

MAXIMIZAÇÃO DA MARGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE UM TERMINAL RETROPORTUÁRIO DE CONTÊINERES

Patricia Bilinski

Centro Tecnológico de Joinville
Universidade Federal de Santa Catarina

Cassiano Augusto Isler

Escola Politécnica
Universidade de São Paulo

Gustavo Costa

ATM
Aliança Transporte Multimodal

RESUMO

Os terminais retroportuários surgiram para oferecer flexibilidade operacional e integrar a cadeia logística de contêineres à medida que estes equipamentos perpetuaram-se como impulsionadores do comércio global de mercadorias. Dado que as operações nesses terminais devem ser planejadas de modo a aumentar o seu retorno financeiro, este artigo tem o objetivo de determinar o número ótimo de operações por tipo de equipamento e carga que maximiza a margem de contribuição de uma empresa que opera um terminal em Itapoá-SC. Um modelo matemático de programação linear inteira é proposto para atender às restrições operacionais e comerciais da empresa. Pela análise de diferentes cenários, a máxima margem de contribuição sob demanda condicionada foi obtida pela contratação de 8 funcionários em um dos setores e a entrada de um novo cliente na carteira da empresa. O segundo melhor resultado naquela condição foi obtido pela criação de um turno adicional na oficina do terminal.

ABSTRACT

The hinterland terminals emerged to offer operational flexibility and to integrate the container supply chain since these equipments were perpetrated as a booster of global trade. Given that the operation within these facilities must be planned in order to maximize their final profit, the goal of this paper is to determine the optimum number of operations per type of equipment and cargo that maximizes the net income of a hinterland terminal in Itapoá-SC. An integer linear programming model is proposed to satisfy the operational and commercial constraints of the company. The maximum net income of different scenarios is the one of conditioned demanda by hiring 8 employees in one of its sectors and the entrance of a new client. Se second best solution under that condition is by adding an turn in the maintenance office in the terminal.

1. INTRODUÇÃO

A containerização revolucionou o transporte de cargas ao viabilizar o aumento da produtividade e redução dos custos de transporte. Segundo Bandeira (2005), a utilização dos contêineres alterou as práticas de movimentação e armazenagem de mercadorias, a configuração e as operações dos terminais portuários e também afeta intermodalidade dos sistemas de transporte, facilitando a movimentação de cargas entre os modos.

O desenvolvimento dos portos marítimos resultou no surgimento de terminais retroportuários, que auxiliam as instalações portuárias especializadas na movimentação de contêineres na adaptação às tendências do comércio global, colaborando para a manutenção dos portos no mercado (Jeevan et al., 2017). Assim, dada a importância dos terminais retroportuários no transporte marítimo de contêineres e o aumento da concorrência no setor, é necessário que as empresas identifiquem a melhor forma de gerir suas operações para maximizar o retorno financeiro.

Neste contexto, o objetivo deste artigo é determinar o número ótimo de operações por tipo de contêiner e carga que maximiza a margem de contribuição de uma empresa que opera um terminal retroportuário. Um modelo matemático de programação linear inteira é proposto considerando a oferta de serviços de armazenagem, manutenção e reparo de contêineres vazios, e

consolidação, desconsolidação, armazenagem e transporte de cargas containerizadas para cargas gerais, além de transporte rodoviário de contêineres.

Este artigo está dividido em cinco seções. A seção 2 contém uma revisão da literatura sobre os problemas de movimentação de contêineres. As operações realizadas no terminal retroportuário são descritas na terceira seção, bem como o modelo matemático proposto. A seção 4 descreve os parâmetros do modelo, os cenários e análises sobre as operações mais rentáveis para o operador da instalação. Finalmente, a quinta seção apresenta conclusões e aplicações da pesquisa.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Costa (2006) segmenta os serviços de transporte marítimo regular de contêineres quanto ao tipo de carga (seca e refrigerada) dimensões do contêiner (20 pés ou 40 pés) e valor da carga. Segundo o autor, os procedimentos de transporte deste tipo de carga para exportação são: fechamento de carga (*booking*) com o armador; recebimento do número de reserva (*booking number*); retirada do contêiner vazio no terminal; transporte e estufagem para exportação; depósito do contêiner cheio no port e liberação de carga para exportação pelos órgãos responsáveis.

Por outro lado, os procedimentos para importação são caracterizados como: liberação da carga junto às autoridades alfandegárias; retirada do contêiner no terminal portuário de desembarque; transporte do contêiner e desova da carga de importação; transporte do contêiner vazio até o terminal indicado pelo armador; devolução do contêiner ao terminal de vazios (Costa, 2006).

Esses processos caracterizam o ciclo básico da logística de contêineres, no qual os terminais retroportuários (infraestruturas com área de movimentação próximas aos portos) podem executar recebimento e entrega de carga, consolidação e desconsolidação de cargas, transporte, despacho aduaneiro, armazenamento temporário e manutenção de contêineres (Laptaned, 2007).

Entre os benefícios dos terminais retroportuários pode-se citar: 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 Laptaned (2007).

