

Bruno Luiz Barco

## **A Logística do Contêiner Vazio**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia.

**São Paulo**

**1998**

**Bruno Luiz Barco**

## **A Logística do Contêiner Vazio**

Dissertação apresentada à Escola  
Politécnica da Universidade de São  
Paulo para obtenção do título de  
Mestre em Engenharia.

Área de Concentração: Engenharia  
Naval.

Orientador:  
Prof. Dr. Marco Antônio Brinati

**São Paulo**  
**Junho de 1998**

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600010188

À minha família que, como um todo, foi de vital importância para a realização deste trabalho: minha esposa Alina, atenta a infundáveis explicações, corrigindo o texto; minha mãe e minhas irmãs Laura, Léa e Lílian, sempre presentes me ajudando e incentivando; meus filhos Luiz e Leonardo, que serviram de estímulo para que eu não desistisse, meu pai que sempre foi o exemplo a ser alcançado e a Maria que faz 27 anos que torce por mim.

## AGRADECIMENTOS

Manifesto aqui todo o meu agradecimento para com as pessoas que colaboraram para a realização deste trabalho, e com especial carinho cito aqui:

Prof. Dr. Marco Antônio Brinati, meu orientador que sempre esteve presente, me guiando por todas as etapas do trabalho,

CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, que me forneceu bolsa de estudos, tornando possível dedicação exclusiva no difícil período de elaboração da dissertação,

Hamburg Süd, a empresa que me deu oportunidade de trabalhar no setor de Operações, possibilitando a aplicação do modelo em um caso real, em especial a Gustavo Costa e Norbert Heinhold,

Zim do Brasil, que investiu em meu aprendizado, permitindo que eu finalizasse a dissertação em horário de trabalho, em especial a Yaakov Bravman,

Todos do Departamentos de Engenharia Naval que contribuíram das mais diversas maneiras do princípio ao fim da dissertação,

Prof. Dr. Rui Carlos Botter, que além de conselhos no desenvolvimento do trabalho, gentilmente cedeu seu computador para a aplicação do modelo,

Prof. Dr. Nicolau Gualda, que foi decisivo na escolha deste tema, pois o trabalho final de uma de suas disciplinas foi a semente de minha dissertação.

## Índice

**Lista de Tabelas**

**Lista de Abreviaturas**

**Resumo**

**“Abstract”**

	página
<b>1 - Introdução</b>	1
<b>1.1) Apresentação do problema e objetivo do trabalho</b>	1
<b>1.2) Delineamento do trabalho</b>	3
<b>2 - História da Containerização</b>	4
<b>3 - O Problema do Contêiner Vazio</b>	8
<b>3.1) Detalhamento do problema</b>	8
<b>4 - Modelo Matemático Genérico para o Reposicionamento de Contêineres Vazios</b>	11
<b>4.1) Identificação das características básicas e da estrutura do problema de distribuição dos contêineres</b>	12
<b>4.2) Desenvolvimento da modelagem de uma rede de distribuição determinística de contêineres de tipo único</b>	15
<b>4.2.1) Identificação dos clientes de demanda</b>	16
<b>4.2.2) Cliente de oferta</b>	16
<b>4.2.3) Estoques nos depósitos</b>	16
<b>4.2.4) Oferta, demanda e estoque nos portos</b>	17
<b>4.3) Formulação do modelo matemático genérico de uma rede determinística de distribuição de contêineres de tipo único.</b>	17

4.3.1) Rede orientada do Modelo Matemático Genérico para Reposicionamento de Contêineres Vazios	22
4.4) Comentários sobre o Modelo Matemático Genérico para Reposicionamento de Contêineres Vazios	23
5 - Modelo Matemático Particular para Reposicionamento de Contêineres Vazios	25
5.1) Alterações básicas do Modelo Matemático Genérico para o Modelo Matemático Particular para Reposicionamento de Contêineres Vazios	25
5.2) Formulação do modelo particular de uma rede determinística de distribuição de vários tipos de contêineres	28
6 - Ambiente Escolhido para a Aplicação do Modelo Matemático Particular de Reposicionamento de Contêineres Vazios	34
7 - Aplicação Específica do Modelo Particular em uma Empresa de Navegação	39
7.1) Planilha de controle de estoque.	40
7.2) Dados de entrada para o <i>software</i> GAMS 2.25	45
8 - Resultados e Análise	59
8.1) Resultados Obtidos	59
8.1.1) Solução encontrada do GAMS Particular.	62
8.2) Testes e análise de sensibilidade	68
9 - Considerações Finais	84
9.1) Síntese do trabalho e principais contribuições	84
9.2) Limitações e sugestões para trabalhos futuros	86
Bibliografia	89
Apêndice	92

## Lista de Tabelas

	página
<b>TABELA - FOR: exemplo de planilha de controle de estoque.</b>	<b>44</b>
<b>TABELA 7.1 - OPOR(N,P) - ordem de passagem do navio N pelo porto P.</b>	<b>47</b>
<b>TABELA 7.2 - ONAV(N,P) - ordem do porto P na rota do navio N.</b>	<b>48</b>
<b>TABELA 7.3 - O(N,P,EU) - oferta/demanda de contêineres vazios do tipo EU no porto P para o navio N.</b>	<b>50</b>
<b>TABELA 7.4 - DIA(N,P,EU) - data dos navios nos portos.</b>	<b>52</b>
<b>TABELA 7.5 - C1(P,EU,PP) - custo unitário de transporte por navio, em US\$.</b>	<b>55</b>
<b>TABELA 7.6 - C2(P,EU,PP) - custo unitário de transporte por caminhão, em US\$.</b>	<b>56</b>
<b>TABELA 7.7 - C3(EU,P) - custo unitário de aluguel, em US\$.</b>	<b>57</b>
<b>TABELA 7.8 - C4(EU,P) - custo diário, por unidade, de armazenamento, em US\$.</b>	<b>57</b>
<b>TABELA 7.9-TEM(P,PP) tempo de transporte por caminhão entreos portos</b>	<b>58</b>
<b>TABELA 7.10 - CA(N) - capacidade disponível de embarque dos navios.</b>	<b>58</b>
<b>TABELA 8.1 - Estoque Previsto antes dos reposicionamentos serem programados.</b>	<b>60</b>
<b>TABELA 8.2 - Estoque Previsto com os reposicionamentos programados.</b>	<b>67</b>
<b>TABELA 8.3 - Resultado comparativo do teste 1 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.</b>	<b>69</b>
<b>TABELA 8.4 - Resultado comparativo do teste 1 para contêineres do tipo DC-20 transportados por navio.</b>	<b>69</b>
<b>TABELA 8.5 - Resultado comparativo do teste 1 para contêineres do tipo DC-40 transportados por navio.</b>	<b>70</b>
<b>TABELA 8.6 - Resultado comparativo do teste 1 para contêineres alugados.</b>	<b>70</b>
<b>TABELA 8.7 - Resultado comparativo do teste 2 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.</b>	<b>71</b>

<b>TABELA 8.8 - Resultado comparativo do teste 2 para contêineres do tipo DC-20 transportados por navio.</b>	<b>71</b>
<b>TABELA 8.9 - Resultado comparativo do teste 2 para contêineres do tipo DC-40 transportados por navio.</b>	<b>71</b>
<b>TABELA 8.10 - Resultado comparativo teste 2 para contêineres alugados.</b>	<b>72</b>
<b>TABELA 8.11 - Resultado comparativo do teste 3 para contêineres do tipo DC-20 transportados por navio.</b>	<b>72</b>
<b>TABELA 8.12 - Resultado comparativo do teste 3 para contêineres do tipo DC-20 transportados por caminhão.</b>	<b>73</b>
<b>TABELA 8.13 - Resultado comparativo do teste 3 para contêineres alugados.</b>	<b>73</b>
<b>TABELA 8.14 - Resultado comparativo do teste 5 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.</b>	<b>74</b>
<b>TABELA 8.15 - Resultado comparativo do teste 5 para contêineres do tipo IN-20 transportados por caminhão.</b>	<b>75</b>
<b>TABELA 8.16 - Resultado comparativo do teste 5 para contêineres alugados.</b>	<b>75</b>
<b>TABELA 8.17 - Resultado comparativo dos testes 6 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.</b>	<b>76</b>
<b>TABELA 8.18 - Resultado comparativo dos testes 6 para contêineres do tipo IN-20 transportados por caminhão.</b>	<b>76</b>
<b>TABELA 8.19 - Resultado comparativo do teste 6 para contêineres alugados.</b>	<b>76</b>
<b>TABELA 8.20 - Resultado comparativo do teste 7 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.</b>	<b>77</b>
<b>TABELA 8.21 - Resultado comparativo do teste 7 para contêineres do tipo IN-20 transportados por caminhão.</b>	<b>77</b>
<b>TABELA 8.22 - Resultado comparativo do teste 7 para contêineres alugados.</b>	<b>78</b>



<b>TABELA 8.23 - Resultado comparativo do teste 8 para contêineres do tipo HK-40 transportados por navio.</b>	<b>78</b>
<b>TABELA 8.24 - Resultado comparativo do teste 8 contêineres do tipo HK-40 transportados por caminhão.</b>	<b>78</b>
<b>TABELA 8.25 - Resultado comparativo do teste 10 para contêineres do tipo HK-40 transportados por navio.</b>	<b>79</b>
<b>TABELA 8.26 - Resultado comparativo do teste 10 para contêineres do tipo HK-40 transportados por caminhão.</b>	<b>80</b>
<b>TABELA 8.27 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.</b>	<b>80</b>
<b>TABELA 8.28 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo DC-20 transportados por navio.</b>	<b>81</b>
<b>TABELA 8.29 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo DC-40 transportados por navio.</b>	<b>81</b>
<b>TABELA 8.30 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo HK-40 transportados por navio.</b>	<b>81</b>
<b>TABELA 8.31 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo IN-20 transportados por caminhão.</b>	<b>82</b>
<b>TABELA 8.32 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo DC-20 transportados por caminhão.</b>	<b>82</b>
<b>TABELA 8.33 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo DC-40 transportados por caminhão.</b>	<b>83</b>
<b>TABELA 8.34 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo HK-40 transportados por caminhão.</b>	<b>83</b>
<b>TABELA 8.35 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres alugados.</b>	<b>83</b>

## Lista de Abreviaturas

### Contêineres:

- DC-20 - contêiner padrão com 20 pés de comprimento
- DC-40 - contêiner padrão com 40 pés de comprimento
- IN-20 - contêiner insulado com 20 pés de comprimento
- HK-40 - contêiner de carga seca com 9,5 pés de altura e 40 pés de comprimento

### Navios:

- ALBRAN - navio Aliança Brasil na direção sul-norte
- ALEURN - navio Aliança Europa na direção sul-norte
- ALEURS - navio Aliança Europa na direção norte-sul
- CABLAN - navio Cabo Blanco na direção sul-norte
- CABOTS - navio Sebastian Caboto na direção norte-sul
- CAFINN - navio Cap Finnister na direção sul-norte
- CAFINS - navio Cap Finnister na direção norte-sul
- CAPEDN - navio Calapedra na direção sul-norte
- CAPEDS - navio Calapedra na direção norte-sul
- CAPOLN - navio Cap Polônio na direção sul-norte
- CAPOLS - navio Cap Polônio na direção norte-sul
- CAROCN - navio Cap Roca na direção sul-norte
- CAROCS - navio Cap Roca na direção norte-sul
- CATRAN - navio Cap Trafalga na direção sul-norte
- CATRAS - navio Cap Trafalga na direção norte-sul
- COLOSN - navio Columbus. Olivos na direção sul-norte
- COLOSS - navio Columbus. Olivos na direção norte-sul
- COPACN - navio Copacabana na direção sul-norte
- COPACS - navio Copacabana na direção norte-sul
- FLAMEN - navio Flamengo na direção sul-norte
- HEICON - navio Heicon na direção sul-norte
- SANISN - navio San Isidro na direção sul-norte
- SANMAN - navio San Marino na direção sul-norte

SANMAS - navio San Marino na direção norte-sul

SANMIN - navio San Miguel na direção sul-norte

SANMIS - navio San Miguel na direção norte-sul

**Portos:**

FOR - Fortaleza

SUP - Suape

SSA - Salvador

VIX - Vitória

RIO - Rio de Janeiro

SSZ - Santos

QPB - Paranagua

QFS - São Francisco do Sul

ITJ - Itajaí

RGR - Rio Grande

### Resumo

Este trabalho tem como objetivo estudar o problema logístico do contêiner vazio de empresas de navegação, delimitando as principais características e propondo um modelo de programação linear, auxiliado por um modelo de previsão de estoque, que tem como resposta o posicionamento ótimo dos contêineres vazios, segundo o menor custo. Para se construir esse modelo foi estudado o caso de uma companhia de navegação e outros modelos que já foram propostos para o problema. Os resultados obtidos foram bons, dentro das hipóteses consideradas, mostrando um programa versátil e útil para o reposicionamento dos contêineres vazios.

### **Abstract**

This paper studies the logistic problem of empty container of a shipping company, considering the main features to create a linear program model, aided by a inventory forecast model, that gives the positioning of the empty containers based on the lower cost. Other models concerning this subject and a shipping company case were used to do this new model. The results were good, considering the hypothesis, showing a useful versatile program to repositioning the empty containers.

## 1 - Introdução

### 1.1) Apresentação do problema e objetivo do trabalho

Containerização é um método para se transportar mercadorias em recipientes modulares padrão, os quais podem ser movidos por um sistema integrado dos modais rodoviário, ferroviário ou hidroviário (marítimo ou fluvial). Contêineres são um tipo de embalagem, produzida em aço, na qual se acondiciona a carga a ser transportada. Com o recente desenvolvimento dos sistemas de containerização, observa-se uma tendência para a padronização de dimensão e outras especificações de contêineres, dos meios de transporte que o utilizam e dos equipamentos de movimentação. A containerização trouxe muitas vantagens para a cadeia de transporte, mas também gerou alguns problemas operacionais que o setor de logística das companhias de transportes procura solucionar.

Com o rápido crescimento da containerização e com o aumento das frotas de contêineres, tornou-se evidente a necessidade de um rígido controle dos estoques desses equipamentos, pois sem ele os custos logísticos aumentariam muito. Em um primeiro momento, os métodos computacionais de informações eram pouco desenvolvidos, os fretes seguiam os padrões das conferências e não havia grande competição pela carga a ser transportada, assim o frete tinha alto valor. Desta forma, toda a logística se resumia a controlar os equipamentos para que não se perdesse carga por falta de contêiner, pois os fretes cobriam o custo de se manter estoques grandes. Mas a maior concorrência e a diminuição do valor dos fretes fizeram a conta logística ter maior peso no custo total do armador. Segundo o Dr. Ottmar Gast (responsável pelo setor de logística do Grupo Hamburg Süd - referência[22]), os custos logísticos representam um terço dos custos totais das linhas regulares de navegação, sendo então necessário um controle logístico muito rígido, integrado com a área comercial, para que o transporte de mercadorias com o uso de contêineres continue sendo rentável para as companhias de navegação (referência [ 23 ]).

O objetivo deste trabalho é mostrar os pontos principais desta nova cadeia logística, propondo um modelo de programação linear que possa solucionar seus problemas.

Desde os anos 60, a containerização tem se desenvolvido internacionalmente. Suas vantagens para as companhias de navegação são cada vez mais óbvias: A carga lacrada dentro dos contêineres é menos vulnerável a avarias e roubos, os custos de empacotamento, o tempo de transporte e o tempo de porto dos navios são significativamente reduzidos, e, além disso, há uma maior facilidade de movimentação da carga containerizada, incluindo os transportes *house to house* (desde a fábrica do exportador até o armazém do cliente).

Por outro lado, a containerização tem reduzido uma quantidade considerável de empregos nas docas e terminais, pois o manuseio das mercadorias é menor e necessita de menos mão-de-obra em comparação com o processo utilizado anteriormente. Além disso, acordos entre os armadores e os estivadores para carregar e descarregar uma certa quantidade de contêineres, às vezes descontentam também os trabalhadores de terminais terrestres. Mas a tendência é que ocorra uma adaptação desses trabalhadores levando todo o sistema a lucrar com isso.

O custo de implantação do sistema de containerização é outro ponto a se considerar. O investimento inicial é bastante alto pois não só o contêiner é um equipamento oneroso, mas tanto os navios porta-contêineres quanto os equipamentos portuários são mais caros. O custo de manutenção e reparo desses equipamentos também é maior do que no sistema anterior. Além disso, a mão-de-obra deve ser mais especializada requerendo mais treinamento e melhores salários (referência [ 8 ]).

A disposição dos contêineres dentro dos navios deve ser cuidadosamente estudada antes de serem embarcados, para facilitar o desembarque em cada porto onde o navio ancorar e desta maneira evitar a criação de espaços vazios devido ao arranjo de carga (referência [ 11 ]).

Outra desvantagem do uso de contêiner é o próprio fato de ter que se preocupar com a embalagem. Ou seja, não se joga fora um contêiner depois que ele completa uma viagem. Surge então a necessidade de mais espaço para se estocar as embalagens vazias e planejar toda uma nova cadeia logística para que se possa reutilizá-las, incluindo os custos de movimentação interna no terminal. Nessa cadeia, os portos e terminais normalmente não têm um equilíbrio entre as quantidades de carga importada e exportada, ou seja, ora alguns deles têm mais carga containerizada de exportação que de importação ou vice-versa, para os vários tipos de contêineres. Este fato faz crescer muito o desbalanceamento

entre os vários pontos, levando a um problema que é muito importante: o balanceamento dos contêineres vazios.

Há excesso de contêineres vazios em alguns pontos da rede que têm de ser transportados para os pontos de demanda dessa mesma rede. É uma operação necessária que, porém, só representa custo, já que esses contêineres estão vazios. Então ela deve ser feita da maneira mais racional possível, de modo a minimizar esses custos que o armador vai pagar dentro da cadeia logística, sendo esse o principal problema que esse trabalho busca solucionar.

O problema tem muitos aspectos que são difíceis de modelar, principalmente porque envolve um número muito elevado de variáveis. A base para o sucesso no balanceamento de contêineres reside em se prever em que pontos haverá demanda e oferta de contêineres, para que se possa, com antecedência, posicionar equipamentos onde eles serão necessários, ou retirá-los de onde eles são desnecessários. Assim, é preciso um bom sistema de informações para fazer boas previsões das situações possíveis, mas é também necessário fazer algumas simplificações para se chegar a um modelo matemático que seja um importante instrumento para a tomada de decisão.

## 1.2) Delineamento do trabalho

Como foi visto no item anterior, o problema que este trabalho vai estudar é o desbalanceamento dos contêineres vazios. Para fazê-lo, inicialmente será colocado um breve histórico da containerização (capítulo 2), depois o problema do contêiner vazio será mais detalhado (capítulo 3).

Um Modelo Matemático Genérico para Reposicionamento de Contêineres Vazios será apresentado no capítulo seguinte (capítulo 4), porém, por ser muito amplo, só com o modelo do capítulo que o segue (capítulo 5), que será o modelo particular, ter-se-á uma aplicação prática em uma companhia de navegação. Em seguida, um caso específico de uma companhia de navegação será apresentado (capítulo 6). Dentro desse caso específico será aplicado o modelo particular (capítulo 7), onde uma planilha (que será explicada mais adiante) servirá como dado de entrada para o programa feito em GAMS, que decide quais os posicionamentos ótimos com base no menor custo, utilizando programação linear.



