employees and the entrance of a new client in the company's portfolio, as other operational and commercial assumptions. The second best net income result, of R\$ 9.3 million, became from the proposal of a third shift in another sector of the terminal. Besides these financial results, it was possible to have insights of the level of utilization of resources and bottlenecks in each sector.

Keywords: Hinterland Terminal. Decision Support System. Integer Linear Programming.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Ciclo básico da logística de contêineres	13
Figura 2 – Processo básico do SSD	20
Figura 3 – Contêineres recebidos Dry (esq.) e Reefer (dir.) por estado	28
Figura 4 – Fluxo de contêineres e movimentos de máquina – Depot	29
Figura 5 – Fluxo de contêineres e movimentos de máquina – CFS	30
Figura 6 – Distribuição de operações no CFS no Cenário Base	34
Figura 7 – Distribuição de operações no CFS - Cenário 1	37
Figura 8 – Distribuição de operações no CFS - Cenário 3	39
Figura 9 – Distribuição de operações no CFS - Cenário 4	41
Figura 10 – Distribuição de operações no CFS - Cenário 5	43
Figura 11 – Distribuição de operações no CFS - Cenário 6	45
Figura 12 – Margem de Contribuição	47
Figura 13 – Percentual de ocupação de movimentos de Reach Stacker no Depot	48
Figura 14 – Percentual de ocupação de movimentos de Reach Stacker no CFS .	49
Figura 15 – Percentual de ocupação de capacidade de reparo	49
Figura 16 – Percentual de ocupação de capacidade lavação	50
Figura 17 – Percentual de ocupação das horas de equipe do CFS	51
Figura 18 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário Base. Fonte: Autoria própria.	52
Figura 19 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário 1. Fonte: Autoria própria.	52
Figura 20 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário 3. Fonte: Autoria própria.	52
Figura 21 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário 4. Fonte: Autoria própria.	53
Figura 22 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário 5. Fonte: Autoria própria.	53
Figura 23 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário 6. Fonte: Autoria própria.	53
Figura 24 – <i>Market share</i> - Depot	55
Figura 25 – <i>Market share</i> - CFS	55
Figura 26 – <i>Market share</i> de exportações	56
Figura 27 – <i>Market share</i> de importações	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Artigos por palavra-chave resultante dos filtros sucessivos	15
Tabela 2 – Custos e receitas unitários no Depot	26
Tabela 3 – Custos e receitas unitários no CFS	26
Tabela 4 – Estoque Depot	27
Tabela 5 – Estoque CFS	27
Tabela 6 – Capacidade média mensal de movimentos Reach Stacker - Depot .	28
Tabela 7 – Capacidade média mensal de movimentos Reach Stacker - CFS . .	29
Tabela 8 – Tempo médio por operação (horas)	31
Tabela 9 – Capacidade operacional CFS (horas)	32
Tabela 10 – Operações no Depot para o Cenário Base	33
Tabela 11 – Operações no CFS para o Cenário Base	34
Tabela 12 – Operações no Depot para o Cenário 1	36
Tabela 13 – Operações no CFS para o Cenário 1	36
Tabela 14 – Operações no Depot para o Cenário 3	38
Tabela 15 – Operações no CFS para o Cenário 3	39
Tabela 16 – Operações no Depot para o Cenário 4	40
Tabela 17 – Operações no CFS para o Cenário 4	40
Tabela 18 – Operações no Depot para o Cenário 5	42
Tabela 19 – Operações no CFS para o Cenário 5	42
Tabela 20 – Operações no Depot para o Cenário 6	44
Tabela 21 – Operações no CFS para o Cenário 6	44
Tabela 22 – Resumo dos cenários	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Objetivo Geral	10
1.2	Objetivos Específicos	10
1.3	Organização do trabalho	10
2	REVISÃO TEÓRICA	11
2.1	Transporte marítimo regular de contêineres	12
2.2	Terminais retroportuários	13
2.3	Fluxo de contêineres em terminais portuários e retroportuários	14
3	ESTUDO DE CASO	18
3.1	Contextualização	18
3.2	Definição do problema	19
3.3	Modelo matemático de programação linear inteira	21
3.4	Definição dos parâmetros	25
3.4.1	Receitas e Custos Variáveis no Depot	25
3.4.2	Receitas e Custos Variáveis no CFS	26
3.4.3	Custos Administrativos e Impostos no Depot e CFS	27
3.4.4	Estoques Iniciais	27
3.4.5	Percentual Contêineres de Avariados	27
3.4.6	Capacidade de Movimentos e Movimentos Necessários	28
3.4.7	Capacidade de Teste de Maquinário e de Lavação	30
3.4.8	Capacidade de Reparo	30
3.4.9	Tempo Disponível e Gasto para Serviços	31
3.4.10	Capacidade de Armazenagem	32
4	APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO	33
4.1	Cenário Base	33
4.2	Cenário 1	34
4.3	Cenário 2	37
4.4	Cenário 3	38
4.5	Cenário 4	40
4.6	Cenário 5	41
4.7	Cenário 6	43
5	ANÁLISE DOS RESULTADOS	47
5.1	Margem de contribuição	47

5.2	Ociosidade dos recursos disponíveis	48
5.2.1	Reach Stacker - Depot	48
5.2.2	Reach Stacker - CFS	48
5.2.3	Oficina	49
5.2.4	Lavação	50
5.2.5	Horas de equipe - CFS	50
5.2.6	Estoque ao fim de cada período t	51
5.3	<i>Market share</i>	54
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
6.1	Recomendações para trabalhos futuros	58
	REFERÊNCIAS	59
	APÊNDICE A	62
	APÊNDICE B	63
	APÊNDICE C	64
	APÊNDICE D	65
	APÊNDICE E	66
	APÊNDICE F	67

1 INTRODUÇÃO

A containerização revolucionou o transporte de cargas ao viabilizar o aumento da produtividade e redução dos custos de transporte. Pela queda no valor do frete, também foi responsável pelo crescimento do comércio internacional de mercadorias, cuja estimativa em 2015 foi de 2,4% em relação ao ano anterior, chegando a 175 milhões de TEUs (Twenty Foot Equivalent Units) ou aproximadamente 1,3 bilhões de toneladas (ASARIOTIS et al., 2016; LEVINSON, 2006b).

Segundo Bandeira (2005), a utilização dos contêineres mudou radicalmente o layout e as operações dos terminais portuários, alterando as práticas de movimentação e armazenagem das mercadorias. A unitização das cargas e a padronização dos contêineres também impactaram na intermodalidade dos sistemas de transporte, tornando-se mais fácil a movimentação de diferentes cargas pelos modos de transporte.

O crescimento da containerização, desde a década de 1960, exige a integração de terminais intermodais ao sistema dos portos de contêineres para garantia da competitividade do setor portuário. A evolução dos portos marítimos exigiu a inserção de terminais retroportuários para auxiliar os portos de contêineres na adaptação às tendências e instabilidades do comércio global de mercadorias. Assim, os terminais retroportuários se perpetuam como um grande fator para a constante evolução e sustentação dos portos marítimos no mercado (JEEVAN et al., 2017).

A economia mundial tende a ser cada vez mais integrada, as empresas estão buscando estratégias para facilitar a disponibilidade dos produtos aos seus clientes e, por isso, a gestão logística assume maior importância uma vez que a proporção dos custos de transporte é significativa sobre os preços finais dos produtos. Assim, diminuir movimentações e o transporte interno no ciclo da logística de contêineres é uma forma de otimizar a cadeia de suprimentos (BALLOU, 2007; COLONETTI; ZILLI, 2015).

Dada a importância dos terminais retroportuários no transporte marítimo de contêineres, a concorrência neste setor é cada vez maior e é necessário que as empresas identifiquem a melhor forma de gerir suas operações com vistas ao maior retorno financeiro possível.

Neste contexto, o presente trabalho tem enfoque nas operações de uma empresa que opera um terminal retroportuário, onde são oferecidos serviços e armazenagem para contêineres cheios e vazios, e para cargas gerais, além de transporte rodoviário de contêineres. No terminal de contêineres vazios são oferecidos serviços de armazenagem, manutenção e reparo, e no terminal de cargas realizam-se

consolidação, desconsolidação, armazenagem e transporte de cargas containerizadas.

Dados os tipos de cargas e contêineres movimentados no terminal retroportuário, a empresa tem como objetivo maximizar a margem de contribuição que, segundo Redivo (2004), corresponde à diferença entre a receita e os custos diretos advindos da venda de um produto ou da prestação de um serviço. Para isso, é necessário determinar as operações que devem ser realizadas no terminal para que se obtenham os melhores resultados financeiros para a empresa operadora.

1.1 Objetivo Geral

Determinar o número ótimo de operações por tipo de contêiner e carga que maximiza a margem de contribuição em um terminal retroportuário.

1.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos são:

- a. Identificar os custos e receitas advindos das movimentações, manutenção e armazenagem de contêineres e cargas;
- b. Estabelecer um modelo matemático de programação linear inteira para determinar o número ótimo de operações que proporciona a maior margem de contribuição;
- c. Estabelecer cenários possíveis para operação do terminal;
- d. Analisar os resultados de margem de contribuição dos diferentes cenários.

1.3 Organização do trabalho

Este trabalho está dividido em 6 capítulos. Após esta introdução, o capítulo 2 apresenta o referencial teórico sobre o problema abordado e pesquisas anteriores em contextos similares.

No capítulo 3 é apresentado o estudo de caso pela formalização do problema considerado e descrição de um modelo matemático de otimização desenvolvido para determinar o número ótimo de operações em um terminal retroportuário com o objetivo de maximização da margem de contribuição da empresa.

O capítulo 4 contém a descrição dos cenários e resultados da aplicação do modelo matemático proposto à realidade das operações do terminal. No quinto capítulo são apresentadas considerações sobre os resultados do capítulo anterior.

Finalmente, o capítulo 6 contém as conclusões sobre a aplicação da modelagem proposta quanto às possíveis aplicações dos resultados obtidos à empresa, bem como sugestões para trabalhos futuros pertinentes ao tema.

2 REVISÃO TEÓRICA

A movimentação de cargas por contêineres se iniciou em 1956 quando um navio tanque da Segunda Guerra Mundial trafegou entre os portos de Newark e Houston, transportando 58 caminhões reboque sem a unidade tratora. O primeiro navio porta-contêineres (*full container*) foi construído em 1957, com capacidade para 216 TEUs e hoje podem transportar mais de 20.000 TEUS (CUDAHY, 2006).

O contêiner surgiu da necessidade de redução dos custos de transporte e manuseio de cargas, e para aumentar a agilidade e segurança das operações, imputando o conceito de unitização de cargas, que consiste em agrupar volumes pequenos em uma unidade e com dimensões padronizadas, facilitando as operações de carga e descarga em relação às cargas soltas (LUDOVICO, 2010).

Os contêineres popularizaram-se rapidamente, porém suas dimensões e materiais diferiam ao redor do mundo. Essas variações poderiam ter impedido o sucesso da containerização pois as empresas transportadoras teriam que estar adaptadas a diferentes tipos de contêineres para cada região, as empresas de navegação teriam que dispor de navios que permitissem carregar todas as variações existentes e os portos possuiriam múltiplos equipamentos para manusear a diversidade de contêineres. Para padronizar o uso e fabricação dos equipamentos para movimentação dos contêineres, a International Organization for Standardization (ISO) estabeleceu as dimensões padrões vigentes atualmente, de 20 pés ou 40 pés de largura, ou 6,1 metros e 12,2 metros de largura, respectivamente, e ambos com 2,6 metros de altura (LEVINSON, 2006a).

As dimensões padronizadas aumentaram a facilidade de manuseio e diminuíram os riscos de avarias às cargas, tornando o contêiner um importante instrumento para o impulso da intermodalidade. Atualmente as combinações intermodais navio-caminhão (*fishback*) ocorrem majoritariamente no transporte internacional possibilitando o serviço porta-a-porta (BALLOU, 2007; LUDOVICO, 2010).

Por esta contextualização é possível afirmar que a facilitação e aumento da eficiência advindas do uso do contêiner tornaram-o crucial para o aumento do comércio de mercadorias. Segundo Rodrigues (2011), o desenvolvimento acelerado dos navios e portos para adequação à unitização, juntamente com a os avanços da informática para a transferência de informações sobre os produtos, consolidaram definitivamente o transporte multimodal de cargas. Por isso, a concorrência neste mercado tende a aumentar, exigindo que as empresas envolvidas neste processo explorem os seus potenciais para manterem-se competitivas no mercado.

2.1 Transporte marítimo regular de contêineres

O transporte marítimo regular (*liner service*) refere-se à uma programação (*schedule*) de navegação definida em que os navios percorrem sempre as mesmas rotas entre portos específicos. Depois de estabelecida a programação, esta deve ser seguida regularmente, uma vez que o planejamento da operação dos agentes envolvidos depende da repetição do serviço (ROGERS; CHUAH; DOCKRAY, 2004).

De acordo com Rogers, Chuah e Dockray (2004), uma empresa prestadora de *liner service* (armador) produz um contrato padrão ou conhecimento de embarque (*bill of lading*) que depende do número de mercadorias de um lote de carga. As imposições do contrato, em geral, não estão sujeitas a negociação, ou seja, são definidas unilateralmente pelo armador.

As vantagens competitivas da containerização fizeram do transporte marítimo regular o serviço dominante no âmbito da movimentação de cargas gerais. No transporte regular os contêineres não necessitam de atenção individual, à exceção das unidades refrigeradas, que devem estar apenas seguros a bordo dos navios (COSTA, 2006; ROGERS; CHUAH; DOCKRAY, 2004).

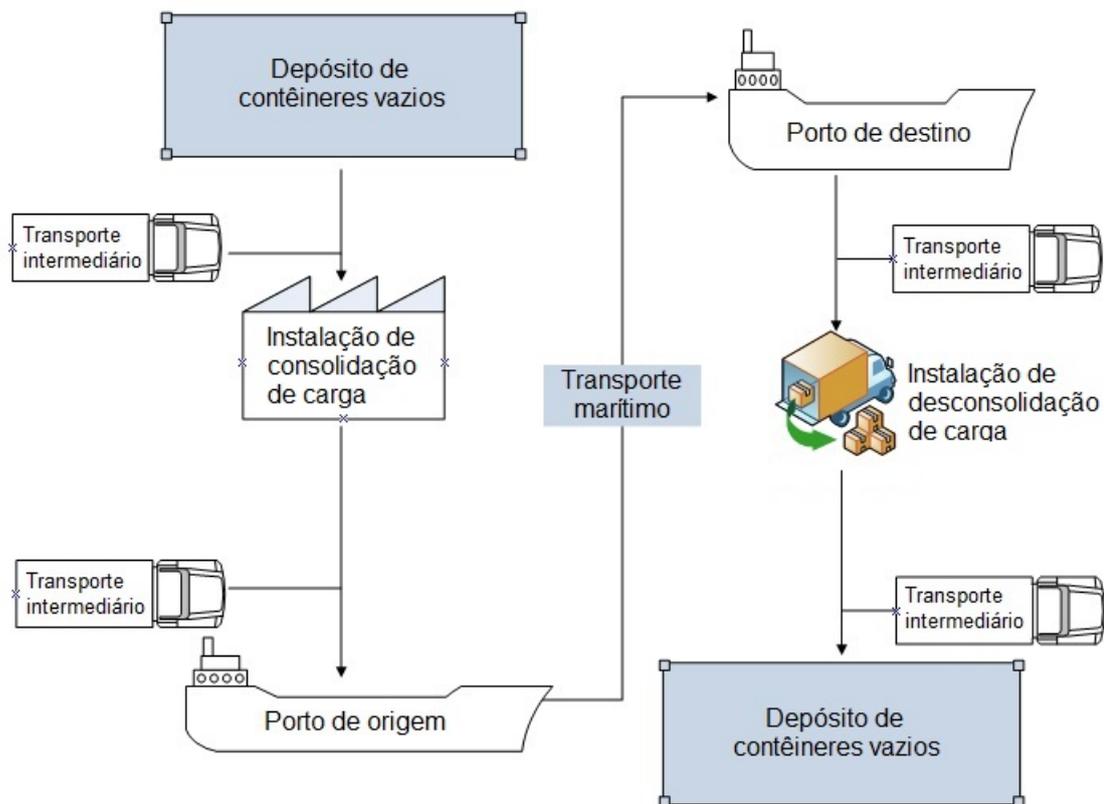
Costa (2006) segmenta o transporte marítimo regular de contêineres em três níveis: tipo de carga (seca transportada em contêineres de carga geral e refrigerada transportada em contêineres refrigerados); dimensões do contêiner (20 pés ou 40 pés); e valor da carga, uma vez que o valor do frete de um produto de maior valor agregado impacta menos nos custos logísticos que as cargas de menor valor agregado.

Os procedimentos de exportação e importação pelo serviço regular de contêineres apresentado por Costa (2006, p. 48) são listados a seguir.

- Processo de exportação
 1. Efetuar o fechamento de carga (*booking*) com o armador;
 2. Receber o número de reserva (*booking number*);
 3. Retirar o contêiner vazio no terminal;
 4. Transportar o contêiner e estufar a carga para exportação;
 5. Depositar o contêiner cheio no terminal portuário para embarque e finalizar os processos de liberação de carga para exportação junto aos órgãos responsáveis.
- Processo de importação
 1. Liberar a carga junto às autoridades alfandegárias;
 2. Retirar o contêiner no terminal portuário de desembarque;
 3. Transportar o contêiner e desovar a carga de importação;
 4. Transportar o contêiner vazio até o terminal indicado pelo armador;
 5. Devolver o contêiner vazio ao terminal de vazios.

A partir dos processos de exportação e importação é possível caracterizar o ciclo básico da logística de contêineres (Figura 1), que tem início e fim em um terminal de contêineres vazios. O exportador é responsável pelo transporte e as operações que ocorrem entre o terminal de contêineres vazio inicial e o porto de origem, enquanto que o importador é responsável pelos processos desde o porto de destino até o depósito de contêineres vazios final.

Figura 1 – Ciclo básico da logística de contêineres



Fonte: Adaptado de Zain et al. (2015)

2.2 Terminais retroportuários

Terminais retroportuários são instalações próximas a um porto de mar aberto ou fluvial constituídas por armazéns, pátios de estocagem, área de serviços para cargas e contêineres, e/ou prédios de apoio para as operações portuárias. A principal contribuição dos terminais retroportuários é suprir as deficiências dos terminais portuários e agregar valor ao serviço de transporte marítimo (ADMINISTRAÇÃO DOS PORTOS DE PARANAGUÁ E ANTONINA, 2011). De acordo com Laptaned (2007) e Rocha (2001) essas instalações podem ou não ser homologadas pela Receita Federal, tornando-se naquele caso instalações alfandegárias.

