

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MARCO ANTONIO SBALQUEIRO

**PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE MARÍTIMO DE EXPORTAÇÃO
DE ALIMENTOS UTILIZANDO O MODELO MATEMÁTICO
CLÁSSICO DE TRANSPORTE**

CURITIBA

2016

MARCO ANTONIO SBALQUEIRO

**PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE MARÍTIMO DE EXPORTAÇÃO
DE ALIMENTOS UTILIZANDO O MODELO MATEMÁTICO
CLÁSSICO DE TRANSPORTE**

Artigo apresentado como requisito parcial à conclusão do Curso de Gerenciamento de Sistemas Logísticos, do Setor de Administração da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Cassius Tadeu Scarpin

**CURITIBA
2016**

Planejamento de transporte marítimo de exportação de alimentos utilizando o modelo matemático clássico de transporte

Marco Antônio Sbalqueiro

RESUMO

Neste artigo, propõe-se a adaptação e a aplicação do modelo matemático clássico de transporte no planejamento mensal da exportação marítima de contêineres de uma empresa brasileira do setor alimentício. O objetivo consiste em minimizar os gastos com o frete marítimo e identificar outras características para esta operação logística através da comparação de resultados reais com os resultados propostos, em um período de três meses. Além disto, o modelo permite fornecer cenários para suporte à decisão dos gestores. Para tanto, foi desenvolvida uma pesquisa exploratória de natureza quantitativa. O aplicativo *Solver* do *Microsoft Excel*[®] foi escolhido como a ferramenta para o desenvolvimento da programação, o qual utiliza o método *Simplex*. A análise dos resultados comprovou uma economia financeira acumulada no período da ordem de R\$ 1,5 milhões, além de ganhos gerenciais que validam a utilização do modelo clássico de transporte e a aplicação da pesquisa operacional como ferramenta de suporte à tomada de decisão sobre o processo de planejamento.

Palavras chave: Minimização do frete. Modelo Clássico de Transporte. Planejamento de Transporte. Pesquisa Operacional. Exportação Marítima.

1 INTRODUÇÃO

O transporte marítimo de exportação, ou, de longo curso, realizado por armadores, pessoas jurídicas estabelecidas e registradas em um determinado país, ocorre em oceanos e mares, com a operação de navios de grande porte, a fim de conduzir diversos tipos de carga entre portos de diferentes países, explorando rotas definidas (BANDEIRA et al., 2010).

O transporte de cargas tem grande importância para um país, não só quando é medido pelo critério da sua quota de participação no produto interno bruto do

mesmo, mas, também, pela influência crescente que o transporte de bens exerce sobre o desempenho de praticamente todos os setores da economia (CRAINIC E LAPORTE, 1997; MELACINI et al., 2013).

Com o passar dos anos, em referência à movimentação de cargas de longo curso vinculadas ao comércio exterior, o Brasil tem mantido o nível de crescimento das exportações como um reflexo das condições econômicas favoráveis para exportação e do seu posicionamento em relação às demais nações do mundo. As exportações são predominantemente *commodities* agrícolas e minerais (50%) e manufaturados (47,2%) (BANDEIRA et al, 2010).

No contexto empresarial, o transporte de cargas está integrado aos processos de logística, exercendo a função de ser um dos elos fundamentais da cadeia de suprimentos, responsável pelo deslocamento de cargas (CRAINIC E LAPORTE, 1997; BRANSKI E LAURINDO, 2013). O transporte para a movimentação de produtos acabados e/ou matérias-primas representa a maior parcela dos custos logísticos em grande parte das empresas (MARCHET et al., 2009; PEREGO, et al., 2011).

Isto posto, acredita-se que iniciativas como a realização do planejamento do transporte marítimo, em busca da redução dos gastos com o frete, e, da otimização da exportação de contêineres, visando tornar este processo ótimo ou ideal, são de relevante importância para a redução dos custos empresariais.

O planejamento está diretamente relacionado com o fluxo de produtos a partir de pontos de oferta para pontos de demanda, ao menor custo possível. As decisões essenciais que devem ser tomadas compreendem quanto de cada produto distribuir, quando distribuir e para qual cliente distribuir cada produto (SHEN E KHOONG, 1995). Nesse sentido, a Pesquisa Operacional (resolvendo o modelo clássico de transporte) pode auxiliar as empresas a operar com recursos escassos de forma mais eficiente e extrair o melhor rendimento possível de um processo, bem como, dar maior transparência à decisão dos gestores.

A Pesquisa Operacional envolve o desenvolvimento de métodos científicos na análise de sistemas complexos e na tomada de decisões. Tradicionalmente, tem tido função importante nas áreas de planejamento, projetos e redes de suprimentos ou operações de cadeias (ARENALES, 2015).

Dentro desse contexto, o presente artigo retrata a necessidade uma empresa brasileira de grande porte do setor de alimentos de aprimorar o processo de

planejamento da operação com foco na redução do gasto com o frete marítimo, que vinha ultrapassando o limite máximo estipulado para o mercado do Oriente Médio. Com o objetivo de responder a esta questão, as seções a seguir apresentarão o referencial teórico investigado, a metodologia utilizada para a realização da pesquisa e os resultados obtidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

No Brasil, os planos de expansão internacional iniciaram na década de 1990, com o governo de Fernando Collor de Mello. As reformas implantadas foram concretizadas durante os planos econômicos Collor I e Collor II, que propunham a liberalização da expansão comercial e econômica brasileira. Tais reformas possibilitaram que os empresários expandissem seus negócios, abrindo concorrência para os mercados internacionais, o que anteriormente não era possível devido ao protecionismo interno (CARON B., 2009).

Contudo, somente após a implementação do Plano Real, por Fernando Henrique Cardoso, é que as mudanças efetivamente ocorreram. O governo impulsionou a política externa brasileira fomentando o comércio internacional, mais diretamente as exportações, que se tornaram um desafio e uma necessidade econômica (CARON B, 2009).

Naquele momento, produtos comercializados em seu estado bruto ou com mínima industrialização, denominados *commodities* (soja, arroz, milho, minerais e combustíveis) eram produzidos e comercializados em grande escala, sendo que 17 deles tiveram importante participação na transformação do País em um grande polo de exportação (MANFRÉ, 2009).

As exportações brasileiras para o mercado externo, nas duas últimas décadas, apresentaram uma significativa melhora em relação à participação de mercado e preço de produto, tendo como destaque produtos de baixa tecnologia, mais especificamente, os produtos primários (CHANG, 2011).

Nos dias de hoje, devido ao avanço da tecnologia e à facilidade de comércio com outros países, as empresas brasileiras estão expandindo seus negócios e se internacionalizando. Esse processo tem acontecido mais facilmente para os produtos que possuem um grande diferencial competitivo produtivo, seja em função do clima, do solo ou do baixo custo de produção. *Comodities* como café, soja, milho, petróleo,

minérios, carvão, algodão, carnes, etc. são produtos muito atrativos para países onde sua produção é escassa (MENDES, 2014).