Por fim, a análise dos resultados do programa, quando aplicado ao caso real da companhia de navegação, é discutida (capítulo 8), passando então para a apresentação das considerações finais e recomendações futuras para esse tipo de problema (capítulo 9).

Além disso, a bibliografia utilizada é descrita, seguida dos anexos relativos ao programa desenvolvido para o *software* GAMS.

## 2 - História da Containerização

O primeiro tipo de embalagem consagrada foi o tonel, pois era uma embalagem segura, hermética (adequada para os principais produtos comercializados na época, como óleos e vinho) e de fácil carga e descarga para os equipamentos utilizados. Os tonéis eram rolados para dentro e fora do navio com a ajuda de um pau de carga, pois não havia os modernos guindastes da atualidade. Apesar da uniformidade em sua concepção, os tonéis variavam de tamanho de uma região para outra, levando a grande perda de espaço nos navios.

Na época, a principal restrição dos navios era o peso da carga, não havia preocupação com o espaço perdido. Porém, com o desenvolvimento da engenharia naval, principalmente com o surgimento dos navios de aço de grande capacidade, as restrições dos navios passaram a ser mais quanto ao volume do que quanto ao peso. Não se podia mais perder os espaços entre os tonéis. Então, eles gradativamente foram substituídos, pois tinham alto fator de estiva (o volume ocupado pela mercadoria dividido pelo peso).

Desde o final do século passado até a atualidade, a industrialização mundial e o conseqüente aumento do comércio entre nações fez com que aumentasse o transporte de produtos manufaturados chamados de carga fracionada (*breakbulk*) ou carga geral.

Esses produtos eram transportados nas mais variadas embalagens, normalmente a que facilitasse mais para o produtor ou exportador sem ter maior preocupação com os vários modais que a cadeia logística daquele produto pudesse exigir. O modal que mais sofria com isso era o marítimo. As embalagens tinham um certo padrão regional; para os caminhões era fácil adaptar as carrocerias para esse determinado padrão e eles não percorriam, em regra, distâncias tão grandes a ponto do tipo de embalagem diferir. Entretanto, os navios percorriam distâncias muito maiores e, em geral, atravessavam várias regiões, cada qual com um diferente padrão de embalagem. Contudo, os porões dos navios

não podiam ser modificados com a mesma versatilidade que os caminhões, sob risco de alterar o seu plano estrutural. Além disso, o navio transportava mercadorias das mais diversas regiões, encontrando os mais diversos tipos de embalagem, tornando impossível adaptar-se a estes padrões regionais. O resultado era a perda do volume útil dos porões dos navios, dificuldade de carga, descarga, manuseio e estivagem das mercadorias nos navios. Tudo isso refletia-se num alto custo portuário, que fazia com que se evitasse transbordo para navios, só justificando o seu uso em transportes de longo curso.

Em 1901, o inglês James Anderson divulgou o primeiro tratado que sugeriu o uso de "receptáculos" uniformes e resistentes para uso no transporte internacional. Houve algumas experiências isoladas nesse sentido, mas só a partir dos meados deste século a idéia foi realmente levada adiante.

Em 1950, o Exército Americano desenvolveu um recipiente chamado CONEX que media 6' x 6' x 8' e já demonstrou as suas vantagens logísticas (principalmente a rapidez de manuseio). Porém, era usado somente no transporte de materiais bélicos que não mantinham uma correlação com as mercadorias de carga fracionada transportadas pelos cargueiros comerciais.

Em 1956, Malcom McLean, proprietário de uma companhia de transportes que utilizava caminhões, começou a operar navios mistos que transportariam contêineres pela costa oeste dos EUA. Percebeu que o navio poderia ser visto como um só caminhão que puxava várias carretas ao mesmo tempo. Em princípio, eram navios-tanque adaptados que levavam petróleo num sentido e contêineres de 8' x 8,5' x 35' sobre o convés no outro, fazendo um transporte de cabotagem entre os portos da costa oeste americana. O primeiro navio, o Ideal X, tinha a capacidade de apenas 58 contêineres mas já mostrava as vantagens da containerização, como a rapidez de carga e descarga e a facilidade da intermodalidade. Ele adquiriu, então, navios *full* contêiner (só transportam contêineres) com capacidade de 226 contêineres de 35 pés e dois guindastes de carga e descarga dos contêineres, que tornou o transporte de cabotagem competitivo com o transporte rodoviário e ferroviário, pois esses navios diminuíram muito os altos custos portuários dos EUA na época, já que tinham guindastes próprios.

Era dado início a uma revolução nos meios de transporte com a utilização de contêineres, pois o mundo percebeu suas vantagens, como redução dos custos portuários, maior proteção da carga transportada, melhor aproveitamento dos espaços dos navios,

maior controle sobre a carga e a grande facilidade de transbordo de um modal de transporte para outro (decretando a substituição dos antigos navios de carga fracionada).

Porém, surgiu um problema similar ao que acontecia com os tonéis: faltava uma padronização dos tipos de contêineres para facilitar a estivagem nos navios.

Em 1958, formaram-se comitês para o estudo da padronização dos contêineres pela ASA americana e pela ISO na Europa. E em 1968, as normas ISO foram estabelecidas e aceitas mundialmente. A unidade básica utilizada foi o contêiner de 20 pés que servia de medida para capacidade de terminais e de navios, denominada TEU (*twenty feet equivalent unit*). Por exemplo, um navio com capacidade de 600 TEU pode levar 600 contêineres de 20 pés ou 300 contêineres de 40 pés. Não é tão usual, mas existe também o termo FEU (*forty feet equivalent unit*) que tem explicação similar ao TEU.

Os contêineres variavam no comprimento (10, 20, 30 e 40 pés) e com altura e largura fixas em 8 pés (referência [ 2 ]), porém, mais tarde, a padronização manteve os comprimentos (apesar da utilização dos contêineres com 10 e 30 pés ser muito restrita), modificou a altura para 8,5 pés e recentemente foram fabricadas séries *high cubic*, com 9,5 pés de altura que não requerem alteração do tamanho das células onde se alojam os contêineres nos navios (referência [ 4 ]).

A padronização foi feita em função dos contêineres já existentes, mas basicamente o fator determinante para os vários tipos de contêineres foi o fator de estiva das mercadorias containerizáveis (referência [ 2 ]), como será mostrado logo a seguir.

Os contêineres de 20 pés, com capacidade volumétrica líquida média de  $27 \text{ m}^3$  e capacidade líquida média em peso de 21 t, são utilizados para transportar cargas que estejam dentro de sua faixa de densidade; ou seja, com fator de estiva próximo de  $1,3 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$ , como a maioria da carga geral.

Já os contêineres de 40 pés, com capacidades líquidas médias de  $65 \text{ m}^3$  e 26 t, são utilizados para cargas com fator de estiva próximo de  $2,5 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$ , as quais são as cargas mais volumosas (ex: sapatos, tubos de TV, móveis, tubos de microondas, etc). Recentemente, há um aumento da utilização desse tipo de contêiner devido à carga leve produzida pela indústria de micro eletrônica e informática.

Os contêineres de 20 pés têm maior utilização mundial, pois há mais mercadorias que se encaixam em seu tipo de carga a ser transportada. Também observa-se atualmente um crescimento da utilização de contêineres de 40 pés, devido ao aumento da capacidade de peso que tem sido conseguida nas séries mais novas desse tipo de equipamento. Às vezes, a utilização de um tipo ou outro de contêiner não é devido à carga que ele transportará e sim devido a facilidades locais, como a disponibilidade de um certo equipamento que não é o ideal para aquele tipo de carga mas pode ser utilizado para o transporte e está disponível na região. Portanto, utiliza-se esse equipamento ao invés de outro mais específico para economizar nos custos de reposicionamentos. Existem também os contêineres especiais: como os ventilados, frigoríficos, insulados e outros que são específicos para certos produtos. Portanto, todos os tipos de equipamentos são necessários, pois a natureza da carga varia (referência [ 2 ]).

Basicamente o transporte internacional de contêineres é feito por navio. Navios porta-contêineres podem carregar de 9.000 até 36.000 t, ou 300 até 6.000 TEU (Na atualidade já começaram a ser produzidas as séries de super porta-contêineres que podem levar 6000 TEU - referência [24]). Com os métodos tradicionais, a taxa média de carregamento de um navio de carga é de 10 t por hora, por porão. Um contêiner pesando 35 t pode ser carregado ou descarregado do navio em 3 minutos (referência [ 9 ]). Esta redução no tempo de carregamento reduz o tempo do navio no porto, melhorando o desempenho do sistema global . Para manusear os contêineres, os portos e terminais devem ser equipados com guindastes especiais que possam levantar grandes pesos e colocá-los diretamente no navio, caminhão ou trem (referência [ 9 ]).

O contêiner básico foi adaptado para o uso em vagões e caminhões. Também ele pode ser facilmente carregado em navios, até mesmo nos RoRo ( *Roll-on Roll-off* ), onde o próprio caminhão pode entrar no navio para o carregamento (referência [ 10 ]).

No próximo capítulo, o problema do contêiner vazio será melhor detalhado e serão mostrados alguns aspectos de uma companhia de navegação, identificando as características básicas do problema de distribuição dos contêineres vazios. Posteriormente, será exibido o Modelo Matemático Genérico para Reposicionamento de Contêineres Vazios baseado em pesquisa bibliográfica. Por fim, será proposto um modelo particular para a resolução do problema.

### 3 - O Problema do Contêiner Vazio

O problema do contêiner vazio surge devido aos desbalanceamentos dos vários tipos de equipamentos (equipamento, a partir daqui, será usado como sinônimo de contêiner) nos portos, pois o trabalho está se restringindo a área de navegação. Portanto, haverá portos onde há acúmulo de contêineres vazios, enquanto que em outros, há falta de equipamento.

Porém, não se sabe com exatidão quando acontecerá essa falta, pois depende do fechamento de carga para um navio específico, da data de partida desse navio e do estoque do equipamento. Também a oferta do equipamento depende do estoque de vazios naquele porto, bem como do retorno de contêineres que estavam antes com carga ou, então, que estavam em reparo. Por isso, para fazer esse planejamento futuro é necessário que se tenha as previsões de demanda e oferta nos portos, bem como a programação dos navios.

A capacidade disponível dos navios é importante para saber quantos contêineres vazios podem ser embarcados. Mas essa informação deve ser sempre verificada para evitar que se programe o carregamento de contêineres vazios em um navio que já está totalmente carregado com contêineres com carga.

#### 3.1) Detalhamento do problema

Para se entender bem o problema, este será um pouco mais detalhado a seguir: existem portos de demanda e de oferta para cada tipo de equipamento (equipamentos são basicamente os contêineres e seus acessórios), como já foi visto, e para cada época do ano (as cargas são normalmente sazonais). Portanto, o planejamento de posicionamento dos contêineres vazios vem das projeções de carga a ser transportada. Sendo assim, é importante a previsão de demanda e oferta (quando e onde os contêineres cheios vão estar vazios e disponíveis no sistema novamente) para os vários períodos e outras restrições do problema, inclusive as devido a contratos firmados com os clientes.

Sendo assim, para o reposicionamento do equipamento vazio, são tomadas como referência as previsões (principalmente as de demanda que vêm da área comercial) e também os *schedules* dos navios (*schedule* é a programação do navio, em que portos passará e quando isso ocorrerá).

O processo de alocação de contêineres vazios visa basicamente responder a certas questões:

Como suprir a demanda?

Quando iniciar o transporte?,

Qual sua origem e seu destino?

Como fazê-lo (de navio ou caminhão)?

Mas para se tomar estas decisões, também são necessárias as seguintes informações:

-nível de estoques de contêineres vazios nos portos e depósitos,

-disponibilidade destes contêineres (pois o equipamento pode estar avariado, em reforma ou em alguma outra condição que impeça sua utilização imediata).

Ainda é preciso um bom conhecimento do mercado, das companhias competidoras, dos regulamentos legais dos países onde opera, assim como a melhor previsão possível da demanda e da oferta dos contêineres vazios ao longo do período planejado.

Utilizando a rede de informações, os equipamentos vazios serão reposicionados para pontos de demanda. Definem-se os portos de saída, destino e os navios ou caminhões que farão o transporte. O reposicionamento de contêineres vazios para outros pontos da rede só poderá ser feito se no navio houver espaço vago ( *slots* disponíveis ). Desta maneira, os espaços nos navios devem ser previamente verificados para que não se utilizem os espaços de contêineres com carga.

A princípio, este planejamento não apresenta muitas dificuldades, a não ser pela dimensão do problema, mas ele fica mais complicado devido às incertezas no sistema e de acontecimentos imprevistos, tais como:

- 1) A previsão da área comercial exagerada;
- 2) O cancelamento de carga;
- 3) Quebra de *portainer* (guindastes de movimentação de contêineres);
- 4) Greve de trabalhadores dos portos ou de empresas que prestam serviços para os portos;
- 5) Avaria do próprio equipamento e tempo de reparo;
- 6) Demora na devolução dos contêineres vindos de importação;
- 7) Fiscalização das autoridades;
- 8) Mudança do *schedule* dos navios.

Devido a estas incertezas são usados estoques de segurança para que não se perca carga, mesmo aumentando os custos de se manter estoques de contêineres vazios. Os principais custos de se manter estoque são a armazenagem, o *per diem* para contêineres alugados (*per diem* é o aluguel cobrado por dia pelas *leasings* - as empresas proprietárias dos contêineres) e um *per diem* para os contêineres próprios que representam a amortização da compra do equipamento.

Uma das metas é atender à demanda de contêineres vazios, sem aumentar o estoque e considerando-se outros critérios de controle dos equipamentos, como o *overdue* (o tempo que ele está sem movimentação). O *overdue* pode representar uma má utilização do contêiner, portanto, a regra nos depósitos é a de *first in first out*, ou seja o primeiro a chegar vai ser o primeiro a ser reutilizado.

Para satisfazer a demanda pode-se, também, alugar o equipamento. O aluguel de contêineres pode ser realizado de duas maneiras básicas:

- 1) O aluguel (*leasing*) de empresas proprietárias de contêineres, ou
- 2) O *subleasing* que é o aluguel de um contêiner de outro armador.

O procedimento de aluguel deve ser evitado para não aumentar o estoque geral da empresa. As empresas de *leasing* possuem todos os tipos de equipamento espalhados pelo mundo e os alugam para os armadores. O tipo mais comum de *leasing* é o *master leasing* pelo qual as empresas de navegação negociam a utilização de grandes quantidades de equipamentos, tendo cotas de devolução mensais para diversos pontos do globo. Isso dá uma maior flexibilidade aos armadores podendo ajustar a utilização desses contêineres ao seu planejamento logístico.

Para tentar evitar o crescimento do estoque com esses aluguéis, quando o cliente permite, pode ser feita a substituição do equipamento. Pode-se, por exemplo, usar um contêiner de 40 pés de carga seca para transportar a carga de um contêiner de 20 pés de carga seca. Isso pode representar uma vantagem logística, pois, apesar de transportar um contêiner que não está completamente cheio, é despachado um contêiner que é necessário em outro local e está sobrando no porto de origem, sem custos para o armador, e, pelo contrário, gerando receita.

Ainda referindo-se ao inventário, o estoque mínimo de equipamento em cada porto não pode ser calculado com uma demanda permanente. A demanda é quase sempre irregular, permitindo apenas perceber algumas variações sazonais. Desta maneira, para se

estimar qual deverá ser o estoque, utilizam-se séries históricas que são separadas por período de ano, fazendo uma projeção para se achar o estoque mínimo.

Sabendo as características básicas do problema, será desenvolvido o modelo de programação linear, que aloca os contêineres com base nas informações obtidas, considerando, para a tomada de decisão, os custos logísticos envolvidos que já foram citados, como armazenagem, transporte e aluguel. Novamente deve-se lembrar que não se consegue atribuir todos esse custos com facilidade, pois alguns deles não são diretos e outros podem variar com o período e com a quantidade transportada, mas o modelo deve ser ajustado para que ele ao menos distinga qual a melhor opção, mesmo que não acerte com exatidão os custos de cada operação.

Para se conseguir uma resposta ainda melhor do modelo, há a necessidade de se tentar ajustar ao máximo as previsões para que mais se aproximem do real, pois quanto menor o erro nesta informação, mais se consegue diminuir o estoque e, conseqüentemente, os custos.

Com isso tenta-se manter um estoque mínimo de contêineres, com o menor número de reposicionamentos, sem que falte equipamento e possa haver perda de carga, pois o objetivo de uma empresa de navegação é ter lucro com os fretes cobrados pelo transporte marítimo.

#### **4 - Modelo Matemático Genérico para Reposicionamento de Contêineres Vazios**

O procedimento, nesta etapa, foi pesquisar quais modelos já foram propostos para esse tipo de problema. Consultando-se a literatura, não se encontra uma gama muito extensa de trabalhos em relação ao assunto logística de contêineres vazios, pois o controle logístico é um tema mais recente que a própria containerização. Mas, dentro dos poucos trabalhos já publicados, foi encontrado um, no qual este Modelo Matemático Genérico se baseia (referência [7]). No trabalho, os autores Pierre J. Dejax, Teodor Gabriel Crainic e Michel Gendreau mostram basicamente modelos matemáticos do planejamento do transporte por terra de contêineres vazios que estão dentro de rotas marítimas internacionais. Mais precisamente, da alocação desses contêineres na rede de transporte de uma companhia, levando em conta a dependência do espaço e tempo dos eventos e as incertezas de oferta e demanda inerentes ao problema. São consideradas também as



substituições entre os vários tipos de contêineres, as relações entre companhias do mesmo ramo e outras características operacionais que serão vistas em seguida.

Para melhor organizar o problema, ele foi dividido em duas partes:

- 1) Identificação das características básicas e da estrutura do problema de distribuição dos contêineres.
- 2) Desenvolvimento da modelagem de uma rede de distribuição de contêineres determinística e com um só tipo de contêiner.

Ao final do artigo a modelagem é comparada a outras já feitas e também é criticada quanto às suas limitações e sua implementação prática. Pode-se adiantar que, aqui, apenas será considerado o caso determinístico para vários tipos de equipamentos, para simplificação do problema e pela dificuldade bem maior de se obter os dados para o modelo estocástico.

#### **4.1) Identificação das características básicas e da estrutura do problema de distribuição dos contêineres**

É importante justificar porque o problema foi reduzido à alocação dos contêineres vazios. O problema de transporte de vazios, onde ainda não são conhecidas as rotas de transporte terrestre e marítimo, é matematicamente inviável, ainda, de se resolver como um todo, por isto divide-se o mesmo em dois problemas diferentes (referência. [7]):

- a) um é o modelo de roteamento que procura minimizar o custo geral de transportes de contêineres vazios e carregados, de sua origem ao seu destino. Este é um problema complexo e difícil, pois envolve não apenas a determinação dos melhores itinerários dos contêineres, como também a construção das várias rotas dos veículos que irão transportá-los. Já que as companhias de navegação normalmente terceirizam o transporte terrestre, e têm a programação dos navios pré-definida, não é de seu interesse direto resolver este problema que também envolve contêineres carregados;
- b) o outro problema é o de alocação propriamente dita, e é este que se tentará resolver se restringindo aos contêineres vazios por ser a parcela que corresponde a 40% dos custos de transporte e distribuição de uma companhia de navegação (referência [7]). Os fluxos não são balanceados (um contêiner que vai carregado não volta necessariamente carregado) e

os contêineres carregados podem ser considerados uma variável exógena ao problema que gera a oferta e a demanda de contêineres vazios.