As pesquisas sobre movimentação de contêineres em geral abordam o transporte em curtas distâncias, reposicionamento de contêineres vazios e operações em terminais. Os problemas de curtas distâncias, também conhecidos como *drayage problems*, tratam da movimentação entre clientes, terminais portuários, retroportuários, e depósitos de contêineres vazios. As operações são majoritariamente realizadas por caminhões e representam parcela expressiva dos custos de transporte intermodal (Bontekoning et al., 2004; Braekers et al., 2014).

Caris e Janssens (2009) desenvolveram uma heurística para resolução do problema de entregas e coletas, seguido de roteirização. Zhang et al. (2009) formularam um problema equivalente a múltiplos caixeiros viajantes com janela de tempo com solução eficiente por Busca Tabu, estendido por Shiri e Huynh (2016) para um problema com janela de tempo.

Sterzik e Kopfer (2013) e Funke e Kopfer (2015) propuseram metaheurísticas para resolução de problemas de roteirização e programação de veículos simultaneamente. Braekers et al. (2014) trataram o problema como múltiplos caixeiros viajantes assimétricos com janela de tempo e resolveram o problema bi-objetivo: minimizar a distância total percorrida e o número de veículos

designados. Para a resolução, os autores propuseram três métodos, obtendo melhores resultados através de um algoritmo híbrido Simulated Annealing e Busca Tabu.

O reposicionamento de contêineres vazios tem o objetivo reduzir custos e atender à demanda dos clientes, dado que o balanço entre importações e exportações em determinadas regiões requerem a sua redistribuição desses elementos (Lee e Meng, 2014). Dong e Song (2009) associaram a redistribuição de contêineres vazios ao dimensionamento de estoque e basearam-se em algoritmos genéticos e estratégia evolucionária para resolução do problema combinado. Chou et al. (2010) formularam um modelo para estabelecer a quantidade de contêineres vazios a serem alocados em cada porto e fluxo de redistribuição dos contêineres entre os portos.

Teixeira e Cunha (2012) propuseram um modelo matemático para maximizar a margem de contribuição líquida total em um problema combinado de escolha de cargas e reposicionamento de contêineres vazios, tratado como um problema de fluxo em rede espaço-tempo multiproducto com restrições de seleção de cargas serem transportadas, diferentes tipos de contêineres, características dos navios, rotas e respectivas programações.

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 de entrada/saída dos portos, atrasos de entrega, armazenagem e transporte dos contêineres vazios. Myung e Moon (2014) resolveram o problema combinado de reposicionamento e compra de contêineres vazios por um modelo de fluxo em rede para determinar a quantidade de contêineres demandados e a serem comprados em cada porto, bem como a redistribuição entre portos.

As operações em terminais também têm sido pesquisadas no âmbito da movimentação de contêineres. Guo et al. (2011) determinaram a sequência ótima de trabalho de *transteiners* em terminais portuários que resultassem no menor tempo de espera dos caminhões, enquanto Kavehgar e Huynh (2015) sequenciaram as operações de *transteiners*, *portainers* e caminhões.

Assim, há evidências de que as análises sobre decisões na cadeia logística de contêineres concentram-se nos objetivos dos armadores e terminais portuários, com esparsas pesquisas sobre as operações em terminais retroportuários sob a perspectiva da empresa operadora.

3. CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA

3.1. Operações no terminal retroportuário

O terminal retroportuário situado no município de Itapoá-SC tem infraestrutura para armazenagem de contêineres cheios e vazios – secos (DRY) ou frigoríficos (REEFER) –, consolidação e desconsolidação de cargas, transporte rodoviário, e reparo de REEFER. Para que fiquem disponíveis para o armador, no terminal de contêineres vazios (DEPOT) é realizado:

- **Recebimento (Gate in):** entrada de contêineres vazios e vistoria para devolução pós-importação ou redistribuição pelo armador. Em caso de contêiner REEFER, além da vistoria estrutural ocorre inspeção de maquinário.
- **Liberação (Gate out):** saída de contêineres cheios nas condições determinadas pelo armador para exportação, ou redistribuição de contêineres vazios.
- **Reparo:** manutenção da estrutura dos contêineres que chegam avariados ao terminal.

No terminal de contêineres cheios e armazém geral (Container Freight Station – CFS) ocorre:

- **Consolidação (estufagem):** carregamento das cargas nos contêineres. O exportador envia a carga solta, o CFS coleta o contêiner vazio em terminal determinado pelo armador e, após estufado, é enviado ao terminal portuário para exportação.
- **Desconsolidação (desova):** retirada das cargas dos contêineres. O contêiner 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 que o contêiner cheio permanece no CFS sem movimentação da carga.

O DEPOT e CFS localizam-se atualmente na mesma área do terminal retroportuário e, segundo dados históricos da empresa, os custos das operações e recursos necessários para atender a demanda de contêineres vazios tendem a ser menores, porém a margem de contribuição unitária por serviço de carga containerizada é maior. Por isso, a quantidade de operações e/ou tempo despendido para execução das operações escolhidas pelos gestores impactam no retorno financeiro da empresa.