Na Figura 1 os terminais retroportuários podem estar localizados nos terminais de contêineres vazios e nas instalações de consolidação e desconsolidação de carga. Por exemplo, um exportador envia sua carga solta ao terminal retroportuário, que tratará de estufar o contêiner e encaminhá-lo ao porto ou, após chegar ao porto de destino, a carga é desconsolidada em um terminal retroportuário antes de ser enviada ao cliente.

Laptaned (2007) indica os seguintes serviços em terminais retroportuários:

- Recebimento e expedição/entrega de carga;
- Consolidação e desconsolidação de cargas;
- Transporte por via férrea ou rodoviária de/para porto;
- Despacho aduaneiro;
- Armazenamento temporário de carga e contêineres;
- Manutenção e reparo de contêineres.

Laptaned (2007) cita como principais benefícios dos terminais retroportuários:

- Concentração de carga, diminuindo o volume nos terminais portuários;
- Diminuição de trânsito;
- Redução dos atrasos;
- Diminuição do nível geral de movimentação de contêineres vazios;
- Aumento da competitividade do custo de transporte;
- Aumento dos fluxos comerciais.

De acordo com Jeevan et al. (2017), a principal contribuição dos terminais retroportuários é oferecer flexibilidade operacional aos portos, possibilitando atender às demandas do comércio internacional com maior facilidade.

2.3 Fluxo de contêineres em terminais portuários e retroportuários

Esta seção contém o levantamento bibliográfico referente à produção científica pertinente à temática abordada neste trabalho. Para tal, foram utilizados artigos publicados em periódicos indexados na base de dados ScienceDirect.

A definição das *strings* de busca por pesquisas iniciou-se pelas palavras-chave da publicação de Sterzik e Kopfer (2013): “A tabu search heuristic for the inland container transportation problem”. O problema abordado pelos autores está inserido na mesma temática da cadeia logística do presente trabalho, porém com enfoque em uma transportadora que realiza o transporte rodoviário de contêineres na retro área de um terminal portuário (*drayage*). Os autores descreveram a interação entre as partes envolvidas e propuseram um modelo matemático que considera a roteirização de veículos e o reposicionamento de contêineres vazios simultaneamente.

Assim, as *strings* de busca definidas para o desenvolvimento deste referencial teórico, realizado no mês de Julho de 2017, foram: “container drayage”, “empty container

reposition”, “hinterland container flow”, “hinterland container transportation”, “inland container flow”, “pickup and delivery container” e “yard container flow”.

A pesquisa restringiu-se a artigos publicados na última década (entre 2007 e 2017) que contivessem as *strings* nas palavras-chave, título ou resumo (Filtro 1), resultando em 165 trabalhos. Os respectivos títulos e resumos foram analisados para certificação de que, de fato, se enquadram de alguma maneira à temática do presente trabalho (Filtro 2) resultando em 62 artigos.

Após a leitura detalhada dos resumos das pesquisas resultantes do “Filtro 2” foram selecionados 13 artigos científicos, conforme caracterização na Tabela 1, cujas considerações a respeito de cada um deles são apresentadas na sequência.

Tabela 1 – Artigos por palavra-chave resultante dos filtros sucessivos

Palavras-chave	Filtro 1	Filtro 2	Seleção final
Container drayage	17	10	2
Empty container reposition	47	23	6
Hinterland container flow	18	4	0
Hinterland container transportation	24	6	1
Inland container flow	23	4	0
Pickup and delivery container	24	11	3
Yard container flow	12	4	1
Total	165	62	13

Fonte: Autoria própria.

Uma proporção significativa dos trabalhos desenvolvidos em áreas retroportuárias tratam dos *drayage problems*. *Drayage* é o termo que remete ao transporte (rodoviário ou ferroviário) de contêineres em curtas distâncias entre clientes, terminais portuários, terminais retroportuários e depósitos de contêineres vazios. As operações de *drayage* são majoritariamente realizadas por caminhões e representam parcela expressiva dos custos de transporte intermodal, por isso é importante realizá-lo com vistas à minimização dos custos referentes àquelas operações (BONTEKONING; MACHARIS; TRIP, 2004; BRAEKERS; CARIS; JANSSENS, 2014).

Semelhante ao trabalho de Sterzik e Kopfer (2013), outros autores resolveram problemas de roteirização e programação de veículos para otimizar as operações de *drayage*. Funke e Kopfer (2015) propuseram uma metaheurística associando programação matemática e heurística de busca em vizinhança para roteirização e programação de uma frota homogênea de caminhões em operações de *drayage*.

As contribuições de Braekers, Caris e Janssens (2014), Caris e Janssens (2009), Shiri e Huynh (2016) e Zhang, Yun e Moon (2009) acrescentam restrições de janelas de tempo ao problema anterior, considerando horário de atendimento das partes envolvidas e prazos limites de coleta/entrega dos contêineres. Caris e Janssens (2009) desenvolveram uma heurística de inserção em duas fases para resolução do

problema em que são combinadas entregas e coletas em uma primeira fase, e inserção de rotas na segunda fase.

Zhang, Yun e Moon (2009) formularam um problema equivalente a múltiplos caixeiros viajantes com janela de tempo e propuseram a resolução através de um método de clusterização ou de uma heurística Busca Tabu (Tabu Search), concluindo que este último método é mais eficiente. Shiri e Huynh (2016) também abordaram o problema como uma extensão do anterior e o resolveram-no através de uma heurística Busca Tabu em função da qualidade dos resultados de Zhang, Yun e Moon (2009).

Braekers, Caris e Janssens (2014) trataram o problema como múltiplos caixeiros viajantes assimétricos com janela de tempo e pela primeira vez resolveram o problema de programação de veículos em operações de *drayage* com dois objetivos: minimizar a distância total percorrida e o número de veículos designados. Para a resolução, os autores propuseram três algoritmos de solução, obtendo melhores resultados através de um algoritmo híbrido Simulated Annealing e Tabu Search.

Um dos assuntos mais importantes no transporte regular de contêineres é o reposicionamento de contêineres vazios, que corresponde à maneira como os armadores redistribuem os contêineres vazios entre terminais de vazios e portos.

O desequilíbrio do comércio internacional é a maior razão para esta redistribuição, ou seja, a diferença entre importação e exportação em determinadas regiões pode determinar que nestas “falem” ou “sobrem” contêineres vazios para posterior exportação. Por exemplo, em 2012 a Europa enviou para a Ásia cerca de 6,3 milhões de TEUs e o fluxo inverso foi de aproximadamente de 13,7 milhões de TEUs, tornando necessário o envio de mais contêineres vazios para Ásia e rateamento dos contêineres remanescentes da Europa entre outras regiões (LEE; MENG, 2014).

Os problemas de reposicionamento de contêineres vazios buscam redistribuir esses elementos de maneira eficiente, reduzindo custos e atendendo a demanda dos clientes. Myung e Moon (2014) consideram o problema combinado de reposicionamento e compra de contêineres vazios em armadores que utilizam tanto contêineres padrão quando dobráveis. Os autores desenvolveram um modelo de fluxo em rede para determinar a quantidade de contêineres necessários em cada porto, bem como a quantidade que deve ser comprada e redistribuída entre portos. Dong e Song (2009) também relacionaram a redistribuição dos vazios com a gestão da frota de contêineres e, para a resolução, basearam-se em algoritmos genéticos e estratégia evolucionária combinados com mecanismos de ajuste.

Chou et al. (2010) formularam um modelo de dois estágios para determinar a quantidade de contêineres vazios a serem alocados em cada porto. No primeiro estágio é proposto um modelo fuzzy para determinar quantos contêineres são necessários em cada porto e no segundo estágio um modelo de fluxo em redes determina como redistribuir os contêineres entre os portos.

O problema de reposicionamento de contêineres vazios em conjunto com a roteirização das cargas foi tratado por Song e Dong (2012), com o objetivo de minimizar os custos relevantes (entrada/saída de portos, atrasos de entrega, armazenagem e transporte dos contêineres vazios). Para a resolução do problema de otimização os autores propuseram dois métodos de solução: o primeiro utiliza programação inteira para determinar o menor caminho, e então designar a redistribuição dos vazios em instâncias dinâmicas; o segundo método, também em duas etapas, primeiramente resolve ambos os problemas de maneira estática e então aplica uma heurística de melhoria para considerar a dinâmica do sistema. Para instâncias em pequena escala, o primeiro método apresentou melhores resultados, entretanto, em larga escala o segundo método se mostrou mais eficaz.

O outro tema importante da logística de operações de contêineres em áreas retroportuárias está na otimização das operações dentro dos terminais. Guo et al. (2011) propuseram um modelo para determinar a sequência ótima de trabalho de *transteiners* em terminais portuários que resultem no menor tempo de espera dos caminhões, designados para coletar ou descarregar contêineres em determinados momentos. Por outro lado, Kaveshgar e Huynh (2015) combinam o problema da sequência de trabalho de *transteiners* e *portainers* juntamente com os caminhões e resolvem o modelo de otimização através de um algoritmo genético combinado com um algoritmo guloso.

Apesar dessas últimas pesquisas serem aquelas mais relacionadas ao objeto de estudo do presente trabalho, constatou-se que a maioria das análises sobre a tomada de decisão na logística de contêineres se concentram nos objetivos dos armadores e dos terminais portuários. Por isso, mesmo que os artigos descritos nesta seção estejam inseridos na mesma temática da cadeia logística, a presente monografia tem como contribuição a abordagem do problema de operações em terminais retroportuários sob a perspectiva da empresa operadora deste tipo de instalação, cuja modelagem matemática proposta e resultados obtidos mediante diferentes cenários são apresentados nos próximos capítulos.

3 ESTUDO DE CASO

O problema prático de determinação do número ótimo de operações em um terminal retroportuário que resulta na maior margem de contribuição é caracterizado neste capítulo, dividido em quatro seções. A primeira seção contém uma descrição das operações realizadas no terminal, seguida da caracterização do problema abordado e das premissas admitidas para modelagem.

A seção três contém a caracterização dos índices, parâmetros e variáveis do modelo matemático proposto para tratamento do problema analisado, bem como a função objetivo e restrições da modelagem. Finalmente, na quarta seção são apresentados os valores admitidos para os parâmetros do modelo matemático.

3.1 Contextualização

O ambiente de análise deste trabalho concentra-se em um terminal retroportuário situado na retroárea do Porto Itapoá. A empresa possui infraestrutura para as operações de contêineres cheios e vazios, armazém geral, consolidação e desconsolidação de cargas, transporte rodoviário, e manutenção e reparo de contêiner frigorífico (reefer).

No terminal de contêineres vazios (Depot) a empresa tem como clientes os armadores e sua principal função é receber contêineres vazios e garantir que estes estejam disponíveis e em condições adequadas de uso quando solicitados pelo armador. As operações realizadas no Depot são:

- **Recebimento (gate in):** operação de entrada de contêineres vazios no Depot, quando ocorre vistoria do equipamento, de modo a informar se este já está apto para liberação ou se deve primeiramente passar por reparo de estrutura. Esta operação está associada à devolução de contêiner vazio pós-importação ou à redistribuição de frota de contêineres dos armadores. Em caso de contêiner frigorífico, este deve também ser submetido a verificação e teste de maquinário.
- **Liberação (gate out):** operação de saída dos contêineres do Depot, referente à entrega dos contêineres nas condições determinadas pelo armador para o processo de exportação ou redistribuição de contêineres vazios.
- **Reparo:** refere-se ao procedimento de reparo da estrutura dos contêineres que chegam avariados ao terminal.

No terminal de contêineres cheios e armazém geral (Container Freight Station - CFS) são oferecidos serviços de consolidação, desconsolidação e armazenagem de carga geral e transporte de contêineres. As operações no CFS são:

- **Consolidação (estufagem):** operação de carregamento das cargas nos contêineres. O cliente (exportador) envia a carga solta ao terminal onde ficará armazenada até a estufagem, cabendo ao CFS coletar o contêiner vazio em terminal determinado pelo armador. Após estufado, o contêiner é enviado ao terminal portuário no processo de exportação.
- **Desconsolidação (desova):** procedimento de retirada das cargas dos contêineres. O contêiner de importação é coletado no porto, o cliente (consignatário) é responsável por retirar a carga solta no terminal e o CFS deve devolver o contêiner vazio no terminal informado pelo armador.
- **Handling:** operação em que o contêiner cheio permanece no CFS como um armazém de trânsito sem que ocorra a desconsolidação da carga.

3.2 Definição do problema

Os dois terminais, Depot e CFS, localizam-se atualmente na mesma área e dividem a parcela do pátio destinada à armazenagem de contêineres. De acordo com os dados históricos da empresa em estudo, constata-se que para atender a demanda de contêineres vazios o custo das operações e recursos necessários tendem a ser menores, porém a margem de contribuição unitária por serviço de carga containerizada é maior. Por isso, a quantidade de movimentos necessários e/ou tempo despendido para execução de uma operação impactam na totalidade das operações realizadas e, automaticamente, no retorno financeiro da empresa.

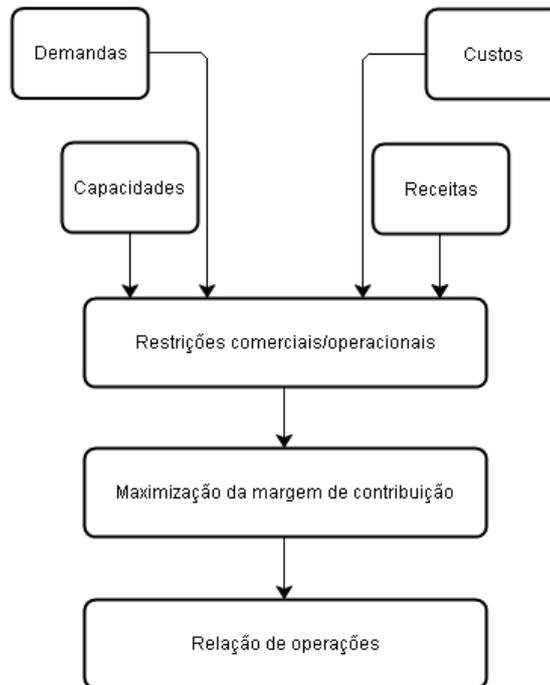
Após entrevistas com os gestores foi possível perceber que, apesar da percepção sobre as operações mais rentáveis, o nível ótimo de cada negócio (tipo de carga e contêineres) que maximiza a margem de contribuição não é conhecido.

Neste contexto, surge o conceito de “Sistema de Suporte à Decisão” (SSD), um sistema destinado a apoiar decisores em situações de decisão semi-estruturada, podendo ser utilizado para analisar diferentes cenários pela variação de condições comerciais e/ou operacionais. Assim, o SSD geralmente é concebido para identificar a solução para um problema ou para avaliar uma oportunidade empresarial (ARONSON; LIANG; TURBAN, 2005; COSTA, 2006).

Este trabalho estabelece um modelo matemático de otimização para atuar como um SSD no gerenciamento das potencialidades da empresa quanto às suas demandas operacionais de modo a maximizar os resultados financeiros. O objetivo deste sistema é maximizar a margem de contribuição da empresa, cujos resultados indicam a quantidade de operações a serem realizadas em períodos específicos.

Os processos básicos do SSD no contexto das operações de um terminal retroportuário pode ser representados pelo fluxograma da Figura 2.

Figura 2 – Processo básico do SSD



Fonte: Adaptado de Costa (2006)

Para tratamento matemático do problema prático analisado são admitidas as premissas simplificadoras descritas a seguir.

- Para os contêineres do tipo Dry considera-se lavação como um reparo, uma vez que, na empresa em estudo, a taxa de chegada destes equipamentos sujos não é significativa, cerca de 3%;
- Todo contêiner Reefer deve passar por lavação, sendo tratada diferente de reparo e realizada antes da liberação do equipamento;
- No processo de consolidação de carga o contêiner é enviado para o porto no mesmo dia de estufagem;
- Não existe fluxo de contêineres entre os setores do terminal retroportuário, ou seja, não há coleta ou devolução de contêiner vazio pelo CFS no Depot;
- Não são analisados os serviços de reparo para contêineres frigoríficos (verificação e teste de maquinário) e transporte rodoviário de longa distância;
- Apenas o handling de importação é considerado, em que o contêiner é coletado no porto e armazenado no CFS, onde é coletado pelo cliente (consignatário).

3.3 Modelo matemático de programação linear inteira

Esta seção contém o modelo matemático desenvolvido para determinar o nível ótimo de operação que resulta na máxima margem de contribuição em um terminal retroportuário. A seguir é apresentada a nomenclatura dos itens, seguida dos parâmetros, variáveis de decisão e equacionamento matemático.

Seja $I = (0, \dots, i)$ o conjunto de serviços prestados no Depot, equivalentes à recebimento ($i = 0$), liberação ($i = 1$) e reparo ($i = 2$) de cada contêiner, e $K = (0, \dots, k)$ o conjunto de serviços oferecidos no CFS, correspondentes à estufagem ($k = 0$), desova ($k = 1$) e handling de carga vinda de importação ($k = 2$).

Considere ainda $J = (0, 1)$ o conjunto de tipos de contêineres, tal que $j = 0$ são contêineres do tipo Dry e $j = 1$ do tipo Reefer.

Seja S o conjunto de status possível de estrutura dos contêineres no Depot, que podem estar sem avarias ($s = 0$) ou avariados ($s = 1$), e A o conjunto que representa a forma que a carga está armazenada no CFS, tal que $a = 0$ representa as cargas containerizadas e $a = 1$ indica cargas soltas.

Ainda, considere $L = (0, \dots, l)$ o conjunto de 14 tipos de cargas atendidas no terminal, tal que $l = 0$ indica cargas do tipo cereais, e o índices sucessivos representam químicos, cerâmica, comida, maquinário, metais, minerais, outros, papel, plástico, couro, pneu, veículos, e madeira é representado por $l = 13$.

Finalmente, seja $T = (0, \dots, t)$ o conjunto de períodos de tempo do horizonte de análise de receitas e despesas da empresa operadora do terminal retroportuário para cálculo da margem de contribuição.