Portanto, o problema tem como dado de entrada o plano tático-estratégico de transporte da companhia, onde está definida a rede física na qual o problema se inclui, sendo os portos e depósitos fixos na rede. Os clientes de oferta e demanda serão distribuídos entre estes portos e depósitos. O plano também especifica a previsão de demanda e oferta para os vários períodos e, por último, as restrições do problema, inclusive as resultantes de contratos firmados com os clientes. A demanda de dentro do sistema será sempre satisfeita e o horizonte de tempo de planejamento será truncado como se verá adiante.

Como já foi mencionado anteriormente, o processo de alocação de contêineres vazios visa basicamente responder a certas questões: Quando iniciar o transporte?, Qual sua origem e seu destino? Como fazê-lo? A última pergunta pode ser considerada respondida, já que a rede física está montada e suas rotas e modais definidas. As respostas às outras perguntas serão o resultado do modelo. Mas para se tomar estas decisões, outras informações são necessárias: nível de estoques de contêineres vazios nos portos e depósitos, as substituições feitas entre os vários tipos de contêineres, os contêineres que são sucateados e os contêineres novos ou emprestados que entram no sistema.

Também é preciso um bom conhecimento do mercado, das companhias competidoras e aliadas, dos regulamentos legais dos países onde opera, assim como uma boa previsão da demanda e da oferta dos contêineres vazios.

Isto repetido, pode-se partir para a estrutura do modelo, começando com suas diversas partes:

#### A rede física

Corresponde ao sistema de distribuição e transporte da companhia, formado pelos portos, depósitos e clientes e seus arcos de conexão.

#### Portos

São um tipo de depósito especial, pois são os principais pontos de entrada e saída do sistema, já que unem a rede em terra com a rede de transporte marítimo internacional, através dos contêineres que entram e saem dos portos pelos navios.

### Depósitos em terra

São, em geral, locais que oferecem alguma facilidade de transporte, como pátios de estações ferroviárias, onde a companhia de navegação apenas aluga os espaços que precisa. Portanto, os portos e depósitos da rede são fixos em um dado horizonte de planejamento.

Tanto os depósitos como os portos servem como locais de armazenamento e passagem transitória de contêineres vazios.

### Clientes

Existem dois tipos de clientes: os de demanda e os de oferta. Os de demanda são aqueles que requerem contêineres vazios, enquanto que os de oferta têm os contêineres vazios para oferecer, advindos de uma remessa de contêineres que já realizou uma viagem com carga e agora estão prontos para um próximo carregamento. Dentro do horizonte de planejamento, cada cliente gerará pedidos e ofertas de contêineres vazios, que caracterizará um número de contêineres desta balança, assim como o seu tipo e sua condição de entrega ( até quando deve ser entregue, sua janela de tempo ). Os pátios dos clientes são conhecidos e para cada cliente de demanda o plano tático-estratégico já determinou quais depósitos podem atender sua demanda. As janelas de tempo são principalmente determinadas pela programação dos navios e pelo tempo estimado necessário para carregar e transportar os contêineres.

Deve-se lembrar que os contêineres carregados, seus movimentos e quando eles estarão novamente disponíveis é a informação decisiva para a futura previsão de oferta de contêineres e para o controle dos níveis de estoque dos depósitos.

Quanto à demanda de contêineres vazios, distingue-se o cliente físico dos seus pedidos, pois nem todos os pedidos são ordens certas, alguns são previsões que não se realizam, como também podem surgir surtos de demandas imprevistas, que no modelo são associadas aos depósitos.

Há, portanto, um fluxo de contêineres entre os depósitos para que se possa, dentro do espaço-tempo do horizonte de planejamento, satisfazer a demanda. Isto será definido pelo modelo de alocação.

Por definição, não se pode alterar a programação dos navios (*schedules*), portanto a entrada e saída de contêineres vazios têm datas fixas e estes contêineres não são seguidos

quando saem do sistema. O modelo permite, também, a entrada externa de contêineres através de compra ou de aluguel. Sendo assim, a rede dinâmica dentro do horizonte de planejamento de diversos períodos aplicada num horizonte em movimento será descrita a seguir.

#### **4.2) Desenvolvimento da modelagem de uma rede de distribuição determinística de contêineres de tipo único.**

Em cada período, um conjunto de clientes de oferta e demanda é definido pelo plano tático-estratégico, assim como as previsões de demanda das firmas conhecidas. Isto implica que dois pedidos do mesmo cliente podem ser tratados como itens diferentes pelo sistema.

Por definição, tem-se:

*T*: comprimento do horizonte de planejamento (último período);

*H*: conjunto dos portos;

*D*: conjunto dos depósitos em terra;

*I*: conjunto dos clientes de demanda identificados;

$\Delta i$ : janela de entrega do cliente *i*;

*S*: conjunto dos clientes de oferta;

*X*: demanda dos clientes ou dos portos (externa ao sistema);

*Y*: oferta de contêineres dos clientes ou dos portos (externa ao sistema).

Portos e depósitos se confundem em termos da função de armazenamento, ou seja, o porto é um depósito aonde chegam e de onde saem navios (entradas externas de contêineres do sistema).

As variáveis de decisão do problema são, genericamente, os movimentos dos contêineres através do espaço e do tempo (o problema é considerado dentro de um plano cartesiano onde o eixo *x* é o tempo e o eixo *y* é o espaço). Os movimentos que envolvem clientes são representados pela letra *v*, e a letra *w* representa os equipamentos mantidos nos depósitos (movimentados apenas no tempo) e os movimentos entre depósitos.

Em termos de tempo, uma vez começado um período onde um movimento é especificado, o instante de chegada é totalmente determinado pelo tempo de trânsito, portanto, não é uma variável de decisão. Os tempos de trânsito incluem também os tempos

de carregamento e descarga tanto dos contêineres quanto das mercadorias dentro deles. O tempo de trânsito é independente do período.

#### **4.2.1) Identificação dos clientes de demanda**

A demanda de um cliente identificado tem de ser atendida pelos depósitos aos quais o cliente é associado, por carregamentos em algum dos períodos que ainda respeite a janela de tempo de entrega imposta pelo cliente. Em alguns casos, parte da demanda pode ser satisfeita por carregamentos iniciados em períodos anteriores ao começo do horizonte de planejamento. Por isto, é utilizado um parâmetro  $K$  para ajustar estes valores, são quantidades de contêineres previamente conhecidas.

Para garantir que o problema seja resolvido, nem todos os depósitos do conjunto  $J$  estarão vazios, pois sempre um deles poderá satisfazer a demanda de um cliente. Isto representa o fato de que a parte comercial da empresa não pode aceitar um pedido que não possa ser atendido, mesmo que temporariamente.

#### **4.2.2) Cliente de oferta**

Os contêineres que estão disponíveis no pátio do cliente de oferta são aqueles que vieram previamente com carga, mas agora já estão vazios e prontos para serem reutilizados. Ou estes contêineres voltam para o porto de origem (pode ser uma cláusula contratual) ou vão para um dos depósitos aos quais o cliente está associado, seguindo o plano tático-estratégico da empresa.

#### **4.2.3) Estoques nos depósitos**

Os estoques de contêineres dos depósitos são computados no final de cada período de tempo. Os volumes transportados para outros depósitos, portos ou clientes não são considerados como estoque, pois saem do depósito naquele período. O volume que entra durante o período é formado pelo fluxo de contêineres vindo de outros depósitos, portos ou dos clientes de oferta nos períodos anteriores e no atual, de acordo com o tempo de trânsito do contêiner. A este volume é adicionado o estoque que estava mantido no

depósito e a variável de decisão  $b$  que são os contêineres que vieram de fora do sistema (alugados ou comprados).

Para a remessa de contêineres que vieram antes do início do horizonte de planejamento para os depósitos e que posteriormente vai ser usada para satisfazer a demanda, adota-se o mesmo parâmetro  $K$ , mas com o índice diferente (diferenciando o transporte entre depósitos do transporte entre depósitos e cliente de demanda) que servirá para o ajuste dos fluxos.

#### 4.2.4) Oferta, demanda e estoque nos portos

A variável de decisão  $e$  representa a demanda externa de contêineres vazios que não poderá ser satisfeita. É uma variável de folga, que representa o único tipo de demanda que pode deixar de ser atendido. As demais características dos portos são idênticas as dos depósitos.

#### 4.3) Formulação do modelo matemático genérico de uma rede determinística de distribuição de contêineres de tipo único.

Definições para a formulação do modelo:

$T$ : comprimento do horizonte de planejamento ( último período );

$H$ : conjunto dos portos;

$D$ : conjunto dos depósitos em terra;

$\Delta_i$ : janela de entrega do cliente  $i$ ;

$\tau_{ji}$ : tempo de viagem de um lugar  $j$  para outro  $i$ , predeterminado para todas as viagens possíveis;

$I^t$ : conjunto de todos os clientes de demanda  $i$  que são satisfeitos, o mais tardar, no período  $t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$I_j^t$ : conjunto de todos os clientes de demanda  $i$  que são satisfeitos pelo depósito  $j$  por movimentos que começam no período  $t$  e chegam no período  $t + \tau_{jt}$ , isto é; o cliente  $i$  pertence a  $I_j^t$ , se  $t' - \Delta_i \leq t + \tau_{jt} \leq t'$  para  $i \in I^t$ ;  $j \in D \cup H$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$J_i^{t'}$ : conjunto de todos os depósitos  $j$  que no período  $t'$  podem ser usados para satisfazer a demanda do cliente  $i$ ,  $i \in I^t$ , o carregamento começa no período  $t'$  e chega no período  $t' + \tau_{jt}$ , desde que  $t - \Delta_i \leq t' + \tau_{jt} \leq t$ ;  $J_i^{t'} \subseteq D \cup H$ ,  $t' = 1, 2, \dots, T$ ;

$J_s^t$ : conjunto de todos os depósitos  $j$  para onde os clientes de oferta  $s$ ,  $s \in S^t$ , podem mandar contêineres vazios no período  $t$ ; onde  $j \in J_s^t$  e  $J_s^t \subseteq D \cup H$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$S^t$ : conjunto de clientes de oferta que fornecem os contêineres no período  $t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$S_j^{t'}$ : conjunto de clientes de oferta  $s$ ;  $s \in S^t$ ,  $t' = t - \tau_{sj}$  de onde o depósito  $j$  pode receber contêineres no período  $t$ ,  $j \in D \cup H$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ .

#### Parâmetros do modelo:

$X_i^t$ : demanda de um cliente interno  $i$ , que requer que os contêineres sejam entregues em sua locação, o mais tardar, no período  $t$ ;  $i \in I$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$X_j^t$ : demanda requisitada para fora do sistema de um porto  $j$ , que representa os contêineres pedidos para fora da área de estudo no período  $t$ ,  $j \in H$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$Y_s^t$ : oferta de contêineres que fica disponível no período  $t$  no cliente interno de oferta  $s$ ;  $s \in S^t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$Y_j^t$ : oferta de fora do sistema em um porto  $j$  que representa os contêineres que entram de fora da área de estudo no período  $t, j \in H, t = 1, 2, \dots, T$ ;

$K_j^t$ : quantidade de contêineres mandada ao depósito  $j$ , antes do início do atual horizonte de planejamento e que chega no período  $t; j \in D \cup H, t = 1, 2, \dots, T$ ;

$K_i^t$ : quantidade de contêineres mandada ao cliente  $i, i \in I$ , antes do início do atual horizonte de planejamento e que chega no período  $t; t = 1, 2, \dots, T$ ;

$I_{j,k}^t$  ( $u_{j,k}^t$ ): nível mais baixo (alto) dos movimentos de balanceamento de contêineres entre depósitos iniciados no período  $t$  do depósito  $j$  para o  $k; j \in D \cup H, k \in D \cup H, t = 1, 2, \dots, T$ .

#### Os custos considerados no modelo são:

$c_{ij}^t$ : custo unitário de transporte do depósito  $j$  para o cliente de demanda  $i$  no período  $t; j \in D \cup H, i \in I, t = 1, 2, \dots, T$ ;

$c_{sj}^t$ : custo unitário de transporte do cliente de oferta  $s$  para o depósito  $j$  no período  $t; j \in D \cup H, s \in S, t = 1, 2, \dots, T$ ;

$c_{jk}^t$ : custo unitário de transporte do depósito  $j$  para o depósito  $k$  no período  $t; j \in D \cup H, k \in D \cup H, t = 1, 2, \dots, T$ ;

$c_j^t$ : custo unitário de armazenagem do depósito  $j$  no período  $t; j \in D \cup H, t = 1, 2, \dots, T$ ;

$c_j^t$ : custo para trazer um contêiner de fora do sistema para o depósito  $j$  no período  $t; j \in D \cup H, t = 1, 2, \dots, T$ ;

$c_j^t$ : custo unitário como penalidade por não atender a demanda externa do porto  $j$  no período  $t; j \in H, t = 1, 2, \dots, T$ .



### Variáveis de decisão:

$v_{ji}^t$ : quantidade de contêineres alocada no período  $t$  do depósito  $j$  para o cliente  $i$ . O carregamento chega no período  $t' = t + \tau_{ji}$ ,  $j \in D \cup H$ ,  $i \in I_j^t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$v_{sj}^t$ : quantidade de contêineres que sai no período  $t$  do cliente de oferta  $s$ , e que chegará no depósito  $j$  no período  $t - \tau_{sj}$ ;  $s \in S^t$ ,  $j \in J_s^t$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$w_{jk}^t$ : fluxo de contêineres do depósito  $j$  para o depósito  $k$ ; cujo carregamento começa no período  $t$  e acaba no período  $t - \tau_{jk}$ ;  $j \in D \cup H$ ,  $k \in D \cup H$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$w_{jj}^t$ : estoque de contêineres disponível no depósito  $j$  no fim do período  $t$ ;  $j \in D \cup H$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$b_j^t$ : quantidade de contêineres emprestada ou alugada ou comprada no depósito  $j$  no período  $t$ ;  $j \in D \cup H$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ ;

$e_j^t$ : demanda insatisfeita de fora do sistema no porto  $j$ , no período  $t$ ;  $j \in H$ ,  $t = 1, 2, \dots, T$ .

Considerando todas as variáveis de decisão e os custos envolvidos chega-se à função objetivo.

### Função Objetivo:

$$\text{Minimizar } Z \text{ tal que } \quad Z = \sum_{t=1,2,\dots,T} \left\{ \sum_{j \in DUH} \left( \sum_{i \in I_j^t} c_{ji}^t \times v_{ji}^t + \sum_{k \in DUH} c_{jk}^t \times w_{jk}^t + c_j^t \times w_{jj}^t + \underline{c}_j^t \times b_j^t \right) + \sum_{j \in H} c_j^t \times e_j^t + \sum_{s \in S^t} \sum_{j \in J_s^t} c_{sj}^t \times v_{sj}^t \right\}$$

### Restrições do Problema:

Toda demanda será atendida, considerando as janelas de tempo dos clientes e os tempos de trânsito dos depósitos até os clientes. Existe, no máximo, um  $i$  para cada período  $t$ .

Restrição de demanda:

$$\sum_{ta \leq t} \sum_{j \in J_i^{ta}} v_{ji}^{ta} = X_i^t - K_i^t$$

para todo  $i \in I, t = 1, 2, \dots, T$ ;

Todos os contêineres que ficam disponíveis em um cliente de oferta  $s$ , em um período  $t$ , devem ser imediatamente transferidos para os depósitos  $j$ .

Restrição de oferta:

$$\sum_{j \in J_s^t} v_{sj}^t = Y_s^t$$

para todo  $s \in S, t = 1, 2, \dots, T$ ;

A quantidade de contêineres armazenada é calculada através das próximas restrições, partindo do estoque no fim do período anterior, somando-se os fluxos de entrada e descontando-se os fluxos de saída no período.

Restrição de controle de estoque nos depósitos:

$$w_{jj}^t = w_{jj}^{(t-1)} + \sum_{ta \leq t} \left( \sum_{k \in DUH | \tau_{kj} = t-ta} w_{kj}^{ta} + \sum_{s \in S_j^t} v_{sj}^{ta} \right) + b_j^t + K_j^t - \sum_{k \in DUH} w_{jk}^t - \sum_{i \in I_j^t} v_{ji}^t \text{ para todo } j \in D, t = 1, 2, \dots, T;$$

Restrição de controle de estoque nos portos:

$$w_{jj}^t = w_{jj}^{(t-1)} + \sum_{ta \leq t} \left( \sum_{k \in DUH | \tau_{kj} = t-ta} w_{kj}^{ta} + \sum_{s \in S_j^t} v_{sj}^{ta} \right) + b_j^t + K_j^t + \sum_{k \in DUH} w_{jk}^t - \sum_{i \in I_j^t} v_{ji}^t - X_j^t + Y_j^t - e_j^t$$

para todo  $j \in H, t = 1, 2, \dots, T$ ;

Caso haja limitações na quantidade de contêineres que pode ser transportada de um ponto para outro em um determinado período, então ativa-se a restrição a seguir:

Restrição de quantidade (mínima e / ou máxima):

$$l'_{jk} \leq w'_{jk} \leq u'_{jk}$$

para todo  $j \in D \cup H, k \in D \cup H, t = 1, 2, \dots, T$ .

#### 4.3.1) Rede orientada do Modelo Matemático Genérico para Reposicionamento de Contêineres Vazios

Esta rede exemplifica o Modelo Matemático Genérico para Reposicionamento de Contêineres Vazios, com três períodos de tempo, dois clientes de demanda, um cliente de oferta, um porto e dois depósitos. Os arcos existentes mostram as janelas de tempos permitidas pelos clientes e todos os outros transportes possíveis. O nó  $\alpha$  representa a fonte de contêineres introduzidos no sistema (emprestados, alugados ou comprados). E o nó  $\alpha'$  representa a demanda externa ao sistema que não foi atendida. A figura foi retirada da referência [7] e adaptada para este trabalho.