Apesar da percepção dos tomadores de decisão sobre essas circunstâncias, o nível de operações que maximiza a rentabilidade da empresa em um em um horizonte de planejamento não é conhecido. Assim, este artigo visa identificar a quantidade de operações por tipo de carga e contêiner que maximiza a margem de contribuição do fluxo de contêineres no DEPOT e CFS.

As seguintes premissas são admitidas para estabelecer a formulação matemática:

- A limpeza de contêineres DRY (3% dos equipamentos no terminal) é considerada reparo;
- Todo contêiner REEFER passa por limpeza, processo diferente de reparo;
- Para os contêineres REEFER considera-se apenas reparo de estrutura, sem maquinário;
- O contêiner é enviado para o porto no mesmo dia da estufagem;
- Não há coleta ou devolução de contêiner vazio pelo CFS no DEPOT;
- Não são analisados os processos de reparo de REEFER e transporte de longa distância;
- Apenas o handling de importação é considerado, em que o contêiner é coletado no porto, armazenado no CFS e retirado pelo cliente.

3.2. Formulação matemática

Seja $I = (1, 2, 3) = (\text{Recebimento}, \text{Liberação}, \text{Reparo})$ o conjunto de serviços realizados no DEPOT e $K = (1, 2, 3) = (\text{Estufagem}, \text{Desova}, \text{Handling})$ o conjunto de serviços oferecidos no CFS. Ainda, seja $J = (1, 2) = (\text{DRY}, \text{REEFER})$ o conjunto de tipos de contêineres, $S = (1, 2) = (\text{Sem avarias}, \text{Avariados})$ o conjunto que define o status dos contêineres no DEPOT e $A = (1, 2) = (\text{Carga Containerizada}, \text{Carga Solta})$ o acondicionamento da carga no CFS .

Seja $L = (1, \dots, 12)$ o conjunto de tipos de cargas atendidas, referente à cereais, cerâmica, comida, maquinário, metais, minerais, papel, plástico, couro, pneu, veículos e madeira, nesta ordem e $T = (1, \dots, 12)$ o conjunto de períodos, em meses, do horizonte de análise de receitas e despesas da empresa.

Para modelagem matemática são considerados os atributos do DEPOT: R_{ij}^D receita do serviço i no contêiner do tipo j ; $c_{var,ij}^D$ custo variável operacional para serviço i no contêiner tipo j ; $c_{adm,ij}^D$ custo administrativo para serviço i no contêiner tipo j ; μ^D impostos; α_j percentual de

chegada de contêineres j avariados; $E_{sj}^{D, inicial}$ estoque inicial de contêineres j com status s ; M^D capacidade mensal de movimentos de contêineres vazios; m_{ij}^D movimentos necessários para operação i no contêiner do tipo j .

Analogamente, são considerados atributos do CFS: R_{kl}^C receita para o serviço k na carga do tipo l ; $c_{var,kl}^C$ custo variável operacional para o serviço k na carga do tipo l ; $c_{adm,kl}^C$ custo administrativo variável para o serviço k na carga do tipo l ; μ^C impostos; M^C capacidade mensal de movimentos de contêineres cheios; m_{kl}^C movimentos necessários para operação k na carga do tipo l ; $E_{al}^{C, inicial}$ estoque inicial das cargas l armazenadas da forma a .

Além disso, são definidos os seguintes atributos: γ^{total} , o tempo mensal disponível para os serviços no CFS (horas); P , a capacidade mensal de teste em REEFER (contêineres); W , a capacidade mensal de limpeza de REEFER (contêineres); RP , a capacidade mensal de reparo da oficina (contêineres); γ_{kl} , o tempo para entrega do serviço k da carga l (contêineres); AZ , a capacidade de armazenagem de carga solta (contêineres); YC , o estoque máximo (contêineres).

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

A formulação matemática para o problema de definição do número de operações de contêineres no DEPOT e CFS do terminal retroportuário é dada por:

$$\begin{aligned} \text{Maximizar } & \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} x_{ij}^t \cdot (R_{ij}^D - R_{ij}^D \cdot \mu^D - c_{var,ij}^D) \\ & + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} \sum_{t \in T} y_{kl}^t \cdot (R_{kl}^C - R_{kl}^C \cdot \mu^C - c_{var,kl}^C) - \sum_{t \in T} (c_{adm}^D + c_{adm}^C) \end{aligned} \quad (1)$$

sujeito a

$$E_{1j}^{D,t} = E_{1j}^{D,t-1} + (1 - \alpha) \cdot x_{1j}^t - x_{2j}^t + x_{3j}^t \quad \forall t \in T, j \in J \mid E_{1j}^{D,0} = E_{1j}^{D, inicial} \quad (2)$$

$$E_{2j}^{D,t} = E_{2j}^{D,t-1} + \alpha \cdot x_{1j}^t - x_{3j}^t \quad \forall t \in T, j \in J \mid E_{2j}^{D,0} = E_{2j}^{D, inicial} \quad (3)$$