Considere ainda os seguintes parâmetros para modelagem matemática:

R_{ij}^D : receita no Depot para o serviço i no contêiner do tipo j ;

R_{kl}^C : receita no CFS para o serviço k na carga do tipo l ;

$c_{var,ij}^D$: custo variável operacional no Depot para serviço i no contêiner tipo j ;

$c_{var,kl}^C$: custo variável operacional no CFS para o serviço k na carga do tipo l ;

$c_{adm,ij}^D$: custo administrativo variável no Depot;

μ^D : impostos do Depot;

$c_{adm,kl}^C$: custo administrativo variável no CFS;

μ^C : impostos do CFS;

$E_{sj}^{D, inicial}$: estoque inicial no Depot de contêineres j com estrutura com status s ;

$E_{al}^{C, inicial}$: estoque inicial no CFS das cargas l armazenadas da forma a ;

α_j : percentual de chegada de contêineres j avariados no Depot;

M^D : capacidade mensal de movimentos de contêineres vazios;

m_{ij}^D : movimentos necessários para operação i no contêiner do tipo j ;

P : capacidade mensal de teste de maquinário em contêineres Reefer;

W : capacidade mensal de realização de lavação em contêineres Reefer;
 RP : capacidade mensal de reparo da oficina;
 MC : capacidade mensal de movimentos de contêineres cheios;
 m_{kl}^C : movimentos necessários para operação k na carga do tipo l ;
 γ_{kl} : tempo gasto para a entrega do serviço k para a carga l ;
 γ^{total} : tempo mensal disponível para realização dos serviços no CFS;
 AZ : capacidade de armazenagem de carga solta em medidas de contêineres;
 YC : capacidade de armazenagem de contêineres no pátio.

Dada a caracterização do problema da seção anterior, as variáveis de decisão estabelecidas no modelo matemático são:

x_{ij}^t : número de operações i no contêiner do tipo j no período t no Depot;
 y_{kl}^t : número de operações k realizadas na carga l no período t no CFS;
 $E_{sj}^{D,t}$: estoque de contêiner do tipo j com status s no Depot no período t ;
 $E_{al}^{C,t}$: estoque do tipo a da carga l no CFS no período t ;
 β_{al}^t : quantidade de carga l da forma a que deve chegar no CFS no período t .

Nessas condições, o modelo matemático de programação linear inteira proposto para o Sistema de Suporte à Decisão para operação do terminal retroportuário é definido pela função objetivo e restrições a seguir.

$$\begin{aligned}
 \text{Maximizar } Z = & \sum_i \sum_j \sum_t x_{ij}^t \cdot (R_{ij}^D - R_{ij}^D \cdot \mu^D - c_{var,ij}^D) \\
 & + \sum_k \sum_l \sum_t y_{kl}^t \cdot (R_{kl}^C - R_{kl}^C \cdot \mu^C - c_{var,kl}^C) \\
 & - \sum_t (c_{adm}^D + c_{adm}^C)
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

sujeito a

$$E_{0j}^{D,t} = E_{0j}^{D,t-1} + (1 - \alpha) \cdot x_{0j}^t - x_{1j}^t + x_{2j}^t \quad \forall t \in T, j \in J \mid E_{0j}^{D,-1} = E_{0j}^{D,initial} \tag{3.2}$$

$$E_{1j}^{D,t} = E_{1j}^{D,t-1} + \alpha \cdot x_{0j}^t - x_{2j}^t \quad \forall t \in T, j \in J \mid E_{1j}^{D,-1} = E_{1j}^{D,initial} \tag{3.3}$$

$$x_{1j}^t \leq E_{0j}^{D,t-1} + (1 - \alpha) \cdot x_{0j}^t + x_{2j}^t \quad \forall t \in T, j \in J \mid E_{0j}^{D,-1} = E_{0j}^{D,initial} \tag{3.4}$$

$$x_{2j}^t \leq E_{1j}^{D,t-1} + \alpha \cdot x_{0j}^t \quad \forall t \in T, j \in J \mid E_{1j}^{D,-1} = E_{1j}^{D,initial} \tag{3.5}$$

$$E_{0l}^{C,t} = E_{0l}^{C,t-1} + \beta_{0l}^t - y_{1l}^t - y_{2l}^t \quad \forall t \in T, l \in L \mid E_{0l}^{C,-1} = E_{0l}^{C,initial} \quad (3.6)$$

$$E_{1l}^{C,t} = E_{1l}^{C,t-1} + \beta_{1l}^t - y_{0l}^t \quad \forall t \in T, l \in L \mid E_{1l}^{C,-1} = E_{1l}^{C,initial} \quad (3.7)$$

$$\beta_{0l}^t \geq y_{1l}^t + y_{2l}^t - E_{0l}^{C,t-1} \quad \forall t \in T, l \in L \mid E_{0l}^{C,-1} = E_{0l}^{C,initial} \quad (3.8)$$

$$\beta_{1l}^t \geq y_{0l}^t - E_{1l}^{C,t-1} \quad \forall t \in T, l \in L \mid E_{1l}^{C,-1} = E_{1l}^{C,initial} \quad (3.9)$$

$$\beta_{1l}^0 + E_{1l}^{C,t-1} - y_{0l}^t \leq AZ \quad \forall t \in T, l \in L \mid E_{1l}^{C,-1} = E_{1l}^{C,initial} \quad (3.10)$$

$$x_{01}^t \leq P \quad \forall t \in T \quad (3.11)$$

$$x_{11}^t \leq W \quad \forall t \in T \quad (3.12)$$

$$\sum_j x_{2j}^t \leq RP \quad \forall t \in T, \varepsilon \in J \quad (3.13)$$

$$\sum_j m_{ij}^D \cdot x_{ij}^t \leq M^D \quad \forall t \in T, \varepsilon \in J \quad (3.14)$$

$$\sum_l m_{kl}^D \cdot y_{kl}^t \leq M^C \quad \forall t \in T, \varepsilon \in L \quad (3.15)$$

$$\sum_{k=0}^1 \sum_l \delta_{kl} \cdot y_{kl}^t \leq \delta^{total} \quad \forall l \in L, t \in T \quad (3.16)$$

$$\sum_s \sum_j E_{sj}^{D,t} + \sum_l E_{0l}^{C,t} \leq YC \quad \forall t \in T \quad (3.17)$$

$$x_{ij}^t \geq 0 \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T \quad (3.18)$$

$$y_{kl}^t \geq 0 \quad \forall k \in K, l \in L, t \in T \quad (3.19)$$

$$E_{sj}^{D,t} \geq 0 \quad \forall s \in S, j \in J, t \in T \quad (3.20)$$

$$E_{al}^{C,t} \geq 0, \beta_{al}^t \geq 0 \quad \forall a \in A, l \in L, t \in T \quad (3.21)$$

$$x_{ij}^t \in \mathbb{Z} \quad \forall i \in I, j \in J, t \in T \quad (3.22)$$

$$y_{kl}^t \in \mathbb{Z} \quad \forall k \in K, l \in L, t \in T \quad (3.23)$$

$$E_{sj}^{D,t} \in \mathbb{Z} \quad \forall s \in S, j \in J, t \in T \quad (3.24)$$

$$E_{al}^{C,t} \in \mathbb{Z}, \beta_{al}^t \in \mathbb{Z} \quad \forall a \in A, l \in L, t \in T \quad (3.25)$$

A função objetivo 3.1 corresponde à margem de contribuição resultante das operações realizadas no período T analisado.

Na sequência, o conjunto de restrições 3.2 garantem que, para cada tipo de contêiner $j \in J$, o estoque sem avarias para o período t seja igual ao estoque sem avaria do período anterior, acrescentado dos contêineres j que entraram sem avarias e os que foram reparados, diminuindo os contêineres liberados.

As restrições de 3.3 garantem que o estoque de contêineres j avariados em t seja a soma do estoque de contêineres avariados do período anterior com os contêineres que chegaram avariados, subtraídos dos reparados.

As restrições 3.4 garantem que o número de contêineres j liberados no período t sejam menores ou iguais a totalidade de contêineres j disponíveis no período.

As restrições 3.5 garantem que sejam reparados apenas os contêineres avariados. As restrições 3.6 garantem que o estoque de carga l containerizada no período t seja a soma do estoque containerizado l no período anterior com a quantidade que entrou subtraindo as desovas e os handlings do período t , para toda carga l .

As restrições 3.7 relacionam o estoque de carga l solta em t , acrescido da diferença entre a quantidade de carga solta l que entra e o número de estufagens de carga l .

As equações 3.8 garantem que em todo período $t \in T$ entre no mínimo a quantidade de carga containerizada necessária para realizar as operações de desova e handling do período. As restrições 3.9 garantem que em todo $t \in T$ entre pelo menos a quantidade de carga solta necessária para efetuar as estufagens do período.

As equações 3.10 impedem que a quantidade de carga solta no terminal exceda a capacidade máxima dos armazéns.

O conjunto de restrições 3.11 garante que em cada período t o número de contêineres frigoríficos recebidos não exceda a capacidade de teste de maquinário. As restrições 3.12 impedem que o Depot libere mais contêineres frigoríficos que pode lavar em cada período t .

O conjunto de equações 3.13 refere-se à oficina e garante que não sejam reparados mais contêineres que a capacidade de reparo permite. O conjunto de restrições 3.14 associa o número de movimentos de empilhadeira necessários para a realização de cada tipo de operação do Depot. A soma de todos os movimentos

deve ser menor ou igual que a capacidade M^D de movimentos das empilhadeiras disponíveis para o setor.

O conjunto de restrições 3.15 associa o número de movimentos de empilhadeira necessários para a realização de cada tipo de operação do CFS. A soma de todos os movimentos deve ser menor ou igual que a capacidade M^C de movimentos das empilhadeiras disponíveis para o setor.

O conjunto de restrições 3.16 garantem que o tempo utilizado nas operações de estufagem e desova do CFS não exceda o tempo total disponível para estas operações (δ^{total}). O conjunto de restrições 3.17 garante que o número de contêineres cheios e vazios no terminal não exceda a capacidade de armazenagem do pátio.

A não negatividade das variáveis de decisão é garantida nos conjuntos de restrições 3.18, 3.19, 3.20 e 3.21 e nos conjuntos 3.22, 3.23, 3.24 e 3.25 garante-se que as variáveis de decisão assumam valores inteiros.

3.4 Definição dos parâmetros

A seguir são apresentados os valores considerados para os parâmetros indicados no modelo matemático. Todos esses valores foram multiplicados por um mesmo fator para garantir o sigilo dos dados reais.

3.4.1 Receitas e Custos Variáveis no Depot

Para o Depot, os custos variáveis operacionais e administrativos foram determinados com base no faturamento e operações realizadas no mês de julho/2017. Os custos variáveis operacionais se dividem em vistoria (custo de gate in), oficina (custo de reparo) e movimentação de contêineres (combustível e lubrificante, materiais aplicados nas operações, manutenção de máquina, pneus e locação de máquinas e equipamentos).

Os custos de movimentação foram divididos pelo número de movimentos que as operações demandaram no mês de referência.

Os valores unitários de receitas por serviço prestado i , tipo de contêiner j (R_{ij}^D) e os custos variáveis por serviço prestado i , tipo de contêiner j ($c_{var,ij}^D$) no Depot são apresentados na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Custos e receitas unitários no Depot

	Custo ($c_{var,ij}^D$)			Receita (R_{ij}^D)		
	Gate in	Gate out	Reparo	Gate in	Gate out	Reparo
Dry	R\$ 15,11	R\$ 8,18	R\$ 127,48	R\$ 99,75	R\$ 99,75	R\$ 160,62
Reefer	R\$ 39,66	R\$ 104,51	R\$ 113,10	R\$ 99,75	R\$ 213,99	R\$ 138,20

Fonte: Autoria própria.

3.4.2 Receitas e Custos Variáveis no CFS

Para o CFS os custos variáveis operacionais e administrativos foram determinados com base no faturamento e operações realizadas no mês de julho/2017 e em estimativas de custo unitário por operação já existentes. Os custos de equipamentos (combustível e lubrificante, materiais aplicados nas operações, manutenção de máquina, pneus) foram divididos entre o número de movimentos necessários para a realização das operações.

Considera-se que no handling de carga não trabalham funcionários terceirizados nem são utilizadas máquinas alugadas, portanto os custos com terceirizados e equipamentos alugados dividem-se apenas entre estufagem e desova.

As tabelas a seguir apresentam as receitas (R_{kl}^C) e custos unitários ($c_{var,kl}^C$) do CFS. Os campos em branco significam que a empresa não realizou nenhuma das operações para aquele tipo de carga durante o período analisado sendo, portanto, descartados das análises.

Tabela 3 – Custos e receitas unitários no CFS

	Custo			Receita		
	Estufagem	Desova	Handling	Estufagem	Desova	Handling
Cereais	R\$ 986,69	-	-	R\$ 1.387,20	-	-
Químicos	-	-	-	-	-	-
Cerâmica	R\$ 323,95	-	-	R\$ 1.020,00	-	-
Comida	R\$ 986,69	-	-	R\$ 1.682,59	-	-
Maquinário	R\$ 660,29	-	R\$ 336,49	R\$ 1.028,16	-	R\$ 489,60
Metais	R\$ 323,95	R\$ 480,79	-	R\$ 1.305,60	R\$ 1.286,02	-
Minerais	R\$ 585,24	-	-	R\$ 1.354,56	-	-
Outros	-	-	-	-	-	-
Papel	R\$ 459,55	-	R\$ 336,49	R\$ 701,76	-	R\$ 465,12
Plástico	-	R\$ 459,55	-	-	R\$ 979,20	-
Couro	R\$ 396,72	-	-	R\$ 1.060,80	-	-
Pneu	-	R\$ 480,79	-	-	R\$ 816,00	-
Veículos	R\$ 660,29	R\$ 660,29	R\$ 336,49	R\$ 1.615,68	R\$ 1.615,68	R\$ 517,34
Madeira	R\$ 585,24	R\$ 585,24	-	R\$ 1.179,94	R\$ 1.250,11	-

Fonte: Autoria própria.

3.4.3 Custos Administrativos e Impostos no Depot e CFS

No mês de referência (julho/2017) o Depot apresentou um custo (c_{adm}^D) de R\$ 243.278,44 e impostos (μ^D) de 11,23%. No mesmo mês, o CFS indicou um custo (c_{adm}^C) de R\$ 275.310,31 e impostos (μ^C) de 12,45%.

3.4.4 Estoques Iniciais

Os estoques iniciais foram observados no dia 09/10/2017, segmentados no Depot ($E_{inicial,sj}^D$) em avariados (DM) ou sem avarias (OK) conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Estoque Depot

	Sem Avarias (OK)	Avariados (DM)
Dry	1.279	633
Reefer	682	362

Fonte: Autoria própria.

No CFS, o estoque divide-se em carga containerizada e carga solta ($E_{inicial,al}^C$), e foi segmentado por tipo de carga conforme caracterizado na Tabela 5.

Tabela 5 – Estoque CFS

	Contêiner	Carga solta
Cereais	0	0
Químicos	5	0
Cerâmica	26	271
Comida	0	0
Maquinário	0	0
Metais	57	0
Minerais	0	0
Outros	0	0
Papel	0	137
Plástico	155	227
Couro	0	101
Pneu	0	0
Veículos	0	0
Madeira	134	1283

Fonte: Autoria própria.

3.4.5 Percentual Contêineres de Avariados

Para determinação do percentual de contêineres Dry e Reefer que chegam avariados (α_j) foram obtidas as quantidades referentes ao recebimento e liberação de contêineres vazios do período de julho/2016 a julho/2017 e estipulou-se a taxa média mensal para cada tipo de contêiner conforme indicado na Figura 3.

Figura 3 – Contêineres recebidos Dry (esq.) e Reefer (dir.) por estado



Fonte: Autoria própria

3.4.6 Capacidade de Movimentos e Movimentos Necessários

O Depot dispõe de duas empilhadeiras de contêineres vazios (Reach Stacker) e 5 operadores em 3 turnos. Analisando a média de movimentos diários nas máquinas por operadores do período de julho/2016 a julho/2017 foram obtidos os valores indicados na Tabela 6, resultando na capacidade de 25.564 movimentos da máquina por mês no Depot (M^D).

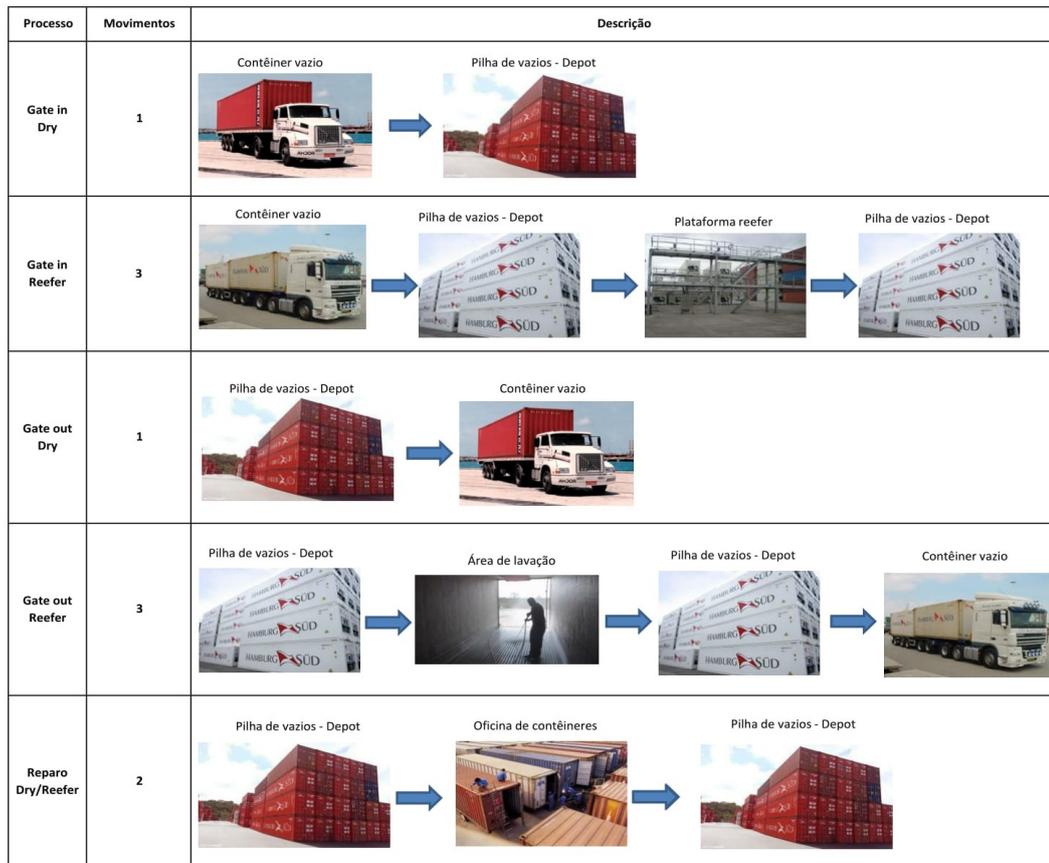
Tabela 6 – Capacidade média mensal de movimentos Reach Stacker - Depot

	Operadores	Horas/mês	Movimentos em máquina
Turno 1	2	483	10628
Turno 2	2	483	10628
Turno 3	1	196	4308

Fonte: Autoria própria.