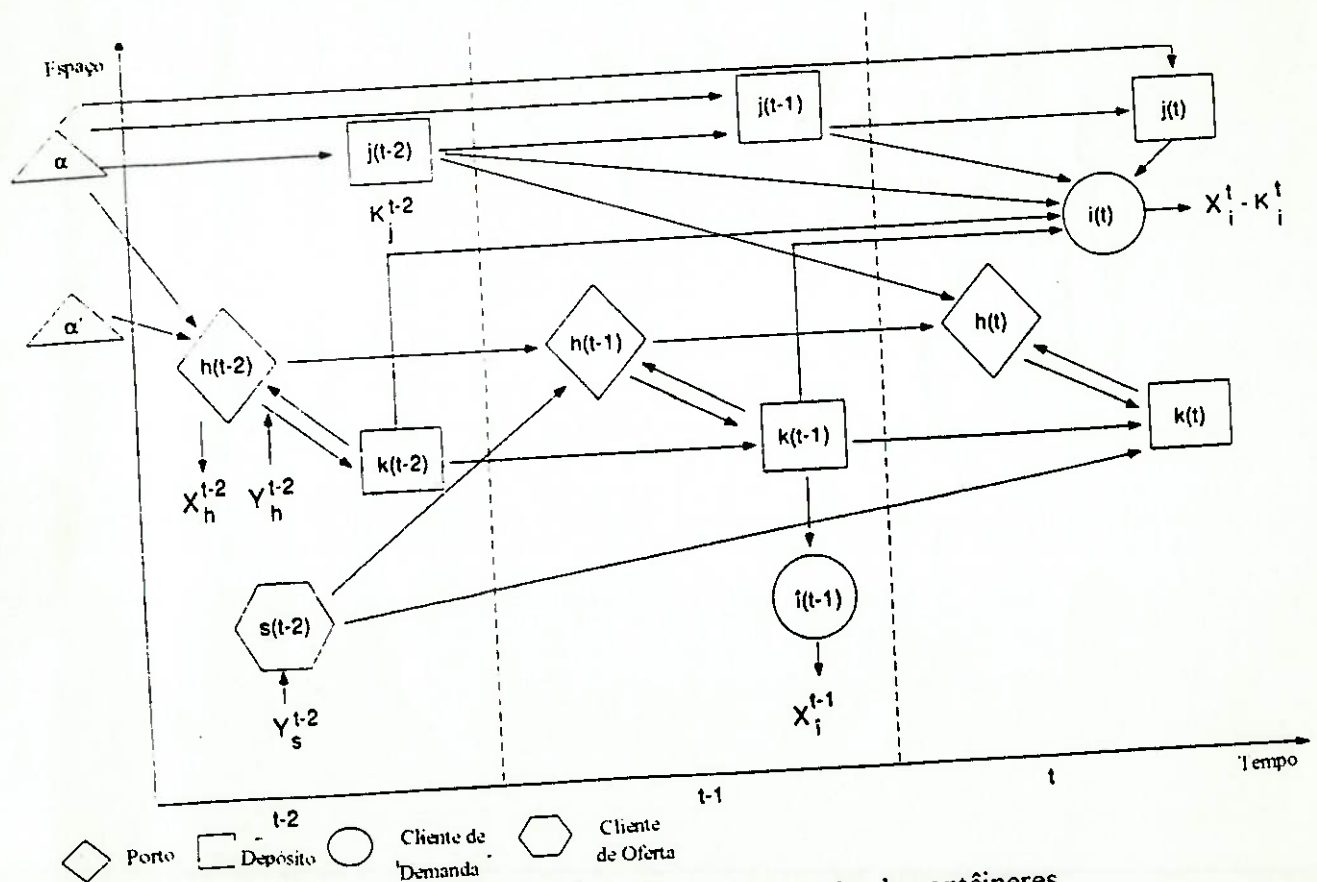


Figura 1 Diagrama Espaço-Tempo de movimentação de contêineres.

Extraído da referência [7]

#### 4.4) Comentários sobre o Modelo Matemático Genérico para Reposicionamento de Contêineres Vazios

Os autores Pierre J. Dejax, Teodor Gabriel Crainic e Michel Gendreau, da referência [ 7 ], não encontraram na literatura nenhum modelo específico para o problema do contêiner vazio, comparados aos modelos do seu trabalho. Foram encontrados apenas alguns trabalhos mais simplificados sobre redes de contêineres vazios (referência [ 1 ]), outros problemas similares como a distribuição estocástica do vagão ferroviário vazio (referências [ 5 ] e [ 19 ]) e problemas dinâmicos de alocação de veículos (referências [ 16 ] e [ 17 ]). Podem ser feitas algumas comparações entre estes modelos e outros problemas com apenas um tipo de veículo. Entretanto, o artigo da referência [ 7 ] era mais específico por se tratar de contêineres. Outros trabalhos consideram também o veículo carregado dentro das fronteiras do problema, mas em geral usa-se o mesmo veículo alocado várias vezes (como o problema de retorno de caminhões vazios). Porém, no caso dos contêineres, dificilmente a mesma unidade de contêiner será utilizada mais de uma vez dentro do problema o que o diferencia dos outros.

Normalmente nos outros problemas o objetivo é a maximização do lucro, sem a necessidade de se atender à demanda, caso o peso deste não atendimento não seja muito deletério. Mas no caso do modelo proposto, o objetivo é a minimização dos custos, atendendo a demanda.

Outro ponto importante é a possibilidade de se introduzir novos contêineres no sistema, pois assim se consegue montar um modelo mais próximo da realidade.

Algumas melhorias poderiam ser feitas nos modelos propostos, como estabelecer: estoque mínimo nos depósitos, obrigações contratuais de se mandar um contêiner vazio do cliente de oferta para o porto de origem e também as não linearidades na função objetivo, pois por simplificação, todos os custos foram tomados como lineares.

No modelo proposto, a organização é central, de onde partem todas as decisões de alocação dos contêineres por todo o território, dentro das fronteiras do problema. O modelo pode ser igualmente utilizado em outros tipos de organizações, a divisão do território em várias regiões com certa autonomia pode apenas ser regulamentada por uma autoridade central.

Para se implementar os modelos, faz-se necessário um sistema de informações com características básicas como: os custos de movimentação, rotas, demandas, etc., sendo que as previsões de oferta e demanda têm de ser sempre atualizadas.

Importante também é o final do horizonte de planejamento. Os modelos apenas cobrem um horizonte de  $T$  períodos enquanto que a companhia trabalhará até um futuro muito mais longínquo. O uso do *rolling horizon* ajuda a minimizar os efeitos negativos desta situação. Este artifício consiste em resolver o problema em um horizonte de planejamento de  $T$  períodos e, posteriormente, à medida que os períodos passam e ocorrem modificações dos dados de entrada, o problema é novamente resolvido para um horizonte de planejamento de  $T'$  períodos, onde  $T$  e  $T'$  compreendem o mesmo número de períodos, mas possuem em comum apenas alguns períodos. Sendo assim, antes de se terminar os primeiros  $T$  períodos, o problema é novamente resolvido, já com os dados mais atualizados. Desta maneira, obtêm-se informações mais precisas do final do horizonte antigo, possibilitando melhor visualização do novo horizonte. Desta forma, é como se tivesse a continuidade do tempo de planejamento, mas, ainda assim, os erros causados pelo truncamento do tempo não são eliminados. Portanto, é necessário selecionar o tamanho do horizonte de planejamento e as condições para o final desse horizonte para que o modelo seja válido.

Quanto maior for o horizonte de planejamento, menor serão as distorções do truncamento, porém, quanto maior o número de períodos considerados, maior o número de variáveis a calcular e menor a precisão das previsões, sendo necessário então, limitar o número de períodos para viabilizar a resolução do modelo com os recursos computacionais disponíveis, por exemplo, entre 10 e 20 períodos.

Pode-se prever condições simples para o fim do horizonte de planejamento: elas devem prever valores razoáveis para os estoques de contêineres vazios em cada depósito, no final do tempo  $T$ . Esses valores devem ser obtidos através das séries históricas e da operação prática das companhias ou ainda de um modelo de inventário de contêineres vazios. No caso determinístico, pode-se colocar limites superiores e inferiores para esses estoques.

Outro problema é o ajuste das janelas de tempo (conseqüentemente ofertas e demandas) que caem fora do horizonte de planejamento. Na maioria dos casos, elas seriam excluídas do problema e se ajustariam os estoques nos depósitos que serviriam a estes

pedidos para que eles fossem atendidos posteriormente (tirando as informações do plano tático-estratégico), porém, esta não é uma questão fechada e cada situação merece um cuidado especial.

## **5 - Modelo Matemático Particular para Reposicionamento de Contêineres Vazios**

Após estudar um modelo representativo, porém mais genérico, apresentado no capítulo anterior, e considerando as particularidades de uma empresa de navegação, foi proposto um novo modelo, doravante chamado de Modelo Matemático Particular ou simplesmente Modelo Particular, que será apresentado a seguir.

### **5.1) Alterações básicas do Modelo Matemático Genérico para o Modelo Matemático Particular para Reposicionamento de Contêineres Vazios**

Tendo como base o Modelo Matemático Genérico foi feito o Modelo Matemático Particular com algumas modificações. A rede física é muito semelhante à anterior, mas a grande diferença é que este modelo não baseia-se nos períodos de tempo, e sim na passagem dos navios pelos portos. O tempo só é usado para se calcular o gasto com armazenagem, se este custo existir, e verificar se é possível de ser feito um transporte por caminhão (se haverá tempo hábil ou não). O horizonte de planejamento também é baseado no tempo, mas só para se saber quais navios entram na programação. O horizonte de programação será de 4 semanas, pois, de acordo com informações obtidas junto a empresa de navegação, neste tempo as previsões ainda têm uma razoável precisão. O início do horizonte de planejamento deve ser tal que para o primeiro navio de cada porto ainda haja tempo para se fazer os posicionamentos (aproximadamente 2 dias antes da data de saída do navio). Para garantir que o período de planejamento seja o mesmo para todos os portos, foram criados dois navios fictícios: o INÍCIO que marca a data inicial do período de planejamento e o FINALL que marca a data final desse período em cada um dos portos.

Não haverá mais clientes de oferta e demanda como no Modelo Matemático Genérico anterior, mas sim cada porto será um ponto de oferta ou demanda para cada tipo de equipamento, segundo as previsões de fechamento de carga e chegada de importação. E não haverá, também, depósitos em terra, todos os depósitos considerados serão portos. O

Modelo Particular, portanto, difere um pouco do genérico que possuía portos e depósitos onde não era possível o posicionamento por navios.

O Modelo Matemático Genérico para Reposicionamento de Contêineres Vazios trabalha apenas com um tipo de equipamento. No modelo particular considerar-se-ão os vários tipos de contêineres e não serão possíveis as substituições. Isto foi feito porque as substituições não são significativamente importantes, mesmo existindo uma cláusula de substituição (*substitution clause*), a qual significa a substituição de um equipamento por outro, considerando-se porém, o mesmo frete e as mesmas quantidades do primeiro, quando isso representar uma vantagem logística. Nesse caso, por exemplo, estufa-se um contêiner de DC-40 com a mercadoria destinada a um de DC-20, e cobra-se o frete do de DC-20. Para tanto, é preciso que o cliente aceite a troca, exista equipamento de DC-40 disponível como vazio, e necessidade de transportá-lo para outro ponto da rota onde haja demanda do mesmo. A área comercial, porém, deve deixar bem claro que este é um embarque ocasional, pois, caso contrário, o exportador pode solicitar tal permuta de equipamento em seus embarques futuros e nesse caso, quando o equipamento de DC-40 não mais representar uma oferta de vazio naquele porto, estaria se reduzindo a cobrança de fretes e não utilizando-se de uma vantagem logística para a companhia de navegação.

São adotadas algumas hipóteses descritas abaixo:

Em virtude dos tempos para liberação dos documentos e acondicionamento de mercadorias no contêiner, os contêineres vazios que chegam a um porto em um dado navio apenas estarão disponíveis para o próximo navio que passar por este porto. Os equipamentos que vieram de importação e ainda estão sendo desovados pelo importador também não estão disponíveis. Mesmo tendo uma taxa bem alta de *demurrage*, que é taxa cobrada pelo armador quando o importador demora, mais tempo do que o previsto em contrato, para devolver o contêiner (normalmente o tempo limite é de uma semana), não se sabe com precisão quando esses contêineres serão devolvidos. E, por isso, usa-se a taxa diária média de devolução como se o retorno dos contêineres fosse determinístico, englobando também o retorno da manutenção, para se calcular a oferta ou demanda dos contêineres vazios.

O *schedule* será considerado fixo para simplificar o problema, pois é muito difícil prever alterações na programação dos navios. Outra hipótese considerada é que os navios só utilizam 10% de sua capacidade em TEUS para transporte de contêineres vazios por

sentido (norte-sul ou sul-norte); portanto, essa restrição fará parte do modelo. Mesmo assim, depois de definidos os posicionamentos, em um instante de tempo posterior, é necessário verificar se os parâmetros de entrada ainda são os mesmos, principalmente se não há perda de receita ao se transportar um contêiner vazio no lugar de um cheio. Por isso, pode ser necessário reaplicar o modelo para nova configuração, limitando os posicionamentos por navio que não podem ser feitos por causa da sua lotação. Poderia ser feita uma restrição que verificasse a quantidade de contêineres vazios que pode ser embarcado em cada navio, em cada porto, mas esse novo dado de entrada é muito difícil de ser obtido, pois essa quantidade prevista varia muito durante o processo de planejamento, não sendo portanto confiável.

Outro assunto importante é o estoque mínimo de segurança, que se deve manter nos portos por dois motivos básicos:

1- Os contêineres ficam presos com os importadores ou em reparo e, portanto, é necessário manter um estoque de equipamentos vazios para que se possa atender aos fechamentos de carga.

2- Os próprios fechamentos são incertos e, portanto, pode haver um aumento repentino na demanda que o estoque deve suprir. A quantidade de contêineres a ser mantida no estoque é um tanto subjetiva, mas por séries históricas pode-se estimar um valor razoável.

Para garantir o estoque mínimo que se pretende deixar nos portos (fim do horizonte de planejamento), basta colocar o estoque desejado como demanda no navio fictício FINALL de cada porto do arquivo de entrada do modelo particular. E, assim, a quantidade de contêineres mínima desejada estará em cada porto no fim do planejamento.

Os custos considerados no modelo serão:

- Custo unitário de embarque no porto de origem mais o custo de desembarque no porto de destino. O custo do transporte marítimo propriamente dito será desconsiderado pois os navios que farão o reposicionamento são da frota própria e que o embarque de um contêiner vazio, não impedirá o transporte de um cheio entre os dois portos;



- o custo médio unitário de transporte por terra, estimado a partir de dados históricos;
- o custo médio unitário de se alugar um contêiner, ou, no caso do insulado, é o custo unitário estimado para se trazer esse equipamento de fora do Brasil;
- a taxa unitária diária de armazenagem dos equipamentos nos portos (apesar de existir um valor estipulado pelos terminais de contêineres nos portos que levou a considerar essa taxa nos custos do modelo; por acordo entre os armadores e os terminais, caso haja uma movimentação mínima de contêineres por período, não há a cobrança dessa taxa. Ou seja, ela deve ser considerada como valor nulo, sem ter influência no reposicionamento. Caso essa situação mude o modelo já contempla também este custo).

Não serão considerados alguns dos problemas e custos operacionais advindos, por exemplo, de remoção de contêineres do navio (que é um custo alto), pois isso é um problema do cotidiano que deve ser resolvido com o *planner* do navio, quando realmente for necessário.

Todas essas simplificações transformam o Modelo Matemático Genérico para Reposicionamento de Contêineres Vazios em um novo modelo, cujos parâmetros podem ser estimados mais facilmente. Esse novo modelo, batizado como Modelo Matemático Particular, pode ser aplicado a um caso real. Passa-se agora à formulação matemática desse novo modelo, para que depois ele seja aplicado a um caso real de uma companhia de navegação.

## **5.2) Formulação do modelo particular de uma rede determinística de distribuição de vários tipos de contêineres.**

No modelo são apresentados os parâmetros, as variáveis de decisão, a função objetivo e suas restrições. Formando, assim, toda a estrutura do problema de reposicionamento dos contêineres vazios que será resolvido.

Para entender melhor o Modelo Particular, um porto genérico *I* é tomado como exemplo na figura 2, na qual as letras indexadas *T* representam os fluxos de contêineres, as letras indexadas *P* representam os portos:

- T1 - representa os contêineres vazios posicionados pelo navio  $(n-1)$  dos outros portos para o porto  $I$ ;
- T2 - representa os contêineres vazios posicionados por caminhão dos outros portos para o porto  $I$ , a tempo de embarcar no navio  $n$ ;
- T3 - representa os contêineres alugados no porto  $I$ , a tempo de embarcar no navio  $n$ ;
- T4 - representa os contêineres vazios que retornaram do reparo ou da importação no porto  $I$ , a tempo de embarcar no navio  $n$ ;
- T5 - representa os contêineres vazios pré posicionados dos outros portos para o porto  $I$ , a tempo de embarcar no navio  $n$ ;
- T6 - representa os contêineres vazios que ficaram armazenados no porto  $I$ , depois da passagem do navio  $(n-1)$ ;
- T7 - representa os contêineres vazios que ficaram armazenados no porto  $I$ , depois da passagem do navio  $(n)$ ;
- T8 - representa os contêineres vazios pré posicionados do porto  $I$  para os outros portos, na saída do navio  $n$ ;
- T9 - representa os contêineres vazios posicionados por caminhão do porto  $I$  para os outros portos, na saída do navio  $n$ ;
- T10 - representa os contêineres vazios posicionados pelo navio  $(n)$  do porto  $I$  para os outros portos;
- T11 - representa os contêineres cheios embarcados no navio  $(n)$  do porto  $I$  para fora do sistema;
- P1 - representa o porto  $I$  na passagem do navio  $(n)$ ;
- P2 - representa o porto  $I$  na passagem do navio  $(n-1)$ ;
- P3 - representa o porto  $I$  na passagem do navio  $(n-1)$ ;
- P4 - representa o conjunto dos outros portos antes da passagem do navio  $(n)$  no porto  $I$ ;
- P5 - representa o conjunto dos outros portos depois da passagem do navio  $(n)$  no porto  $I$ .

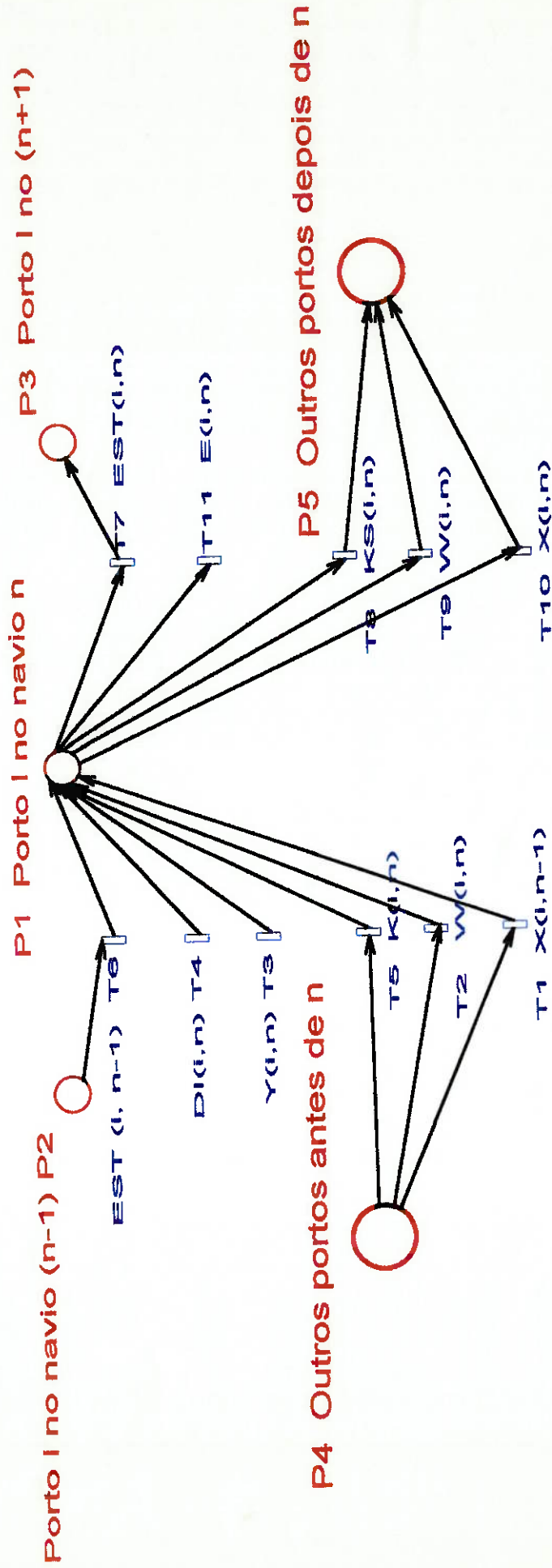


figura 2 - Fluxo de contêineres

**Parâmetros de entrada:**

$EU$ : O conjunto de todos os tipos de equipamento da empresa que serão controlados;

$P(eu)$ : O conjunto dos nós representando os portos onde os contêineres do tipo  $eu$  são armazenados onde  $eu \in EU$  e  $\bigcup_{eu} P(eu) = Po$ ;

$N(i)$ : O conjunto dos navios do *schedule* que passam pelo porto  $i$  onde  $i \in P(eu)$  e  $\bigcup_i N(i) = Na$ ;

$E_{n\_eu}^i$ : quantidade de contêineres do tipo  $eu$  que serão embarcados com carga no porto  $i$  no navio  $n$ ,  $i \in P(eu)$ ,  $n \in N(i)$ ,  $eu \in EU$ ;

$DI_{n\_eu}^i$ : quantidade de contêineres do tipo  $eu$  que voltaram de importação ou reparo, tornando-se disponíveis no porto  $i$  para embarque a partir do navio  $n$ ,  $i \in P(eu)$ ,  $n \in N(i)$ ,  $eu \in EU$ ;

$K_{n\_eu}^i$ : quantidade de contêineres vazios do tipo  $eu$  cujo transporte para o porto  $i$  foi previamente programado e que ficarão disponíveis para embarque a partir do navio  $n$ ,  $i \in P(eu)$ ,  $n \in N(i)$ ,  $eu \in EU$ ;

$KS_{n\_eu}^i$ : quantidade de contêineres do tipo  $eu$  cujo transporte, do porto  $i$  para outro porto, foi previamente programado, saindo no navio  $n$ ,  $i \in P(eu)$ ,  $n \in N(i)$ ,  $eu \in EU$ ;

$TEMP_n^i$ : é o tempo em dias entre o navio  $(n-1)$  e o navio  $n$ , no porto  $i$ ,  $i \in Po$ ,  $n \in N(i)$  e  $(n-1) \in N(i)$ ;

$CA_n$ : é 10% da capacidade disponível para embarque de contêineres vazios do navio  $n$ , onde  $n \in Na$ .