$$x_{2j}^t \leq E_{1j}^{D,t-1} + (1 - \alpha) \cdot x_{1j}^t + x_{3j}^t \quad \forall t \in T, j \in J \mid E_{1j}^{D,0} = E_{1j}^{D, inicial} \quad (4)$$

$$x_{3j}^t \leq E_{2j}^{D,t-1} + \alpha \cdot x_{1j}^t \quad \forall t \in T, j \in J \mid E_{2j}^{D,0} = E_{2j}^{D, inicial} \quad (5)$$

$$E_{1l}^{C,t} = E_{1l}^{C,t-1} + \beta_{1l}^t - y_{2l}^t - y_{3l}^t \quad \forall t \in T, l \in L \mid E_{1l}^{C,0} = E_{1l}^{C, inicial} \quad (6)$$

$$E_{2l}^{C,t} = E_{2l}^{C,t-1} + \beta_{2l}^t - y_{1l}^t \quad \forall t \in T, l \in L \mid E_{2l}^{C,0} = E_{2l}^{C, inicial} \quad (7)$$

$$\beta_{1l}^t \geq y_{2l}^t + y_{3l}^t - E_{1l}^{C,t-1} \quad \forall t \in T, l \in L \mid E_{1l}^{C,0} = E_{1l}^{C, inicial} \quad (8)$$

$$\beta_{2l}^t \geq y_{1l}^t - E_{2l}^{C,t-1} \quad \forall t \in T, l \in L \mid E_{2l}^{C,0} = E_{2l}^{C, inicial} \quad (9)$$

$$\beta_{2l}^0 + E_{2l}^{C,t-1} - y_{1l}^t \leq AZ \quad \forall t \in T, l \in L \mid E_{2l}^{C,0} = E_{2l}^{C,initial} \quad (10)$$

$$x_{12}^t \leq P \quad \forall t \in T \quad (11)$$

$$x_{22}^t \leq W \quad \forall t \in T \quad (12)$$

$$\sum_{j \in J} x_{3j}^t \leq RP \quad \forall t \in T, \alpha \in J \quad (13)$$

$$\sum_{j \in J} m_{ij}^D \cdot x_{ij}^t \leq M^D \quad \forall t \in T, \alpha \in J \quad (14)$$

$$\sum_{l \in L} m_{kl}^D \cdot y_{kl}^t \leq M^C \quad \forall t \in T, l \in L \quad (15)$$

$$\sum_{l \in L} \delta_{1l} \cdot y_{1l}^t \leq \delta^{total} \quad \forall l \in L, t \in T \quad (16)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in J} E_{sj}^{D,t} + \sum_l E_{1l}^{C,t} \leq YC \quad \forall t \in T \quad (17)$$

$$x_{ij}^t, y_{kl}^t, E_{sj}^{D,t}, E_{al}^{C,t} \geq 0 \quad \forall a \in A, i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, s \in S, t \in T \quad (18)$$

$$x_{ij}^t, y_{kl}^t, E_{sj}^{D,t}, E_{al}^{C,t}, \beta_{al}^t \in \mathbb{Z} \quad \forall a \in A, i \in I, j \in J, k \in K, l \in L, s \in S, t \in T \quad (19)$$

A função objetivo (1) é a margem de contribuição no período T . As restrições (2) garantem que, para cada tipo de contêiner $j \in J$, o estoque sem avarias para o período $t \in T$ é igual ao do período anterior somado àqueles que chegam sem avarias e aos reparados, diminuídos dos liberados. As restrições (3) estabelecem que o estoque de contêineres $j \in J$ avariados em $t \in T$ seja a soma do período anterior aos que chegaram avariados, subtraídos dos reparados.

As restrições (4) garantem que o número de contêineres $j \in J$ liberados em $t \in T$ seja menor ou igual aos disponíveis no período. As restrições (5) impõem o reparo exclusivo de contêineres avariados. As restrições (6) garantem que o estoque de carga $l \in L$ containerizada em $t \in T$ seja a soma do estoque no período anterior à entrada de cargas, subtraídas das desovas e handlings no período. As restrições (7) caracterizam o estoque de carga $l \in L$ solta em $t \in T$, acrescido da diferença entre a quantidade de carga solta que entra e o número de estufagens. As restrições (8) garantem que existe a quantidade de carga containerizada mínima para realizar as operações de desova e handling no período $t \in T$. As restrições (9) estabelecem a quantidade mínima de carga solta necessária para efetuar as estufagens em $t \in T$. As equações (10) restringem a quantidade de carga solta à capacidade de estoque do terminal.

As restrições (11) garantem que o número de REEFER recebidos não excede a capacidade de teste de maquinário no período $t \in T$. As restrições (12) impedem que o DEPOT libere mais REEFER do que pode lavar em $t \in T$. As restrições (13) impõem que não sejam reparados mais contêineres que a capacidade de reparo. As restrições (14) e (15) associam o número de movimentos de empilhadeira necessários para a realização de cada tipo de operação no DEPOT e CFS, respectivamente. As restrições (16) garantem que o tempo nas operações de estufagem e desova do CFS não exceda o disponível para estas operações. As restrições (17) garantem que o número de contêineres cheios e vazios no terminal não exceda a capacidade de estoque. Finalmente, as restrições (18) e (19) estabelecem o domínio das variáveis de decisão.

4. APLICAÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

4.1. Definição dos parâmetros

Os valores monetários foram majorados por um fator comum por requisitos de sigilo da empresa e, quando não especificados, referem-se às operações de Julho/2017. No DEPOT, as receitas e os custos unitários por serviço i e tipo de contêiner j são apresentados na Tabela 1. No mês de referência observou-se custo administrativo (c_{adm}^D) de R\$ 243.278,44 e impostos (μ^D) equivalentes a 11,23% do faturamento.

Tabela 1: Custos e receitas unitários no DEPOT (R\$)

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

A Tabela 2 apresenta as receitas e custos unitários do CFS por tipo de produto, com custo administrativo (c_{adm}^C) de R\$ 275.310,31 e impostos (μ^C) de 12,45% sobre o faturamento.

Tabela 2: Custos e receitas unitários no CFS (R\$)

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

A Tabela 3 indica o estoque no CFS e tempo de operação por tipo de carga, estes definidos empiricamente e representados por um número grande no modelo matemático quando inexistentes.

Tabela 3: Estoque CFS ($E_{inicial,al}^C$) e tempo de operação por produto

Produto	Contêiner	Cereais	Cerâmica	Comida	Maquinário	Metais	Minerais	Papel	Plástico	Couro	Pneu	Veículos	Madeira
		Carga Solta											
Estoque CFS		0	26	0	0	57	0	0	155	0	0	0	134
		0	271	0	0	0	0	137	227	101	0	0	1283
Tempo operação	Estufagem	2,45	1,91	3,26	1,91	2,45	3,26	1,91	0	1,91	0	4,08	2,45
	Desova	-	-	-	-	2,45	-	-	1,09	0	0	4,08	2,45

No DEPOT, em 09/10/2017, os estoques iniciais de contêineres avariados eram de 633 DRY e 362 REEFER, e sem avarias iguais a 1.279 DRY e 682 REEFER.

Nas operações de “Gate in” e “Gate out” é realizado 1 movimento para contêiner DRY e 3 movimentos para REEFER, e nas operações de “Reparo” são realizados 2 movimentos para ambos. A capacidade mensal do CFS é de 13.395 movimentos, tal que o número as operações de “Estufagem” e “Desova” requerem 4 movimentos cada e “Handling”, 2 movimentos.

O percentual médio mensal de contêineres que chegam avariados (α_j) foi estabelecido a partir de observações no período de Julho/2016 a Julho/2017, iguais a 43% para DRY e 36% para REEFER. Analogamente, a capacidade mensal de teste de maquinário em contêineres REEFER (P) e capacidade mensal de realização de lavagem em contêineres REEFER (W) foi, em média, de 1.958 contêineres por mês, e a capacidade mensal de reparo da oficina (RP) foi, em média, de 2.510 contêineres mensais.

O tempo total disponível para realização das operações no CFS (γ^{total}) em um mês é equivalente a 1.922 horas, a capacidade de estocagem no terminal é de 3.803 contêineres de 40 pés (7.606 TEUS) e a capacidade de armazenagem de carga solta (AZ) equivale a 865 contêineres.

5. CENÁRIOS E RESULTADOS

O modelo matemático foi implementado em linguagem Java e resolvido pelo software de otimização Gurobi em um computador Intel Core i3 mediante diferentes premissas em cenários de análise de um horizonte de planejamento de 12 meses.

Inicialmente propõe-se um “Cenário Base” ao estabelecer valores ilimitados para demanda em todas as operações do terminal, cujos resultados indicam a maior rentabilidade possível para a empresa. Na sequência, define-se o “Cenário 1” com percentuais mínimos de entrada e saída de contêineres REEFER mediante a análise de dados históricos da empresa, iguais a 10% e 12% , respectivamente, adicionados ao modelo sob as restrições (20) e (21).

$$x_{i2}^t \geq 0,1 \sum_{j=\{1,2\}} x_{ij}^t \quad \forall t \in T, i < 3 \quad (20)$$

$$x_{i2}^t \leq 0,12 \sum_{j=\{1,2\}} x_{ij}^t \quad \forall t \in T, i < 2 \quad (21)$$

Ainda, inclui-se a restrição (22) impondo que o máximo de contêineres vazios que o DEPOT liberados no período t (λ_j^t) seja igual à quantidade mensal prevista de exportações no porto, desconsiderando-se reposicionamento de contêineres dos armadores.

$$x_{2j}^t \leq \lambda_j^t \quad \forall t \in T, j \in J \quad (22)$$

Neste cenário, o número máximo de operações que o CFS pode realizar também deve ser igual à demanda do porto, definido pelas restrições (23) quanto às estufagens para exportações (θ_l^t) e restrições (24) quanto à desova e handling para importações (ϵ_l^t).

