



**AVALIAÇÃO DA POTENCIALIDADE DE “HUB PORTS” NA AMÉRICA DO SUL
UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR**

Rafael Henrique Rovani Ferreira

Universidade Federal de Santa Catarina

Tiago Buss

Universidade Federal de Santa Catarina

Eugenio Cavallazzi

Universidade Federal de Santa Catarina

Amir Mattar Valente

Universidade Federal de Santa Catarina

Resumo: O transporte de cargas por container é atualmente o meio mais utilizado em todo o comércio exterior a nível mundial. Características de oligopólio com alianças entre as principais armadoras contribuem para a evolução de navios cada vez maiores e terminais mais eficientes, a fim de minimizar custos logísticos. Os portos concentradores de cargas, ou *HUB ports*, tornaram-se desde os anos 90, pontos estratégicos para as operadoras de terminais portuários e armadores. O conceito encontra-se fortemente presente na Europa e Ásia, porém na América Latina, apesar de uma grande demanda em exportações e importações com estes mercados, ainda não possui um terminal genuinamente com as características de um HUB. O presente artigo discute a introdução do conceito na América do Sul, no qual foi realizado uma simulação por menor custos logísticos, para observar a competição entre portos brasileiros, o modelo utilizado foi de Programação Linear, em um problema típico de transporte considerando estações de transbordos capacitadas (portos).

Palavras-chave: *Hub Ports*, Problema de Transbordo, Programação Linear, Problema de Custo Mínimo

Abstract: *The freight transport by container is currently the most used tool in all foreign trade worldwide. Oligopoly characteristics as alliances between the major shipbuilders contribute to the evolution of increasingly large ships and more efficient terminals in order to minimize logistical costs. Since the 1990s, the HUB ports have become strategic points for operators of port terminals and shipowners. The concept is strongly present in Europe and Asia, but in Latin America, despite a great demand in exports and imports with these markets, it does not yet have a terminal that is genuinely with the characteristics of a HUB. The present paper discusses the introduction of the concept in South America, in which a simulation was performed due to lower logistic costs, to observe the competition between Brazilian ports, the model used was Linear Programming, in a typical transport problem considering transshipment stations (ports).*

Keywords: *Hub Ports, Transshipment Problem, Linear Programming, Minimum Cost Problem*



1 Introdução

O termo Hub port parte do conceito de um porto concentrador de cargas e de linhas de navegação. O termo decorre das estratégias de aumentar o tamanho dos navios, concentrar rotas e reduzir o número de escalas adotadas pelas principais companhias marítimas, tendo seu início mais expressivo a partir dos anos 90. A ligação entre os portos concentradores e os subportos é feita, através de navios em um tipo de *feeder service*.

Um exemplo é a ligação entre o Porto de Singapura e Salalah (Omã), nos quais a Maersk – SeaLand, mantém um serviço na rota Europa - Ásia. O porto de Singapura concentra os contêineres do leste asiático e o porto de Salalah os da Europa. No trecho entre Singapura e Salalah, utilizam-se navios de até 12.000 TEU's. Para realizar a ligação entre eles e os demais portos, utilizam-se navios de 2.000 TEU's em média. A partir dos sub portos, existe uma rede de infra-estrutura logística capaz de entregar o contêiner no destino final em menos de um dia. Essa rede é composta por rodovias e ferrovias, serviços de barcaça que ligam o porto ao interior através de terminais terrestres, multimodais que permitem a integração de diferentes meios de transporte e portos secos.

Para melhor utilizar sua capacidade limitada, as empresas de transporte, entre outras coisas, forjaram alianças estratégicas, serviços compartilhados e serviços concentrados em apenas alguns nós (Alderighi et al., 2007). A rede *hub-and-spoke* é um exemplo, ele consiste em alguns hubs que servem como nós de conexão ou centrais com muitos alimentadores ligados a outros nós, principalmente através do hub: essa rede ponto-a-ponto oferece links diretos para outros nós e irradia a partir de uma base (Gelareh e Nickel, 2011). Desde a introdução de contêineres padronizados no transporte marítimo, a rede *hub-and-spoke* mudou a distribuição geográfica dos serviços de transporte marítimo, de uma região ou nação, para a escala global e agora promove a atividade de transbordo em portos próximos à interseção do mar principal, rotas, ou onde os principais fluxos de tráfego de contêineres entram nas rotas alimentadoras (Talley, 2002). Além disso, a ampliação contínua dos próprios box de contêineres induziu a divisão dos portos de contêineres em portos de conexão e de alimentação (Yeo, 2010; Nam e Song, 2011).

Embora a rede *hub-and-spoke* tenha estratificado portos de contêineres em alguns hubs e numerosos portos *feeders* (alimentadores), o status de um porto contêiner pode ser diversificado de um periférico para um porto de hub global de acordo com seu status em redes de navegação, interior redes e cadeias logísticas fornecidas ao redor do porto. Hoje em dia, um porto de contêineres em uma rede alimentadora, como o porto de Chongqing, na China, pode ser um ator importante em redes internas e cadeias logísticas (Trip e Bontekoning, 2002; Notteboom, 2012); e um porto de transbordo puro nas principais rotas marítimas, semelhante ao porto de Tanjung Pelepas, na Malásia, pode funcionar bem sem redes internas (Zeng e Yang, 2002; Nishimura et al., 2009; Petering, 2009). Além disso, a containerização do sistema de transporte e a desregulamentação das indústrias de transporte fomentaram o transporte intermodal de contêineres e a diversificação de redes de navegação, redes terrestres e cadeias logísticas em torno dos portos de contêineres (Talley, 2002; Nam e Song, 2011).