A análise setorial do mercado nacional de carnes mostra que houve um forte crescimento na produção de aves no início dos anos 60. Neste cenário, destaca-se o estado de Santa Catarina, que até os dias atuais, lidera o *ranking* dos principais exportadores de aves do país (MENDES, 2014).

Em 2013, com o montante de 12.308 milhões de toneladas de carne de frango, o Brasil ocupou a terceira posição no *ranking* mundial dos países produtores de aves, perdendo apenas para a China e os Estados Unidos, destacando-se também o maior exportador mundial do produto (UBABEF, 2013).

O Oriente Médio, seguido pela Ásia e África são os principais destinos de exportação do frango produzido no território brasileiro. O Oriente Médio, com aproximadamente 322 milhões de habitantes, no período compreendido entre janeiro e dezembro de 2013, foi o único dentre esses destinos em que se obteve um desempenho positivo com crescimento de 3,7% em volume e 3,4% em receita, em relação ao mesmo período do ano anterior (UBABEF, 2013).

Nesse contexto de aumento de volumes exportados, com um crescimento anual de 5% e transportando mais de 8,02 bilhões de toneladas, a indústria de transporte marítimo destaca-se como um dos pilares do comércio mundial (CISNEROS E BRINATTI, 2013).

Nos últimos anos, a indústria do transporte marítimo regular de contêineres tem se concentrado em um menor número de armadores detentores de navios de maior porte, aumentando assim a capacidade de carregamento como resultado da busca pela economia de escala (DA COSTA, 2006).

Este processo de concentração não reduziu a competitividade da indústria, e, sim, a aumentou devido à expansão das atividades dos maiores armadores em rotas e mercados que não as suas tradicionais, entretanto pode gerar uma atenuação nas margens de lucro da indústria e forçar os armadores a adotarem políticas comerciais predatórias caso a demanda seja menor do que a oferta/capacidade de transporte, refletindo diretamente nos níveis de frete praticados no mercado (DA COSTA, 2006).

O impacto nos níveis de frete somado às baixas expectativas de crescimento e aumento da inflação no Brasil, faz com que as empresas nacionais busquem maneiras de reduzir seus custos, obter ganhos de eficiência nas suas operações e

manter, ou até aumentar, sua participação de mercado, em busca de ações de prevenção de perdas que visam contribuir diretamente para o aumento da margem de lucro (WHITAKER E COELHO, 2015).

Frente a esse cenário, a área de logística das empresas tende a adotar métodos matemáticos que visem operar ao menor custo, da forma mais produtiva possível, prever corretamente a demanda e não deixar faltar produto aos clientes, como um diferencial competitivo (DE SOUZA, 2015).

Uma das alternativas para a redução dos custos de operação consiste na escolha de uma ferramenta de pesquisa operacional, que efetue cálculos através da programação linear, figurando como uma alternativa de suporte para as decisões sobre o planejamento marítimo (DA COSTA, 2006).

Nos últimos anos fica cada vez mais clara a necessidade de planejar qualquer atividade exercida em uma empresa, por mais simples que seja, para que, no processo seguinte, a execução aconteça de forma mais linear, minimizando gastos desnecessários com recursos humanos e materiais (WHITAKER E COELHO, 2015).

Posto isso, entende-se que a experiência de um gestor de logística por si só não é suficiente para sustentar a tomada de decisão sobre uma operação. Portanto, acredita-se na necessidade da utilização de métodos e/ou ferramentas matemáticas, que deem suporte ao planejamento e façam com que as decisões sejam tomadas de forma mais correta, reduzindo impactos ou minimizando os custos (DE SOUZA, 2015).

Nos primórdios da segunda guerra mundial, por volta de 1940, segundo Hillier e Lieberman (2010), surgiu a área de Pesquisa Operacional (PO) devido à necessidade da utilização de radares para interceptar aviões inimigos e à importância de se trabalhar com recursos escassos de forma mais eficiente. Esse conceito foi aplicado em estudos voltados a problemas de operação militares, tais como o dimensionamento de comboio de frotas, a manutenção e inspeção de aviões, a decisão do tipo de aviões adequado para missões, etc. (ARENALES et al., 2007).

Depois do sucesso obtido pela utilização da PO no âmbito militar, sua expansão para outras áreas, aconteceu de forma natural. Em 1947, com o propósito de obter ferramentas de auxílio às decisões da força aérea americana, o Pentágono implantou o Projeto SCOOP (Computação Científica de Programação Ótima, do inglês *Scientific Computation of Optimal Programs*). Foi nesta época que surgiu o Método *Simplex*, desenvolvido por George Dantzig, para resolver problemas de programação linear. Mais tarde, sucederam-se diferentes focos de estudo como a substituição de

equipamentos, a teorias de estoques, a teoria de filas, a programação de tarefas em máquinas (*scheduling*), a teoria de jogos, os fluxos em redes e a otimização linear (ARENALES et al., 2007).

Nos anos que se passaram diversos outros problemas de programação linear foram solucionados pelo Método *Simplex*, e, a evolução do processamento dos computadores fez com que problemas cada vez maiores fossem solucionados, como por exemplo, os problemas de transporte (LOCH, 2014).

Segundo O'Connor (2002), o problema de transporte foi inicialmente estudado pelo matemático russo Kantorovich, em 1939, porém o trabalho permaneceu desconhecido nos 21 anos seguintes por ter sido ignorado pelos próprios russos. Contudo, a recompensa veio em 1975, lhe rendendo, em conjunto com Koopmans, o Prêmio Nobel de economia, após estudos que abordavam os problemas de distribuição de trabalho entre máquinas, distribuição de pedidos entre empresas, distribuição de materiais básicos, combustíveis e fatores de produção, minimização de desperdício em corte e plano ótimo para remessas de mercadorias.

O problema de transporte no ocidente foi apresentado por Hitchcock, em 1941, que evidenciou uma abordagem construtiva para resolvê-lo, muito parecida ao Método *Simplex*. De maneira independente, Koopmans (1947) também estudou o problema de transporte, o que mais tarde fez com que viesse a ser chamado de "Problema de transporte Hitchcock-Koopmans" (FORD e FULKERSON, 1956).