$$y_{1l}^t \leq \theta_l^t \quad \forall t \in T, l \in L \quad (23)$$

$$\sum_{k=\{2,3\}} y_{kl}^t \leq \epsilon_l^t \quad \forall t \in T, l \in L \quad (24)$$

A restrição (25) foi adicionada para garantir que o número total de handling no CFS fosse limitado a 402 contêineres, uma vez que no período analisado foram realizadas, no máximo, 370 operações mensais e considera-se igual taxa de crescimento de 8% do porto para o terminal.

$$\sum_l y_{3l}^t \leq 402 \quad \forall t \in T \quad (25)$$

Tomando como base as premissas do cenário anterior, o Cenário 2 define objetivos de participação mínima nas operações de exportação e importação do porto Itapoá para as cargas atendidas pelo terminal retroportuário. Nas estufagens considera-se atendimento mínimo de 20% das exportações e nas desovas mínimo de 4% do total de importação pelo porto. Para isso, foram adicionadas as restrições 26 e 27 em complemento à formulação do Cenário 1.

$$\sum_l y_{1l}^t \geq 0,2 \sum_l \theta_l^t \quad \forall t \in T \quad (26)$$

$$\sum_l y_{2l}^t \geq 0,04 \sum_l \varepsilon_l^t \quad \forall t \in T \quad (27)$$

Para garantir a factibilidade das operações no Cenário 2 propõe-se, ainda, o aumento da capacidade operacional do CFS em uma equipe por turno, aumentando a capacidade de horas disponíveis (γ^{total}) para 2.624,26. 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, resultando em custos administrativos mensais (c_{adm}^C) adicionais de R\$52.224,00 no CFS.

Para verificar a influência da capacidade de reparo da oficina de contêineres sobre as movimentações do DEPOT, o Cenário 3 é uma extensão do Cenário 2 e contempla o acréscimo de um terceiro turno na oficina, viabilizando o reparo de 3.765 contêineres por mês em média, sem impacto nos custos administrativos mensais do DEPOT (c_{adm}^D) dado que a oficina de reparo é terceirizada, resultando apenas no aumento dos custos variáveis pelo reparo de contêineres.

O Cenário 4 é uma alteração no Cenário 2 e considera, hipoteticamente, a utilização dos serviços do CFS por um cliente que demanda desova de polietileno, justificada pelo aumento da receita unitária da categoria plásticos de R\$979,20 para R\$1.847,10 sem alteração do custo unitário.

Além disso, divide-se a commodity madeira em compensado e serrada pois aquela exige maiores cuidados e, portanto, incorre em aumento dos custos variáveis pelo maior do tempo de operação requerido. A demanda máxima foi dividida na proporção de 80% para compensado e 20% para madeira serrada, cujos custos e receitas unitárias de estufagem de compensado são R\$522,40 e R\$1.305,60 e de serrada são R\$844,02 e R\$1.350,07 e, respectivamente. O tempo de operação para estufagem e desova de compensado é igual ao da categoria madeira, porém a serrada requer tempo adicional de 33% em sobre esse valor.

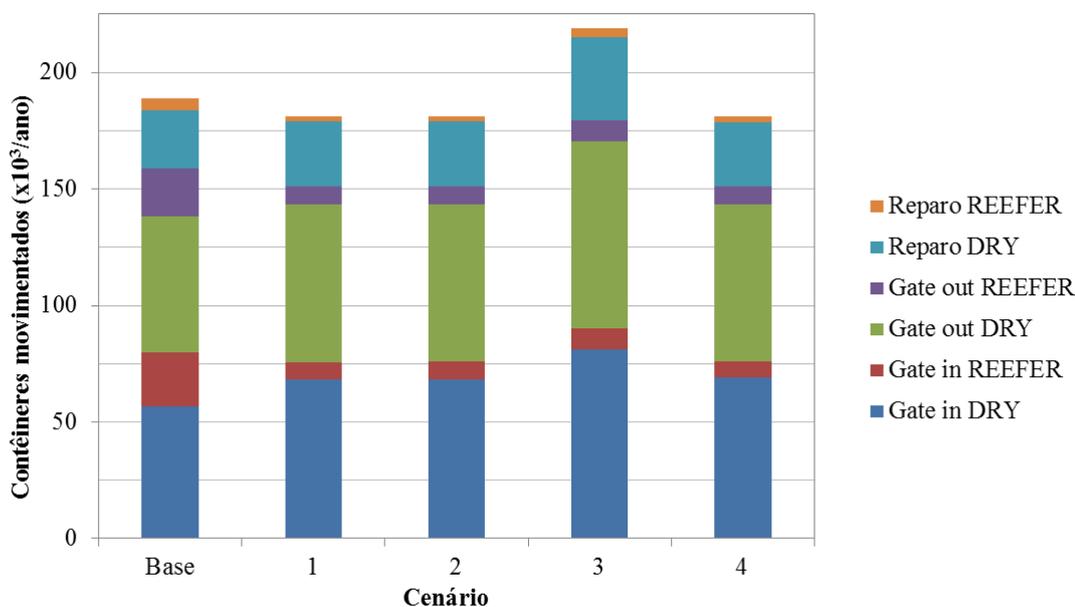
A Tabela 4 apresenta os resultados dos cenários caracterizados anteriormente. O Cenário Base apresenta a maior margem de contribuição pois não tem restrições quanto à demanda, apenas pela capacidade do terminal. Por outro lado, o Cenário 4 resulta na maior margem de contribuição ao impor restrições operacionais, viabilizando a entrada do novo cliente na carteira da empresa e demonstrando a rentabilidade da madeira compensada sobre a serrada.