Um movimento de máquina equivale à remover um contêiner de um local e reposicioná-lo em outro, tal que o número de movimentos executados por operação (m_{ij}^D) é apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Fluxo de contêineres e movimentos de máquina – Depot



Fonte: Autoria Própria.

O CFS conta com 2 Reach Stackers de contêineres cheios, onde trabalha um operador em cada turno. A capacidade é calculada da mesma forma que para o Depot, como apresentado na Tabela 7, resultando na capacidade de 13.395 movimentos mensais no CFS (M^C).

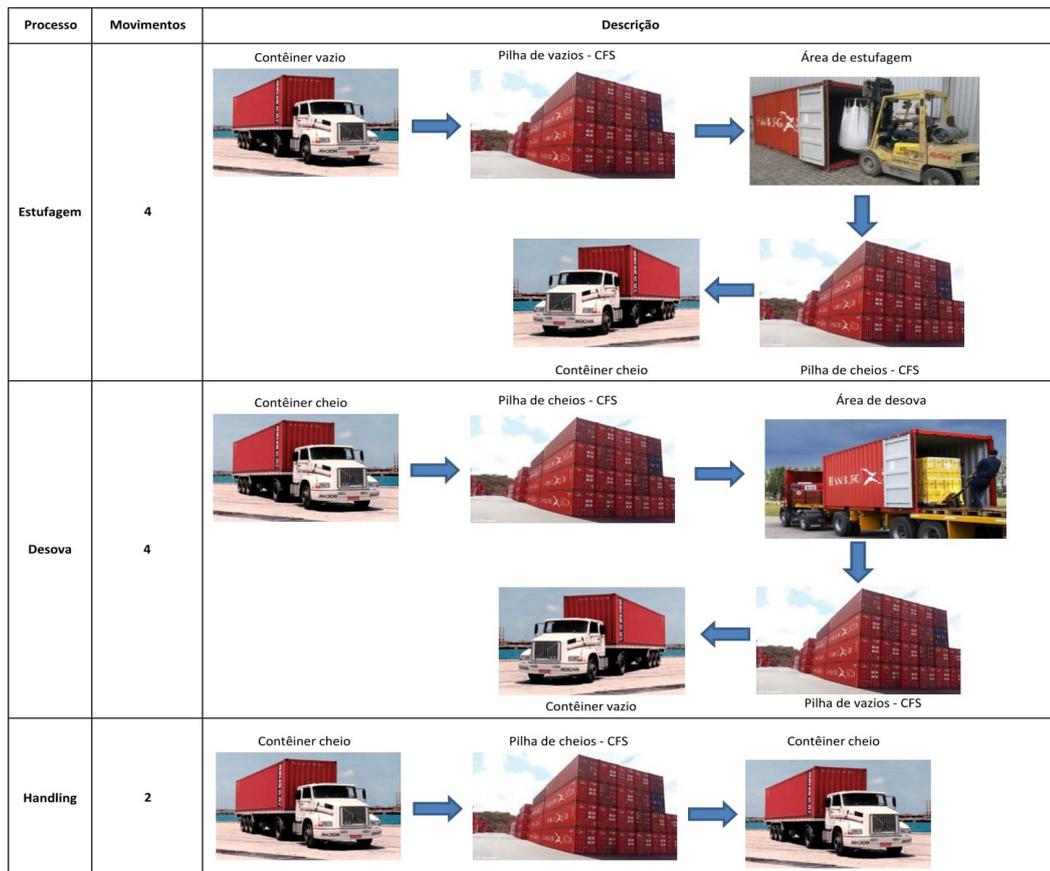
Tabela 7 – Capacidade média mensal de movimentos Reach Stacker - CFS

	Operadores	Horas/mês	Movimentos em máquina
Turno 1	1	255	4837
Turno 2	1	255	4837
Turno 3	1	196	3721
			13395

Fonte: Autoria própria.

O número de movimentos executados por operação (m_{kl}^C) é dado pela Figura 5.

Figura 5 – Fluxo de contêineres e movimentos de máquina – CFS



Fonte: Autoria Própria.

3.4.7 Capacidade de Teste de Maquinário e de Lavação

Os dois parâmetros, capacidade mensal de teste de maquinário em contêineres Reefer (P) e capacidade mensal de realização de lavação em contêineres Reefer (W) foram determinados com base no espaço físico alocado para as operações de teste de maquinário (plataforma reefer) e lavação (área de lavação). Ambos possuem um valor médio de 1.958 contêineres por mês.

3.4.8 Capacidade de Reparo

O cálculo de capacidade mensal de reparo da oficina (RP) foi feito com base produtividade da oficina durante o período de julho/2016 a julho/2017. Atualmente a oficina trabalha em dois turnos, sendo 10 funcionários por turno, e os dados históricos indicam que esta quantidade de funcionários e turnos possibilita o reparo de, em média, 2.510 contêineres mensais.

3.4.9 Tempo Disponível e Gasto para Serviços

Cada tipo de carga requer um tempo diferente para efetividade das operações de estufagem e desova (γ_{kl}). Considera-se que a descarga e o carregamento das cargas soltas nos caminhões estão inclusos nos processos de estufagem e desova, respectivamente. Para carregamento e descarga de mercadorias em caminhões considera-se um tempo médio de aproximadamente 49 minutos e, portanto, o tempo de operação por tipo de carga, definido por observação, é caracterizado na Tabela 8

Tabela 8 – Tempo médio por operação (horas)

Tipo de carga	Estufagem	Desova
Cereais	2,45	-
Químicos	-	-
Cerâmica	1,91	-
Comida	3,26	-
Maquinário	1,91	-
Metais	2,45	2,45
Minerais	3,26	-
Outros	-	-
Papel	1,91	-
Plástico	-	1,09
Couro	1,91	-
Pneu	-	-
Veículos	4,08	4,08
Madeira	2,45	2,45

Fonte: Autoria própria.

As operações em branco são as que não foram realizadas durante o período em que os dados foram analisados, tal que na aplicação do modelo matemático estes tempos são representados por um número muito grande.

Para definição do tempo total disponível para realização das operações no CFS (γ^{total}) considera-se o tempo disponível por equipe de trabalho. No primeiro e segundo turno trabalham 3 equipes, e 2 equipes trabalham no terceiro turno. São 7 empilhadeiras de pequeno porte e 6 operadores por turno, entretanto nestas não existe controle por movimentos como nas Reach Stackers.

A quantidade equipes e horas disponíveis totaliza 1.922h conforme a Tabela 9.

Tabela 9 – Capacidade operacional CFS (horas)

Turno	Equipe	Horas/mês
1	EQ1	255
	EQ2	255
	EQ3	255
2	EQ1	255
	EQ2	255
	EQ3	255
3	EQ1	196
	EQ2	196

Fonte: Autoria própria.

3.4.10 Capacidade de Armazenagem

Para a execução do modelo são considerados tanto no Depot quanto no CFS contêineres de 40 pés. Quanto à armazenagem dos contêineres cheios e vazios no pátio (*YC*) considera-se um empilhamento máximo de 5 contêineres, resultando em uma capacidade máxima de 3.803 contêineres de 40 pés (7.606 TEUS).

Para determinação da capacidade de armazenagem de carga solta (*AZ*) foi considerado como base a armazenagem de madeira. O padrão adotado é o apresentado por Testoni (2016), com as seguintes dimensões de aglomerado de carga: altura de 1,53 metros; largura de 1,99 metros; comprimento de 3,98 metros; área: 4,85 m²; e volume: 4,36 m³.

Considera-se um empilhamento máximo de 5 aglomerados de carga (6,67 metros de empilhamento) e o peso de 2.142 toneladas por unidade, resultando em uma capacidade média (em medidas de contêineres) de 865 contêineres.

4 APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Considerando tempo de planejamento um período de 12 meses, foram definidos cenários para analisar os resultados financeiros e de quantidade de operações mediante diferentes premissas.

O modelo matemático foi implementado em linguagem Java (GOSLING; JOY; STEELE, 1996) com a biblioteca do solver Gurobi (GUROBI, 2016), que possibilita a resolução de modelos matemáticos de programação linear, programação linear inteira mista, programação quadrática inteira mista, programação quadrática, programação quadrática restrita, e programação quadrática restrita inteira mista.

A seguir são descritos os cenários e apresentados os resultados de processamento computacional, valor da função objetivo e quantidade de operações. Os demais valores numéricos são apresentados nos apêndices.

4.1 Cenário Base

Inicialmente propõe-se um cenário de referência para subsequentes ao estabelecer valores ilimitados para demanda em todas as operações do terminal. A justificativa para definição deste cenário inicial é que os seus resultados indicam as operações mais rentáveis para a operação do terminal.

O modelo matemático resultou em 1.296 variáveis de decisão inteiras e 2.160 restrições, sendo necessárias 1.170 iterações executadas em 0,30 segundos que a solução ótima fosse atingida, cujo valor da função objetivo de margem de contribuição é de R\$ 12.459.215,15.

Os valores das variáveis de decisão são apresentados na Tabela 10 e Tabela 11 para o Depot e CFS, respectivamente.

Tabela 10 – Operações no Depot para o Cenário Base

Operação	Contêiner	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gate in	Dry	3754	4243	4570	4243	5059	4080	5059	5059	4733	6202	4896	4896
	Reefer	1958	1958	1958	1958	1877	1958	1958	1958	1958	1550	1958	1958
Gate out	Dry	5211	4550	4224	4550	3979	4713	5281	4067	6175	4810	5492	5301
	Reefer	1901	1958	1958	1958	1958	1958	1443	1847	1253	1627	1426	1490
Reparo	Dry	1792	2131	2162	1825	858	2510	2510	1916	2510	1875	2100	2510
	Reefer	718	379	348	685	1652	0	0	594	0	635	410	0

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11 – Operações no CFS para o Cenário Base

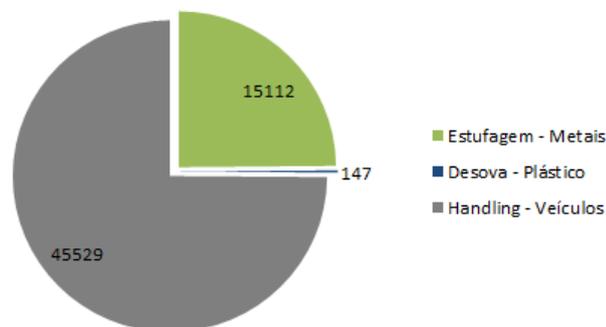
Operação	Commodity	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Estufagem	Cerâmica	83	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Metais	1043	1279	1279	1279	1279	1279	1279	1279	1279	1279	1279	1279
Desova	Metais	57	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Plástico	147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Handling	Veículos	0	4139	4139	4139	4139	4139	4139	4139	4139	4139	4139	4139

Fonte: Autoria própria.

No caso do Depot este cenário indica que, em média, o percentual ideal da soma da liberação e de recebimento de contêineres deve ser de 28% do tipo Reefer e 72% do tipo Dry. Essa combinação é a que apresenta melhores resultados financeiros para a empresa em termos de margem de contribuição. Além disso, para que esse resultado financeiro seja atingido, em média, 18% dos contêineres reparados deve ser do tipo Reefer e 82% do tipo Dry.

A respeito do CFS, o cenário base indica que as operações mais significativas são a estufagem de metais, desova de plástico e handling de veículos. A distribuição das proporções dessas operações é apresentada na Figura 6.

Figura 6 – Distribuição de operações no CFS no Cenário Base



Fonte: Autoria própria.

É possível constatar que a operação mais significativa refere-se ao handling de veículos, correspondendo a 74,9% de todas as operações realizadas, seguido da estufagem de metais com representatividade de aproximadamente 24,9% e desova de plásticos equivalente a menos de 0,2%.

4.2 Cenário 1

Além das premissas do cenário anterior, ao considerar os dados históricos de operações tem-se que, em média, a entrada e saída de contêineres Reefer no Depot variam entre 10% e 12% em comparação com os valores totais, respectivamente.

Para que seja garantido que os percentuais de entrada e saída de contêineres sejam no mínimo equivalentes àqueles valores observados, respectivamente, propõe-se este cenário pela adição das restrições 4.1 e 4.2 ao modelo, complementarmente às equações indicadas anteriormente.

$$x_{i1}^t \geq 0,1 \sum_{j=0}^1 x_{0j}^t \quad \forall t \in T, i < 2 \quad (4.1)$$

$$x_{i1}^t \leq 0,12 \sum_{j=0}^1 x_{0j}^t \quad \forall t \in T, i < 2 \quad (4.2)$$

Para garantir que o máximo de contêineres vazios que o Depot libera em um mês seja igual à quantidade mensal prevista de exportações no porto – desconsiderando-se reposicionamento de contêineres dos armadores – é adicionada a restrição 4.3, garantindo que o número de operações de gate out não exceda a demanda prevista de exportações do porto para cada período $t \in T$ (λ_j^t).

$$x_{1j}^t \leq \lambda_j^t \quad \forall t \in T, j \in J \quad (4.3)$$

O máximo de operações que o CFS pode realizar também deve ser igual à demanda do porto. Por exemplo, não é possível desovar mais unidades que o porto recebe de importação e, sob essas condições, são acrescentadas as restrições 4.4 que garantem que o número máximo de estufagens em um mês não exceda a demanda de exportações do porto (θ_l^t) e as restrições 4.5, que garantem que a soma das desovas e handlings de carga não excedam as importações (ϵ_l^t).

$$\sum_l y_{0l}^t \leq \theta_l^t \quad \forall t \in T, l \in L \quad (4.4)$$

$$\sum_{k=1}^2 \sum_l y_{kl}^t \leq \epsilon_l^t \quad \forall t \in T, l \in L \quad (4.5)$$

É importante ressaltar que λ_j^t é diferente de θ_l^t . O primeiro corresponde à demanda de contêiner j do porto Itapoá para os armadores atendidos pelo Depot e o segundo corresponde à demanda de exportação das cargas atendidas pelo CFS. Considerando um crescimento anual de 8% em relação ao período de julho/2016 a julho/2017, a demanda máxima do porto por contêineres e por grupo de commodity incorre nos valores indicados nos apêndices A e B.

Durante o período analisado, o máximo de operações de handling de carga que o CFS realizou em um mês foi igual a 370 operações. Considerando um crescimento

de 8% na mesma proporção do porto, adiciona-se a restrição 4.6 que garante que o número total de handlings de carga limitado no máximo à 402 contêineres.

$$\sum_l y_{2l}^t \leq 402 \quad \forall t \in T, l \in L \quad (4.6)$$

Sob as considerações apresentadas é possível afirmar que este Cenário 1 é uma extensão do Cenário Base, porém com maior embasamento na realidade das operações do porto pela imposições de limites de demanda.

Ao executar o modelo original complementado pelas restrições foram criadas 1.296 variáveis de decisão e 2.582 restrições, requerendo 13.187 iterações (5,54 segundos) para que a solução ótima fosse atingida, cujo valor monetário resultante foi de R\$ 6.849.255,50.

Os resultados de quantidade de operações nos períodos sucessivos do horizonte de planejamento podem ser verificados na Tabela 12 e Tabela 13.

Tabela 12 – Operações no Depot para o Cenário 1

Contêineres	Contêiner	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gate in	Dry	6528	7181	5875	3590	5059	5386	6854	2938	7997	7181	3590	5875
	Reefer	734	816	653	408	571	612	775	326	898	816	408	653
Gate out	Dry	6104	7798	5861	4322	4960	5583	5774	4184	7037	6428	4326	5219
	Reefer	694	885	664	490	563	633	656	475	800	730	491	592
Reparo	Dry	2299	2510	2510	2275	2079	2510	1869	2510	2510	2303	2280	2335
	Reefer	211	0	0	235	431	0	641	0	0	207	230	175

Fonte: Autoria própria.

Tabela 13 – Operações no CFS para o Cenário 1

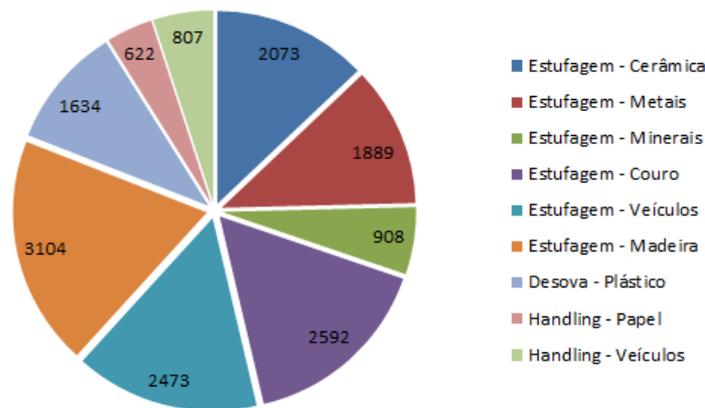
Contêineres	Carga	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Estufagem	Cerâmica	121	162	153	157	119	199	197	232	193	188	132	220
	Metais	162	157	170	139	184	152	126	204	104	140	173	178
	Minerais	184	59	88	104	0	0	93	83	62	54	90	91
	Couro	158	207	209	276	197	313	82	209	248	246	217	230
	Veículos	178	232	183	266	144	193	295	304	153	184	163	178
	Madeira	351	366	398	206	3	10	104	0	483	419	439	325
Desova	Metais	7	5	7	10	15	11	16	15	8	2	3	3
	Plástico	0	0	0	0	757	494	250	126	2	0	0	5
Handling	Maquinário	0	16	15	10	13	26	54	31	0	10	11	13
	Papel	0	10	15	15	238	145	11	152	13	7	13	3
	Veículos	0	111	82	90	98	106	116	0	51	59	55	39

Fonte: Autoria própria.