**Custos considerados:**

$C 1_{eu}^{ij}$  : custo unitário de posicionamento do equipamento  $eu$  por navio do porto  $i$  para o porto  $j$

$C 2_{eu}^{ij}$  : custo médio unitário de transporte do equipamento  $eu$  por terra do porto  $i$  para o porto  $j$

$C 3_{eu}^i$  : custo médio unitário para se alugar um contêiner  $eu$  no porto  $i$

$C 4_{eu}^i$  : taxa unitária diária de armazenagem do equipamento  $eu$  no porto  $i$ .

**Variáveis de decisão:**

$X_{n\_eu}^{ij}$  : quantidade de contêineres vazios do tipo  $eu$  alocada no navio  $n$  do porto  $i$  para o porto  $j$ ,  $i \in P(eu)$ ,  $j \in P(eu)$ ,  $n \in N(i)$ ,  $n \in N(j)$ ,  $eu \in EU$ ;

$W_{n\_eu}^{ij}$  : quantidade de contêineres vazios do tipo  $eu$  alocada em caminhões do porto  $i$ , para o navio  $n$  no porto  $j$ ,  $i \in P(eu)$ ,  $j \in P(eu)$ ,  $n \in N(j)$ ,  $eu \in EU$ ;

$Y_{n\_eu}^i$  : quantidade de contêineres  $eu$  alugada no porto  $i$  para o navio  $n$ ,  $i \in P(eu)$ ,  $n \in N(i)$ ,  $eu \in EU$ .

**Variáveis auxiliares:**

$EST_{n\_eu}^i$  : é a quantidade de contêineres  $eu$  mantidas em estoque no porto  $i$  na saída do navio  $n$ ,  $i \in P(eu)$ ,  $n \in N(i)$ ,  $eu \in EU$ .

**Função Objetivo:**

$$Z = \sum_{eu} \sum_n \sum_i \sum_j \left( C1_{eu}^{ij} \times X_{n\_eu}^{ij} + C2_{eu}^{ij} \times W_{n\_eu}^{ij} \right) + \\ + \sum_{eu} \sum_n \sum_i \left( C3_{eu}^i \times Y_{n\_eu}^i + C4_{eu}^i \times EST_{n\_eu}^i \times TEMP_{n\_eu}^i \right)$$

*Z é a função a minimizar.*

**Restrições:**

*Restrição de continuidade do estoque:*

$$EST_{n\_eu}^i = EST_{(n-1)\_eu}^i - E_{n\_eu}^i + DI_{n\_eu}^i + K_{n\_eu}^i - KS_{n\_eu}^i \\ + Y_{n\_eu}^i + \sum_{j|i < j} (X_{(n-1)\_eu}^{ji} + W_{n\_eu}^{ji}) - \sum_{j|i < j} (X_{n\_eu}^{ij} + \sum_{n'} W_{n'\_eu}^{ij})$$

para  $n \in Na$  e  $n' \in Na$  (dentro das limitações das variáveis) e para todo  $i \in P(eu)$ ,  $eu \in EU$ .  
 $i < j$  significa que o porto  $i$  fica antes do porto  $j$  no *schedule* dos navios (variável  $X$ ) ou que há tempo hábil para se fazer o transporte por terra (variável  $W$ ).  
 $n'$  mostra para qual navio no porto  $j$  os contêineres posicionados por caminhão vão chegar (variável  $W$ ).

*Restrição de capacidade de reposicionamento por navio:*

$$\sum_{j|j > i} \sum_{eu} (X_{n\_eu}^{ij}) + \sum_k \sum_{|k < i|j > i} \sum_{eu} X_{n\_eu}^{kj} \leq CA_n$$

para todo  $i \in P(eu)$ ,  $n \in N(i)$ ;  
 $i < j$  tem o mesmo significado já explicado.

Uma observação importante é que não são todos os navios  $n$  que passam, necessariamente, por todos os portos  $i$ . Portanto, dentro de cada variável de decisão, só existirão os pares  $(n, i)$  que são possíveis pelo *schedule* dos navios e pelas limitações daquela variável.

## **6 - Ambiente Escolhido para a Aplicação do Modelo Matemático Particular de Reposicionamento de Contêineres Vazios**

Com o objetivo de aplicar o modelo matemático desenvolvido no capítulo anterior a um problema concreto, estabeleceu-se contato com a Hamburg Süd, empresa de navegação cujos navios operam em rotas atendendo vários portos brasileiros.

Ela atua em vários países da Europa, América do Sul e Estados Unidos. Tem sede na Alemanha e escritórios nos vários países atendidos. A companhia se utiliza de várias rotas, as quais são determinadas pelo planejamento estratégico da empresa, sempre considerando a potencialidade de carga que a empresa poderá transportar. Assim, forma-se a sua rede física. Os portos e depósitos da rede são também determinados nesse plano. O setor de logística da empresa é o responsável por toda a movimentação de contêineres, em especial o objeto de estudo desta tese: a logística de contêineres vazios. Esse é o setor que estuda a oferta e a demanda de contêineres vazios e que determina o posicionamento de contêineres para pontos de carência ou a retirada de contêineres em pontos onde eles estão em excesso. A rede mundial da empresa é dividida em várias partes, cada qual com sua rede de informações específicas, controladas pelos departamentos de logística locais. Todas as informações de cada parte da rede são canalizadas em um sistema central de informações, representado pelo escritório geral de Hamburgo, a sede. Ou seja, cada setor tem suas informações independentes e os outros setores não enxergam estas informações, apenas o sistema central tem todas as informações já resumidas. Tais informações são sempre atualizadas, porém o sistema ainda não é *on-line*. Sendo assim, a parte operacional do cotidiano fica sob a responsabilidade de cada setor e a parte global fica sob a direção central.

O setor controlado por São Paulo, pelo departamento denominado LOG-SPO (Logística de São Paulo) abriga os dez portos brasileiros (siglas usadas pela empresa): Fortaleza (FOR), Suape (SUP), Salvador (SSA), Vitória (VIX), Rio de Janeiro (RIO), Santos (SSZ), Paranaguá (QPB), São Francisco do Sul (QFS), Itajaí (ITJ) e Rio Grande (RGR). Por esses portos passam três linhas comerciais, a MEDECS, a FSA e a FIA. Dentro dessas linhas há armadores associados onde a Hamburg Süd tem participação acionária. São eles: Ybarra e a CGM, (armadores da linha do Mediterrâneo, formando a MEDECS) e a Columbus Line (100% pertencente a Hamburg Süd, fazendo a linha da costa oeste dos Estados Unidos, representado pela FIA ). Para ganho de escala e melhor utilização dos navios, existem também parcerias com outros armadores, pelas quais os espaços dos navios de todo o grupo são divididos entre os vários armadores. Desta maneira, num navio da Hamburg Süd há contêineres da Aliança e vice-versa. Na FSA, linha da Europa Central, há essa parceria com a Aliança, e na FIA, a parceria é com a Aliança e a Ivaran.

Dentro de um setor, haverá portos de demanda e de oferta para cada tipo de equipamento (equipamentos são basicamente os contêineres e seus acessórios) e para cada época do ano (as cargas são normalmente sazonais). Como exemplo, cita-se o caso da demanda de contêineres em Fortaleza. No começo do ano há carga de lagosta em Fortaleza a ser transportada por contêineres refrigerados, porém no meio do ano essa carga acaba e a demanda por contêineres refrigerados vazios também termina. Portanto, o planejamento de posicionamento dos contêineres vazios vem das perspectivas de carga. Sendo assim, é importante a previsão de demanda e oferta (quando e onde os contêineres com carga vão estar vazios e disponíveis no sistema novamente) para os vários períodos e outras restrições do problema, inclusive aquelas decorrentes de contratos firmados com os clientes. Para o reposicionamento do equipamento vazio, são tomadas como referência as previsões (principalmente as de demanda que vêm da área comercial) e também os *schedules* dos navios, pois são esses navios que transportarão o contêiner vazio (salvo algumas exceções).



O setor de logística toma suas decisões, baseado nas informações citadas anteriormente e com outras informações necessárias:

- nível de estoques de contêineres vazios nos portos e depósitos,
- disponibilidade destes contêineres ( pois o equipamento pode estar em alguma condição que impeça sua utilização imediata, como por exemplo: avariado, em reforma, etc... ).

Todos os equipamentos ficam registrados em um banco de dados que informa sobre sua situação atual e seu histórico, permitindo saber em que condição se encontra cada contêiner vazio : avariado, com o importador, agendado para um navio, com o exportador esperando o embarque, designado para venda ou para sucateamento, a caminho do depósito carregado ou a caminho do depósito vazio. Essas informações são processadas pelo sistema de informação descentralizado da empresa e são atualizadas constantemente, permitindo saber que equipamentos estão disponíveis.

Utilizando a rede de informações, os equipamentos vazios serão reposicionados para pontos de demanda. Definem-se os portos de saída, destino e os navios ou caminhões que farão o transporte. O reposicionamento de contêineres vazios para outros pontos da rede só poderá ser feito se no navio houver espaço vago ( *slots* disponíveis ). Desta maneira, os espaços nos navios devem ser previamente verificados com o setor de *slot control*, para que não se utilizem espaços de contêineres com carga.

O setor de controle de equipamento, chamado LOG-SPO, tem controle total sobre as decisões de posicionamento. A central de Hamburgo apenas recebe o relatório desses posicionamentos através do *Weekly* que, como o próprio nome diz, é um informe sobre todas as manobras da semana e que é enviado semanalmente para a central. A central exerce apenas poder de fiscalização, pedindo esclarecimentos de posicionamentos que, a princípio, parecem errados, porém, normalmente, são justificados por algum problema local ao qual a central não tem acesso. Ela também dá diretrizes, como devolução de contêineres às *leasings* (empresas que alugam contêineres). É necessário pedir autorização para o aluguel de equipamentos comuns (como, por exemplo, o contêiner padrão de 20 pés), pois o aumento de estoques desses equipamentos é avaliado por Hamburgo, juntamente com a logística de São Paulo, e deve ser evitado. Caso exista a necessidade de suprir a carência de contêineres do mercado interno, pede-se o auxílio da central de Hamburgo, pois esta tem a visão geral de outras áreas de oferta que podem suprir o mercado brasileiro.

A central também elabora um *Balance Situation per Location*, um relatório completo que mostra como está a situação de demanda, oferta ou balanceamento de cada tipo de equipamento pelo mundo, segundo as informações de cada setor. A logística local ( LOG-SPO ) recebe este relatório, e então, ela sabe para onde deve direcionar os contêineres de oferta que não são necessários para suprir a demanda interna.

É feito também um relatório trimestral do setor comercial para se estimar os fechamentos futuros, que serve de *input* para saber onde posicionar os equipamentos. À medida que a saída dos navios se aproxima, essas informações são atualizadas, pois passam a ser mais realísticas. Porém, ainda não se confere formalmente o que foi previsto com o que foi realizado. A LOG Hamburgo confere a nível macroscópico, mensalmente, o desempenho da empresa e depois cobra do comercial, caso o erro seja muito grande. E assim surge um dilema, pois pode ocorrer uma previsão de demanda superestimada para que se garanta o equipamento, porém, isto faz aumentar os custos de posicionamento e também os custos relativos a aumento de estoque.

Deve-se sempre dar prioridade ao fechamento de carga, pois é seu frete quem gera a receita da empresa. Uma vez atendida essa demanda, pode-se reposicionar contêineres vazios para pontos de demanda. A demanda local de contêineres vazios tem prioridade sobre a demanda externa. Desta maneira, resolve-se inicialmente o problema local para depois tentar ajudar outros países.

Quando a empresa encontra dificuldades em suprir a demanda interna, mesmo com o intercâmbio entre diversos portos nacionais, pede-se ajuda para os outros setores da empresa localizados em outras partes do mundo. As informações de demandas e ofertas externas também são recebidas da central, podendo-se assim posicionar os contêineres que estão se acumulando em portos de oferta do Brasil e receber equipamentos que não possam ser supridos pela rede local.

Todas as informações externas ficam por conta da central e assim tem-se um controle geral de todos os fluxos de equipamentos. As quantidades de contêineres, tanto com carga quanto vazios, que entrarão em cada setor são também atualizadas pela central, em cada uma das redes envolvidas.

Não há, até o momento, o uso de ferramentas computacionais para o controle do equipamento. Tem-se apenas um controle apurado dos custos e o bom conhecimento das operações a nível mundial. No momento, está sendo usada apenas uma planilha feita no

MICROSOFT EXCEL 5 como pré-cálculo desse trabalho. Ela será melhor explicada posteriormente, mas basicamente indica como estarão os estoques no futuro, a fim de que sejam tomadas as providências para que não falte equipamento nas áreas de demanda. Ou seja, com base nessa planilha, já se tomam as decisões de transporte de contêineres vazios, por terra ou por mar, de alugar ou pedir ajuda para as outras áreas da empresa.

Como já foi visto, outra maneira de se atender à demanda de contêineres vazios é o aluguel. Atualmente, a Hamburg Süd conta com aproximadamente 50.000 contêineres, dos quais 30% são alugados. Para tentar evitar o crescimento do estoque de contêineres alugados, a empresa pode substituir um equipamento em falta por outro em excesso desde que o cliente permita. Pode-se, por exemplo, usar um contêiner de 40 pés de carga seca para transportar a carga de um contêiner de 20 pés de carga seca. Isso pode representar uma vantagem logística, pois, apesar de transportar um contêiner que não está completamente cheio, é mandado um contêiner que é necessário em outro local e está sobrando no porto de origem.

Quanto ao estoque mínimo de equipamento em cada porto, a empresa utiliza como referência valores indicados pela análise de séries históricas, mas, na verdade, o valor adotado para o estoque mínimo vem da experiência dos operadores do setor de logística. As recentes mudanças na legislação de importação e exportação mascaram as antigas séries históricas, pois a demanda de transporte já não é a mesma. Assim, ainda é possível utilizar as séries, mas na maioria dos casos, é necessário encarar o processo como se ele estivesse no início.

Sabendo as características básicas da empresa, será aplicado o modelo de programação linear particular do capítulo anterior, que alocará estes contêineres com base nas informações do grupo, considerando, para a tomada de decisão, os custos logísticos envolvidos que já foram citados. Novamente é bom lembrar que não se consegue atribuir todos esses custos com facilidade, pois alguns deles não são diretos e outros podem variar com o período e com a quantidade transportada, sendo assim, será feita uma análise de sensibilidade do modelo para verificar a validade da solução encontrada.

A empresa também está trabalhando num sistema de informações mais dinâmico para que a informação chegue mais rápido e assim seja possível fazer um planejamento sempre atualizado. Como já deve ter sido notado, em logística a informação é uma das partes mais importantes do sistema.

## 7 - Aplicação Específica do Modelo Particular em uma Empresa de Navegação

Tendo como base o Modelo Matemático Particular para Reposicionamento dos Contêineres Vazios de uma Empresa de Navegação, as informações do estoque em cada porto e as previsões de contêineres de exportação e importação, foi montada uma planilha de controle de estoque, feita no MICROSOFT EXCEL 5, para estimar a variação do estoque ao longo do tempo.

Com essa planilha é possível prever quais seriam as quantidades total e disponível de equipamentos para cada data prevista de saída de navios, naquele porto, antes dos posicionamentos de equipamentos que ainda não foram programados. Nos casos onde há falta do equipamento ter-se-ia um estoque disponível fictício, pois seu valor é negativo, indicando a quantidade de contêineres que deve ser posicionada para aquele porto a fim de não perder carga a ser transportada. Desta forma, pode-se manter um estoque que atenda às demandas, alocando contêineres de um porto para outro, sempre observando todos os portos, já que a planilha permite que se simule os reposicionamentos futuros.

Existe uma tabela dessas para cada porto nos quais a companhia trabalha no Brasil. São os portos: Fortaleza, Suape, Salvador, Vitória, Rio de Janeiro, Santos, Paranaguá, São Francisco do Sul, Itajaí e Rio Grande. Mas não são todas as linhas comerciais (Brasil - Estados Unidos, Brasil - Europa Central e Brasil - Europa Mediterrânea) que atendem, em suas rotas, todos os portos brasileiros. Haverá portos que não são visitados por certos navios, como também portos pelos quais os navios passam tanto na direção norte-sul como na sul-norte.

Para exemplificar seu funcionamento, será usada a planilha do porto de Fortaleza.

### 7.1) Planilha de controle de estoque.

Na parte superior da planilha estão as informações referentes ao início do período de programação, sendo que na primeira linha há a data da última atualização da planilha. Logo depois, na mesma linha, os tipos de equipamentos: insulados de 20 pés, padrão de 20 pés, super ventilados de 20 pés, padrão de 40 pés, padrão de maior volume de 40 pés, integrados de 40 pés, teto aberto de 20 pés, plataforma de 20 pés, clip-on para 20 pés, teto aberto de 40 pés, plataforma de 40 pés e integrado de 20 pés, respectivamente.

Nas linhas seguintes estão os *status* possíveis dos contêineres, obtidos de um outro programa de informações da empresa, chamado DECOS (referência [ 21 ]):

BO: representa os contêineres que já estão destinados para os próximos navios;

DE: representa os contêineres que estão designados para sair do sistema;

EX: representa aqueles que já foram estufados e estão aguardando embarque;

IM: representa os que vieram da importação e ainda não foram devolvidos aos terminais;

IR: representa os contêineres que estão em reparo;

MT: representa aqueles que já estão vazios nos terminais, prontos para a utilização;

TE: representa os que estão sendo transportados vazios, por terra, para aquele porto;

TF: representa os que estão sendo transportados com carga, por terra, para aquele porto;

INDS\*: são os contêineres que, por algum motivo, estão indefinidamente indisponíveis, seja por problemas alfandegários ou por que algum importador insiste em permanecer com o equipamento, usando-o como armazém de suas mercadorias;

MWS: é o estoque mínimo de segurança que se deseja manter no porto, que foi estimado fora deste trabalho e pode ser considerado de duas maneiras: a primeira é no começo da programação, mantendo sempre essa quantidade mínima de equipamento em cada porto com o valor de MWS diferente de zero, e a segunda é no final do período de programação com MWS igual a zero e o valor do estoque mínimo de segurança sendo considerado apenas no navio fictício FINALL, garantindo essa quantidade apenas depois do último navio programado;

TOT\*: é a soma total dos contêineres da área de influência do porto. É usado também como conferência dos campos anteriores vindos do DECOS, pois é a soma de todos eles.