A formulação matemática do Problema de transporte já é conhecida desde 1941, e, desde 1951, sua resolução por meio de algoritmo específico. Segundo Silva (2012), o problema clássico de transporte basicamente pode ser descrito, por meio das equações de 1 a 4, como sendo a minimização dos custos para transportar produtos/*commodities* de m origens para n destinos, levando em consideração as restrições ai de oferta na origem i e as restrições de demanda bj exigidas no destino j .

$$\min z(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, i = 1, \dots, m \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, j = 1, \dots, n \quad (3)$$

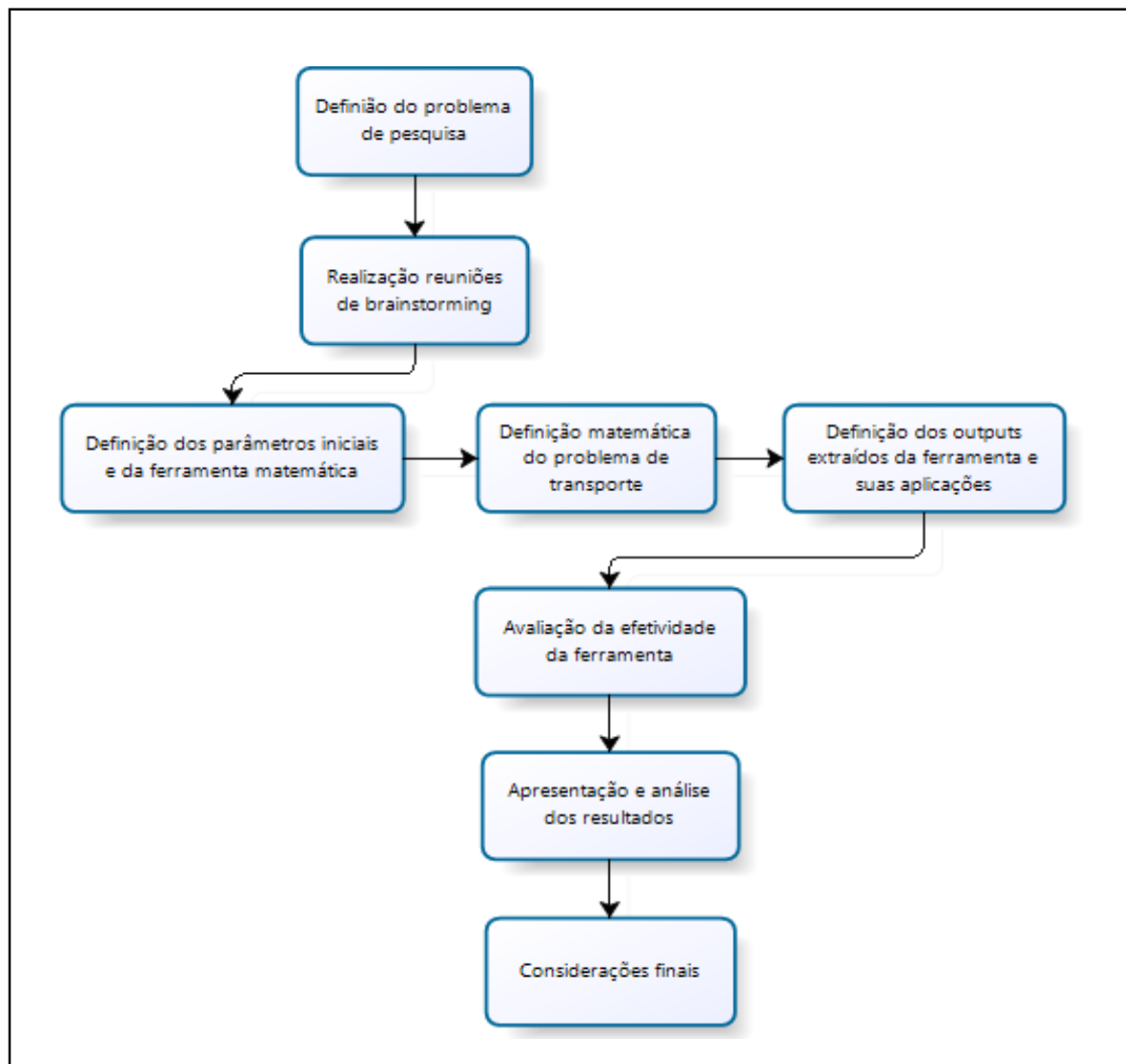
$$x_{ij} \geq 0, i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n \quad (4)$$

A minimização do custo total de transporte tem como referência a função objetivo (1). O conjunto de restrições (2) exige que seja transportada toda oferta de cada origem. O conjunto de restrições (3) define que devem ser atendidas todas as demandas. Por fim, (4) estabelece que as quantidades transportadas não podem ter valores negativos. Contudo, para garantir a factibilidade do problema, sem perda de generalidade, existe a necessidade de que $\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$ (SILVA, 2012).

3 ESTRATÉGIA METODOLÓGICA

Para a concretização do objetivo desse estudo foi realizada uma pesquisa empírica, de método científico indutivo, natureza aplicada, objetivo exploratório, abordagem quantitativa e procedimento experimental. A FIGURA 1 ilustra a estratégia metodológica adotada.

FIGURA 1 – ESTRATÉGIA METODOLÓGICA DA PESQUISA



FONTE: O autor (2016).

Esta pesquisa teve início no primeiro trimestre de 2016 a partir de uma problemática ocorrida em uma empresa brasileira de grande porte do setor de alimentos com matriz em Santa Catarina, em que a diretoria de logística identificou a necessidade de aprimorar o processo de planejamento da operação com foco na redução do gasto com o frete marítimo por tonelada, que vinha ultrapassando o limite máximo esperado pela companhia para o mercado do Oriente Médio.

Com base neste conjunto de questões, o estudo foi orientado pelo seguinte problema: **Qual modelo matemático poderia ser empregado para executar o planejamento mensal da exportação de alimentos containerizados para o mercado do Oriente Médio, levando em consideração a oferta de espaço nos**

navios de armadores já contratados, a demanda a ser atendida e a redução do gasto com o frete marítimo?

A próxima etapa compreendeu a realização de reuniões de *brainstorming*, entre um grupo de colaboradores da empresa que atua no mercado do Oriente Médio, com o objetivo de mapear o fluxo do processo de transporte marítimo, definir, com base na análise de dados históricos, os parâmetros a serem contemplados na construção do modelo, o período a ser avaliado e a ferramenta matemática mais adequada, dentre as disponíveis na empresa, para executar o modelo.

3.1 Definição dos parâmetros iniciais e da ferramenta matemática

Após a elaboração do fluxo do processo de transporte marítimo, analisou-se o histórico dos embarques efetuados para o Oriente Médio durante o primeiro trimestre de 2016, visando conhecer a quantidade embarcada por armador, por porto de destino e os gastos com frete.