Quando comparado ao Cenário Base, os resultados deste Cenário 1 indicam que o percentual de movimentos de entrada e saída de contêineres Dry aumenta para 90% do total e o percentual de equipamentos desse tipo reparados aumenta para 93%.

Em comparação com a diversidade de mercadorias atendidas no Cenário Base, caracterizado pela Figura 6, observa-se que há aumento da quantidade de tipos de cargas no CFS para este Cenário 1 conforme mostrado na Figura 7, que representa somente as operações com indicação de pelo menos mais de 1% em comparação ao total de operações sugeridas (esta lógica é seguida para os gráficos dos cenários seguintes).

Figura 7 – Distribuição de operações no CFS - Cenário 1



Fonte: Autoria própria.

Nas condições de solução ótima obtida e as restrições comerciais e operacionais da empresa, a operação mais indicada é a estufagem de madeira, seguida da estufagem de couro e veículos. Além disso, é possível afirmar que as estufagens representam quase 80% de todas as operações realizadas no CFS.

4.3 Cenário 2

Tomando como base as premissas do cenário anterior, este Cenário 2 define objetivos de participação mínima nas operações de exportação e importação do porto Itapoá para as cargas atendidas no terminal retroportuário. Nas estufagens, considera-se que deve ser atendido, no mínimo, 20% das exportações escoadas pelo porto, enquanto que nas desovas define-se movimentação de, no mínimo, 4% do total de mercadorias recebidas por importação pelo porto.

Portanto, para que seja garantida a participação mínima de cada operação neste cenário adicionam-se as restrições 4.7 e 4.8 ao modelo matemático, em complemento à formulação indicada anteriormente.

$$\sum_l y_{0l}^t \geq 0,2 \sum_l \theta_l^t \quad \forall t \in T, l \in L \quad (4.7)$$

$$\sum_l y_{1l}^t \geq 0,04 \sum_l \epsilon_l^t \quad \forall t \in T, l \in L \quad (4.8)$$

A execução do modelo matemático cria 1.296 variáveis de decisão inteiras e 2.582 restrições. Entretanto, após 0,04 segundos e 516 iterações de processamento a solução se apresentou inviável.

Como as propostas deste cenário impactam majoritariamente nos parâmetros do CFS, a inviabilidade ocorre pelo fato de que, dados os objetivos de *market share* visados neste cenário, a atual capacidade de operação do CFS não é suficiente para sua efetividade. Com isso é possível concluir que existem duas alternativas para viabilização de uma solução para este cenário: aumento da capacidade operacional do CFS ou revisão dos objetivos de participação no mercado.

4.4 Cenário 3

A partir das premissas do Cenário 2, propõe-se o aumento da capacidade operacional do CFS de modo a possibilitar o atendimento dos objetivos de *market share* pré determinados. O acréscimo proposto é de uma equipe por turno, o que aumenta a capacidade de horas disponíveis (γ^{total}) para 2.624,26h.

Considera-se, ainda, que o aumento da capacidade operacional exige a contratação de 8 funcionários com custo mensal por indivíduo de cerca de R\$6.528,00. Assim, o CFS passa ter custos administrativos mensais (c_{adm}^C) adicionais de R\$52.224,00 .

A solução ótima do modelo matemático com as restrições adicionais indicadas no Cenário 2 resultou na margem de contribuição de R\$ 7.770.052,61, obtida após 7.751 iterações em 2,69 segundos. A Tabela 14 e Tabela 15 apresentam os resultados de quantidade de operações no Depot e no CFS, respectivamente, nos períodos sucessivos do horizonte de planejamento.

Tabela 14 – Operações no Depot para o Cenário 3

Contêineres	Contêiner	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gate in	Dry	4406	4733	5875	4406	6202	5386	5875	7670	8323	5875	3590	5875
	Reefer	490	530	653	490	694	612	653	857	938	653	408	653
Gate out	Dry	6293	4485	5861	4744	5260	6319	5400	7052	6832	5861	4326	5219
	Reefer	715	509	666	539	597	718	614	801	775	666	491	592
Reparo	Dry	2502	1789	2510	2233	2510	2472	2213	2510	2089	2510	2280	2335
	Reefer	8	721	0	277	0	38	297	0	421	0	230	175

Fonte: Autoria própria.

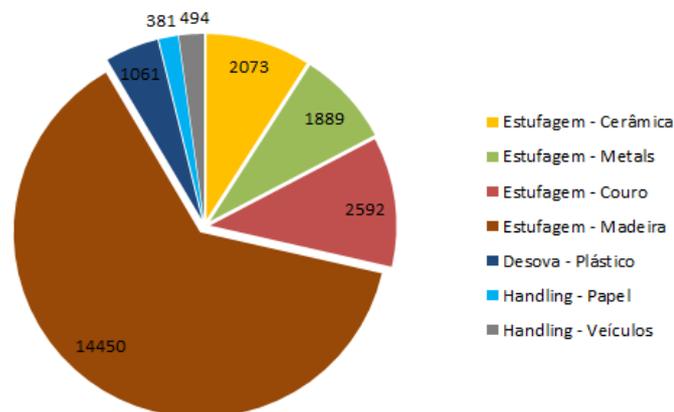
Tabela 15 – Operações no CFS para o Cenário 3

Contêineres	Carga	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Estufagem	Cerâmica	121	162	153	157	119	199	197	232	193	188	132	220
	Metais	162	157	170	139	184	152	126	204	104	140	173	178
	Minerais	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	3
	Couro	158	207	209	276	197	313	82	209	248	246	217	230
	Veículos	3	2	16	0	0	0	2	0	8	3	0	2
	Madeira	1358	1297	1263	1258	863	966	1273	1129	1278	1263	1296	1206
Desova	Metais	7	5	7	10	15	11	16	15	8	2	3	3
	Plástico	0	0	0	0	561	281	140	70	2	0	2	5
	Madeira	0	0	0	5	0	0	3	2	0	0	0	0
Handling	Maquinário	0	10	9	6	8	16	33	19	0	6	7	8
	Papel	0	6	9	9	146	89	7	93	8	4	8	2
	Veículos	0	68	50	55	60	65	71	0	31	36	34	24

Fonte: Autoria própria.

Os resultados deste Cenário 3 indicaram a distribuição das operações por equipamento no Depot nas mesmas proporções do Cenário 1. Quanto ao CFS, como indica a Figura 8, houve mudanças significativas do número de operações por tipo de carga quando comparado ao Cenário 1, com aumento significativo de estufagem de madeira e remoção de operações de estufagem de veículos e minerais.

Figura 8 – Distribuição de operações no CFS - Cenário 3



Fonte: Autoria própria.

Dadas as restrições e premissas adotadas neste cenário, a solução ótima indica que as operações de estufagem de madeira devem representar 62% do total de todas as operações realizadas no CFS no período de planejamento, refletindo a demanda elevada que esta operação tem do porto Itapoá. Além disso, constata-se que a quantidade de estufagens representa uma porcentagem ainda maior que o obtido no Cenário 1, sendo 91% de todas as operações realizadas no CFS.

4.5 Cenário 4

Além das definições apresentadas no Cenário 3, de modo a verificar a influência da capacidade de reparo da oficina de contêineres sobre as movimentações do Depot, este cenário propõe o acréscimo de um terceiro turno na oficina, viabilizando o reparo de 3.765 contêineres por mês em média.

Entretanto, dado que a oficina de reparo é terceirizada, o aumento de um turno não impacta nos custos administrativos mensais do Depot (c_{adm}^D).

A execução deste cenário não alterou a quantidade de variáveis de decisão e de restrições comparado ao Cenário 3. A solução ótima do modelo foi obtida após 503,33 segundos decorrente de 3.113.611 iterações, com valor monetário de margem de contribuição equivalente a R\$ 9.302.343,21.

Os resultados de quantidade de operações em cada setor por tipo de equipamento e carga podem ser verificados na Tabela 16 e Tabela 17.

Tabela 16 – Operações no Depot para o Cenário 4

Contêineres	Contêiner	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gate in	Dry Reefer	6202	7344	7344	7344	7344	5875	7344	7344	5875	8813	2938	7344
		694	816	816	816	816	653	816	816	653	979	326	816
Gate out	Dry Reefer	8003	7241	6184	7253	7827	6327	5776	7065	7819	7404	4338	5219
		889	805	687	806	871	718	656	801	888	840	493	592
Reparo	Dry Reefer	3191	3053	2990	3050	2665	3465	3251	3063	2621	1898	3155	3158
		114	5	774	0	0	300	514	0	1002	46	560	294

Fonte: Autoria própria.

Tabela 17 – Operações no CFS para o Cenário 4

Contêineres	Carga	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Estufagem	Cerâmica	121	162	153	157	119	199	197	232	193	188	132	220
	Metais	162	157	170	139	184	152	126	204	104	140	173	178
	Minerais	2	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	2
	Couro	158	207	209	276	197	313	82	209	248	246	217	230
	Veículos	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0
	Madeira	1361	1297	1288	1258	855	961	1273	1129	1289	1266	1299	1213
Desova	Metais	7	5	7	10	15	11	16	15	8	2	3	2
	Plástico	0	0	0	0	571	289	145	72	2	0	2	5
Handling	Maquinário	0	16	15	10	13	26	54	31	0	10	11	13
	Papel	0	10	15	15	238	145	11	152	13	7	13	3
	Veículos	0	111	82	90	98	106	116	0	51	59	55	39

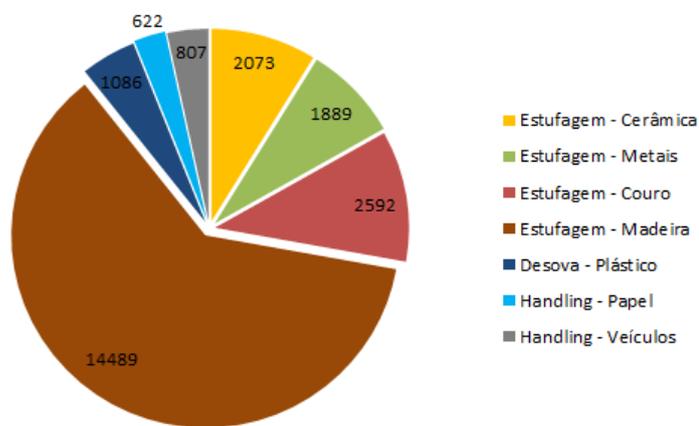
Fonte: Autoria própria.

Ao comparar os resultados obtidos com aqueles do Cenário 3 observa-se que as maiores alterações referem-se às quantidades de operações realizadas no Depot para este Cenário 4, e não na proporção de operações. É possível constatar que, tanto para os equipamentos Dry quanto para os equipamentos Reefer, o aumento da

capacidade de reparo da oficina possibilita um acréscimo de 18% nas operações de recebimento e liberação. Quanto à quantidade de reparos, há um aumento de 27% de contêineres Dry e 67% de contêineres Reefer, aumentando para 9% a proporção de equipamentos frigoríficos reparados em comparação com o Cenário 3.

Ainda, comparando o cenário atual com o anterior, a diferença mais significativa quanto às operações no CFS é o aumento das operações de handling de carga, equivalente à 163% da quantidade das mesmas operações resultantes do terceiro cenário (Figura 9).

Figura 9 – Distribuição de operações no CFS - Cenário 4



Fonte: Autoria própria.

4.6 Cenário 5

Após ponderar os dados de demanda prevista do porto Itapoá constatou-se que a madeira é o commodity com maior movimentação no terminal portuário. Além disso, ao analisar apenas os commodities atendidos pelo CFS verificou-se que este produto compreende mais de 50% da totalidade das exportações.

Com vistas a analisar o quanto a operação de estufagem madeira influencia no resultado financeiro da empresa, neste cenário propõe-se remover as demandas previstas para consolidação desta mercadoria em todo o período de planejamento aplicando-se as premissas de modelagem apresentadas no Cenário 3,.

Após 8.306 iterações em 2,82 segundos, sem acréscimo de variáveis de decisão e restrições comparando-se com o três últimos cenários, obteve-se como resultado de margem de contribuição o valor de R\$ 7.216.471,64, um redução de 7% comparado ao valor obtido no Cenário 3.

A Tabela 18 e Tabela 19 indicam as quantidades de operações no Depot e CFS resultantes das condições deste cenário.

Tabela 18 – Operações no Depot para o Cenário 5

Contêineres	Contêiner	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gate in	Dry	4733	5875	5386	4733	4406	6854	5059	6528	6854	7997	3590	5875
	Reefer	530	653	612	530	490	775	571	734	775	898	408	653
Gate out	Dry	6032	5846	5601	4165	5443	6319	5400	4481	7785	6866	4326	5219
	Reefer	685	664	636	473	617	718	614	509	885	780	491	592
Reparo	Dry	2064	2510	2510	2510	1895	2414	2510	2128	2510	2304	2280	2335
	Reefer	446	0	0	0	615	96	0	382	0	206	230	175

Fonte: Autoria própria.

Tabela 19 – Operações no CFS para o Cenário 5

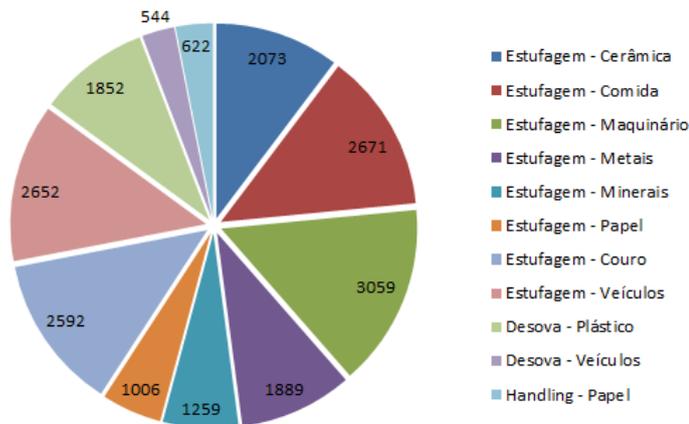
Contêineres	Carga	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Estufagem	Cereais	41	26	24	0	0	0	0	0	18	20	20	20
	Cerâmica	121	162	153	157	119	199	197	232	193	188	132	220
	Comida	242	333	284	228	0	70	228	235	292	261	302	196
	Maquinário	344	344	279	281	0	2	0	0	472	423	437	477
	Metais	162	157	170	139	184	152	126	204	104	140	173	178
	Minerais	184	59	90	106	163	88	93	171	65	55	90	95
	Papel	243	122	140	0	0	0	0	0	113	145	150	93
	Couro	158	207	209	276	197	313	82	209	248	246	217	230
Desova	Veículos	178	232	183	266	297	219	295	304	153	184	163	178
	Metais	7	5	7	10	15	11	16	15	10	2	3	3
	Plástico	0	2	0	0	757	555	353	176	2	0	2	5
	Veículos	0	0	82	90	0	106	114	0	51	46	16	39
Handling	Madeira	0	0	0	5	0	0	3	2	0	0	0	0
	Maquinário	0	16	15	10	13	26	54	31	0	10	11	13
	Papel	0	10	15	15	238	145	11	152	13	7	13	3
Handling	Veículos	0	111	0	0	98	0	2	0	0	13	39	0

Fonte: Autoria própria.

Os resultados obtidos após execução deste cenário mantiveram todas as proporções de operações por tipo de equipamento no Depot iguais aos apresentados no cenário 3. Entretanto, quanto ao CFS, houve maior diversificação de cargas atendidas em detrimento de operações majoritárias de estufagem de madeira.

Na solução ótima, constata-se que a operação mais indicada a se realizar no CFS é a estufagem de maquinário, o que corresponde a 15% de todas as operações e não havia aparecido na solução ótima de nenhum outro cenário, seguido de estufagem de comida e veículos, ambos com aproximadamente 13%, estufagem de couro representando 12% e cerâmica, 10%. As demais operações refletem menos de 10% da quantidade de operações indicadas (Figura 10).

Figura 10 – Distribuição de operações no CFS - Cenário 5



Fonte: Autoria própria.

4.7 Cenário 6

Este cenário é uma alteração no Cenário 3 e considera, hipoteticamente, a utilização dos serviços do CFS por um cliente que demanda desova de polietileno, mercadoria que pertence à categoria plásticos. Essa inclusão justifica-se pelo fato de que a entrada deste cliente na carteira da empresa possibilitaria o aumento a receita unitária da categoria plásticos para R\$1847,10 sem alteração do custo unitário.

O objetivo desta análise é entender quão viável é para a empresa o início das operações deste novo cliente, dadas as restrições operacionais, comerciais e de demanda do porto conhecidas. Caso seja atestada a viabilidade do projeto, é importante identificar os commodities que deixariam de ser atendidas para satisfazer a nova demanda sem a necessidade do aumento da capacidade operacional do CFS.

Outra consideração feita neste cenário é a divisão do commodity madeira em dois tipos: madeira serrada e compensado. Essa premissa deve-se à distinção na operação dessas mercadorias. Ambas são operadas de forma mecanizada, entretanto para a madeira serrada são necessários maiores cuidados, o que acarreta em um aumento no tempo de operação e, conseqüentemente, dos custos variáveis.

Uma vez que as informações de demanda por exportações do porto são informadas apenas pela categoria e não pelas peculiaridades da carga, a demanda máxima foi dividida na proporção de 80% para compensado e 20% para madeira serrada. O custo e a receita unitária das estufagens e desovas de madeira serrada são estabelecidos em R\$844,02 e R\$1.350,07, respectivamente, e para o compensado define-se o custo unitário de R\$522,40 e receita unitária de R\$1305,60.

Quanto ao tempo de operação, para estufagem e desova de compensado é considerado o mesmo tempo que o da categoria madeira, porém para a estufagem e

desova de madeira serrada adiciona-se 33% ao tempo da categoria madeira, devido ao atraso decorrente da morosidade intrínseca à operação.

A divisão da mercadoria madeira proporcionou um aumento na quantidade de variáveis de decisão para 1.380 e de restrições do modelo matemático para 2.714. A solução ótima, cujo valor da função objetivo de margem de contribuição corresponde R\$ 9.610.519,22, necessitou de 344.553 iterações e 94,63 segundos de processamento. As operações são apresentadas na Tabela 20 e Tabela 21.