Dado que as medições do status do hub para portos, aeroportos e estações rodoviárias e ferroviárias assumem principalmente que o hub em redes de transporte desempenha a função de conectar junções entre rotas de transporte nos mesmos modos de transporte, as principais medições e índices também tendem a se concentrar na avaliação do hub status dos nós dentro do mesmo modo de transporte,



que poderia ser rede de transporte marítimo, rede de transporte aéreo, rede ferroviária ou rede de comunicação pessoal (Freeman et al., 1991; Burghouwt e Wit, 2005; Low et al., 2009).

Quando os analistas tentam medir a acessibilidade de um porto ou de um nó de transporte, eles tentam medir a conexão de um porto ou de um nó de transporte ao seu interior (Bergqvist e Tornberg, 2008; Bok, 2009; Thill e Lim, 2010). A avaliação da acessibilidade é útil, por exemplo, ao avaliar a conectividade ou a centralidade do modo de transporte único, mas é insuficiente na avaliação do transporte intermodal e nos casos em que um porto possui várias redes de transporte nas proximidades. Portanto, a avaliação de acessibilidade não pode ser usada como um indicador integral para o status do hub de um terminal de contêineres da mesma forma que o índice de acessibilidade do porto pode ser usado para avaliar um único modo de transporte (Cullinane e Wang, 2009). Se um nó funcionar como um player de múltiplas funções, como uma porta contêiner no transporte intermodal, uma medição e um índice podem ser mais eficazes ao considerar e avaliar as funções intermodais de um hub port.

2 Hub ports na América Latina e Caribe

Na América Latina, observa-se que apesar do Porto de Santos ainda ser o maior movimentador no setor unitizado por conta, Brasil (3,645,448 TEU's), os portos panamenhos de Colón e Balboa aparecem logo em seguida com movimentações de 3,577,427 TEU's e 3,294,113 TEU's respectivamente, onde apresenta uma alta taxa de transbordo, principalmente em decorrência da localização geográfica estratégica, unindo os Oceanos Atlântico e Pacífico por seu canal. Os portos sul americanos de Cartagena e Barranquilla na Colômbia, e de Callao no Peru também tem uma incidência de transbordo média (entre 25% e 50%), enquanto em Buenos Aires esse índice chega a mais de 50%. No Brasil, o único porto que aparece uma taxa considerada significativa ainda é o porto de Santos, porém é menor que 25%. Outros casos que também valem citar são o Porto de Manzanillo, no México, que além de ser o quinto mais movimentado da América Latina também opera com um índice de transbordo médio, e os portos de Kingston na Jamaica, importante porto concentrador de cargas da América do Norte e do Sul para distribuição em rotas para a Europa que também opera com índice de transbordo superior aos 75%, e o Porto de San Juan em Porto Rico, com transbordo alto (50% a 75%). A recente criação de “mega-alianças” entre as grandes armadoras a exemplo da 2M (Maersk e MSC), O3 (CMA CGM, China Shipping, UASC), G6 (NYK, Hapag-Lloyd, OOCL, APL, HMM e MOL), e CKYHE (COSCO, K-Line, Yang Ming, Hanjin e Evergreen) é outro fator que condiciona as rotas de transporte containerizado a navios cada vez maiores (Yang, 2016).

Até alguns anos atrás, os sistemas portuários nos países da América Latina e Caribe eram caracterizados por portos controlados e centralizados, onde o governo nacional era responsável pela construção, manutenção, administração e operação (Silva, 2008). O setor teve um número de características que a tornaram desfavorável ao comércio internacional, como baixos níveis de investimentos; baixa qualidade de serviços, equipamentos e instalações; e altas tarifas portuárias. Segundo Hoffmann (2000), os portos latino-americanos eram ineficientes e caro, agravado por um regime trabalhista específico que, em vez de atender a considerações comerciais, foi moldado por fatores históricos e poder sindical. Consequentemente, os governos não tinham muito interesse na eficiência portuária, uma vez que essas infraestruturas eram vistas como barreiras não-tarifárias à concorrência estrangeira. Além disso, em alguns casos são um meio de concessão de favores políticos e criação de emprego. Inicialmente,



apesar do início das reformas portuárias, os avanços tecnológicos não foram incorporados para evitar demissões. Como tal, o regime de trabalho portuário não foi alterado mesmo quando a guindastes estendidos e contêineres foram adquiridos. A necessidade de trabalho em equipe no setor portuário foi favorável à sindicalização. Dado o alto impacto que suas ações tiveram na atividade comercial, os sindicatos possuíam certo grau de poder. Em geral, as reformas ocorreram da seguinte forma: reforma legal, descentralização, liberalização, participação privada e regulamentação.