O passo seguinte contemplou a definição do período a ser avaliado pelo modelo. O primeiro ponto a ser considerado foi o de que seria fundamental determinar um intervalo de tempo em que não tivessem ocorrido alterações nos valores de frete e tampouco no percentual de contêineres ou espaços destinados a cada armador (*share* interno), apresentado na TABELA 1, previamente negociados pela empresa até o mês de dezembro de 2016. Posto isto, definiu-se, que o período avaliado seria o primeiro trimestre de 2016.

TABELA 1 – SHARE INTERNO POR ARMADOR

Armador	Share %
Msc	35%
Maersk	29%
H-Sud	11%
Hapag-Lloyd	11%
CMA-CGM	9%
UASC	5%
TOTAL	100%

FONTE: O autor (2016).

No mês de abril, diversas análises acerca dos embarques de exportação ocorridos no período supracitado foram efetuadas e verificou-se que algumas

alocações de contêineres poderiam ter sido realizadas de forma diferente entre os armadores, ou seja, de modo mais otimizado, averiguando os portos de destino em que cada armador tem o frete mais competitivo, levando em consideração a oferta mensal de espaço em navio de todos os armadores e o volume de embarque total da demanda mensal.

Este conceito pode ser observado na TABELA 2, em que, para um mesmo número de espaços em navios, o gasto com frete marítimo é reduzido em USD 5.000 devido à decisão de utilização desse espaço do armador mais adequado para cada porto de destino.

TABELA 2 - OTIMIZAÇÃO DOS GASTOS COM FRETE

Armador	Porto de origem	Porto de destino	Frete	Pior otimização		Melhor otimização	
				Espaços em navios	Gastos com frete	Espaços em navios	Gastos com frete
Maersk	Paranaguá	Jeddah	\$ 2.400	-	\$ -	50	\$ 120.000
MSC	Paranaguá	Jeddah	\$ 3.000	100	\$ 300.000	50	\$ 150.000
Maersk	Paranaguá	Damman	\$ 2.000	50	\$ 100.000	-	\$ -
MSC	Paranaguá	Damman	\$ 2.500	-	\$ -	50	\$ 125.000
-	-	-	TOTAL	150	\$ 400.000	150	\$ 395.000

FONTE: O autor (2016).

Considerando-se o mesmo número de oferta e demanda por espaços em navios, é possível observar que com a alocação de todos os contêineres da Maersk (50 unidades) para o porto de Jeddah, no cenário de melhor otimização, tem-se um gasto com frete de USD 120.000, minimizando o gasto total com frete. Esse fato ocorre porque a diferença do gasto com frete para o porto de Jeddah entre a Maersk e a MSC é de USD 600 ($\$ 3.000 - \$ 2.400 = \$ 600$), que é maior do que a diferença entre os dois players para o porto de Damman, que é de USD 500 (TABELA 2).

A análise destes dois cenários permite concluir que a alocação de um contêiner para um dado destino com o armador que apresenta o menor custo de frete nem sempre resulta na melhor otimização quando se considerada todo o volume mensal transportado. Isto ocorre porque os armadores possuem diferentes capacidades (espaços em navios) que devem ser utilizadas da forma mais otimizada possível, pois se houver alocação não otimizada com um dado armador, no momento em que sua capacidade cessar, será necessário utilizar o espaço de outro armador que tem frete mais caro, porém, que ainda possui capacidade disponível.

Essas simulações permitiram entender a noção de otimização e a forma básica de como tal operação deve ser contemplada no negócio de transporte marítimo para o Oriente Médio da empresa analisada.

Outro entendimento originado dessas discussões foi de que a visão usual da empresa de alocar os contêineres por armador e porto de destino no horizonte diário ou semanal poderia ser substituída por uma perspectiva mensal, tornando o processo mais otimizado, com vistas à redução do gasto com o frete marítimo.

O próximo passo a ser pesquisado foi a definição de uma ferramenta matemática que pudesse resolver esse problema de alocação de transporte marítimo. Determinou-se que, por se tratar de um problema normal e comum na área de transportes, o método Simplex de programação linear mostrava-se adequado. Dentre as ferramentas disponíveis na empresa, observou-se que o aplicativo *Solver* do *Microsoft Excel*[®], por ser uma ferramenta de otimização que possibilita realizar cálculos com base em limites e restrições, poderia ser empregado para tal fim. Preliminarmente, foi idealizada uma base de dados em *Excel*[®], que fornecesse os *inputs* necessários para que o *Solver* pudesse efetuar a otimização, a saber: a demanda por porto de destino, a oferta de espaços disponibilizados por cada armador e os preços do frete marítimo.

A demanda por porto de destino foi especificada em toneladas, e, em quantidade de espaços para contêineres (considerando-se que cada contêiner carrega 26,67t de produto), com base na previsão da demanda mensal e no embarque a ser efetuado no mês seguinte. Para efeito dessa análise, foram considerados os 21 portos de destino através dos quais a empresa realiza exportações para o mercado do Oriente Médio.

A oferta de espaços destinados a cada armador foi definida de acordo com o *share* interno mensal de cada armador sob o total de contêineres embarcados, conforme demonstrado na TABELA 1. Logo, no momento do planejamento, a quantidade de espaços que serão utilizados mensalmente em cada armador, é calculada de acordo com a previsão da demanda para o mês seguinte.

No que tange aos preços do frete marítimo, os valores unitários, previamente negociados pela empresa, foram definidos por contêiner embarcado por porto destino. Nesta negociação definiu-se, ainda, que o valor unitário do frete permanece o mesmo independentemente do porto de origem de embarque da mercadoria no Brasil. Ou seja, para a empresa em estudo, o custo do transporte de uma mercadoria tendo como

destino o porto de Jeddah seria o mesmo se o embarque no Brasil ocorresse pelos portos de Paranaguá (PR) ou Santos (SP).

3.2 DEFINIÇÃO MATEMÁTICA DO PROBLEMA DE TRANSPORTE

Nesta etapa foram delimitados os dados fundamentais que devem ser inseridos no aplicativo *Solver* para o processo de otimização, bem como, delineado o algoritmo do problema em análise para, posteriormente, ser elaborada a definição matemática do problema desse transporte.