Entre o Cenário 2 e o Cenário 3 observa-se, além do aumento de 34% na quantidade de contêineres reparados, aumento de 18% nas movimentações de “Gate in” e “Gate out”, indicando o impacto positivo do aumento de um turno na oficina do DEPOT.

Tabela 4: Resultados dos cenários de modelagem quanto ao DEPOT e CFS

Cenário	Margem de contribuição (R\$/ano)	Tempo (segundos)	Impactos DEPOT	Impactos CFS
Base	12.459.215,15	0,30	72% Gate in/out DRY 82% Reparo DRY	74,9% handling veículos 24,9% estufagem metais
1	6.849.255,50	5,54	90% Gate in/out DRY 93% Reparo DRY 15% estufagem veículos	19% estufagem madeira 16% estufagem couro
2	7.770.052,61	2,69	Idem Cenário 1	62% estufagem madeira
3	9.302.343,21	503,33	+18% operações Gate in/out +27% reparo em DRY +67% nos reparos de REEFER	+63% operações handling
4	9.610.519,22	94,63	90% Gate in/out DRY 90% Reparo DRY Menos estufagem couro Sem estufagem madeira serrada	+17% desova plásticos Sem estufagens veículos Sem estufagem minerais

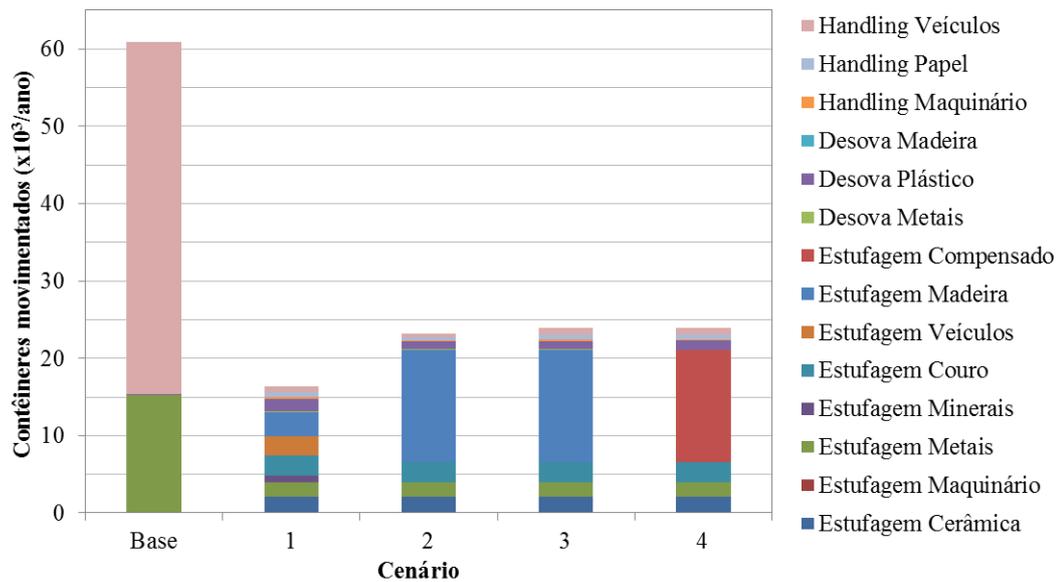
As quantidades anuais de operações por tipo de contêiner e cargas para cada cenário são apresentadas na Figura 1 e Figura 2 para o DEPOT e CFS, respectivamente.

Figura 1: Quantidade anual de operações no DEPOT

No DEPOT constata-se a predominância de operações de Gate in/out e reparo DRY, porém com menor quantidade absoluta no Cenário 4 em comparação com o Cenário 3. Entretanto, os níveis de operação naquele cenário aproximam-se do Cenário Base, porém com redução nas proporções das operações principalmente de Gate in/out e reparo de REEFER.

No CFS observa-se que o Cenário 4, de maior margem de contribuição, indica expressivo aumento de estufagem de madeira tipo compensado comparado ao Cenário Base, como consequência da desagregação daquele material. O gráfico denota as principais cargas que a deve movimentar para uma máxima margem de contribuição: madeira, cerâmica, metais e couro.

Figura 2: Quantidade anual de operações no CFS



6. CONCLUSÕES

O objetivo deste artigo é determinar o número ótimo de operações que maximiza a margem de contribuição de uma empresa operadora de um terminal retroportuário de contêineres no município de Itapoá-SC, por modelo matemático de programação linear inteira mediante diferentes cenários operacionais, restrições de capacidade e demanda por produtos específicos.