Na América Latina, 97,5% dos projetos de privatização de transportes foram materializados em contratos de concessão. De acordo com Estache e Trujillo (2004, 2008), a participação privada está associada a melhorias na tecnologia, produtividade e qualidade de serviços. Em particular, a lucratividade aumentou em mais de 40% em países como México, Argentina ou Peru. O governo e as empresas compartilharam ganhos de eficiência, mas estes não fluíram para os usuários. Uma política de preços máximos levou a um aumento no custo de capital e tarifas. No setor portuário, a participação privada e a modernização foram incentivadas e, na década de 1990, o valor total dos investimentos igualou o mesmo montante nos quatro anos anteriores (Hoffmann, 2000).

A privatização fez parte da tendência global de implementação de um novo modelo, o chamado porto senhorio, no qual a propriedade permanece o setor público e o setor privado fornecem serviços por meio de concessões. Este modelo favoreceu a liberalização dos serviços e a re-regulação nos casos em que era necessário, por exemplo, serviços com características de monopólio natural. A modernização da infraestrutura e da superestrutura também foi incentivada, e a administração orientada para a satisfação dos interesses sociais e políticos mudou para uma ênfase na obtenção de benefícios econômicos. Hoffmann (2000) sugeriu que empreender reformas no setor não implica necessariamente alteração do regime trabalhista. No entanto, as questões trabalhistas são vistas como afetando o ambiente para o investimento privado e, portanto, o estabelecimento de novos modelos portuários. Países como o Chile ou o Panamá (em oposição ao Brasil) envolveram representantes trabalhistas no processo de reforma e transformação industrial.

As primeiras reformas portuárias ocorreram no Chile (1981), Colômbia e Venezuela (1991), Argentina, México e Uruguai (1992), Brasil (1993) e Panamá (1994). Em seu estudo sobre o processo de reforma, mais de uma década depois, Sanchez (2004) elaborou uma classificação dos países da região divididos em quatro grupos: países com participação privada nos principais portos; países que estão se movendo para o modelo de holding privada; países com participação privada parcial; países com portos públicos.

O primeiro grupo é composto de países que obtiveram ganhos substanciais em investimento e eficiência (Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Cuba, México, Panamá, Paraguai e Uruguai). Os países do segundo grupo (Costa Rica, Equador e El Salvador, entre outros) são aqueles que estão realizando mudanças estruturais, seguindo a experiência do primeiro grupo. Os países do terceiro grupo mantêm a gestão e o planejamento nas mãos do setor público. No entanto, eles promoveram reformas trabalhistas que contribuíram para um papel ampliado do setor privado, por exemplo, em relação à estiva. No quarto grupo estão os países que não realizaram um processo de reforma portuária. Segundo Hoffmann (2000), os ganhos líquidos dessas reformas são percebidos como positivos, pois deram origem a um maior e concorrência intra-portuária associada ao aumento do número de operadores.

A introdução de portos de iniciativa privada expandiu o número de terminais para sete em Buenos Aires, embora um deles mais tarde tenha falido. No Panamá,



quatro terminais competiram principalmente para carga em *transshipment*. Em Santos, a introdução da concorrência causou redução de custos e aumento de produtividade. No geral, houve também um aparente aumento no tráfego, redução nos preços operacionais e melhoria no desempenho (tempo e qualidade dos serviços). No entanto, algumas questões permanecem sem solução quanto ao acesso e conexões com sistemas de transporte intermodal, proteção ambiental, regulamentos e procedimentos alfandegários (Sanchez, 2004).

A indústria portuária da América Latina/Caribe já mostrou crescimento em termos do número de contêineres movimentados. O transporte marítimo apresenta agora uma rede radial em torno de portos centrais, principalmente portos de transbordo, estrategicamente selecionados por companhias de navegação que distribuem a carga em uma rede de transporte secundária. Além disso, o tráfego foi transferido do leste para a costa oeste da América Central.

3 Evolução dos navios porta-contêineres

Existem vários parâmetros que afetam a receita e o custo dos armadores. A frota de navios é obviamente uma entrada importante para o processo de produção. Por um lado, determina a capacidade de transporte e, por sua vez, a receita do operador. Por outro lado, uma grande quantidade de dinheiro é necessária para investir no mais caro conjunto de armadoras, bem como para organizar a rede.

O tamanho do navio está entre os fatores mais influentes nas despesas de envio. Navios pequenos podem ser limitados em mercados regionais ou alimentadores de curta distância, onde os grandes precisam ser implantados em corredores de longo curso. A utilização de slots mede o número de carregamentos de TEUs por lote de navios e é equivalente à razão entre o volume de embarque e a capacidade da frota. Um valor mais alto significa a maior implantação da frota, onde menor é o nível de redundância.

O preço do petróleo contribui significativamente para o custo de transporte. Nos últimos anos, a escalada do item tornou-se um grande desafio para o setor. A sobretaxa em cima do combustível é uma solução das armadoras para compensar o dispendioso custo do combustível, obtendo uma receita extra. A taxa de frete pode ser vista como um termômetro do mercado ou revela o equilíbrio entre oferta e demanda. Não só influencia a renda das transportadoras, mas também suas estratégias operacionais. A alta taxa de frete pode incentivá-los a usar serviços mais rápidos para diminuir o tempo de trânsito e aumentar a oferta de remessa.