Tabela 20 – Operações no Depot para o Cenário 6

Contêineres	Contêiner	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Gate in	Dry	6691	7997	0	8323	6202	7018	3264	5386	7181	6528	4080	6528
	Reefer	734	898	0	938	694	775	367	612	816	734	0	41
Gate out	Dry	7166	7068	2352	7075	6224	6198	2996	6172	6348	6492	4338	5219
	Reefer	813	803	266	730	707	703	339	700	721	738	493	592
Reparo	Dry	2073	2510	2352	2510	2510	2198	2510	1735	2510	2510	2017	1944
	Reefer	437	0	158	0	0	312	0	775	0	0	493	566

Fonte: Autoria própria.

Tabela 21 – Operações no CFS para o Cenário 6

Contêineres	Carga	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Estufagem	Cerâmica	121	162	153	157	119	199	197	232	193	188	132	220
	Maquinário	3	8	2	0	2	0	0	0	3	0	0	5
	Metais	162	157	170	139	184	152	126	204	104	140	173	178
	Couro	158	207	209	274	197	313	82	206	248	243	215	230
	Compensado	1368	1297	1296	1275	801	943	1276	1139	1297	1273	1304	1213
Desova	Plástico	0	2	0	0	658	326	166	83	2	0	2	5
Handling	Maquinário	0	16	15	10	13	26	54	31	0	10	11	13
	Papel	0	10	15	15	238	145	11	152	13	7	13	3
	Veículos	0	111	82	90	98	106	116	0	51	59	55	39

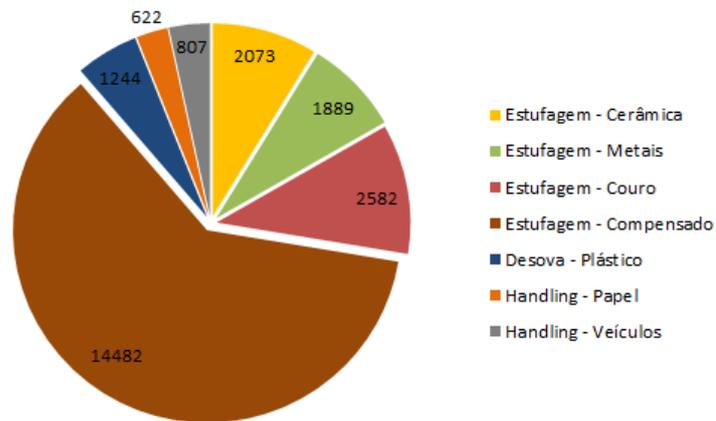
Fonte: Autoria própria.

Na solução ótima, o percentual ideal apresentado para as operações do Depot, tanto da soma de entrada e saída quanto reparo, dividiram-se na proporção de 90% para os equipamentos Dry e de 10% para os equipamentos Reefer.

A respeito aos resultados obtidos para as operações do CFS, na solução ótima verifica-se um aumento de 17% na quantidade de desovas de plásticos em relação ao Cenário 3, comprovando a viabilidade da entrada do novo cliente, o que acarretou na exclusão das operações de estufagem de minerais e veículos, bem como na diminuição da quantidade de estufagens de couro (-0,4%).

Quanto às operações nas cargas de madeira, indica-se apenas a operação de estufagem de compensado, sinalizando que as estufagens de madeira serrada proporcionam um menor retorno financeiro à empresa, dadas as premissas utilizadas neste cenário. A Figura 11 apresenta a distribuição das operações por commodity.

Figura 11 – Distribuição de operações no CFS - Cenário 6



Fonte: Autoria própria.

Neste capítulo foram apresentados os cenários de aplicação do modelo matemático proposto e os resultados advindos das respectivas soluções. Pelas considerações apresentadas é possível identificar o número ótimo de operações por tipo de equipamento e carga em cada cenário para todo o período de planejamento para maximização da margem de contribuição da empresa. A Tabela 22 apresenta um resumo dos principais resultados e impactos em cada cenário.

Tabela 22 – Resumo dos cenários

Cenário	Margem de contribuição	Principais impactos - Depot	Principais impactos - CFS
Base	R\$ 12.459.215,15	Gate in+Gate out 72% Dry Reparo 82% Dry	Handling de veículos (74,9%) Estufagem de metais (24,9%)
1	R\$ 6.849.255,50	Gate in+Gate out 90% Dry Reparo 93% Dry	Estufagem de madeira (19%) Estufagem de couro (16%) Estufagem de veículos (15%)
2	Inviável	Inviável	Inviável
3	R\$ 7.770.052,61	Mesmas proporções do cenário 1	Estufagem de madeira (62%)
4	R\$ 9.302.343,21	Aumento de 18% nas operações de gate in e out Aumento de 27% de reparo em Dry Aumento de 67% nos reparos de Reefer	Aumento em 63% nas operações de handling
5	R\$ 7.216.471,64	Mesmas proporções do cenário 3	Maior diversificação das cargas atendidas Margem de contribuição 7% inferior ao cenário 3
6	R\$ 9.610.519,22	Gate in+Gate out 90% Dry Reparo 90% Dry	Aumento em 17% nas operações de desova de plásticos Exclusão das estufagens de veículos e minerais Diminuição nas estufagens de couro Sem estufagem de madeira serrada

Fonte: Autoria própria.

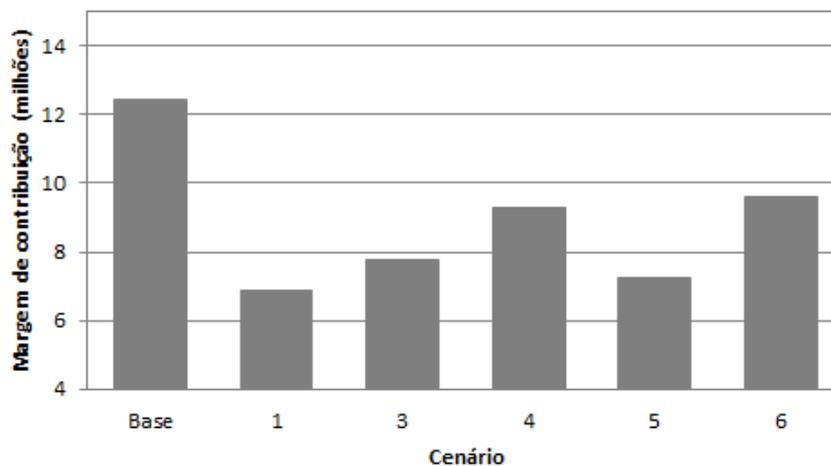
5 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo apresentam-se análises e comparações entre os resultados obtidos em cada cenário. São utilizados os seguintes indicadores de desempenho: valor da função objetivo (margem de contribuição), ociosidade dos recursos disponíveis e *market share* em relação às demandas do porto Itapoá.

5.1 Margem de contribuição

A margem de contribuição final em cada cenário é o principal indicador de desempenho de comparação entre eles, uma vez que busca-se o maior resultado financeiro para a empresa. O Cenário 2 foi excluído das análises desta seção e das seções subsequentes, uma vez que a solução foi inviável dadas as restrições impostas.

Figura 12 – Margem de Contribuição



Fonte: Autoria própria.

Como esperado, o Cenário Base apresenta a maior margem de contribuição uma vez que não tem restrições quanto à demanda, apenas pela capacidade da empresa, e, portanto, não deve ser utilizado para efeito de comparação com os demais cenários propostos. Nessas condições, o último cenário analisado (6) resulta na maior margem de contribuição, viabilizando a entrada do novo cliente na carteira da empresa.

Ao comparar apenas os cenários 1, 3 e 4 observa-se que a maior margem de contribuição resulta do modelo executado no Cenário 4, indicando o efeito do aumento da capacidade de reparo sobre os resultados financeiros da empresa.

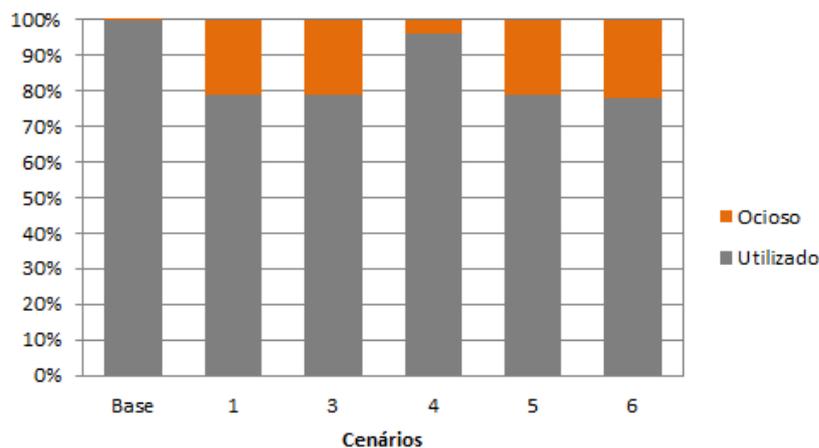
Finalmente, a comparação entre o Cenário 3 e o Cenário 4 indica que houve um aumento do total das movimentações de “Gate in” e “Gate out” em 22% daquele para este cenário, além do aumento de 34% na quantidade de contêineres reparados durante o período de planejamento.

5.2 Ociosidade dos recursos disponíveis

5.2.1 Reach Stacker - Depot

Conforme apresentado anteriormente, a capacidade do Depot foi limitada a 25.564 movimentos de máquina em todos os cenários, cujos percentuais de utilização e ociosidade deste recurso são apresentados na Figura 13.

Figura 13 – Percentual de ocupação de movimentos de Reach Stacker no Depot



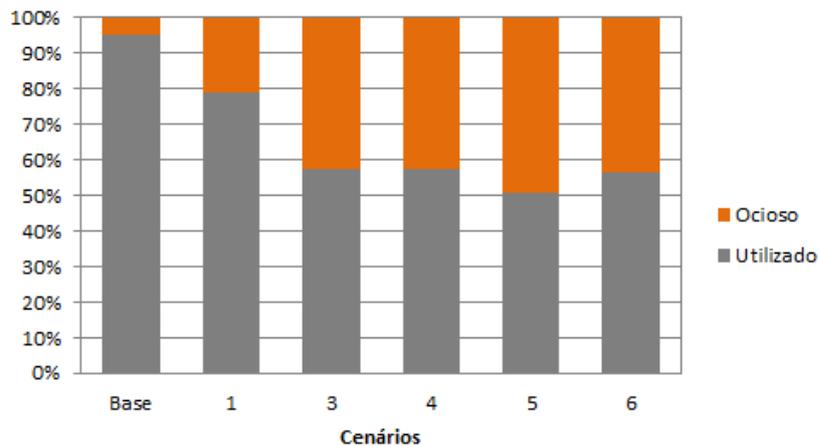
Fonte: Autoria própria.

Ao analisar a Figura 13 percebe-se que, seguido do Cenário Base, o Cenário 4 foi aquele que resultou na maior utilização do recurso. Isso permite concluir que a capacidade de reparo da oficina é um gargalo no Depot e que o aumento da capacidade deste recurso impacta no número de operações realizadas e, conseqüentemente, na margem de contribuição da empresa.

5.2.2 Reach Stacker - CFS

Assim como no Depot, em todos os cenários a capacidade de movimentos em empilhadeira de grande porte permaneceu a mesma no CFS. Os percentuais de utilização e ociosidade deste recurso nos cenários podem ser verificados na Figura 14.

Figura 14 – Percentual de ocupação de movimentos de Reach Stacker no CFS



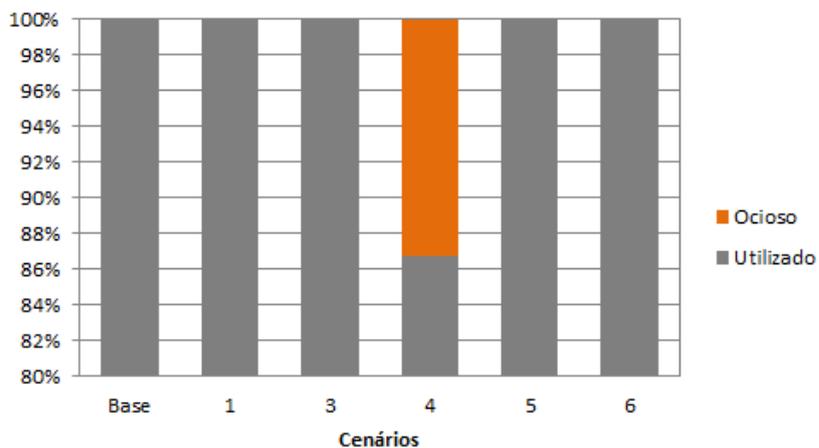
Fonte: Autoria própria.

Com exceção do Cenário Base e Cenário 1, menos de 60% da capacidade de movimentos da empilhadeira foi utilizada. Os Cenários 4, 5 e 6 apresentaram maior ociosidade de equipamento que o Cenário 1, entretanto todos aqueles resultaram em maior margem de contribuição, indicando que o aumento das equipes do CFS possibilita melhor uso da empilhadeira e aumenta o retorno da empresa.

5.2.3 Oficina

Em média, a capacidade de reparo da oficina foi de 2.510 contêineres em quase todos os cenários, à exceção apenas do Cenário 4 que teve o aumento de um turno da oficina, possibilitando o reparo de 3.765 contêineres por mês em média. Os percentuais de utilização e ociosidade deste recurso em todos os cenários são apresentados na Figura 15.

Figura 15 – Percentual de ocupação de capacidade de reparo



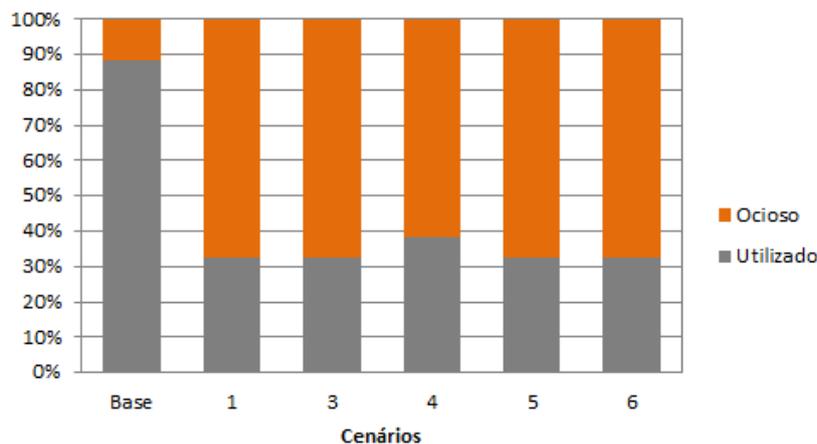
Fonte: Autoria própria.

Ao analisar Figura 15 percebe-se que o Cenário 4 foi o único em que a oficina não utilizou toda a sua capacidade de reparo, com ociosidade de 13%. Este percentual indica que nos demais cenários não foram reparados mais contêineres pelo limitante de capacidade da oficina. Ainda, dadas as restrições operacionais e comerciais atuais, apenas o aumento de um turno na oficina é suficiente para que deixem de existir gargalos quanto a este recurso.

5.2.4 Lavação

Dada a capacidade de lavagem mensal em cada cenário de 1.958 contêineres, apresenta-se o nível de utilização percentual deste recurso na Figura 16.

Figura 16 – Percentual de ocupação de capacidade lavagem



Fonte: Autoria própria.

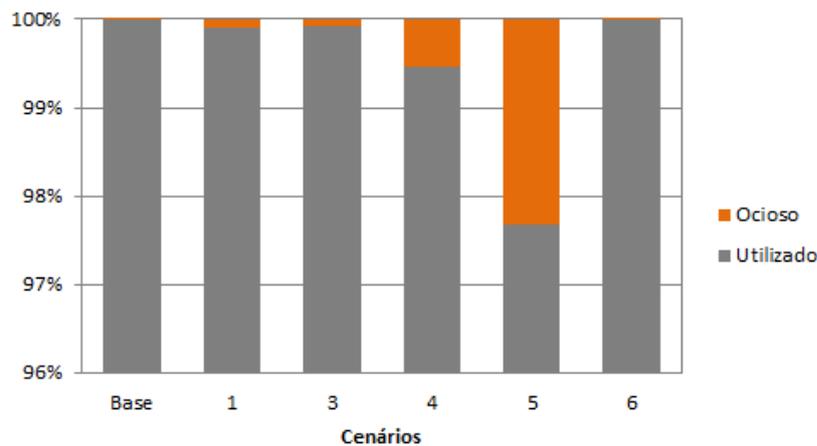
A menor taxa de ociosidade ocorre no Cenário Base, em que não existem restrições de demanda mínima ou máxima. A segunda maior taxa de ocupação ocorre no Cenário 4, mostrando que o aumento da capacidade de reparo também impacta na melhor utilização deste recurso.

Ainda, verifica-se que a taxa de ocupação da lavagem de contêineres não chega a 40% da capacidade disponível nos resultados entre o Cenário 1 e o Cenário 6, sugerindo que a área designada para tal operação poderia ser melhor utilizada, por exemplo, como pátio para estoque de contêineres.

5.2.5 Horas de equipe - CFS

Do Cenário Base ao Cenário 2 a capacidade disponível de horas para execução das operações de estufagem e desova foi de 1.922h, sendo 2.624,26h a partir do Cenário 3. Os percentuais de utilização e ociosidade deste recurso são apresentados na Figura 17.

Figura 17 – Percentual de ocupação das horas de equipe do CFS



Fonte: Autoria própria.

À exceção do Cenário 5, em que a madeira é removida das exportações do porto, os resultados de todos os demais cenários resultaram na utilização de praticamente 100% das horas disponíveis para trabalho. Isso indica que, mesmo aumentando uma equipe, a quantidade de funcionários ainda é um gargalo para o CFS.

5.2.6 Estoque ao fim de cada período t

A distribuição dos estoques ao fim de cada período por tipo de equipamento em cada cenário é apresentado na sequência de figuras a seguir, cujo detalhamento dos valores numéricos pode ser analisado nos apêndices C, D E e F.

No Cenário Base, com exceção do primeiro período de planejamento ($t = 0$), a maioria do estoque do Depot foi de contêineres Dry avariados, com menores incidências de estoque de contêineres frigoríficos (OK ou DM). A menor ocorrência é de contêineres Dry OK porque, sem limite de demanda, o ideal é realizar a liberação do equipamento que demanda menos movimentos de máquina e possui menor custo de serviço.