Uma outra informação importante aparece a seguir (duas linhas para baixo):

RATE: esta é a taxa diária média de devolução de contêineres que se encontram no grupo de indisponíveis (INDS). Este conjunto engloba 4 subconjuntos: 1º os equipamentos que vieram com mercadorias importadas (IM); 2º os que vieram com mercadorias importadas mas por algum motivo, por exemplo mudança no *schedule*, tiveram de ser descarregados em outro porto e estão sendo transportados para o porto original por um modal terrestre (TF); 3º os contêineres que estão em reparo (IR) e o 4º são os equipamentos com avarias mais graves que foram designados para sair do sistema, mas caso haja necessidade podem ser reparados. Seguindo essa taxa diária, os contêineres do grupo dos indisponíveis passarão para o grupo dos disponíveis (DISP) ao ficar vazios e prontos para o uso (MT). Esta taxa foi calculada através das médias históricas e é constantemente reavaliada, pois mudanças no quadro geral de exportação e importação podem afetá-la. Além disso, nos lugares onde a taxa é muito baixa e há grandes estoques de contêineres nos status IR ou IM, é feito o contato com a área comercial para que seja agilizada a devolução da importação ou o setor de reparos é alertado para que se efetuem os reparos o mais breve possível. E, assim, consegue-se aumentar a taxa de devolução para o status MT.

Os três campos subseqüentes na mesma coluna (DISP, INDS e TOT) representam um conjunto de informações de disponibilidade de contêineres para cada navio que passará pelo porto dentro do horizonte de programação e irão se repetir começando antes do primeiro navio:

DISP: são os contêineres que efetivamente estão disponíveis para o embarque. Representa, antes do primeiro navio do horizonte de planejamento, a soma dos *status* BO, EX, MT e TE e desconta-se o valor no campo do estoque mínimo (MWS) e os contêineres indefinidamente indisponíveis (INDS\*). A partir do primeiro navio de cada porto, na data de saída prevista de cada navio, somam-se nesse campo os contêineres que foram devolvidos segundo a taxa diária média de devolução (RATE), multiplicando-a pelo número de dias entre os eventos (datas de saída previstas de dois navios consecutivos) e contabilizando apenas os contêineres indisponíveis (INDS) que já podem ser devolvidos. Para melhor entender esse mecanismo veja o exemplo: passaram-se 3 dias entre dois navios consecutivos, e a taxa de devolução é 2, mas só existem 5 contêineres indisponíveis, portanto ao invés de se somar 6 ( $3 \times 2 = 6$ ) unidades aos disponíveis, somam-se apenas 5. Caso contrário, a RATE criaria contêineres inexistentes. Somam-se também nesse campo,

os contêineres vazios que devem ser trazidos pelo navio anterior e descontam-se os contêineres com previsão de embarque no navio.

É importante observar que os contêineres no *status* BO e EX estariam reservados para o embarque em um determinado navio, mas na prática isso não acontece, tanto que a soma dos contêineres no *status* B (que será explicado a seguir) de cada um dos navios daquele porto, não é igual a soma dos contêineres em *status* BO ou EX do começo da planilha. Isso ocorre porque não são os mesmos setores da empresa que atualizam esse dados, deixando-os defasados (uma falha no sistema de informação). Sendo assim, a consideração desses dois *status* (BO e EX) como disponível para qualquer navio, é a hipótese que o setor de logística adota para minimizar esse problema de informação.

INDS: representa, antes do primeiro navio do horizonte de planejamento, a soma dos *status* IM, IR, DE e TF, que são os contêineres temporariamente indisponíveis, mas que vão se tornando disponíveis para todos os navios segundo a taxa diária média de devolução (RATE). É a diferença entre o total (TOT) e os disponíveis (DISP).

TOT: esse é o total de contêineres na área de influência do porto depois de cada navio, sem considerar os indisponíveis sem previsão de devolução (INDS\*) e o estoque mínimo (MWS) pois contêineres desses dois campos não podem ser usados para posicionamento em todo o período de planejamento.

Todas essas contas para o cálculo de disponibilidade do equipamento estão contidas nas células da planilha de EXCEL 5 e se repetem de porto a porto e de navio a navio, facilitando as mudanças em caso de novas previsões ou de mudanças da escala dos navios.

As 3 primeiras colunas da planilha, na mesma linha do primeiro INDS, são reservadas para as informações de programação dos navios:

NAVIO: onde se coloca o nome código do navio;

VOY: que mostra em que viagem o navio está, incluindo a direção (N = sul-norte e S = norte-sul) caso apareça S/N indica que esse navio só passa uma vez por esse porto cada vez que vem ao Brasil;

DATA: que é a data prevista para a saída do navio do porto;

No segundo conjunto de informações para cada navio aparecem os seguintes dados:

B: representa os contêineres que já estão destinados para embarque naquele navio;

P: representa a previsão de quantos contêineres ainda serão levados com carga no navio;

OL: representa os contêineres que estão previstos para embarque vazios naquele navio como posicionamento para algum outro porto;

OD: representa os contêineres previstos para desembarque vazios daquele navio para reposicionamento naquele porto;

S: representa os contêineres que estão vindo com carga de importação, entrando no estoque total (TOT) e no indisponível (INDS).

Usando, então, esta planilha, faz-se o pré-cálculo de oferta ou demanda de contêineres para cada porto em cada data prevista de saída de navio, sendo o resultado colocado no campo dos disponíveis (DISP). Se o resultado é positivo, há sobra de equipamento, que pode ser utilizada para atender a demanda de contêineres vazios em outro porto em que o valor de DISP for negativo. Portanto, se em um porto, para um tipo de equipamento, houver um DISP com valor negativo, significa que, sem reposicionamento de contêineres, haverá falta daquele tipo de equipamento naquele porto.



DATA:	24/09		IN 20	DC 20	VE 20	DC 40	HK 40	RF 40	OT 20	FR 20	CE	OT 40	FR 40	RF 20
		BO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		DE	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		EX	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		IM	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0
		IR	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0
		MT	43	57	0	3	1	0	0	0	23	0	0	0
		TE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		TF	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		INDS*	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
		MWS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		TOT*	43	58	0	7	3	0	0	0	26	0	0	0
		RATE	1	2	0,05	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1
		DISP	43	57	0	3	1	0	0	0	23	0	0	0
AVIO	VOY	DATA INDS	0	1	0	2	2	0	0	0	3	0	0	0
		24/09 TOT	43	58	0	5	3	0	0	0	26	0	0	0
HEICO	2N	26/09 B	6	3	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0
		26/09 P	0	6	0	2	0	0	0	0	6	0	0	0
	A	26/09 OL	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	A	26/09 OD	0	0	0	6	4	0	0	0	0	0	0	0
		26/09 S	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
		26/09 DISP	37	48	0	0	1	0	0	0	19	0	0	0
		26/09 INDS	0	1	0	7	5	1	1	0	1	0	0	0
		26/09 TOT	37	49	0	7	6	1	1	0	20	0	0	0
DPAC	85/86	8/10 B	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8/10 P	3	25	0	10	1	0	0	0	0	0	0	0
		8/10 OL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8/10 OD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		8/10 S	0	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0	0
		8/10 DISP	31	24	0	-3	5	1	1	0	20	0	0	0
		8/10 INDS	0	0	0	1	3	2	0	0	0	0	0	0
		8/10 TOT	31	24	0	-2	8	3	1	0	20	0	0	0
COLS	51S/N	25/10 B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		25/10 P	6	25	0	10	1	0	0	0	0	0	0	0
		25/10 OL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		25/10 OD	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		25/10 S	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		25/10 DISP	25	-1	0	-12	7	3	1	0	20	0	0	0
		25/10 INDS	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		25/10 TOT	25	-1	0	-11	7	3	1	0	20	0	0	0
PMK														
A:														

HEICO 2N - 4X40'HK AND 06X40'DC FM SSZ AND 01X20'DC TO PHL

Com esses dados é feita uma transformação para que se considere a oferta e demanda específica depois de cada navio e não a acumulada como na planilha. Essa transformação consiste em considerar todas as planilhas juntas como é mostrado na tabela 8.1 e depois fazer a diferença entre os estoques acumulados de dois navios consecutivos, sendo que o resultado aparece na tabela 7.3. Após, será usado o software GAMS para a programação linear, segundo a formulação já mostrada, que terá como resposta os posicionamentos necessários para aquele primeiro cenário e o seu custo global.

Basta agora, atualizar a planilha com esses posicionamentos colocando no campo OD os contêineres vazios que serão descarregados em um determinado porto e em OL os embarcados daquele porto para outro descobrindo assim a posição dos estoques depois de cada navio considerado, aparecendo na tabela 8.2, deixando pronto para utilizar de novo o sistema, caso haja qualquer alteração no cenário, seja por um aumento de demanda, seja por alguma mudança de *schedules*

## 7.2) Dados de entrada para o *software* GAMS 2.25.

Para melhor entender a arquivo de entrada do GAMS, que será chamado de GAMS Particular, serão feitos os seguintes esclarecimentos:

ALEURS e ALEURN são considerados pelo programa feito para o *software* GAMS como se fossem dois navios diferentes, isso ocorre para diferenciar as passagens na direção norte-sul (ALEURS) e direção sul-norte (ALEURN) por um porto no qual o navio escale duas vezes quando vem ao Brasil. As nomenclaturas representam o mesmo navio e quando um navio só passa uma vez em um determinado porto, as nomenclaturas correspondentes aos dois sentidos são colocadas com a mesma data. Há portos onde são feitas duas escalas, a no sentido norte-sul com, basicamente, a descarga dos contêineres cheios de importação, além dos posicionamentos de vazios vindos dos EUA, Mediterrâneo e Europa, e a no sentido sul-norte no qual são embarcados os contêineres de exportação e os posicionamentos de equipamentos vazios para fora do sistema Brasil. E há portos onde os navios só fazem uma escala cada vez que vêm ao Brasil.

Como, em cada porto, o processo é estudado em tempo discreto, nos instantes (dias) de saída de navio, são introduzidos 2 navios fictícios: INICIO e FINALL de modo

que o período de planejamento seja o mesmo para todos os portos da rota. O navio INICIO passa por todos os portos no primeiro dia do período de planejamento e o FINALL no último.

A tabela 7.1 -  $OPOR(N,P)$  representa a ordem de passagem do navio (N) no porto (P), dentro do período de planejamento. Porém, como já foi explicado, o navio INICIO marca a data do início do período de planejamento em todos os portos e, por isso, ele recebe o valor de  $OPOR(INICIO,P) = 1$  para todo porto P, e o FINALL, que marca a data final do período de planejamento em todos os portos e, por isso, recebe o maior valor de  $OPOR(FINALL,P)$  por ser o último navio em cada um dos portos. Sendo assim, o primeiro navio a realmente escalar um determinado porto, dentro do período de planejamento, receberá o valor de  $OPOR(N,P) = 2$ . Por exemplo, o navio ALBRAN é o primeiro a passar por São Francisco do Sul (QFS), por isso,  $OPOR(ALBRAN, QFS) = 2$ . O CABLAN é o segundo a passar pelo mesmo porto citado anteriormente, por isso, olhando a tabela na coluna de QFS com a linha de CABLAN, acha-se o número 3. Caso um determinado navio não passe por um certo porto, o número correspondente na tabela  $OPOR(N,P)$  é igual a 30 (caso se tenha um problema com mais navios, deve-se arbitrar um número maior que 30, suficientemente grande para ser maior que a ordem do último navio em cada porto).

A tabela 7.2 -  $ONAV(N,P)$  indica a ordem do porto (P) na rota do navio (N), dentro do período de planejamento. Por exemplo, o navio ALBRAN passa primeiro por São Francisco do Sul (QFS), por isso,  $ONAV(ALBRAN, QFS) = 1$ . Depois, esse mesmo navio passa por Santos; então na mesma linha do ALBRAN e na coluna de Santos (SSZ) o número é 2. Sendo mais claro, em cada linha da tabela tem-se a ordem dos portos por onde aquele navio passará. Caso um determinado navio não passe por um certo porto, o número correspondente na tabela  $ONAV(N,P)$  é igual a 30 (vale a regra correspondente a da tabela anterior, nesse caso, observando o número de portos). No caso dos navios fictícios INICIO e FINALL o valor de  $ONAV(N,P)$  também foi adotado como 30, pois por uma restrição imposta por mim no programa, todo navio com esse valor não pode reposicionar contêineres.

TABELA 7.1 - OPOR(N,P) - ordem de passagem do navio N pelo porto P.

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
ALBRAN	30	30	30	30	5	4	30	2	30	30
ALEURS	30	30	3	30	30	5	3	4	30	30
ALEURN	30	4	30	30	10	16	4	5	30	30
CABLAN	30	30	6	30	30	6	30	3	30	30
CABOTS	30	30	13	3	30	13	30	9	30	30
CAFINS	30	30	11	30	12	20	30	30	30	30
CAPEDN	30	30	30	30	30	15	30	30	30	30
CAPEDS	30	30	30	2	30	8	2	6	30	30
CAPOLS	30	30	30	30	30	17	5	10	30	30
CAPOLN	30	30	30	30	30	30	6	11	30	30
CAROCS	30	30	7	30	2	2	30	30	30	6
CAROCN	30	3	8	30	30	11	30	30	30	7
CATRAN	30	5	12	30	30	19	30	8	30	13
CATRAS	30	2	30	30	7	12	30	7	30	12
COLOSS	5	30	30	30	8	10	30	30	4	10
COLOSN	6	30	30	30	11	18	30	30	5	11
COPACS	3	30	30	30	30	30	30	30	2	4
COPACN	4	30	30	30	6	9	30	30	3	5
HEICON	2	30	2	30	30	30	30	30	30	30
SANMAS	30	30	9	30	3	7	30	30	30	8
SANMAN	30	30	10	30	9	14	30	30	30	9
SANMIS	30	30	4	30	30	30	30	30	30	2
SANMIN	30	30	5	30	4	3	30	30	30	3
INICIO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
FINALL	7	6	14	4	13	21	7	12	6	14

TABELA 7.2 - ONAV(N,P) - ordem do porto P na rota do navio N.

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
ALBRAN	30	30	30	30	3	2	30	1	30	30
ALEURS	30	30	1	30	30	2	4	3	30	30
ALEURN	30	5	30	30	4	3	2	1	30	30
CABLAN	30	30	3	30	30	2	30	1	30	30
CABOTS	30	30	4	1	30	2	30	3	30	30
CAFINS	30	30	1	30	2	3	30	30	30	30
CAPEDN	30	30	30	30	30	1	30	30	30	30
CAPEDS	30	30	30	1	30	2	3	4	30	30
CAPOLS	30	30	30	30	30	1	3	2	30	30
CAPOLN	30	30	30	30	30	30	2	1	30	30
CAROCS	30	30	4	30	2	1	30	30	30	3
CAROCN	30	4	3	30	30	2	30	30	30	1
CATRAN	30	5	4	30	30	3	30	2	30	1
CATRAS	30	1	30	30	2	3	30	5	30	4
COLOSS	5	30	30	30	1	2	30	30	4	3
COLOSN	5	30	30	30	4	3	30	30	2	1
COPACS	3	30	30	30	30	30	30	30	2	1
COPACN	5	30	30	30	4	3	30	30	2	1
HEICON	2	30	1	30	30	30	30	30	30	30
SANMAS	30	30	4	30	1	2	30	30	30	3
SANMAN	30	30	4	30	3	2	30	30	30	1
SANMIS	30	30	2	30	30	30	30	30	30	1
SANMIN	30	30	4	30	3	2	30	30	30	1
INICIO	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
FINALL	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

A tabela 7.3 - O(N,P,EU) mostra a oferta (se o valor for positivo) ou a demanda (se negativo) do equipamento vazio do tipo (EU) para o navio (N) no porto (P). Esta oferta (ou demanda) não é acumulada, mas sim pontual. Para cada navio (N) e porto (P) os

diversos tipos de equipamento terão sua demanda (ou oferta) calculados para aquele instante. Por exemplo: na primeira coluna, terceira linha tem-se COPACS.FOR, representando o navio Copacabana na viagem norte-sul passando pelo porto de Fortaleza. Continuando nessa mesma linha, nas outras colunas se encontram respectivamente os números: -6, -24, -3 e 4; representando que há, para esse navio, uma demanda de 6 contêineres vazios IN-20, 24 DC-20 e 3 DC-40, e uma oferta de 4 contêineres vazios de HK-40. Caso se observe a linha seguinte onde aparece COPACN.FOR, nota-se que não há nem oferta nem demanda. Isso ocorre porque o navio Copacabana escala Fortaleza uma vez só quando vem ao Brasil, portanto, suas pernadas sul-norte e norte-sul ficam com a mesma data (como já foi explicado), e sua demanda e oferta só são representadas uma vez, pois na realidade é o mesmo navio. Esse mesmo fenômeno ocorre outras vezes, como pode ser notado na tabela. Só foram calculados os posicionamentos para esses 4 tipos de equipamentos (IN-20, DC-20, DC-40 e HK-40) pois só eles estavam nos portos em quantidade suficiente para que se justificasse o emprego da modelagem desenvolvida deste trabalho.

A tabela 7.4 - DIA(N,P,EU) tem o mesmo formato da tabela anterior, indicando o dia no qual o navio (N) passará pelo porto (P). Claro que isso independe do tipo de equipamento, mas o formato foi mantido para a facilidade de se realizar testes. Como exemplo, usa-se o HEICON.FOR que tem o número 35334 em todas as colunas. O significado disso é que o navio Heico na direção sul-norte passa em Fortaleza, segundo sua programação previamente estipulada, no dia 35334. Este número foi tirado da planilha de dados de entrada do EXCEL 5.0 e representa o dia 26/09/96, sendo que todas as datas têm uma correspondência com um número de 5 dígitos no EXCEL 5.0, deixando mais fácil de se calcular a diferença em dias.

TABELA 7.3 - O(N.P.EU) - oferta/demanda de contêineres vazios do tipo EU no porto P para o navio N.