A principal questão discutida na pesquisa de Tran e Haasis em 2015 é como a capacidade da frota e o tamanho do navio influenciam sua receita e custo (total e unidade). Para respondê-lo, assumimos que as variações de receita e custo dependem das variações dos dois parâmetros, bem como da utilização e condições de mercado (preço do petróleo e taxa de frete), no qual modelos de regressão múltipla foram construídos para estabelecer as relações entre as variáveis explicativas e de saída.

No início da década de 1970, a frota mundial incluía 166 navios, totalizando 126.267 TEUs (Gibney, 1981). Após uma década, foram 2565 navios com capacidade combinada de 1,53 milhão de TEUs. Desenvolveu-se em 4772 navios (3,17 milhões de TEUs) em 1990 e 7093 navios (6,54 milhões de TEUs) em 2000. Em 2014, a classe consistia em 8337 navios (18,9 milhões de TEUs). Nos últimos 32 anos, a capacidade da frota aumentou em média 8,3% ao ano, quase dobrando a cada década. Contribuindo o máximo para o desenvolvimento da frota estão os Fully cellular container (FCC). De 1982 a 2014, suas capacidades cresceram quase 26 vezes em



comparação com apenas 1,8 vez de No-Fully cellular container (NFCC). Em 2014, os navios da FCC representam cerca de 92% da capacidade total; o resto inclui os da NFCC, como ro-ros (abreviação para “Roll-on/Roll-off”, navios que transportam sobretudo veículos), semi container e break bulk ships. Antes de 1990, a frota mundial tinha sido dominada pelos navios do NFCC, mas os FCC tornaram-se esmagadores desde então. Nas últimas três décadas, a capacidade do NFCC aumentou, em média, apenas 3,2% ao ano, enquanto que o valor foi de 11% para a capacidade do FCC. Além disso, o crescimento da frota da NFCC tornou-se mais e mais pequeno. A média anual de crescimento foi de 8,73% nos anos 80, para 2,28% nos anos 90 e 1,64% nos anos 2000. Pelo contrário, a frota da FCC manteve um desenvolvimento estável com esses indicadores de mais de 10% em cada período.

Em harmonia com a expansão da escala da frota, foi a vez do tamanho do navio. O tamanho médio foi de 596 TEUs em 1982 para 2256 TEUs em 2014. Os navios da NFCC foram limitados em relação ao crescimento de tamanho. Os maiores navios têm estado frequentemente abaixo de 3000 TEUs, uma vez que o tamanho médio tem sido frequentemente inferior a 500 TEUs. Em contraste, não houve restrição para navios da FCC. Entre 1980 e 2014, o tamanho médio dos navios da FCC aumentou de 997 TEUs para 3394 TEUs, com um crescimento médio de 3,89% ao ano. Na década de 2000, o valor era de 5,23% em comparação com 3,21% na década de 1980 e 2,92% na década de 1990.

O desenvolvimento da containerização testemunhou o surgimento de novas gerações de navios da FCC. Os Handy ships (1000–1999 TEUs) desenvolveram-se fortemente desde o final dos anos 60. Os navios sub-panamax (2000–2999 TEUs) e panamax (3000–4500 TEUs) surgiram no início dos anos 70. A geração de post-panamax começou no final dos anos 80 e acelerou desde meados dos anos 90. Desde a década de 2000, a frota de mais de 8000 TEUs experimentou um crescimento substancial. Hoje, a classe Post-panamax representa 55% da capacidade do FCC, em que menos de 8.000 TEUs jogam 21%, enquanto os maiores, 34%. Os navios panamax representam 21,2% da capacidade de carga global e ocupam o segundo lugar. As porções de sub-panamax e Handy são mais ou menos as mesmas, 9,9% e 9,7%, respectivamente. Os navios alimentadores (menos de 1000 TEUs) são o menor grupo com a participação de 4,2% (Tran e Haasis, 2015).

Sizes of modern container ships and the requirements for STS cranes.

| Containership generation | Ship name (Year launched) | Capacity (TEU) | Dimensions (metres) LOA × Beam × draft | Arrangements (rows) under-below-across |
|-----------------------------------|---------------------------|----------------|--|--|
| Panamax-Max | ZIM Savannah | 5070 | 294 × 32 × 12.5 | 8-6-13 |
| Post Panamax | Hamburg S,d | 5900 | 287 × 40 × 10 | 9-5-16 |
| | Rio Negro Sovereign | 8500 | 347 × 44 × 11.8 | 9-6-18 |
| New Panamax | Maersk (1997) | | | |
| | COSCO Oceania (2006) | 10,062 | 349 × 45.6 × 11.5 | 10-6-19 |
| | MSC Danit (2009) | 14,000 | 366 × 51 × 16 | 10-6-20 |
| ULCS: ultra-large container ships | Emma Maersk (2006) | 15,500 | 397 × 56.4 × 15.5 | 10-6-22 |
| | Maersk triple E (2013–15) | 18,000 | 400 × 59 × 17.5–18 | 13-8-23 |

Figura 1: Tamanho dos navios por classe
Fonte: Bichou, 2013.