Quanto ao CFS, os estoques, tanto de carga containerizada quanto solta, permaneceram constantes em todos os períodos de planejamento. Logo no primeiro período ($t = 0$) foi liberado parte do estoque inicial e depois houve alterações apenas nas quantidades de metais e madeira (Tabela 6).

No Cenário 1 o estoque no Depot não apresentou mudanças significativas comparado ao Cenário Base. No CFS, o estoque de carga containerizada é majoritariamente de madeira e plástico, aquele em consequência do estoque inicial e este com aumento do percentual de estoque até $t = 3$ e a aumento da demanda por desova a partir de $t = 4$. A carga solta divide-se em papel, madeira, plástico e minerais, provenientes majoritariamente dos parâmetros do modelo.

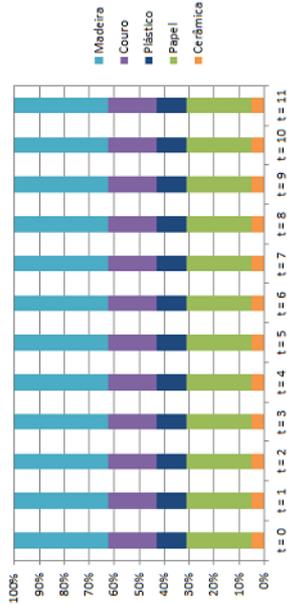
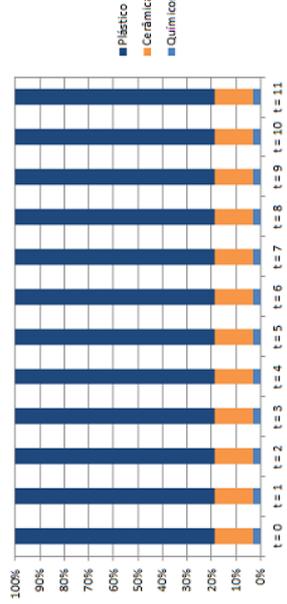
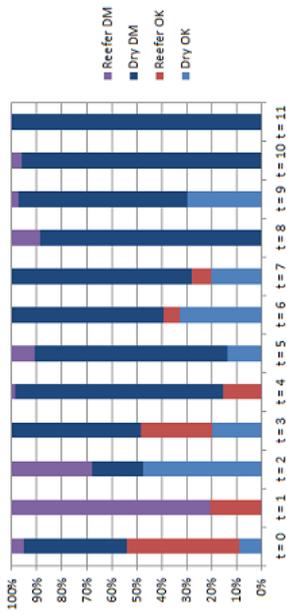


Figura 18 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário Base. Fonte: Autoria própria.

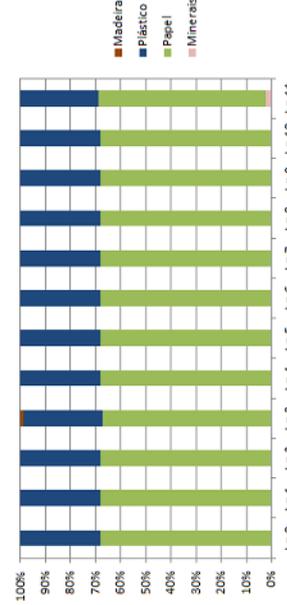
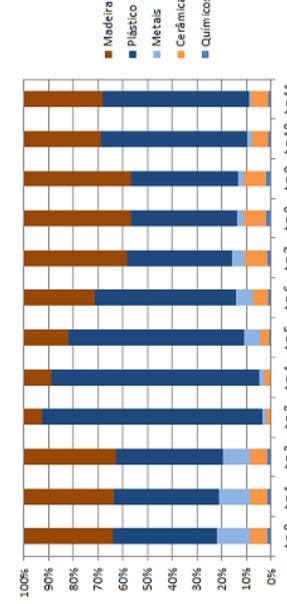
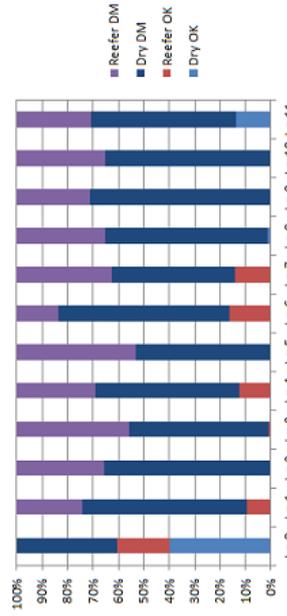


Figura 19 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário 1. Fonte: Autoria própria.

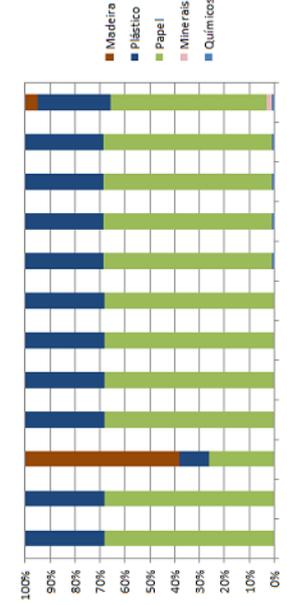
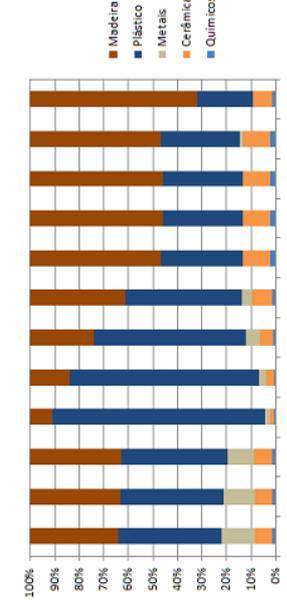
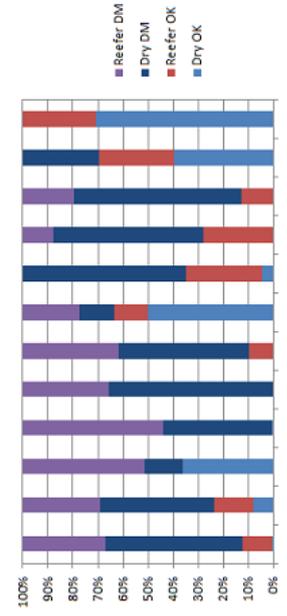


Figura 20 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário 3. Fonte: Autoria própria.

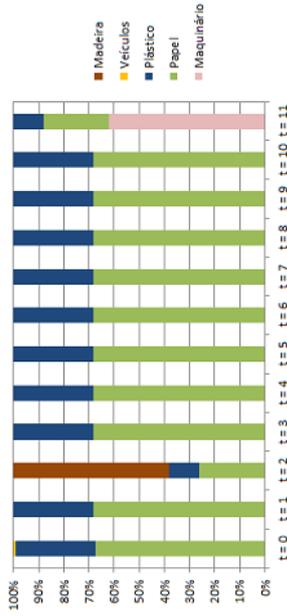
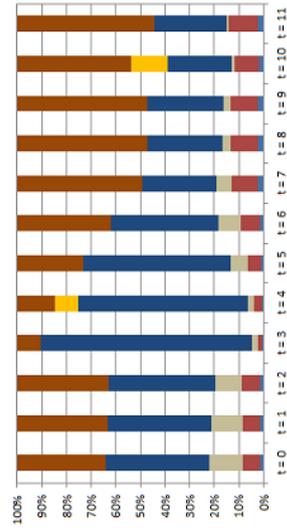
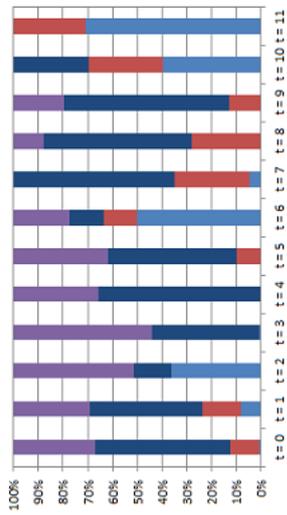


Figura 21 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário 4. Fonte: Autoria própria.

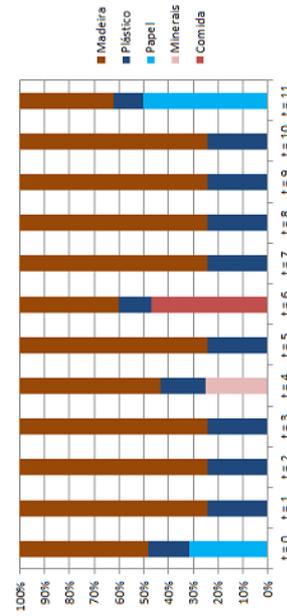
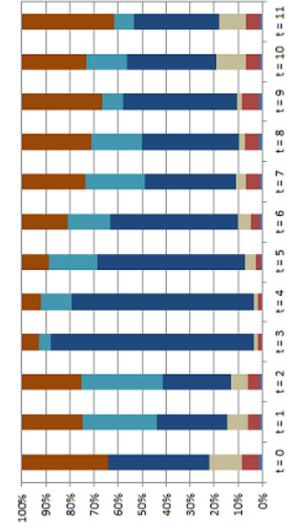
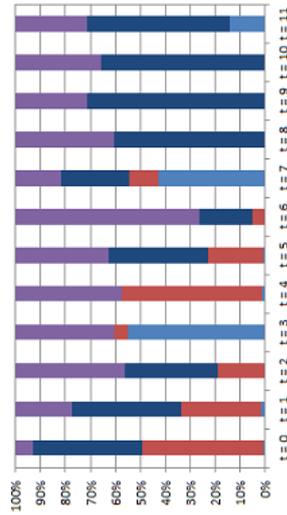


Figura 22 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário 5. Fonte: Autoria própria.

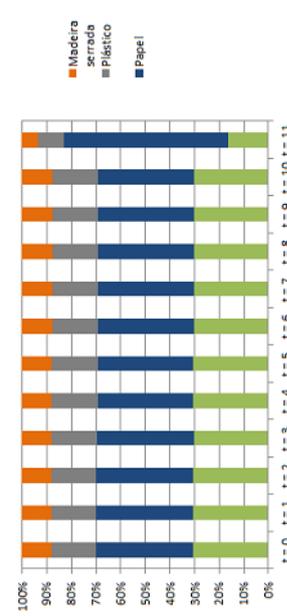
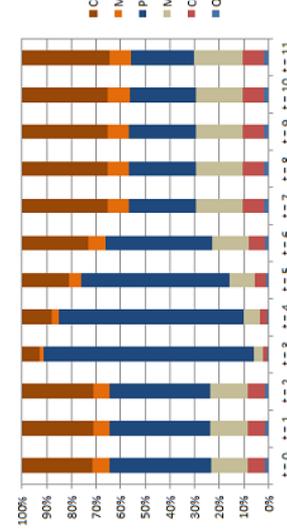
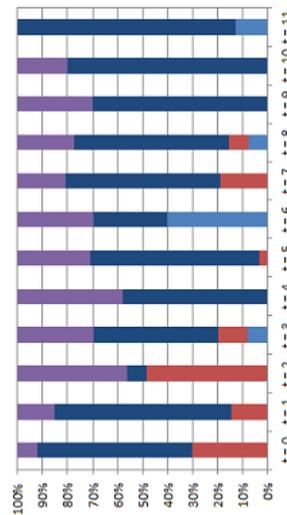


Figura 23 – Estoque de contêineres Depot, carga containerizada CFS e carga solta CFS no Cenário 6. Fonte: Autoria própria.

A partir do Cenário 3 há aumento de estoque de contêineres sem avarias no Depot, mostrando que alterações no CFS também impactam as movimentações daquela instalação. Entretanto, a maioria do estoque do Depot continua sendo de contêineres avariados, uma vez que liberar os equipamentos OK incorre em maior margem de contribuição unitária. Por outro lado, o estoque do CFS não apresentou alterações em relação ao cenário anterior.

No Cenário 4, após a adição de um turno na oficina de reparo, a proporção de contêineres Reefer e Dry com status OK aumenta. No CFS, a única alteração é o surgimento do estoque de veículos, tanto containerizados quanto soltos.

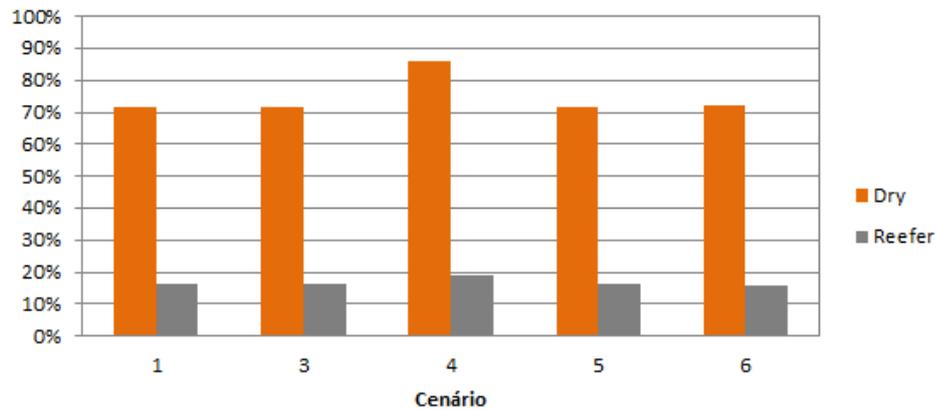
O Cenário 5 exclui as estufagens do commodity madeira, porém as cargas soltas que estavam em estoque permanecem estocadas. A maior alteração em relação ao cenário anterior é a quantidade de plásticos estocados para desova, uma vez que essas operações neste cenário são cerca de 48% maiores que no Cenário 4. No Depot houve diminuição da proporção de contêineres Reefer sem avarias.

No sexto cenário o estoque de contêineres do Depot voltou a ser majoritariamente de equipamentos Dry avariados. No CFS o estoque de carga containerizada é composto principalmente por plástico e compensado. A proporção de madeira serrada permanece constante desde $t = 0$, sinalizando que é mais lucrativo manter a mercadoria estagnada no estoque utilizando capacidade que poderia ser utilizada por outra carga do que finalizar a operação. Na prática, a permanência estendida da carga no estoque não se aplica porém, pelas premissas deste trabalho, isso é mais um indicativo da não competitividade da madeira serrada. Quanto ao estoque de carga solta, não houve mudanças significativas em relação ao Cenário 3.

5.3 Market share

O principal limitante superior nos cenários à exceção do Cenário Base é a demanda do porto. A seguir são apresentados os percentuais indicados na solução ótima comparados com a demanda do porto em cada cenário. As considerações apresentadas a seguir excluem o Cenário Base uma vez que não tem relação com as exportações e importações do porto.

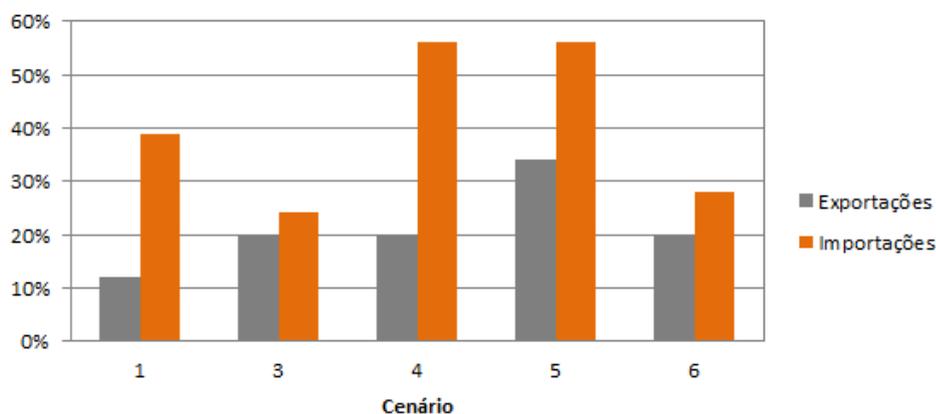
A Figura 24 a seguir representa a proporção das operações do Depot quanto à demanda do porto. Com a capacidade atual de oficina, todos os cenários indicam proporção de 72% das exportações do porto para os equipamentos Dry e 16% para os equipamentos Reefer. No Cenário 4 essas proporções aumentam para 86% e 19%, respectivamente, indicando o percentual ideal que o setor deve atender das demandas do porto para que obtenha os melhores resultados financeiros.

Figura 24 – *Market share* - Depot

Fonte: Autoria própria.

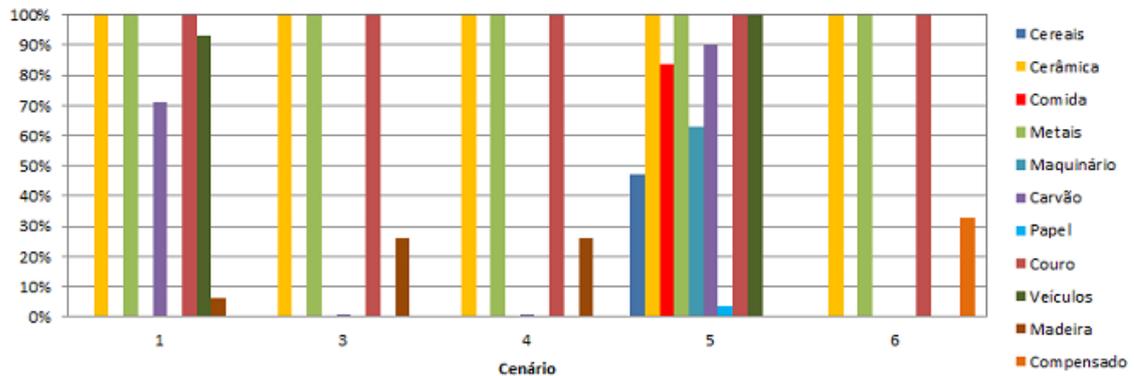
A Figura 25 indica a proporção ideal das operações do CFS em relação ao porto. O Cenário 1 (sem restrição de objetivo de *market share*) indica 12% de exportações e 39% das importações, enquanto o Cenário 5 tem aumento para 34% das exportações e 56% de importações. Entretanto, neste último cenário não considera-se a carga madeira nas operações.

Os Cenários 3, 4 e 6 resultam em 20% do total das exportações e 24%, 56% e 28% de importações, respectivamente. Esses resultados sinalizam positivamente a entrada do novo cliente de desova sugerido no Cenário 6, além indicar que todos os cenários apresentaram um uma proporção acima do objetivo para as importações. Esses valores são indícios de que uma possível readequação nos objetivos de divisão de mercado da empresa pode trazer maiores margens de contribuição.