A margem de contribuição máxima da empresa de R\$ 12.459.215,15 anual é obtida quando não há restrição de demanda por produtos específicos mas apenas pela capacidade da instalação. A segunda maior margem de contribuição anual foi de R\$ 9.610.519,22 ao considerar premissas de demanda específicas, a entrada de um novo cliente e divisão da commodity madeira em serrada e compensado, sendo este o material mais rentável. O terceiro cenário de maior margem de contribuição (R\$ 9.302.343,21/ano) refere-se ao aumento de um turno na oficina de reparo de contêineres do terminal.

Além de determinar a margem de contribuição e os respectivos produtos a serem movimentados, o modelo proposto permite sugerir os tipos de operações que a empresa deve realizar para maximizar sua margem de contribuição, norteando-a sobre clientes a serem prospectados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bandeira, D. L. (2005). Alocação e movimentação de contêineres vazios e cheios: um modelo integrado e sua aplicação. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.
- Bontekoning, Y. M., C. Macharis, e J. J. Trip (2004). Is a new applied transportation research field emerging?—a review of intermodal rail-truck freight transport literature. *Transportation Research Part A: Policy and Practice* 38(1), 1–34.
- Braekers, K., A. Caris, e G. K. Janssens (2014). Bi-objective optimization of drayage operations in the service area of intermodal terminals. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 65, 50–69.
- Caris, A. e G. K. Janssens (2009). A local search heuristic for the pre-and end-haulage of intermodal container terminals. *Computers & Operations Research* 36(10), 2763–2772.
- Chou, C.-C., R.-H. Gou, C.-L. Tsai, M.-C. Tsou, C.-P. Wong, e H.-L. Yu (2010). Application of a mixed fuzzy decision making and optimization programming model to the empty container allocation. *Applied Soft Computing* 10(4), 1071–1079.
- Costa, G. A. A. (2006). Modelo de margem de contribuição aplicado ao planejamento de marketing no transporte

- marítimo regular de contêineres. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo.
- Dong, J.-X. e D.-P. Song (2009). Container fleet sizing and empty repositioning in liner shipping systems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45(6), 860–877.
- Funke, J. e H. Kopfer (2015). A neighborhood search for a multi-size container transportation problem. *IFAC-PapersOnLine* 48(3), 2041–2046.
- Guo, X., S. Y. Huang, W. J. Hsu, e M. Y. H. Low (2011). Dynamic yard crane dispatching in container terminals with predicted vehicle arrival information. *Advanced Engineering Informatics* 25(3), 472–484.
- Jeevan, J., N. Salleh, K. Loke, e A. Saharuddin (2017). 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* 7, 19–33.
- Kaveshgar, N. e N. Huynh (2015). Integrated quay crane and yard truck scheduling for unloading inbound containers. *International Journal of Production Economics* 159, 168–177.
- Laptaned, U. (2007, Maio). Developing Inland Container Depot for the Indo-China Intersection Logistics Center: Case Study of Phitsanulok Province. In *2nd International Conference on Operations and Supply Chain Management*, pp. 389 – 396.
- Lee, C.-Y. e Q. Meng (2014). *Handbook of Ocean Container Transport Logistics: Making Global Supply Chains Effective*, Volume 220. Nova Iorque: Springer.
- Myung, Y.-S. e I. Moon (2014). A network flow model for the optimal allocation of both foldable and standard containers. *Operations Research Letters* 42(6), 484–488.
- Shiri, S. e N. Huynh (2016). Optimization of drayage operations with time-window constraints. *International Journal of Production Economics* 176, 7–20.
- Song, D.-P. e J.-X. Dong (2012). Cargo routing and empty container repositioning in multiple shipping service routes. *Transportation Research Part B: Methodological* 46(10), 1556–1575.
- Sterzik, S. e H. Kopfer (2013). A tabu search heuristic for the inland container transportation problem. *Computers & Operations Research* 40(4), 953–962.
- Teixeira, R. B. e C. B. Cunha (2012). Modelo integrado de seleção de cargas e reposicionamento de contêineres vazios no transporte marítimo. *TRANSPORTES* 20(1), 59–70.
- Zhang, R., W. Y. Yun, e I. Moon (2009). A reactive tabu search algorithm for the multi-depot container truck transportation problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* 45(6), 904–914.

Patricia Bilinski (patriciabilinski@outlook.com)
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville
Rua Dona Francisca, 8300 - Bloco U - Joinville, SC
Cassiano Augusto Isler (cassiano.isler@usp.br)
Universidade de São Paulo, Escola Politécnica
Av. Prof. Almeida Prado, 83, Travessa 2 - Edifício Engenharia Civil - São Paulo, SP
Gustavo Costa (gustavo.costa@atmodal.com.br)
Aliança Transporte Multimodal, ATM
Estrada José Alves, 4184 - Itapoá, SC