	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
INICIO.FOR	43	57	3	1
HEICON.FOR	-6	-9	-3	0
COPACS.FOR	-6	-24	-3	4
COPACN.FOR	0	0	0	0
COLOSS.FOR	-6	-25	-9	2
COLOSN.FOR	0	0	0	0
FINALL.FOR	0	0	0	0
INICIO.ITJ	14	13	23	17
COPACS.ITJ	0	-5	-4	-3
COPACN.ITJ	0	0	0	0
COLOSS.ITJ	0	15	-1	9
COLOSN.ITJ	25	0	0	0
FINALL.ITJ	0	0	0	0
INICIO.QFS	0	0	0	0
ALBRAN.QFS	118	92	140	38
CABLAN.QFS	-115	-21	-41	-28
ALEURS.QFS	0	-3	-24	26
ALEURN.QFS	-70	-1	-18	-23
CAPEDS.QFS	0	0	0	0
CAPEL.QFS	0	0	0	0
CAPELN.QFS	124	-16	5	19
CATRAS.QFS	-70	-13	-29	-30
CATRAN.QFS	0	0	0	0
CABOTS.QFS	0	1	-24	0
CAPOLS.QFS	12	-17	-29	-30
CAPOLN.QFS	-54	0	0	0
FINALL.QFS	0	0	0	0
INICIO.QPB	0	0	0	0
CAPEDS.QPB	20	20	32	4
ALEURS.QPB	9	-16	-2	0
ALEURN.QPB	-12	-1	0	0
CAPOLS.QPB	0	0	0	0
CAPOLN.QPB	0	5	4	0
FINALL.QPB	-6	0	0	0
INICIO.RGR	0	0	0	0
SANMIS.RGR	0	0	0	0
SANMIN.RGR	0	0	0	0
COPACS.RGR	-8	5	2	-3
COPACN.RGR	0	0	0	0
CAROCS.RGR	0	2	-43	-5
CAROCN.RGR	-3	0	0	0
SANMAS.RGR	0	1	-2	-4
SANMAN.RGR	5	0	0	0
COLOSS.RGR	0	0	-3	-5
COLOSN.RGR	5	9	0	0
CATRAS.RGR	0	0	0	0
CATRAN.RGR	-14	-6	-13	-5
FINALL.RGR	0	0	0	0
INICIO.RIO	0	0	0	0
CAROCS.RIO	5	69	21	23
SANMAS.RIO	9	6	2	1
SANMIN.RIO	3	2	1	0
ALBRAN.RIO	0	-26	0	0
COPACN.RIO	0	-87	-6	0
CATRAS.RIO	-4	-43	2	2
COLOSS.RIO	15	4	1	1
COLOSN.RIO	6	0	0	0
SANMAN.RIO	0	0	1	2
ALEURN.RIO	18	-13	-7	1
COLOSN.RIO	8	-32	0	1
CAFINS.RIO	12	-17	0	1
CAFINS.RIO	9	6	2	1

FINALL.RIO	0	0	0	0
INICIO.SSA	186	210	27	8
HEICON.SSA	-1	-28	-5	0
ALEURS.SSA	-154	35	2	1
SANMIS.SSA	16	-38	-16	2
SANMIN.SSA	0	0	0	0
CABLAN.SSA	8	66	-3	1
CAROCS.SSA	25	-10	-21	3
CAROCCN.SSA	0	0	0	0
SANMAS.SSA	12	-64	-2	-1
SANMAN.SSA	0	0	0	0
CAFINS.SSA	20	10	2	3
CATRAN.SSA	-28	-66	-2	2
CABOTS.SSA	4	3	1	1
FINALL.SSA	0	0	0	0
INICIO.SSZ	77	554	141	19
CAROCS.SSZ	2	26	30	2
SANMIN.SSZ	51	-75	-39	-8
ALBRAN.SSZ	-43	-212	-53	4
ALEURS.SSZ	2	-57	19	-18
CABLAN.SSZ	0	0	0	20
SANMAS.SSZ	50	0	0	-20
CAPEDS.SSZ	4	52	60	4
COPACN.SSZ	-46	2	29	1
COLOSS.SSZ	8	104	120	8
CAROCCN.SSZ	-209	-188	-75	2
CATRAS.SSZ	0	0	0	0
CABOTS.SSZ	17	26	30	2
SANMAN.SSZ	2	-34	-10	0
CAPEDN.SSZ	6	18	60	6
ALEURN.SSZ	-28	-94	-15	2
CAPOLS.SSZ	0	0	0	0
COLOSN.SSZ	-12	44	90	3
CATRAN.SSZ	-160	-42	45	6
CAFINS.SSZ	6	78	90	6
FINALL.SSZ	0	0	0	0
INICIO.SUP	166	115	7	1
CATRAS.SUP	9	18	36	0
CAROCCN.SUP	5	-15	28	0
ALEURN.SUP	-34	-18	15	0
CATRAN.SUP	-49	-18	-4	0
FINALL.SUP	0	0	0	0
INICIO.VIX	0	24	0	0
CAPEDS.VIX	0	-23	3	0
CABOTS.VIX	0	-13	3	0
FINALL.VIX	0	0	0	0

continuação da TABELA 7.3 - O(N.P.EU) - oferta/demanda de contêineres vazios do tipo EU no porto P para o navio N.



TABELA 7.4 - DIA(N,P,EU) - data dos navios nos portos.

	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
INICIO.FOR	35333	35333	35333	35333
HEICON.FOR	35334	35334	35334	35334
COPACS.FOR	35346	35346	35346	35346
COPACN.FOR	35346	35346	35346	35346
COLOSS.FOR	35362	35362	35362	35362
COLOSN.FOR	35362	35362	35362	35362
FINALL.FOR	35362	35362	35362	35362
INICIO.ITJ	35333	35333	35333	35333
COPACS.ITJ	35339	35339	35339	35339
COPACN.ITJ	35339	35339	35339	35339
COLOSS.ITJ	35354	35354	35354	35354
COLOSN.ITJ	35354	35354	35354	35354
FINALL.ITJ	35362	35362	35362	35362
INICIO.QFS	35333	35333	35333	35333
ALBRAN.QFS	35334	35334	35334	35334
CABLAN.QFS	35335	35335	35335	35335
ALEURS.QFS	35347	35347	35347	35347
ALEURN.QFS	35347	35347	35347	35347
CAPEDES.QFS	35349	35349	35349	35349
CATRAS.QFS	35355	35355	35355	35355
CATRAN.QFS	35355	35355	35355	35355
CABOTS.QFS	35358	35358	35358	35358
CAPOLS.QFS	35361	35361	35361	35361
CAPOLN.QFS	35361	35361	35361	35361
FINALL.QFS	35362	35362	35362	35362
INICIO.QPB	35333	35333	35333	35333
CAPEDES.QPB	35341	35341	35341	35341
ALEURS.QPB	35349	35349	35349	35349
ALEURN.QPB	35349	35349	35349	35349
CAPOLS.QPB	35362	35362	35362	35362
CAPOLN.QPB	35362	35362	35362	35362
FINALL.QPB	35362	35362	35362	35362
INICIO.RGR	35333	35333	35333	35333
SANMIS.RGR	35333	35333	35333	35333
SANMIN.RGR	35333	35333	35333	35333
COPACS.RGR	35336	35336	35336	35336
COPACN.RGR	35336	35336	35336	35336
CAROCS.RGR	35342	35342	35342	35342
CAROEN.RGR	35342	35342	35342	35342
SANMAS.RGR	35345	35345	35345	35345
SANMAN.RGR	35345	35345	35345	35345
COLOSS.RGR	35352	35352	35352	35352
COLOSN.RGR	35352	35352	35352	35352
CATRAS.RGR	35353	35353	35353	35353
CATRAN.RGR	35353	35353	35353	35353
FINALL.RGR	35362	35362	35362	35362
INICIO.RIO	35333	35333	35333	35333
CAROCS.RIO	35335	35335	35335	35335
SANMAS.RIO	35336	35336	35336	35336
SANMIN.RIO	35336	35336	35336	35336
ALBRAN.RIO	35337	35337	35337	35337
COPACN.RIO	35342	35342	35342	35342
CATRAS.RIO	35343	35343	35343	35343
COLOSS.RIO	35344	35344	35344	35344
SANMAN.RIO	35350	35350	35350	35350
ALEURN.RIO	35354	35354	35354	35354
COLOSN.RIO	35358	35358	35358	35358
CAFINS.RIO	35361	35361	35361	35361

FINALL.RIO	35362	35362	35362	35362
INICIO.SSA	35333	35333	35333	35333
HEICON.SSA	35333	35333	35333	35333
ALEURS.SSA	35334	35334	35334	35334
SANMIS.SSA	35338	35338	35338	35338
SANMIN.SSA	35338	35338	35338	35338
CABLAN.SSA	35340	35340	35340	35340
CAROCS.SSA	35350	35350	35350	35350
CAROCN.SSA	35350	35350	35350	35350
SANMAS.SSA	35353	35353	35353	35353
SANMAN.SSA	35353	35353	35353	35353
CAFINS.SSA	35358	35358	35358	35358
CATRAN.SSA	35361	35361	35361	35361
CABOTS.SSA	35362	35362	35362	35362
FINALL.SSA	35362	35362	35362	35362
INICIO.SSZ	35333	35333	35333	35333
CAROCS.SSZ	35333	35333	35333	35333
SANMIN.SSZ	35334	35334	35334	35334
ALBRAN.SSZ	35336	35336	35336	35336
ALEURS.SSZ	35337	35337	35337	35337
CABLAN.SSZ	35337	35337	35337	35337
SANMAS.SSZ	35337	35337	35337	35337
CAPEDS.SSZ	35339	35339	35339	35339
COPACN.SSZ	35341	35341	35341	35341
COLOSS.SSZ	35345	35345	35345	35345
CAROCN.SSZ	35346	35346	35346	35346
CATRAS.SSZ	35346	35346	35346	35346
CABOTS.SSZ	35347	35347	35347	35347
SANMAN.SSZ	35348	35348	35348	35348
CAPEDN.SSZ	35351	35351	35351	35351
ALEURN.SSZ	35352	35352	35352	35352
CAPOLS.SSZ	35352	35352	35352	35352
COLOSN.SSZ	35356	35356	35356	35356
CATRAN.SSZ	35359	35359	35359	35359
CAFINS.SSZ	35362	35362	35362	35362
FINALL.SSZ	35362	35362	35362	35362
INICIO.SUP	35333	35333	35333	35333
CATRAS.SUP	35341	35341	35341	35341
CAROCN.SUP	35351	35351	35351	35351
ALEURN.SUP	35357	35357	35357	35357
CATRAN.SUP	35362	35362	35362	35362
FINALL.SUP	35362	35362	35362	35362
INICIO.VIX	35333	35333	35333	35333
CAPEDS.VIX	35338	35338	35338	35338
CABOTS.VIX	35345	35345	35345	35345
FINALL.VIX	35362	35362	35362	35362

continuação da TABELA 7.4 - DIA(N,P,EU) - data dos navios nos portos.

A tabela 7.5 - C1(P,EU,PP) representa o custo por unidade, em dólares dos EUA, para se levar o equipamento (EU) vazio do porto (P) ao porto (PP), por navio. Como exemplo, considere-se a primeira linha: FOR.IN-20 que indica o transporte de insulados de 20 pés, saindo do porto de Fortaleza; para se saber quanto seria gasto nesse transporte até o porto do Rio de Janeiro, bastaria olhar na coluna correspondente ao RIO e encontra-se o valor de US\$ 318,00.

A tabela 7.6 - C2(P,EU,PP) mostra o custo por unidade, em dólares dos EUA, para se levar o equipamento (EU) vazio do porto (P) ao porto (PP), por caminhão. Utilizando-se o mesmo exemplo: FOR.IN-20 que indica o transporte de insulados de 20 pés, saindo do porto de Fortaleza; para se verificar quanto seria gasto nesse transporte por caminhão até o porto do Rio de Janeiro, basta olhar na coluna Rio, obtendo-se o valor de US\$ 2500,00. Nessa tabela, quando o valor estimado do transporte ultrapassava US\$ 3000,00 por contêineres de 20 pés, não era feita uma estimativa desse custo para os outros portos mais distantes, apenas mantendo o valor de US\$ 3000,00 que já era suficiente para que esse arco não entrasse na solução ótima. No caso dos contêineres de 40 pés, o valor limite era de US\$ 6000,00.

A tabela 7.7 - C3(EU,P) apresenta o custo por unidade, em dólares dos EUA, para se alugar o equipamento (EU) no porto (P). Como exemplo: a linha de DC-40, que representa os contêineres padrão de 40 pés, e a coluna de RGR, que representa o porto de Rio Grande, mostra que o custo para se alugar esse equipamento é de US\$ 800,00. Como o aluguel considerado aqui, é basicamente o *master leasing*, não importa o tempo que se vai ficar com o contêiner, pois ele será devolvido dentro das cotas de devolução.

A tabela 7.8 - C4(EU,P) mostra o custo por unidade e por dia, em dólares dos EUA, para se manter armazenado o equipamento (EU) no porto (P). Usando o mesmo exemplo anterior: a linha de DC-40 e a coluna de RGR, mostra que o custo para manter armazenado esse equipamento por um dia no porto de Rio Grande é de US\$ 2,00. Existe um valor estipulado em todos os terminais em todos os portos para a armazenagem, como mostra a tabela C4(EU,P). Porém existe também um acordo com aos armadores que estipula não haver a cobrança de armazenagem se o armador tiver um certo número de movimentos por período. Essa quantidade varia de caso a caso, mas nesse exemplo em questão não há cobrança de armazenagem. Portanto, todos os valores de C4(EU,P) serão igual a zero para a solução do problema original. Porém, um teste com os valores citados na tabela C4(EU,P) será realizado para contemplar a possibilidade de também se pagar armazenagem.

TABELA 7.5 - C1(P,EU,PP) - custo unitário de transporte por navio, em US\$.

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOR.IN-20	0	383	253	177	318	299	289	193	251	226
SUP.IN-20	383	0	442	366	507	488	478	382	440	415
SSA.IN-20	253	442	0	236	377	358	348	252	310	285
VIX.IN-20	177	366	236	0	301	282	272	176	234	209
RIO.IN-20	318	507	377	301	0	423	413	317	375	350
SSZ.IN-20	299	488	358	282	423	0	394	298	356	331
QPB.IN-20	289	478	348	272	413	394	0	288	346	321
QFS.IN-20	193	382	252	176	317	298	288	0	250	225
ITJ.IN-20	251	440	310	234	375	356	346	250	0	283
RGR.IN-20	226	415	285	209	350	331	321	225	283	0
FOR.DC-20	0	383	253	177	318	299	289	193	251	226
SUP.DC-20	383	0	442	366	507	488	478	382	440	415
SSA.DC-20	253	442	0	236	377	358	348	252	310	285
VIX.DC-20	177	366	236	0	301	282	272	176	234	209
RIO.DC-20	318	507	377	301	0	423	413	317	375	350
SSZ.DC-20	299	488	358	282	423	0	394	298	356	331
QPB.DC-20	289	478	348	272	413	394	0	288	346	321
QFS.DC-20	193	382	252	176	317	298	288	0	250	225
ITJ.DC-20	251	440	310	234	375	356	346	250	0	283
RGR.DC-20	226	415	285	209	350	331	321	225	283	0
FOR.DC-40	0	554	293	242	375	379	385	253	288	283
SUP.DC-40	554	0	607	556	689	693	699	567	602	597
SSA.DC-40	293	607	0	295	428	432	438	306	341	336
VIX.DC-40	242	556	295	0	377	381	387	255	290	285
RIO.DC-40	375	689	428	377	0	514	520	388	423	418
SSZ.DC-40	379	693	432	381	514	0	524	392	427	422
QPB.DC-40	385	699	438	387	520	524	0	398	433	428
QFS.DC-40	253	567	306	255	388	392	398	0	301	296
ITJ.DC-40	288	602	341	290	423	427	433	301	0	331
RGR.DC-40	283	597	336	285	418	422	428	296	331	0
FOR.HK-40	0	554	293	242	375	379	385	253	288	283
SUP.HK-40	554	0	607	556	689	693	699	567	602	597
SSA.HK-40	293	607	0	295	428	432	438	306	341	336
VIX.HK-40	242	556	295	0	377	381	387	255	290	285
RIO.HK-40	375	689	428	377	0	514	520	388	423	418
SSZ.HK-40	379	693	432	381	514	0	524	392	427	422
QPB.HK-40	385	699	438	387	520	524	0	398	433	428
QFS.HK-40	253	567	306	255	388	392	398	0	301	296
ITJ.HK-40	288	602	341	290	423	427	433	301	0	331
RGR.HK-40	283	597	336	285	418	422	428	296	331	0

TABELA 7.6 - C2(P,EU,PP) - custo unitário de transporte por caminhão, em US\$.

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOR.IN-20	0	780	1250	2000	2500	3000	3000	3000	3000	3000
SUP.IN-20	780	0	800	1500	2000	3000	3000	3000	3000	3000
SSA.IN-20	1250	800	0	850	1300	1600	3000	3000	3000	3000
VIX.IN-20	2000	1500	850	0	550	700	900	1200	3000	3000
RIO.IN-20	2500	2000	1300	550	0	350	600	900	1000	1300
SSZ.IN-20	3000	3000	1600	700	350	0	260	280	300	900
QPB.IN-20	3000	3000	3000	900	600	260	0	250	180	700
QFS.IN-20	3000	3000	3000	1200	900	280	250	0	120	500
ITJ.IN-20	3000	3000	3000	3000	1000	300	180	120	0	450
RGR.IN-20	3000	3000	3000	3000	1300	900	700	500	450	0
FOR.DC-20	0	780	1250	2000	2500	3000	3000	3000	3000	3000
SUP.DC-20	780	0	800	1500	2000	3000	3000	3000	3000	3000
SSA.DC-20	1250	800	0	850	1300	1600	3000	3000	3000	3000
VIX.DC-20	2000	1500	850	0	550	700	900	1200	3000	3000
RIO.DC-20	2500	2000	1300	550	0	350	600	900	1000	1300
SSZ.DC-20	3000	3000	1600	700	350	0	260	280	300	900
QPB.DC-20	3000	3000	3000	900	600	260	0	250	180	700
QFS.DC-20	3000	3000	3000	1200	900	280	250	0	120	500
ITJ.DC-20	3000	3000	3000	3000	1000	300	180	120	0	450
RGR.DC-20	3000	3000	3000	3000	1300	900	700	500	450	0
FOR.DC-40	0	1300	2400	3500	6000	6000	6000	6000	6000	6000
SUP.DC-40	1300	0	1100	2700	3500	6000	6000	6000	6000	6000
SSA.DC-40	2400	1100	0	1550	2600	3500	3500	3500	3500	6000
VIX.DC-40	3500	2700	1550	0	1000	1550	2000	2100	2200	3000
RIO.DC-40	6000	3500	2600	1000	0	600	1000	1100	1200	2000
SSZ.DC-40	6000	6000	3500	1550	600	0	500	520	550	1500
QPB.DC-40	6000	6000	6000	2000	1000	500	0	250	300	1200
QFS.DC-40	6000	6000	6000	2100	1100	520	250	0	180	1100
ITJ.DC-40	6000	6000	6000	2200	1200	550	300	180	0	900
RGR.DC-40	6000	6000	6000	3500	2000	1500	1200	1100	900	0
FOR.HK-40	0	1300	2400	3500	6000	6000	6000	6000	6000	6000
SUP.HK-40	1300	0	1100	2700	3500	6000	6000	6000	6000	6000
SSA.HK-40	2400	1100	0	1550	2600	3500	3500	3500	3500	6000
VIX.HK-40	3500	2700	1550	0	1000	1550	2000	2100	2200	3000
RIO.HK-40	6000	3500	2600	1000	0	600	1000	1100	1200	2000
SSZ.HK-40	6000	6000	3500	1550	600	0	500	520	550	1500
QPB.HK-40	6000	6000	6000	2000	1000	500	0	250	300	1200
QFS.HK-40	6000	6000	6000	2100	1100	520	250	0	180	1100
ITJ.HK-40	6000	6000	6000	2200	1200	550	300	180	0	900
RGR.HK-40	6000	6000	6000	3500	2000	1500	1200	1100	900	0

TABELA 7.7 - C3(EU,P) - custo unitário de aluguel, em US\$.