4 A era dos *ultra-large container ships*

O aparecimento da nova frota da APL mudou virtualmente a mentalidade da indústria sobre o desenvolvimento de navios e anunciou a era pós-panamax, na medida em que a capacidade da nave aumentou continuamente. Os termos “ultra large container ship” e “mega containership” têm sido amplamente utilizados para implantar novos navios com uma capacidade muitas vezes superior a 10.000 TEUS.

O conceito de geração Malacca-Max começou a ser proposto por Wijnolstetal em 1999. Um navio Malacca-max poderia transportar 18.000 TEUs com uma redução de custos de 16% sobre um 8000 TEU. Tem o comprimento de 400m, largura de 60m e calado de 21m. Essas dimensões são restritas pelas condições operacionais do Estreito de Malaca e do Canal de Suez, que são as duas posições estratégicas na rota Leste-Oeste. A antiga restrição permite apenas que os navios com calado máximo de 21 m realizem o trajeto, enquanto o último apenas facilita os navios com largura máxima de 60 m. Em 2006, o Emma Maersk foi lançado e marcou a era dos ultra large container ships com capacidade para 15.500 TEUs. No início de 2011, a Maersk Lines notificou uma encomenda para 10 navios da sua nova série Triple E de 18.000 TEUs no valor de US\$ 1.9 bilhões, com opção de 20 navios a mais nos próximos anos. O primeiro navio foi lançado em meados de 2013.

Os navios Triple E são atualmente os maiores, mais longos e amplos, tornando-se a nova referência em tamanho no transporte de liners. Eles pretendem ser economia de escala, eficiência energética e melhoria ambiental. Seu custo unitário de transporte é 26% menor do que os atuais navios de grande porte em serviço. Além disso, a emissão de CO₂ por contêiner pode ser reduzida em mais de 50% em comparação com a média da indústria na rota Ásia-Europa.

Entre 2006 e 2013, 182 mega navios (o equivalente a 2,33 milhões de TEUs) aderiram à frota mundial. Até 2016, 113 novos ULCS (1,6 milhões de TEUs) representando mais de 47% da capacidade global de novos edifícios serão entregues (Drewry, 2013). Apesar disso, o tamanho dos navios podem aumentar continuamente sem sinais de que a tendência cessará, com novas fronteiras de tamanho surgindo na mesma escala. O maior navio tinha menos de 2.000 TEUs no início dos anos 70, menos de 5000 TEUs no início dos anos 90, hoje são 18.000 TEUs. Em termos de técnica, talvez não haja restrições para novas séries de portadores de caixas gigantes. Como afirmado por Payer (2002), desafios técnicos de mega navios poderiam ser enfrentados por projetistas e engenheiros, uma vez que o setor apresenta crescimento equivalentes a uma possível demanda. (Tran e Haasis, 2015).

5 Metodologia utilizada

Para a resolução do problema proposto, aplicou-se o método de Fluxo de Custo Mínimo por programação linear, em situação de transbordo de cargas em um problema de transportes. O esquema avaliado é apresentado na figura que segue.

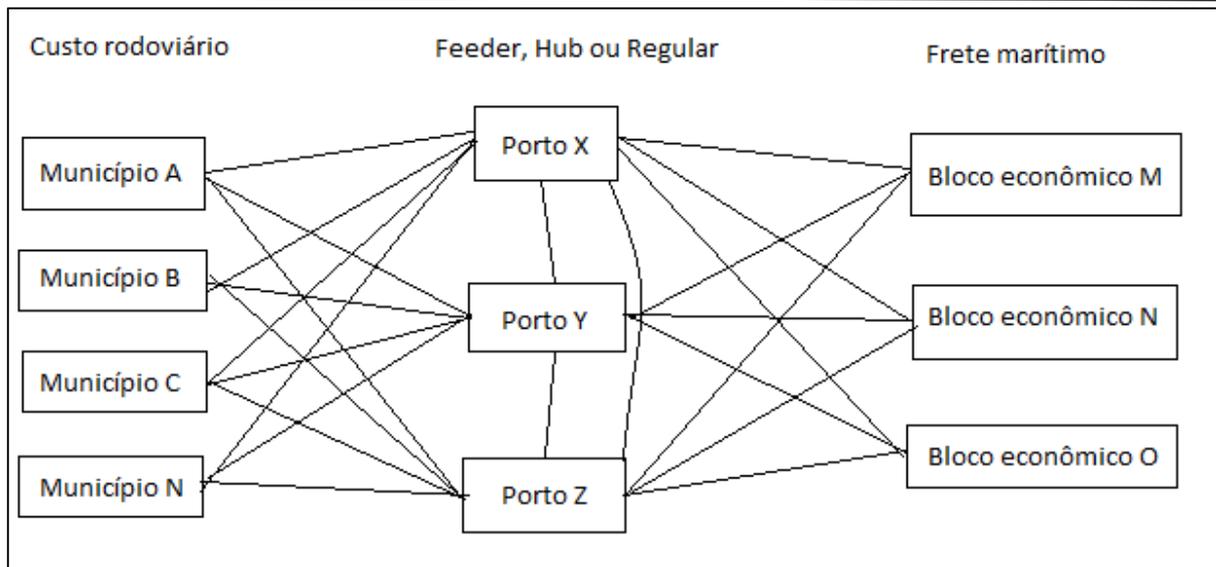


Figura 2: Esquema do problema de fluxo por custo mínimo considerado no modelo
Fonte: Elaboração própria

No modelo foi assumido que as demandas de Exportação e Importação de produtos, via contêineres são disponíveis e os mercados consumidores são conhecidos. Para isso utilizou-se o fluxo de comércio exterior do Brasil para o ano de 2017, como base com os dados da AliceWeb, da Secretaria de Comercio Exterior do Brasil.