3.2.1 Dados fundamentais para otimização

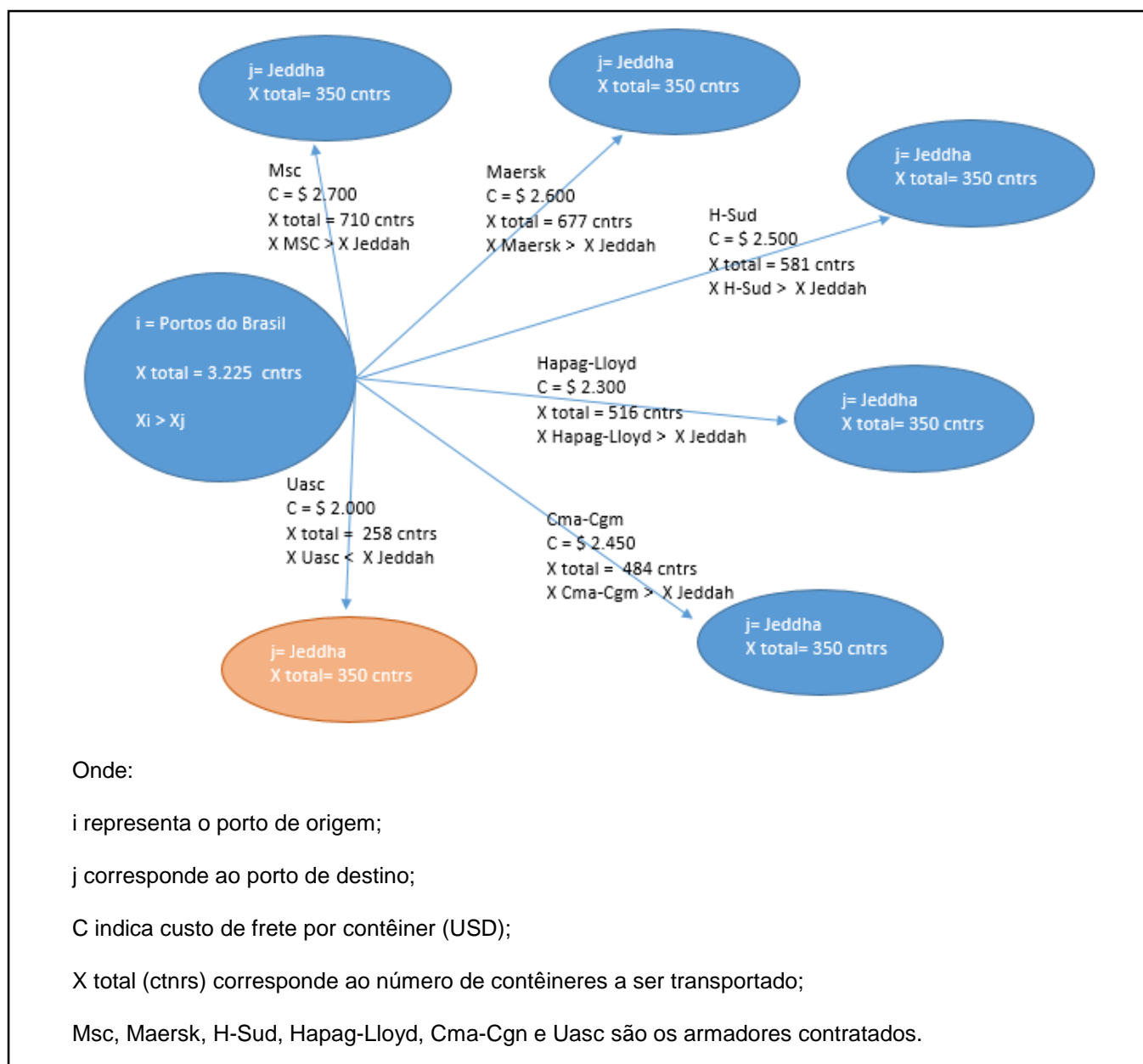
Origem, destino, demanda, oferta, restrições, células variáveis e função objetivo.

3.2.2 Definição algorítmica

A FIGURA 2 ilustra o problema de transporte em estudo, em que o número de portos de origem no Brasil corresponde a m_1 e o número de portos de destino é igual a n_1 . Para esta análise definiu-se como destino o porto de Jeddah, por ser este, dentre os 21 portos de destino operados, o de maior representatividade em termos de volume.

Como se pode observar, o algoritmo indica, nesta representação, que apenas o armador Uasc não possui capacidade total para atender à demanda do porto de Jeddah.

FIGURA 2 – DEFINIÇÃO DO ALGORITMO DO PROBLEMA DE TRANSPORTE



FONTE: O autor (2016).

3.2.3 Definição matemática

A definição matemática do problema de transporte em estudo está representada nos itens a seguir:

- Origem (m) = Portos Brasileiros = m1;
- Destino (n) = Portos de destino = n21;

- c) Demanda (x) = Quantidade de espaços para contêineres por porto de destino = Total 3.225 = $x_1 \dots x_{21}$;
- d) Oferta (c ou y) = Frete por armador e por porto de destino = Total 6 x 21 = $c_{1.1} \dots c_{6.21}$;
- e) Restrições a_i de oferta na origem, sendo $i = share$ por armador em contêineres cntrs = $a_{i1} \dots a_{i6}$:
 - O objetivo desta restrição é atender a 100% da oferta;
- f) Restrições b_j de demanda no destino $j = b_{j1} \dots b_{j21}$:
 - O objetivo desta restrição é atender a 100% da demanda;
- g) Restrição de não negatividade nos contêineres alocados nas células variáveis:
 - O objetivo desta restrição é indicar que os valores devem ser ≥ 0 ;
- h) Restrição de factibilidade do problema para não ficar volume sem alocação:
 - O Objetivo desta restrição é garantir que tudo aquilo que se carrega na origem deve ser igual ao que chega no destino;
- i) Função objetivo (FO) = minimização do custo total de transporte.

Concluídas a base de dados e todas as definições matemáticas deu-se início à inserção destes dados na ferramenta de otimização. O primeiro dado incluído refere-se à Função Objetivo (FO), onde define-se no *Solver* o objetivo de se atingir a minimização do custo total do frete marítimo considerando o somatório total dos gastos calculados (valor de frete de cada armador para cada porto de destino que o otimizador escolheu, multiplicado pela quantidade de contêineres que foram alocados ou de espaços que serão utilizados).

A segunda delimitação diz respeito às células variáveis, que correspondem aos locais onde o aplicativo alocará a quantidade de espaços para contêineres à medida que vai encontrando o menor custo de frete no somatório total, conforme mencionado anteriormente.

O terceiro conjunto de dados incorporados no otimizador está relacionado às quatro restrições estabelecidas na definição matemática. Neste momento, insere-se as características de cada uma delas, que darão os direcionamentos necessários e adequarão a análise a um resultado mais factível.

3.3 Definição dos *outputs* extraídos da ferramenta e suas aplicações

O propósito principal deste processo de otimização é executar duas funções básicas, a saber: o cálculo do gasto mínimo com frete marítimo e a alocação total dos contêineres, que servirão de *input* para a definição de outros resultados subsequentes tais como: o cálculo do gasto total de frete em dólar por tonelada embarcada, a determinação do gasto total de frete em dólar por contêiner embarcado e a análise da visão geral do melhor cenário por armador e por porto de destino. Vale ressaltar que neste artigo serão mencionados apenas os resultados extraídos da ferramenta e suas aplicações, que tem ligação direta ao estudo do problema de transporte marítimo da empresa em questão.