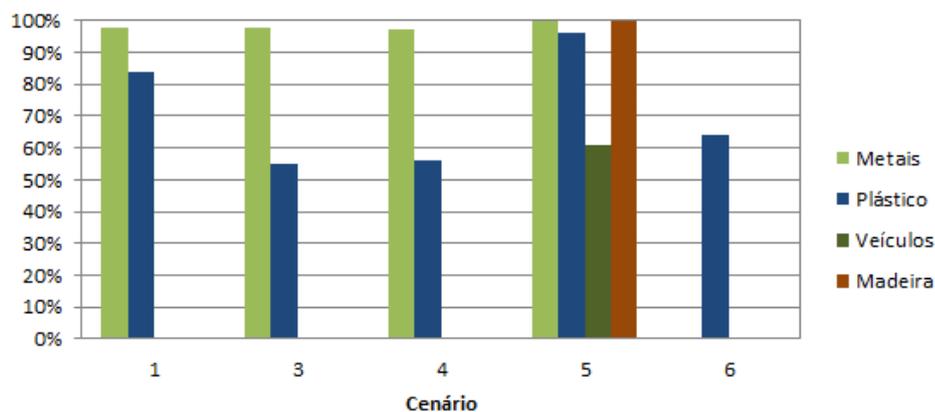
Figura 25 – *Market share* - CFS

Fonte: Autoria própria.

A Figura 26 e Figura 27 representam a divisão de mercado para cada operação e cada tipo de mercadoria, para exportações e importações, respectivamente.

Figura 26 – *Market share* de exportações

Fonte: Autoria própria.

Figura 27 – *Market share* de importações

Fonte: Autoria própria.

Nas estufagens, em todos os cenários analisados indica-se uma participação de 100% nas exportações de cerâmica, metais e couro e os Cenários 3 e 4 indicaram 26% de participação nas exportações de madeira.

Entretanto, quando divide-se a commodity em madeira serrada e compensado (Cenário 6), o modelo resulta em divisão de 33% para compensado e 0% de madeira serrada, mostrando novamente que o segundo é menos lucrativo para a empresa. O Cenário 1 não estava restrito por objetivo de *market share* mínimo, portanto não é utilizado na última comparação.

É importante salientar que, a respeito do *market share* das exportações do porto, apenas no Cenário 5 são indicadas operações de estufagem de papel, a segundo commodity mais exportado pelo porto Itapoá, cerca de 25% do total, um indício de que a tarifa atual pela empresa proporciona uma margem de contribuição pequena.

Para as desovas, todos os cenários indicaram a mercadoria plástico como a mais promissora para impactar os resultados financeiros do terminal, seguida da mercadoria metal. No Cenário 5, excluindo-se as estufagens de madeira, o modelo também resulta em desovas de veículos e madeira.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste trabalho foi determinar o número ótimo de operações por tipo de contêineres e cargas em um terminal retroportuário situado na retro área do Porto Itapoá, resultando na maior margem de contribuição para a empresa. Para isso, um modelo matemático de programação linear inteira foi desenvolvido, implementado na linguagem de programação computacional Java e resolvido com a biblioteca do solver Gurobi.

A máxima margem de contribuição foi obtida no Cenário 6 (R\$9.610.519,22), que admite as premissas do Cenário 3: aumento da capacidade operacional do CFS; contratação de 8 funcionários; entrada de um novo cliente de plástico na carteira da empresa; e divisão da mercadoria madeira em dois tipos, madeira serrada e compensado.

O Cenário 4 foi o que resultou na segunda maior margem de contribuição (R\$ 9.302.343,21), apenas 3% menor que o Cenário 6. Além das premissas do Cenário 3 considerou-se o acréscimo de um turno na oficina de reparo, indicando o impacto significativo nas operações do setor.

Além de determinar a margem de contribuição por cenário, este trabalho contribui para sugerir os tipos de operação que a empresa deve buscar para alcançar a maximização da margem de contribuição. No Cenário 6, por exemplo, o valor ótimo é alcançado no CFS ao ser executadas 20% das estufagens das exportações e 64% das desovas das importações realizadas pelo porto Itapoá. Essas porcentagens podem nortear as metas sobre os clientes futuros que devem ser prospectados.

A principal limitação do trabalho foram as inferências sobre a demanda real de cada serviço em cada período de tempo. No Cenário 6 considera-se a entrada do novo cliente de plástico na carteira de clientes do terminal, entretanto as demandas deste são nulas em vários períodos de planejamento, uma vez que foi estimada com base em uma proporção da demanda passada.

A coleta e o tratamento dos dados foram fundamentais para o desenvolvimento do trabalho, bem como conhecimento prático das operações e os fatores que impactam nos resultados de cada uma, possibilitando a elaboração de um modelo matemático que atendesse às peculiaridades do escopo do trabalho.

6.1 Recomendações para trabalhos futuros

A primeira sugestão é incluir o SSD nas atividades da empresa em níveis operacional e/ou tático, viabilizando a análise da sua adequação à realidade das operações. Além disso, segure-se a implementação de um modelo de simulação computacional complementar com a mesma abrangência do escopo deste trabalho, possibilitando analisar, por exemplo, as variações dinâmicas de estoque no tempo.

Outra sugestão é alterar o modelo matemático de modo a abranger possíveis interações entre os dois serviços do terminal. Por exemplo, ao realizar a estufagem no CFS seria possível considerar a utilização de contêineres vazios do Depot, ao invés de apenas coletá-los em outro terminal de vazios. Esta interação diminuiria os movimentos de Reach Stacker e o fluxo de caminhões no pátio, reduzindo os custos considerados no cálculo da margem de contribuição.

Quanto à demanda, sugere-se analisar todo o histórico de operações do porto e identificar padrões de crescimento por tipo de commodity para uma projeção mais próxima da realidade. Por fim, sugere-se analisar os padrões de armazenagem de todas as cargas soltas, uma vez que as dimensões dos pallets ou aglomerados de carga diferem entre a mercadorias.

REFERÊNCIAS

- ARONSON, J. E.; LIANG, T.-P.; TURBAN, E. **Decision support systems and intelligent systems**. Nova Jersey: Pearson Prentice-Hall, 2005. v. 7.
- ASARIOTIS, R. et al. **Review of Maritime Transport, 2016**. Geneva, 2016.
- BALLOU, R. H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. Nova Iorque: Bookman Editora, 2007. v. 6.
- BANDEIRA, D. L. **Alocação e movimentação de contêineres vazios e cheios: um modelo integrado e sua aplicação**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2005.
- BONTEKONING, Y. M.; MACHARIS, C.; TRIP, J. J. Is a new applied transportation research field emerging?—a review of intermodal rail–truck freight transport literature. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, Elsevier, v. 38, n. 1, p. 1–34, 2004.
- BRAEKERS, K.; CARIS, A.; JANSSENS, G. K. Bi-objective optimization of drayage operations in the service area of intermodal terminals. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Elsevier, v. 65, p. 50–69, 2014.
- CARIS, A.; JANSSENS, G. K. A local search heuristic for the pre-and end-haulage of intermodal container terminals. **Computers & Operations Research**, Elsevier, v. 36, n. 10, p. 2763–2772, 2009.
- CHOU, C.-C. et al. Application of a mixed fuzzy decision making and optimization programming model to the empty container allocation. **Applied Soft Computing**, Elsevier, v. 10, n. 4, p. 1071–1079, 2010.
- COLONETTI, R. A.; ZILLI, J. C. Os terminais retroportuários nas operações logísticas das empresas exportadoras do sul de Santa Catarina. **Revista de Administração e Negócios da Amazônia**, v. 7, n. 3, p. 54–67, 2015.
- COSTA, G. A. A. **Modelo de margem de contribuição aplicado ao planejamento de marketing no transporte marítimo regular de contêineres**. Dissertação (Mestrado) — Universidade de São Paulo, 2006.
- CUDAHY, B. J. The containership revolution: Malcom mclean’s 1956 innovation goes global. **TR News**, n. 246, 2006.
- DONG, J.-X.; SONG, D.-P. Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Elsevier, v. 45, n. 6, p. 860–877, 2009.
- FUNKE, J.; KOPFER, H. A neighborhood search for a multi-size container transportation problem. **IFAC-PapersOnLine**, Elsevier, v. 48, n. 3, p. 2041–2046, 2015.

- GOSLING, J.; JOY, B.; STEELE, G. L. **The Java Language Specification**. Boston, MA, USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1996.
- GUO, X. et al. Dynamic yard crane dispatching in container terminals with predicted vehicle arrival information. **Advanced Engineering Informatics**, Elsevier, v. 25, n. 3, p. 472–484, 2011.
- GUROBI. **Gurobi Optimizer Reference Manual**. 2016. Disponível em: <<http://www.gurobi.com>>.
- JEEVAN, J. et al. Preparation of dry ports for a competitive environment in the container seaport system: A process benchmarking approach. **International Journal of e-Navigation and Maritime Economy**, Elsevier, v. 7, p. 19–33, 2017.
- KAVESHGAR, N.; HUYNH, N. Integrated quay crane and yard truck scheduling for unloading inbound containers. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 159, p. 168–177, 2015.
- LAPTANED, U. Developing inland container depot (ICD) for the indo-china intersection logistics center: Case study of phitsanulok province. **UTCC Engineering Research Papers**, University of the Thai Chamber of Commerce, 2007.
- LEE, C.-Y.; MENG, Q. **Handbook of Ocean Container Transport Logistics: Making Global Supply Chains Effective**. Nova Iorque: Springer, 2014. v. 220.
- LEVINSON, M. **The box: how the shipping container made the world smaller and the world economy bigger**. Princeton: Princeton University Press, 2006. v. 1.
- LEVINSON, M. Container shipping and the economy: Stimulating trade and transformations worldwide. **Tr News**, n. 246, 2006.
- LUDOVICO, N. **Logística de transportes internacionais**. São Paulo: Saraiva, 2010. v. 3.
- MYUNG, Y.-S.; MOON, I. A network flow model for the optimal allocation of both foldable and standard containers. **Operations Research Letters**, Elsevier, v. 42, n. 6, p. 484–488, 2014.
- BORTOLATO REDIVO, R. Considerações sobre o cálculo da margem de contribuição: uma proposta para inclusão do custo de reposição e do custo de oportunidade. **Revista de Ciências da Administração**, Universidade Federal de Santa Catarina, v. 6, n. 11, 2004.
- ROCHA, P. C. A. **Logística e aduana**. São Paulo: Aduaneiras, 2001.
- RODRIGUES, P. R. A. **Introdução aos sistemas de transporte no Brasil e à logística internacional**. São Paulo: Edições Aduaneiras, 2011.
- ROGERS, A.; CHUAH, J.; DOCKRAY, M. **Cases and Materials on the Carriage of Goods by Sea**. Australia: Routledge-Cavendish, 2004.
- SHIRI, S.; HUYNH, N. Optimization of drayage operations with time-window constraints. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 176, p. 7–20, 2016.

SONG, D.-P.; DONG, J.-X. Cargo routing and empty container repositioning in multiple shipping service routes. **Transportation Research Part B: Methodological**, Elsevier, v. 46, n. 10, p. 1556–1575, 2012.

STERZIK, S.; KOPFER, H. A tabu search heuristic for the inland container transportation problem. **Computers & Operations Research**, Elsevier, v. 40, n. 4, p. 953–962, 2013.

TESTONI, G. L. **PLANEJAMENTO DA CAPACIDADE DE OPERAÇÃO DE UM ARMAZÉM GERAL RETROPORTUÁRIO**. 2016. Monografia (Bacharel em Engenharia de Transportes e Logística), UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina), Joinville, Brasil.

ZAIN, R. M. et al. Exploring the delays at empty container off-dock depots: useful perceptions by stakeholders. **Management**, Scientific & Academic Publishing, v. 5, n. 5, p. 148–159, 2015.

ZHANG, R.; YUN, W. Y.; MOON, I. A reactive tabu search algorithm for the multi-depot container truck transportation problem. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, Elsevier, v. 45, n. 6, p. 904–914, 2009.

**APÊNDICE A – DEMANDA MÁXIMA DAS EXPORTAÇÕES DOS ARMADORES
ATENDIDOS PELO DEPOT**

Operação	Contêiner	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Exportação	Dry	9952	10530	9851	9688	10107	6327	5776	7065	7819	7404	4338	5219
	Reefer	5017	5116	4018	3626	4976	4047	2768	3589	4029	2849	3145	3835

**APÊNDICE B – DEMANDA MÁXIMA DE EXPORTAÇÕES E IMPORTAÇÕES DAS
CARGAS ATENDIDAS NO CFS**

Operação	Commodity	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Exportação	Cereais	42	26	26	28	39	33	41	44	18	20	20	21
	Químicos	261	312	357	211	273	361	214	251	356	349	287	328
	Cerâmica	121	162	153	157	119	199	197	232	193	188	132	220
	Comida	242	333	284	228	220	258	338	235	292	261	302	196
	Maquinário	344	344	279	344	503	467	366	367	472	423	437	477
	Metais	162	157	170	139	184	152	126	204	104	140	173	178
	Minerais	184	59	90	106	176	88	93	171	65	55	90	95
	Outros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Papel	2487	2353	2317	1596	2251	2162	1232	1764	2848	2601	2719	2750
	Plásticos	26	29	26	36	28	42	26	31	24	26	21	16
	Couro	158	207	209	276	197	313	82	209	248	246	217	230
	Pneu	33	65	59	54	54	47	78	34	46	95	70	78
	Veículos	178	232	183	266	299	219	295	304	153	184	163	178
	Madeira	4537	5004	4370	4796	4663	5009	5108	5552	3497	3465	4118	4602
Importação	Cereais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Químicos	0	0	3	2	2	5	7	2	2	0	3	0
	Cerâmica	2	2	0	0	2	2	3	5	2	0	2	2
	Comida	8	0	5	8	18	3	8	5	15	15	8	8
	Maquinário	8	16	15	10	13	26	54	31	0	10	11	13
	Metais	7	5	7	10	15	11	16	15	10	2	3	3
	Minerais	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Outros	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Papel	11	10	15	15	238	145	11	152	13	7	13	3
	Plásticos	0	2	0	0	757	555	353	261	2	0	2	5
	Couro	33	15	18	5	2	0	0	2	29	7	21	21
	Pneu	16	13	29	49	5	47	70	42	7	46	29	38
	Veículos	80	111	82	90	98	106	116	0	51	59	55	39
	Madeira	0	0	0	5	0	0	3	2	0	0	0	0

**APÊNDICE C – ESTOQUE DE CONTÊINERES SEM AVARIAS NO DEPOT AO FIM
DE CADA PERÍODO t**

Cenário	Contêiner	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Base	Dry Reefer	176	3	1186	566	0	286	1195	607	0	1075	0	0
		898	206	0	806	289	0	230	232	0	0	0	0
1	Dry Reefer	1196	2	0	0	3	0	2	2	33	0	0	465
		620	258	11	18	251	10	491	225	0	0	0	0
3	Dry Reefer	16	150	656	7	0	0	1342	147	0	0	1332	2515
		235	304	0	0	0	181	364	1027	635	369	1009	1028
4	Dry Reefer	16	150	656	7	0	0	1342	147	0	0	1332	2515
		235	304	0	0	0	181	364	1027	635	369	1009	1028
5	Dry Reefer	10	23	2	1044	8	10	3	1371	3	0	0	465
		733	486	242	108	419	294	46	388	0	0	0	0
6	Dry Reefer	0	0	0	180	0	0	1374	7	261	0	5	450
		728	499	392	263	0	104	0	467	268	0	0	0

**APÊNDICE D – ESTOQUE DE CONTÊNERES AVARIADOS NO DEPOT AO FIM
DE CADA PERÍODO t**

Cenário	Contêiner	Período (t)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Base	Dry Reefer	826	0	504	1470	1567	1586	2221	2171	1818	2476	2285	3644
		98	803	806	0	28	194	0	0	232	96	96	3
1	Dry Reefer	1190	1767	1784	1053	1149	955	2033	787	1715	2500	1764	1955
		0	710	945	857	632	852	490	607	930	1017	934	994
3	Dry Reefer	1097	875	281	669	1909	968	379	2179	1361	1954	1017	0
		671	592	886	862	999	712	607	0	279	602	0	0
4	Dry Reefer	1097	875	281	669	1909	968	379	2179	1361	1954	1017	0
		671	592	886	862	999	712	607	0	279	602	0	0
5	Dry Reefer	653	669	475	0	0	534	199	878	1315	2450	1714	1905
		108	343	563	754	315	498	703	586	865	982	899	960
6	Dry Reefer	1487	2415	64	1133	1289	2109	1002	1583	2161	2458	2195	3058
		189	512	354	692	942	909	1041	486	780	1044	552	0

**APÊNDICE E – ESTOQUE DE CARGAS CONTÊNERIZADAS NO CFS AO FIM DE
CADA PERÍODO *t***

Cenário	Contêiner	Período (<i>t</i>)											
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Base	Químicos	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Cerâmica	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	Plástico	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134	134
1	Químicos	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Cerâmica	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	Metais	51	46	39	29	23	47	31	16	8	7	7	3
	Plástico	155	155	155	1514	992	501	251	126	124	124	235	230
	Madeira	134	134	134	129	129	129	126	124	124	124	124	124
3	Químicos	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Cerâmica	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	Metais	51	46	39	29	23	29	13	0	0	0	3	0
	Plástico	155	155	155	1227	614	307	153	77	75	75	75	75
	Madeira	134	134	134	129	129	129	126	124	124	124	124	227
4	Químicos	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Cerâmica	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	Metais	51	46	39	29	23	33	29	16	8	7	3	2
	Plástico	155	155	155	1149	579	290	145	73	72	72	70	65
	Veiculos	0	0	0	0	78	0	0	0	0	0	39	0
	Madeira	134	134	134	129	129	129	126	124	124	124	124	124
5	Químicos	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Cerâmica	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	Metais	51	46	39	29	23	51	34	20	10	8	57	54
	Plástico	155	153	153	1514	1260	705	353	176	175	175	173	168
	Veiculos	0	163	180	90	212	232	116	116	91	33	78	39
	Madeira	134	134	134	129	129	129	126	124	124	124	124	181
6	Químicos	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	Cerâmica	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	Metais	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57	57
	Plástico	155	153	153	1315	658	333	166	83	82	82	80	75
	Madeira serrada	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
	Compensado	108	108	108	106	106	106	104	104	104	104	104	104