Considerou-se como unidade de avaliação de custos, o valor estimado para transportar uma unidade de contêiner, seja em operações de transporte rodoviário, de transbordo nos terminais portuários, de transporte feeder e regular de navegação. Os custos referenciais por quilometragem foram considerados conforme os dados do Plano Nacional de Logística Portuária para os fretes rodoviários e transbordo, já para os fretes marítimos utilizou-se a plataforma digital de cotação de fretes worldfreightrates.com.

Foram feitas as seguintes entradas e conjuntos:

i = conjunto de locais da origem ou destino da demanda de carga, seja de exportação ou importação, sendo os municípios brasileiros que realizam comércio exterior;

j = conjunto de blocos econômicos importadores ou exportadores para o Brasil;

p = conjunto de portos, que são estações de transbordo, podendo atuar como serviços regulares de linhas de contêineres como para atendimento no modelo de Hub Port;

ij = quantidade ofertada e demanda na matriz de origens e destinos dada pelo problema com dados observados em 2017 do comércio exterior brasileiro;

U_p = capacidade dos portos (P) avaliados no sistema;

C_{ip} = custo entre os arcos entre os municípios da hinterlândia brasileira até os portos, passando entre o descolamento de i a p , podendo utilizar ou não portos no sistema Hub Port;

C_{pj} = custo entre os arcos dos portos brasileiros aos portos do exterior que representam os blocos econômicos, passando entre o descolamento de p a j , podendo utilizar ou não portos no sistema Hub Port;

A modelagem prevista de forma linear, é a que segue:

$$\text{Min} \sum_{(ip) \in A} C_{ip} X_{ip} + \sum_{(pj) \in A} C_{pj} X_{pj}$$



Sujeito a:

$$\left(\sum_{p: (ip) \in A} X_{ip} + \sum_{j: (pj) \in A} X_{pj} \right) - \left(\sum_{p: (jp) \in A} X_{jp} + \sum_{i: (pi) \in A} X_{pi} \right) = bi \quad \forall i \in N$$
$$Up_{ip} \geq X_{ip} \quad \forall (i, j) \in A$$
$$\sum_i^n bi = 0$$

Como pode ser observado no modelo, o mesmo minimiza os custos entre os arcos que ligam os municípios de origem ou destino de cargas, interligados aos blocos econômicos. Considera-se como estação de transbordo os portos, podendo ser utilizados serviços regulares de navios de contêineres, ou simular através de alterações de custos nos arcos serviços de Hub Port. O modelo é capacitado, uma vez que atribui o valor máximo que poderá passar em unidades de contêineres nos portos considerados na modelagem. A capacidade é atribuída considerando o máximo anual que tais portos poderiam movimentar, seguindo o cálculo apresentado a seguir:

$$C = J \times Cn$$

Onde:

C = Capacidade anual em número de contêineres a serem movimentados no porto;

J = número de janelas de atracação disponíveis no porto para atracação de navios, considerando os berços disponíveis nos terminais;

Cn = Consignação máxima dos navios que frequentam o porto, diferenciando para feeder, regular ou hub port.

Os portos brasileiros considerados na avaliação foram 13, sendo: Manaus, Vila do Conde, Pecém/Fortaleza, Suape, Salvador, Vitória, Rio de Janeiro/Itaguaí, Santos, Paranaguá/Pontal, Itapoá, Itajaí/Portonave, Imbituba e Rio Grande. A simulação considerou que os portos que eram Hub foram Santos, Paranaguá/Pontal e Suape.

Quanto aos municípios considerados na área de hinterlândia dos portos, foram 2460 ao total, de acordo com as informações obtidas juntos a AliceWeb. Já os blocos econômicos foram considerados os 5 maiores que representaram 86% da movimentação brasileira de cargas com o exterior via portos marítimos e de contêineres, sendo: Ásia, Europa, América do Norte, África e Oriente Médio.

Quanto aos custos de transportes, na simulação considerou-se os seguintes valores: fretes de navegação tipo feeder considerando transbordo: \$/NM 2,57; Navios classe ULCS para Hubs Ports o valor de \$/NM 0,33; já para serviços regulares o valor considerado foi de \$/NM 0,47. Já os custos rodoviários, considerou-se 1,66 \$/km.