3.3.1 Cálculo do gasto total com o frete marítimo

Este *output* tem como objetivo fornecer o cenário mais econômico. A alocação ideal que fornece o menor gasto total com o frete marítimo se processa da seguinte maneira: a ferramenta associa a demanda total de contêineres por porto de destino com a capacidade total espaços para contêineres de cada armador e os valores de frete de cada armador para cada porto de destino e faz sucessivas alocações seguidas de multiplicações de cada uma das combinações de armador x porto de destino x preço x volume.

Em seguida, o aplicativo faz o somatório de todas as multiplicações de todas as combinações possíveis, até encontrar a alocação ideal que forneça o menor gasto total com o frete marítimo. Logo após este processamento é possível visualizar os valores do frete total e unitário, em USD/contêiner, nas células pré-definidas, destacadas em cinza na TABELA 4, que exhibe os dados dos embarques realizados no mês de janeiro de 2016.

3.3.2 Alocação do total do volume de oferta e demanda

O segundo resultado extraído refere-se à melhor composição da alocação dos contêineres por armador e por porto de destino. Nesta etapa, o otimizador determina onde cada contêiner deve ser alocado, à medida que vai identificando o menor custo de frete no somatório total dos fretes. Este valor está destacado na cor

azul, ao final da coluna Campo variável na TABELA 3, que representa a quantidade total de contêineres movimentados em janeiro de 2016.

TABELA 3 – CÁLCULO DO GASTO TOTAL COM O FRETE MARÍTIMO

Embarques janeiro - 2016							
Oferta de rotas			Resultados da otimização				
Armador	Porto de origem	Porto de destino	Valor do frete/contêiner	Campo variável: Espaço em navio para contêiner	Gasto com frete	Toneladas	
Maersk	Portos do Brasil	Jeddah	\$ 2.400	\$ 175	420.302	4.671	
Maersk	Portos do Brasil	Salalah	\$ 5.560	\$ 135	750.422	3.600	
Maersk	Portos do Brasil	Jebel Ali	\$ 2.200	\$ 166	365.364	4.430	
Maersk	Portos do Brasil	Alexandria	\$ 5.300	\$ 69	363.825	1.831	
Maersk	Portos do Brasil	Muscat	\$ 5.800	\$ 146	848.049	3.900	
Maersk	Portos do Brasil	Ajman	\$ 3.100	\$ 139	430.023	3.700	
H-Sud	Portos do Brasil	Bandar Abbas	\$ 4.100	\$ 21	85.625	557	
Maersk	Portos do Brasil	Hodeidah	\$ 7.001	\$ 49	339.813	1.295	
Msc	Portos do Brasil	Damman	\$ 2.400	\$ 337	809.808	9.000	
Msc	Portos do Brasil	King Abdhula	\$ 3.200	\$ 55	175.158	1.460	
Msc	Portos do Brasil	Abbu Dhabi	\$ 3.000	\$ 112	337.420	3.000	
Msc	Portos do Brasil	Bahrein	\$ 5.050	\$ 150	757.320	4.000	
Msc	Portos do Brasil	Aqaba	\$ 2.146	\$ 75	160.912	2.000	
Msc	Portos do Brasil	Aden	\$ 3.450	\$ 79	271.623	2.100	
Msc	Portos do Brasil	Port Said	\$ 3.000	\$ 195	584.861	5.200	
Hapag-Lloyd	Portos do Brasil	Bandar Abbas	\$ 4.100	\$ 167	682.943	4.443	
Msc	Portos do Brasil	Hodeidah	\$ 7.100	\$ 19	136.647	513	
Msc	Portos do Brasil	Sohar	\$ 7.100	\$ 37	266.187	1.000	
H-Sud	Portos do Brasil	Jeddah	\$ 2.200	\$ 312	686.969	8.329	
Hapag-Lloyd	Portos do Brasil	Shuwaik	\$ 2.100	\$ 128	268.312	3.408	
Hapag-Lloyd	Portos do Brasil	Dubai	\$ 5.800	\$ 39	225.059	1.035	
CMA-CGM	Portos do Brasil	Jebel Ali	\$ 2.000	\$ 18	35.263	470	
CMA-CGM	Portos do Brasil	Sharjha	\$ 4.847	\$ 131	636.018	3.500	
CMA-CGM	Portos do Brasil	Beirute	\$ 4.000	\$ 124	494.882	3.300	
UASC	Portos do Brasil	Shuwaik	\$ 1.900	\$ 80	152.371	2.139	
UASC	Portos do Brasil	Doha	\$ 4.000	\$ 71	284.932	1.900	
TOTAL				3.029	10.570.108	80.781	
Frete USD/CTNF				-	3.490	-	
Frete USD/T				-	130,85	-	

FONTE: O autor (2016).

3.3.3 Cálculo do gasto total de frete em dólar por tonelada embarcada

O valor determinado neste terceiro *output* aponta quanto a empresa gasta, em média, por cada tonelada embarcada. Seu valor é obtido dividindo-se o resultado total obtido com o gasto do frete marítimo pelo total de toneladas carregadas e está indicado na célula em amarelo na TABELA 3.

3.3.4 Cálculo do gasto total de frete em dólar por cada contêiner embarcado

Esse resultado serve para apontar o quanto é gasto, em média, por cada contêiner embarcado. O indicador é calculado da seguinte forma: divide-se o valor total do gasto com frete marítimo pela quantidade total de unidades carregadas. O *output* está assinalado na cor verde na TABELA 3.

3.3.5 Fornecer a visão geral do melhor cenário por armador

O objetivo desse resultado é determinar quais portos de destino deverão ser embarcados com cada armador, bem como a quantidade de contêineres que deve ser programada e o gasto com frete para cada um destes portos, conforme indicado na TABELA 4. Tais resultados podem ser obtidos através de filtros aplicados na TABELA 3.

TABELA 4 - VISÃO GERAL DO MELHOR CENÁRIO POR ARMADOR

Embarques janeiro - 2016							
Oferta de rotas			Resultados da otimização				
Armador	Porto de origem	Porto de destino	Valor do frete/contêiner	Campo variável: Espaço em navio para contêiner	Gasto com frete	Toneladas	
Maersk	Portos do Brasil	Jeddah	\$ 2.400	175	\$ 420.302	4.671	
Maersk	Portos do Brasil	Salalah	\$ 5.560	135	\$ 750.422	3.600	
Maersk	Portos do Brasil	Jebel Ali	\$ 2.200	166	\$ 365.364	4.430	
Maersk	Portos do Brasil	Alexandria	\$ 5.300	69	\$ 363.825	1.831	
Maersk	Portos do Brasil	Muscat	\$ 5.800	146	\$ 848.049	3.900	
Maersk	Portos do Brasil	Ajman	\$ 3.100	139	\$ 430.023	3.700	
TOTAL				830	3.177.984	22.132	
Frete USD/CTNR				-	3.829	-	
Frete USD/IT				-	143,59	-	

FONTE: O autor (2016).