6 Resultados obtidos

Foram simulados os dados de 2017 de comércio exterior do Brasil, para que fosse possível verificar a eficiência do modelo. O resultado de saída do mesmo é se a utilização de Hubs Ports resultaria em redução dos custos Globais do sistema portuário e logístico nacional. Para tanto comparou-se um cenário mantendo os padrões atuais de movimentação, e outro considerando os portos de Suape, Santos e Paranaguá como Hub Ports, ampliando assim suas capacidades de movimentação de cargas e a redução dos custos de fretes marítimos (cabe destacar que há ampliação no custo de transbordo por haver uma operação a mais no terminal caso seja utilizado como hub port). As análises comparativas entre as alocações por menor custo são apresentadas a seguir:



| Porto | Contêineres alocados sem considerar HUBs (%) | Custo médio do sistema – sem HUBs (\$/container) | Contêineres alocados considerando HUBs (%) | Custo médio do sistema – considerando HUBs (\$/container) | Diferença no custo médio do sistema (\$/container) |
|------------------------|--|--|--|---|--|
| Manaus | 3,16% | \$ 5.166,82 | 1,18% | \$ 4.528,20 | 87,64% |
| Vila do Conde | 2,73% | \$ 2.841,63 | 1,48% | \$ 2.816,86 | 99,13% |
| Pecém/Fortaleza | 3,37% | \$ 3.284,61 | 1,24% | \$ 2.780,45 | 84,65% |
| Suaape | 2,42% | \$ 2.874,70 | 5,02% | \$ 2.905,83 | 101,08% |
| Salvador | 3,69% | \$ 3.650,89 | 1,47% | \$ 3.033,32 | 83,08% |
| Vitória | 2,73% | \$ 3.430,01 | 1,17% | \$ 2.444,89 | 71,28% |
| Rio de Janeiro/Itaguaí | 5,71% | \$ 3.519,65 | 0,03% | \$ 1.904,67 | 54,12% |
| Santos | 43,37% | \$ 4.016,55 | 61,51% | \$ 3.105,06 | 77,31% |
| Paranaguá/Pontal | 15,38% | \$ 3.897,10 | 17,71% | \$ 2.632,63 | 67,55% |
| Itapoá | 3,08% | \$ 3.393,04 | 2,95% | \$ 2.962,57 | 87,31% |
| Itajaí/Navegantes | 4,83% | \$ 3.982,71 | 3,34% | \$ 3.240,80 | 81,37% |
| Imbituba | 2,22% | \$ 3.995,67 | 0,02% | \$ 2.047,98 | 51,25% |
| Rio Grande | 7,31% | \$ 3.697,29 | 2,88% | \$ 3.378,30 | 91,37% |
| TOTAL | 100,00% | \$ 3.847,76 | 100,00% | \$ 3.063,40 | 79,62% |

Tabela 1: Análise comparativa entre o modelo de minimização de custos considerando Hub Port ou como o modelo atual

Como pode ser observado na Tabela 1, a consideração dos portos como Hub de Santos, Paranaguá e Suaape, acabam por promover uma melhor utilização das infraestruturas logísticas, tendendo a promover a redução dos custos globais em 79,62%. Isso é decorrência da redução das assimetrias de custos provocadas principalmente pela utilização excessiva do modal rodoviário, e da falta de disponibilidade de linhas de contêineres para todos os portos do Brasil. Com o conceito de Hub portos, todos os demais portos passariam a se conectar de forma eficiente com qualquer serviço de longo curso.

Pelos padrões de custos considerados na modelagem, os mesmos se mostraram eficientes. Para tanto, essa simulação é apenas um exemplo para validação do modelo lógico. Entende-se que os próximos passos, seriam a simulação diversas opções de Hubs, até se encontrar as de melhores alternativas de menor custos, podendo ser pela análise de sensibilidade, ou ampliando este próprio modelo em número de variáveis, adicionado mais portos como Hubs.

7 Considerações finais

Nesse trabalho foi apresentado um modelo para a solução do problema de programação linear capacitado por menos custos considerando estações de transbordos, para movimentação de contêineres em rotas internacionais de cargas. Tal modelo se presta a aplicação em casos reais, dada sua eficiência em encontrar a solução de um problema de otimização combinatória em tempo computacional razoável, auxiliando planejadores portuários a melhor utilização e dimensionamento de recursos para infraestrutura de portos de contêineres de grande profundidade e eficiência operacional.

O modelo se propõe a avaliar as melhores alternativas para formação de Hub Ports, dado um montante de movimentação de cargas anual, e as infraestruturas portuárias disponíveis. Com tal modelo é possível simular as diversas possibilidades de portos a serem utilizados na movimentação de navios do tipo ULCS, e verificar os menores custos globais do sistema portuário nacional de forma geral.

As simulações realizadas para verificar a eficiência do modelo, e sua aplicabilidade, foram de 325.260 variáveis, com restrições de capacidade para 13 estações de transbordo, em um modelo de equilíbrio ótimo balanceado entre oferta e demanda. O tempo aproximado de execução foi de 12 horas, considerando 8 processadores simultâneos de alta performance.



REFERÊNCIAS

Akhavan, M. (2017). Development dynamics of port-cities interface in the Arab Middle Eastern world - The case of Dubai global hub port-city. **Cities**, 60, 343–352. <http://doi.org/10.1016/j.cities.2016.10.009>

Álvarez-SanJaime, Ó., Cantos-Sánchez, P., Moner-Colonques, R., & Sempere-Monerris, J. J. (2015). The impact on port competition of the integration of port and inland transport services. **Transportation Research Part B: Methodological**, 80, 291–302. <http://doi.org/10.1016/j.trb.2015.07.011>

Asgari, N., Farahani, R. Z., & Goh, M. (2013). Network design approach for hub ports-shipping companies competition and cooperation. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 48, 1–18. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2012.10.020>

Bichou, K. (2013). An empirical study of the impacts of operating and market conditions on container-port efficiency and benchmarking. **Research in Transportation Economics**, 42(1), 28–37. <https://doi.org/10.1016/j.retrec.2012.11.009>

Bottasso, A., Conti, M., de Sa Porto, P. C., Ferrari, C., & Tei, A. (2018). Port infrastructures and trade: Empirical evidence from Brazil. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 107(July 2017), 126–139. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.11.013>

Cheng, M. C. B., & Wang, J. J. (2016). An integrative approach in measuring hub-port supply chain performance: Potential contributions of a logistics and transport data exchange platform. **Case Studies on Transport Policy**, 4(2), 150–160. <http://doi.org/10.1016/j.cstp.2016.03.001>

Czerny, A., Höffler, F., & Mun, S. il. (2014). Hub port competition and welfare effects of strategic privatization. **Economics of Transportation**, 3(3), 211–220. <http://doi.org/10.1016/j.ecotra.2014.06.002>

Drewry, 2000–2013. Annual Container Market Review and Forecast. Drewry Shipping Consultants, London.

Guo, L., Yang, D., & Yang, Z. (2018). Port integration method in multi-port regions (MPRs) based on the maximal social welfare of the external transport system. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 110(September 2017), 243–257. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2017.09.008>

Ko, S., Shabanpour, R., & Mohammadian, A. (2017). Behaviors of containerized freight shipments. **Transportation Research Procedia**, 25, 1095–1108. <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.481>

Low, J. M. W., Lam, S. W., & Tang, L. C. (2009). Assessment of hub status among Asian ports from a network perspective. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 43(6), 593–606. <http://doi.org/10.1016/j.tra.2009.04.004>

Park, Y. A., & Medda, F. (2015). Hub Status and Indexation of Container Ports. **Asian Journal of Shipping and Logistics**, 31(2), 253–272.



<http://doi.org/10.1016/j.ajsl.2015.06.005>

Payer, H.-G., 2002. Economic and technical aspects of mega-container carriers. In: Proceedings of the IAME Conference. Panama, Panama.

Pérez, I., Trujillo, L., & González, M. M. (2016). Efficiency determinants of container terminals in Latin American and the Caribbean. **Utilities Policy**, 41, 1–14.

<https://doi.org/10.1016/j.jup.2015.12.001>

Serebrisky, T., Sarriera, J. M., Suárez-Alemán, A., Araya, G., Briceño-Garmendía, C., & Schwartz, J. (2016). Exploring the drivers of port efficiency in Latin America and the Caribbean. **Transport Policy**, 45, 31–45.

<https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.09.004>

Song, D. P., Lyons, A., Li, D., & Sharifi, H. (2016). Modeling port competition from a transport chain perspective. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 87, 75–96. <http://doi.org/10.1016/j.tre.2016.01.001>

Sugawara, J. (2017). Port and hinterland network: A case study of the Crescent Corridor intermodal freight program in the US. **Transportation Research Procedia**, 25, 916–927. <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.466>

Takebayashi, M. (2018). Managing airport charges under the multiple hub network with high speed rail: Considering capacity and gateway function. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, (xxxx), 0–1.

<http://doi.org/10.1016/j.tra.2018.01.011>

Wang, C., Ducruet, C., Wang, W., 2015. Port integration in China: Temporal pathways, spatial patterns and dynamics. **Chinese Geographical Science**. 25 (5), 612–628. <http://dx.doi.org/10.1007/s11769-015-0752-3>.

Wang, J. J., & Cheng, M. C. (2010). From a hub port city to a global supply chain management center: a case study of Hong Kong. **Journal of Transport Geography**, 18(1), 104–115. <http://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2009.02.009>

Wanke, P., & Falcão, B. B. (2017). Cargo allocation in Brazilian ports: An analysis through fuzzy logic and social networks. **Journal of Transport Geography**, 60, 33–46. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2017.02.006>

Yang, Y. C., & Chen, S. L. (2016). Determinants of global logistics hub ports: Comparison of the port development policies of Taiwan, Korea, and Japan. **Transport Policy**, 45, 179–189. <http://doi.org/10.1016/j.tranpol.2015.10.005>

Zeng, Q., Wang, G. W. Y., Qu, C., & Li, K. X. (2017). Impact of the Carat Canal on the evolution of hub ports under China's Belt and Road initiative. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**.

<http://doi.org/10.1016/j.tre.2017.05.009>

Zhoua, X., Chen, X., & Shao, L. (2017). Study on the Optimization of Collection and Distribution System of Freight Hub Ports: Illustrated by the Case of Shanghai International Shipping Center, China. **Transportation Research Procedia**, 25, 1126–1136. <http://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.125>