3.3.6 Fornecer a visão geral do melhor cenário por porto de destino

Obtidos da mesma maneira que os indicadores anteriormente apresentados, os resultados indicados na TABELA 5 são utilizados para designar quais armadores deverão ser embarcados para cada porto de destino, a quantidade de contêineres a serem programados para cada armador e o gasto com frete para cada um destes armadores.

TABELA 5 - VISÃO GERAL DO MELHOR CENÁRIO POR PORTO DE DESTINO

Embarques janeiro - 2016							
Oferta de rotas			Resultados da otimização				
Armador	Porto de origem	Porto de destino	Valor do frete/contêiner	Campo variável: Espaço em navio para contêiner	Gasto com frete	Toneladas	
Maersk	Portos do Brasil	Jeddah	\$ 2.400	175	\$ 420.302	4.671	
H-Sud	Portos do Brasil	Jeddah	\$ 2.200	312	\$ 686.969	8.329	
TOTAL				487	1.107.270	13.000	

FONTE: O autor (2016).

3.4 AVALIAÇÃO DA EFETIVIDADE DA FERRAMENTA

Foi definido pela gerência da área de logística da empresa estudada que previamente à aplicação da ferramenta no planejamento da logística deveriam ser efetuadas análises comparativas entre cenários de meses anteriores, com dados de volume de oferta e demanda, preços de frete e armadores reais e cenários ideais a serem simulados, com o objetivo de identificar se o emprego da ferramenta levaria a ganhos, significativos ou não.

Para efeito deste estudo, a delimitação do escopo está restrita a análise dos embarques efetuados no período compreendido entre janeiro a março de 2016. A avaliação da efetividade das aplicações da ferramenta será fundamentada tão somente nos três indicadores financeiros de maior importância para a empresa: o gasto total com o frete marítimo, o gasto total do frete em dólar por tonelada embarcada e o gasto total do frete em dólar por cada contêiner embarcado.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção é apresentada a análise dos resultados obtidos a partir da estratégia metodológica adotada.

A TABELA 6 evidencia os valores reais e simulados, através da ferramenta de otimização, dos três indicadores financeiros mensurados durante o período de janeiro a março de 2016. Os valores destacados nessa tabela indicam os ganhos logrados no frete em cada um dos meses analisados.

TABELA 6 – INDICADORES FINANCEIROS REAIS E SIMULADOS

Primeiro trimestre - 2016	Janeiro	Fevereiro	Março
Espaço em navio / Número contêineres	3.029	2.976	3.143
Quantidade em toneladas	80.781	79.379	83.825
Cotação Dólar médio (PTAX)	\$ 4,0517	\$ 3,9731	\$ 3,7033
Gasto com frete real	\$ 10.794.543	\$ 10.367.598	\$ 11.091.662
Gasto com frete simulado	\$ 10.570.108	\$ 10.219.104	\$ 10.832.008
Ganho no frete USD	\$ 224.435	\$ 148.494	\$ 259.654
Ganho no frete BRL	R\$ 909.347	R\$ 589.983	R\$ 961.579
Gasto com frete USD/T real	\$ 133,63	\$ 130,61	\$ 132,32
Gasto com frete USD/T simulado	\$ 130,85	\$ 128,74	\$ 129,22
Ganho no frete USD/T	\$ 2,78	\$ 1,87	\$ 3,10
Ganho no frete BRL/T	R\$ 11,26	R\$ 7,43	R\$ 11,47
Gasto com frete USD/CNTR real	\$ 3.564	\$ 3.484	\$ 3.529
Gasto com frete USD/CNTR simulado	\$ 3.490	\$ 3.434	\$ 3.447
Ganho no frete USD/CNTR	\$ 74,11	\$ 49,90	\$ 82,62
Ganho no frete BRL/CNTR	R\$ 300,26	R\$ 198,25	R\$ 305,97
Ganho percentual nos três indicadores	-2,08%	-1,43%	-2,34%

FONTE: O autor (2016).

No tocante ao mês de janeiro, os ganhos realçados na cor cinza, na TABELA 6, indicam que houve um ganho de - 2,08% no gasto com frete marítimo em Dólar, acarretando, conseqüentemente, na redução no gasto do frete por tonelada e por contêiner. É importante salientar que os ganhos em reais são ainda mais significativos, devido à grande desvalorização do Real naquele período.

Os ganhos obtidos no mês de fevereiro estão destacados em verde na TABELA 6. A análise dos resultados indica que, para os valores em Dólar, naquele mês, não houve uma redução nos gastos com frete tão significativa, comparativamente aos outros dois meses. O *saving* atingido foi de -1,43%.

Ao se analisar os valores em reais, para o mesmo período, nota-se que os ganhos se mostraram ainda menos atrativos, não somente pelo fato de o percentual de redução ter sido o menor dentre os três meses, mas, também, devido à valorização da moeda brasileira em relação ao dólar, refletindo em uma cotação mais baixa dessa moeda, e, conseqüentemente, um menor ganho em reais. Outro fator que influenciou o resultado desse mês foi o menor volume embarcado, tanto em toneladas, quanto em número de contêineres, diluindo menos o custo total.

Os resultados do mês de março, em Dólar, salientados em azul, apontam para uma economia muito significativa no gasto com frete marítimo, impactando

positivamente no gasto do frete por tonelada e o frete por contêiner. O ganho de - 2,34% foi a mais significativa no período analisado. Contudo, em relação aos valores em reais, os ganhos poderiam ter sido ainda maiores se não tivesse ocorrido uma valorização do Real em relação ao Dólar, reduzindo o ganho na moeda brasileira. Contrariamente ao ocorrido no mês de fevereiro, um fator que influenciou na queda dos gastos foi o maior volume embarcado, ajudando a diluir mais os custos (TABELA 6).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esse estudo evidencia a importância do planejamento em um processo logístico em que o objetivo consiste na minimização dos gastos com o frete marítimo. A pesquisa procurou, também, mostrar a importância do conceito da otimização como meio de se lograr a melhor utilização dos recursos ao menor custo possível, sem deixar de atender toda a demanda.

Entretanto, para que este processo possa acontecer de forma efetiva, em uma empresa que possua um processo exportação marítima, é fundamental que o planejamento das alocações seja efetuado com a maior antecedência possível. Nesse caso, diversas análises deverão ser executadas até que se encontre o melhor cenário plausível, para, somente então, dar-se início ao processo operacional, que deverá seguir as premissas do planejamento.

Além de salientar quão fundamental é um processo de planejamento, o artigo ratifica a utilização de uma ferramenta matemática como meio para alcançar a otimização ideal dos recursos existentes, seja na minimização dos gastos ou na maximização dos lucros.

É importante destacar que o aplicativo *Solver* do *Excel*® suportou toda a base de dados analisada e as restrições definidas para o desenvolvimento da programação linear através do método *Simplex*, efetuando os cálculos necessários com a exatidão esperada. Entretanto, para bases de dados mais robustas recomenda-se o emprego de ferramentas com maior capacidade de processamento.

Ressalta-se ainda, que além da aplicação específica desenvolvida nessa pesquisa, em qualquer outra empresa que possua um processo de transporte de outra modalidade como marítimo de longo curso, exportação, marítimo de cabotagem, rodoviário, ferroviário, aéreo, dentre outros, é possível adaptar o modelo clássico de

distribuição de transporte para a execução de diferentes cenários de distribuição/alocação de espaços em modais, tanto no âmbito de planejamento como de operação diária.

Por fim, almeja-se que esta pesquisa evidencie aos leitores a importância da adoção de uma ferramenta matemática bem parametrizada como suporte às tomadas de decisão, na redução da ocorrência de erros, na minimização das perdas, na melhoria da competitividade e no atendimento aos clientes.

REFERÊNCIAS

ARENALES, M. N. et al. **Pesquisa operacional para cursos de engenharia**. 2ª Edição: Elsevier Brasil, 2015.

ARENALES, M. N. et al. **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007, p. 524.

BANDEIRA, D. L.; BECKER, J. L.; ROCHA, A. K. Sistemática multicritério para priorização de embarques marítimos. **Revista de Administração Mackenzie**, v. 11, n. 6, 2010.

CARON B. A.F. A evolução do Comércio Exterior brasileiro, as ações, modificações e adaptações internas necessárias e a importância do respeito à cultura e aos aspectos culturais dos mercados externos nas negociações das empresas brasileiras. **Revista Administração e Ciências Contábeis**. OPET, Curitiba, jan. 2009. Seção 6. Disponível em <http://www.opet.com.br/revista/administracao_e_cienciascontabeis/pdf/n1/AEVOLUCAO-DO-COMERCIO-EXTERIOR-BRASILEIRO.pdf>. Acesso em 1 mar. 2016.

BRANSKI, R. M.; LAURINDO, F. J. B. Tecnologia da Informação e integração das redes logísticas. **Revista Gestão da Produção**, 20(2), 255-270, 2013.

CHANG, M. S. Exportações brasileira para a China e Japão: Padrões de especialização e competitividade. **Tese** (Mestrado em Economia). USP. Piracicaba, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-07022012-090520/pt-br.php>>. Acesso em: 15 nov.2015.

CHIAVENATO, I. **Teoria Geral da Administração**. Volume I, 5ª Edição atualizada, Campus, Rio de Janeiro, 1999.

CISNEROS, J.C.M.; BRINATI, H. L. **Redução dos impactos ambientais causados pelo transporte marítimo**. 2013. Disponível em: <http://www.ipinamericas.org/sites/ba_viejo/downloads/XXI/182_Montoya_Juan_C_.pdf>. Acesso em: 26 jun.2016.

CRAINIC, T. G., & LAPORTE, G. Planning models for freight transportation. **European Journal of Operational Research**, 97(3), 409-438, 1997.

DA COSTA, G.A.A. Modelo de margem de contribuição, aplicado ao planejamento de marketing no transporte marítimo regular de contêineres. **Tese** (Mestrado em Engenharia Naval). USP. São Paulo, 2006. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3135/tde-18092006-174148/pt-br.php>>. Acesso em: 15 nov.2016.

DE SOUZA, P.R. A logística como ferramenta de diferenciação. **Mundo logística**. N,. 47. Ano VIII. Julho & Agosto 2015. Curitiba, 2016.

FORD L. R., FULKERSON D. R. Solving the transportation problem. **Management Science**, v 3, n. 1, out/1956.

HILLIER, F S.; LIEBERMAN, G.J. **Introdução à pesquisa operacional**. McGraw Hill, 2010.

LOCH, G.V. **Uma nova abordagem no processo iterativo de melhoria de solução na resolução do problema de transporte**. Tese (Pós-Graduação). UFPR. Curitiba, 2014.

MANFRÉ, M. **Manual de Gestão do Comércio Internacional: Fundamentos, Estratégia & Ações**. 1. ed. Brasília: Clube de Autores, 2009.

MARCHET, G.; PEREGO, A.; PEROTTI, S. An exploratory study of ICT adoption in the Italian freight transportation industry. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 39(9), 785-812, 2009.

MELACINI, M.; MARCHET, G.; PEROTTI, S. An exploratory study of TMS adoption in the 3PL industry. **Global Journal on Technology**, 3, 1390-1399, 2013.

MENDES, G.M. A influência dos aspectos culturais nas Negociações Internacionais das Agroindústrias Brasileiras Com o Oriente Médio. **Monografia** (Bacharelado no curso de Administração com Hab. Em Comércio Exterior) UNESC. Santa Catarina, 2014. Disponível em: <<http://200.18.15.27/bitstream/1/2880/1/GUSTAVO%20MIRANDA%20MENDES.pdf>>. Acesso em: 23 junho.2016.

O'CONNOR, D. R. **Algorithms and data structures**. Capítulo 4. ©2002. Disponível em. <<http://www.derekroconnor.net/home/MMS406/Trees.pdf>>. Acesso em 19 jul 2016.

PEREGO, A.; PEROTTI, S.; MANGIARACINA, R. ICT for logistics and freight transportation: a literature review and research agenda. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 41(5), 457-483, 2011.
SHEN, W.S., KHOONG, C.M. **A DSS for Empty Container Distribution Planning**. **Decision Support Systems** 15, 75-82, 1995.

SILVA, T. C. L. **Nova Metodologia para Resolução de Problemas de Transporte em Casos Esparsos**. 122 p. Tese. PPGMNE-UFPR, Curitiba, 2012.

SHARMA, J. K. **Extensions and Special Cases of Transportation Problem: a Survey**. *Digital Library of India*, p. 928-940, 1977.

UBABEF. **Exportações de frango crescem para Oriente Médio**. São Paulo: 2013. Disponível em < http://www.aviculturaindustrial.com.br/noticia/exportacoes-de-frango-crescem-paraoriente-medio/20140117083640_K_332> Acesso em: 25 junho 2016.

WHITAKER, L.G.; COELHO, D. Futuro da prevenção de perdas na cadeia de suprimentos: uma visão atual e tendências. **Mundo Logística**. N. 48. Ano VIII. Setembro & outubro 2015. Curitiba, 2015.