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
IN-20	500	800	600	500	600	600	600	500	550	530
DC-20	600	800	650	700	750	500	700	600	650	630
DC-40	760	1000	800	760	900	900	900	770	800	800
HK-40	860	1100	900	860	1000	1000	1000	870	900	900

TABELA 7.8 - C4(EU,P) - custo diário, por unidade, de armazenamento, em US\$.

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
IN-20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
DC-20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DC-40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
HK-40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

A tabela 7.9 - TEM(P,PP) apresenta o tempo, em dias, para se transferir equipamentos do porto P ao porto PP utilizando caminhão. Por exemplo, o tempo para se transportar por caminhão contêineres de Suape a Salvador é de 2 dias, o valor situado no cruzamento da segunda linha (SUP) com a terceira coluna (SSA).

É importante também explicar a tabela 7.10 - CA(N) que representa o espaço reservado dos navios para levar equipamentos vazios. Sendo assim, o caso CA(ALBRAN) = 120 quer dizer que o navio Aliança Brasil na viagem sul-norte tem 120 TEUs livres para transportar contêineres vazios. Esse espaço foi estimado na direção sul-norte e na norte-sul e pode variar de acordo com a situação. Nele não são considerados as unidades trazidas de fora do sistema, e caso haja algum fechamento de carga não previsto inicialmente, é possível alterar o valor de CA de modo a diminuir o espaço reservado para vazios.

TABELA 7.9 - TEM(P,PP) tempo de transporte por caminhão entre os portos, em dias.

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOR	0	2	4	6	7	8	9	9	10	12
SUP	2	0	2	4	5	6	7	7	8	10
SSA	4	2	0	2	3	4	5	5	6	8
VIX	6	4	2	0	1	2	3	3	4	6
RIO	7	5	3	1	0	1	2	2	3	5
SSZ	8	6	4	2	1	0	1	1	2	5
QPB	9	7	5	3	2	1	0	0	1	3
QFS	9	7	5	3	2	1	0	0	1	3
ITJ	10	8	6	4	3	2	1	1	0	2
RGR	12	10	8	6	5	4	3	3	2	0

TABELA 7.10 - CA(N) - capacidade disponível de embarque dos navios.

Navio	Capacidade
ALBRAN	120
ALEURS	80
ALEURN	80
CABLAN	50
CABOTS	50
CAFINS	120
CAFINN	120
CAPEDN	40
CAPEDS	40
CAPOLS	120
CAPOLN	120
CAROCS	250
CAROCN	250
CATRAN	250
CATRAS	250
COLOSS	120
COLOSN	120
COPACS	120
COPACN	120
FLAMEN	150
HEICON	80
SANISN	80
SANMAS	80
SANMAN	80
SANMIS	80
SANMIN	80

## 8 - Resultados e Análise

Nesse capítulo, serão mostrados o resultados da aplicação do modelo matemático proposto para o reposicionamento de contêineres vazios (Modelo Particular). Inicialmente será apresentada a tabela 8.1 é o estoque previsto dos contêineres vazios disponíveis, antes de se programar os posicionamentos. Em segundo lugar, será apresentada e explicada a solução ótima gerada pelo modelo, de agora em diante batizada como Solução Original. Depois será apresentada a tabela 8.2, que representa o estoque previsto com os reposicionamentos resultantes da solução ótima do modelo particular. A seguir, são feitos testes onde alguns parâmetros principais serão alterados para a análise de sensibilidade.

### 8.1) Resultados Obtidos

A tabela 8.1 tem a seguinte formação: na primeira coluna está o nome código do navio. Na segunda coluna, a viagem que esse navio está fazendo, onde, segundo o critério da empresa, quando o começo da viagem é na América do Sul, o navio tem dois números de viagem e quando o começo é em outro lugar o navio só tem um número; porém acompanhado do N para direção norte e S para a sul. Na terceira coluna tem-se a data de saída do navio do porto, especificado na coluna seguinte. As quatro últimas colunas mostram a quantidade de contêineres disponíveis, por tipo, neste porto depois da saída de cada navio (caso o valor seja negativo ele indicará a quantidade prevista de equipamento que faltará naquele instante). Para cada porto, há uma linha inicial que mostra o estoque de cada tipo de equipamento no início do horizonte de planejamento. Portanto, esses dados serão convertidos em demanda ou oferta para cada navio e servirão como parâmetros do modelo de programação linear, o GAMS Particular.



TABELA 8.1 - Estoque Previsto antes dos reposicionamentos serem programados.

NAVIO	VOY	DATA	POR	IN 20	DC 20	DC 40	HK 40
inicio		25/set	FOR	43	57	3	1
HEICO	2N	26/09	FOR	37	48	0	1
COPAC	85/86	8/10	FOR	31	24	-3	5
COLOS	51S/N	24/10	FOR	25	-1	-12	7
finall		24/out	FOR	25	-1	-12	7
inicio		25/set	ITJ	14	13	23	17
COPAC	85/86	1/10	ITJ	14	8	19	14
COLOS	51S/N	16/10	ITJ	39	23	18	23
finall		24/out	ITJ	39	23	18	23
inicio		25/set	QFS	118	92	140	38
ALBRA	14/15	26/09	QFS	3	71	99	10
CABLA	38S/N	27/09	QFS	3	68	75	36
ALEUR	9/10	9/10	QFS	-67	67	57	13
CAPED	38S/N	11/10	QFS	57	51	62	32
CATRA	49S/N	17/10	QFS	-13	38	33	2
CABOT	1S/N	20/10	QFS	-1	39	9	2
CAPOL	44S/N	23/10	QFS	-55	22	-20	-28
finall		24/out	QFS	-55	22	-20	-28
inicio		25/set	QPB	20	20	32	4
CAPED	38S/N	3/10	QPB	29	4	30	4
ALEUR	9/10	11/10	QPB	17	3	30	4
CAPOL	44S/N	24/10	QPB	11	8	34	4
finall		24/out	QPB	11	8	34	4
inicio		25/set	RGR	31	50	64	28
SANMI	18S/N	25/09	RGR	31	50	64	28
COPAC	85/86	28/09	RGR	23	55	66	26
CAROC	04S/N	4/10	RGR	20	57	23	21
SANMA	20S/N	7/10	RGR	25	58	21	17
COLOS	51S/N	14/10	RGR	29	67	18	12
CATRA	49S/N	15/10	RGR	16	61	5	7
finall		24/out	RGR	16	61	5	7
inicio		25/set	RIO	5	69	21	23
CAROC	4S	27/09	RIO	14	75	23	24
SANMA	20S	28/09	RIO	17	77	24	24
SANMI	18N	28/09	RIO	17	51	24	24
ALBRA	15N	29/09	RIO	13	-36	18	25
COPAC	86N	4/10	RIO	28	-79	19	26
COLOS	51S	6/10	RIO	34	-75	20	27
CATRA	49S	6/10	RIO	34	-75	20	27
SANMA	20N	12/10	RIO	52	-88	22	28
ALEUR	10N	16/10	RIO	60	-120	14	30
COLOS	51N	20/10	RIO	72	-137	14	31
CAFIN	39S	23/10	RIO	81	-131	16	32
finall		24/out	RIO	81	-131	16	32
inicio		25/set	SSA	186	210	27	8
HEICO	02N	25/09	SSA	185	182	22	8
ALEUR	9S	26/09	SSA	31	217	24	9
SANMI	18S/N	30/09	SSA	47	179	8	11

CABLA	38S/N	2/10	SSA	55	245	5	12
CAROC	4S/N	12/10	SSA	80	235	-16	15
SANMA	20S/N	15/10	SSA	92	171	-18	14
CAFIN	39S	20/10	SSA	112	181	-16	17
CATRA	49N	23/10	SSA	84	115	-18	18
CABOT	1S/N	24/10	SSA	88	118	-17	19
finall		24/out	SSA	88	118	-17	19
inicio		25/set	SSZ	77	554	141	19
CAROC	4S	25/09	SSZ	79	580	171	21
SANMI	18N	26/09	SSZ	130	505	132	13
ALBRA	15N	28/09	SSZ	87	293	79	17
CABLA	38N	29/09	SSZ	89	236	98	19
ALEUR	9S	29/09	SSZ	89	236	98	-1
SANMA	20S	29/09	SSZ	139	236	98	-1
CAPED	38S	1/10	SSZ	143	288	158	3
COPAC	86N	3/10	SSZ	97	290	187	4
COLOS	51S	7/10	SSZ	105	394	307	12
CAROC	4N	8/10	SSZ	-104	206	232	14
CATRA	49S	8/10	SSZ	-104	206	232	14
CABOT	1S	9/10	SSZ	-87	232	262	16
SANMA	20N	10/10	SSZ	-85	198	252	16
CAPED	38N	13/10	SSZ	-79	216	312	22
ALEUR	10N	14/10	SSZ	-107	122	297	24
CAPOL	44S	14/10	SSZ	-107	122	297	24
COLOS	51N	18/10	SSZ	-119	166	387	27
CATRA	49N	21/10	SSZ	-279	124	432	33
CAFIN	39S	24/10	SSZ	-273	202	522	39
finall		24/out	SSZ	-273	202	522	39
inicio		25/set	SUP	166	115	7	1
CATRA	49S	3/10	SUP	175	133	43	1
CAROC	4N	13/10	SUP	180	118	71	1
ALEUR	10N	19/10	SUP	146	100	86	1
CATRA	49N	24/10	SUP	97	82	82	1
finall		24/out	SUP	97	82	82	1
inicio		25/set	VIX	0	24	0	0
CAPED	38S/N	30/09	VIX	0	1	3	0
CABOT	1S/N	7/10	VIX	0	-12	6	0
finall		24/out	VIX	0	-12	6	0

cont. da TABELA 8.1 - Estoque Previsto antes dos reposicionamentos serem programados.

### 8.1.1) Solução encontrada do GAMS Particular.

Os resultados obtidos com a aplicação do modelo particular para o problema, cujos parâmetros estão indicados na tabela 8.1, são mostrados e comentados a seguir. A saída apresentada está de acordo com os padrões do programa GAMS 2.25 .

Z custo total de posicionamento

---- VAR Z 2.1791E+5

490 VARIABLE X.L quant. de cont. do tipo eu transp. pelo navio n dos portos p para pp

INDEX 1 = IN-20

	SSZ
ALEURS.SSA	31
CATRAS.SUP	97
SANMIN.RGR	16

INDEX 1 = DC-20

	FOR	RIO
ALBRAN.QFS		22
COPACN.RGR	1	
SANMAN.RGR		7
SANMIN.RGR		50

490 VARIABLE X.L quant. de cont. do tipo eu transp. pelo navio n dos portos p para pp

INDEX 1 = DC-40

	FOR	SSA
COPACN.ITJ	9	
HEICON.SSA	3	
SANMIN.RIO		15
SANMIN.SSZ		1
SANMIN.RGR		5

INDEX 1 = HK-40

	SSZ	QFS
CATRAN.RGR		1
SANMIN.RGR	1	

490 VARIABLE W.L quantidade de contêiner do tipo eu transportado por terra para o navio n dos portos p a pp

INDEX 1 = IN-20

	SSZ	QFS
ALBRAN.RIO	13	
ALBRAN.ITJ		14
ALEURN.QFS	12	
CABOTS.RIO	3	
CAROCN.RIO	18	
CAROCN.QPB	11	
CATRAN.RIO	38	
CATRAN.ITJ	25	

490 VARIABLE W.L quantidade de contêiner do tipo eu transp. por terra para o navio n dos portos p a pp

INDEX 1 = DC-20

	VIX	RIO
ALBRAN.SSZ		7
ALEURN.SSZ		42
CAPEDS.SSZ	12	
CATRAS.SSZ		9

INDEX 1 = DC-40

	QFS
ALBRAN.QPB	11
ALBRAN.ITJ	9

INDEX 1 = HK-40

	QFS
ALBRAN.QPB	4
ALBRAN.ITJ	14
CABOTS.ITJ	9

490 VARIABLE Y.L quantidade de contêiner do tipo eu alugada para o navio n no porto p

	SSZ	QFS
IN-20. ALBRAN		53
IN-20.CAROCN	15	

A variável Z, como o próprio programa já explica, representa o custo total de reposicionamento de contêineres vazios para o horizonte de planejamento considerado. No modelo matemático é a função objetivo que foi minimizada. O valor encontrado do custo total para a solução ótima é US\$ 217.911,00.

A variável de decisão X.L das tabelas seguintes representa os contêineres reposicionados por navio. Todas as variáveis de decisão apresentam o final ".L" em virtude da simbologia do programa GAMS e, daqui por diante, ele não será mais mencionado. O "INDEX 1" é um índice do GAMS que aparece antes de cada tabela para representar algum parâmetro que não pode ser colocado na tabela. Nesse caso, INDEX 1= IN-20 mostra que os posicionamentos são de contêineres insulados de 20 pés. Caso seja outro tipo de equipamento, o "INDEX 1" mudará de acordo. Seguindo a explicação, na primeira linha, após cada INDEX 1, estão indicados os portos que receberão equipamentos vazios especificados por aquele índice. Nas linhas seguintes aparecem os navios que farão o transporte desses contêineres, o porto de onde eles virão e as respectivas quantidades para cada porto de destino. Tomando como exemplo a tabela da variável X e INDEX 1 = IN-20 e ALEURS.SSA, verifica-se que o navio Aliança Europa na direção norte-sul (ALEURS) levará 31 contêineres vazios insulados de 20 de Salvador (SSA) para Santos (SSZ).

A variável de decisão W das tabelas seguintes, representa os contêineres reposicionados por caminhão. O "INDEX 1" tem o mesmo sentido do explicado anteriormente. Seguindo a explicação, na primeira linha, após cada INDEX 1, estão indicados os portos que receberão equipamentos vazios daquele tipo por caminhão. Nas linhas seguintes aparecem os navios para os quais os equipamentos já estarão disponíveis para embarque após estufados, o porto de onde eles virão, por terra, e as respectivas quantidades para cada porto de destino. Tomando como exemplo a tabela da variável W INDEX 1 = IN-20: 13 contêineres vazios insulados de 20 pés foram programados para ir do Rio de Janeiro (RIO) para Santos (SSZ) de caminhão, chegando a tempo de ser embarcado no Aliança Brasil na viagem sul-norte (ALBRAN). Nota-se que cada navio indicado necessariamente passa pelo porto de destino do posicionamento e não necessariamente passa pelo porto de onde os equipamentos são retirados; talvez fosse melhor uma notação diferente na qual ao lado do navio figurasse o porto de destino. Mas isso ocorre por causa da estrutura de saída dos resultados no GAMS, sendo de difícil alteração.

A variável de decisão Y da tabela seguinte representa os contêineres alugados. Na primeira linha estão os portos onde serão alugados os equipamentos. Nas linhas seguintes aparecem o tipo de equipamento e para qual navio será feito o aluguel. Por exemplo, a tabela da variável Y: IN-20.ALBRAN mostra que se alugarão insulados de 20 pés a tempo de embarcar no Aliança Brasil, sentido sul-norte (ALBRAN). O porto em que será feito esse aluguel está na terceira coluna (QFS) e a quantidade logo abaixo (53). Ou seja, 53 contêineres insulados de 20 pés estão programados para serem alugados em São Francisco do Sul antes da partida do Aliança Europa.

Com a solução do modelo matemático de reposicionamento de contêineres vazios, recalcula-se, a partir da tabela 8.1, o estoque de contêineres vazios em cada porto, depois da passagem de cada navio. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 8.2: observa-se que não falta equipamento em nenhum porto, pois não há mais estoques negativos.

TABELA 8.2 - Estoque Previsto com os reposicionamentos programados.

NAVIO	VOY	DATA	POR	IN20	DC20	DC40	HK40
inicio		25/set	FOR	43	57	3	1
HEICO	2N	26/09	FOR	37	48	0	1
COPAC	85/86	8/10	FOR	31	24	0	5
COLOS	51S/N	24/10	FOR	25	0	0	7
finall		24/out	FOR	25	0	0	7
inicio		25/set	ITJ	0	13	14	3
COPAC	85/86	1/10	ITJ	0	8	1	0
COLOS	51S/N	16/10	ITJ	0	23	0	0
finall		24/out	ITJ	0	23	0	0
inicio		25/set	QFS	118	92	140	38
ALBRA	14/15	26/09	QFS	70	49	119	28
CABLA	38S/N	27/09	QFS	70	46	95	54
ALEUR	9/10	9/10	QFS	0	45	77	31
CAPED	38S/N	11/10	QFS	112	29	82	50
CATRA	49S/N	17/10	QFS	42	16	53	20
CABOT	1S/N	20/10	QFS	54	17	29	30
CAPOL	44S/N	23/10	QFS	0	0	0	0
finall		24/out	QFS	0	0	0	0
inicio		25/set	QPB	20	20	21	4
CAPED	38S/N	3/10	QPB	18	4	19	4
ALEUR	9/10	11/10	QPB	6	3	19	0
CAPOL	44S/N	24/10	QPB	0	8	23	0
finall		24/out	QPB	0	8	23	0
inicio		25/set	RGR	31	50	64	28
SANMI	18S/N	25/09	RGR	15	0	59	27
COPAC	85/86	28/09	RGR	7	4	61	25
CAROC	04S/N	4/10	RGR	4	6	18	20
SANMA	20S/N	7/10	RGR	9	0	16	16
COLOS	51S/N	14/10	RGR	13	9	13	11
CATRA	49S/N	15/10	RGR	0	3	0	5
finall		24/out	RGR	0	3	0	5
inicio		25/set	RIO	5	69	21	23
CAROC	4S	27/09	RIO	1	75	23	24
SANMA	20S	28/09	RIO	4	77	24	24
SANMI	18N	28/09	RIO	4	51	9	24
ALBRA	15N	29/09	RIO	0	21	3	25
COPAC	86N	4/10	RIO	15	0	5	26
COLOS	51S	6/10	RIO	21	4	6	27
CATRA	49S	6/10	RIO	0	13	6	27
SANMA	20N	12/10	RIO	18	0	7	29
ALEUR	10N	16/10	RIO	26	17	0	30
COLOS	51N	20/10	RIO	0	0	0	31
CAFIN	39S	23/10	RIO	9	6	2	32
finall		24/out	RIO	9	6	2	32
inicio		25/set	SSA	186	210	27	8
HEICO	02N	25/09	SSA	185	182	19	8
ALEUR	9S	26/09	SSA	0	217	21	9
SANMI	18S/N	30/09	SSA	16	179	5	11



CABLA	38S/N	2/10	SSA	24	245	23	12
CAROC	4S/N	12/10	SSA	49	235	2	15
SANMA	20S/N	15/10	SSA	61	171	0	14
CAFIN	39S	20/10	SSA	81	181	2	17
CATRA	49N	23/10	SSA	53	115	0	18
CABOT	1S/N	24/10	SSA	57	118	1	19
finall		24/out	SSA	57	118	1	19
inicio		25/set	SSZ	77	554	141	19
CAROC	4S	25/09	SSZ	79	580	171	21
SANMI	18N	26/09	SSZ	130	505	131	13
ALBRA	15N	28/09	SSZ	116	274	78	18
CABLA	38N	29/09	SSZ	118	217	97	20
ALEUR	9S	29/09	SSZ	118	217	97	0
SANMA	20S	29/09	SSZ	199	217	97	0
CAPED	38S	1/10	SSZ	203	269	157	4
COPAC	86N	3/10	SSZ	157	262	186	5
COLOS	51S	7/10	SSZ	165	366	306	13
CAROC	4N	8/10	SSZ	0	178	231	15
CATRA	49S	8/10	SSZ	0	178	231	15
CABOT	1S	9/10	SSZ	117	204	261	17
SANMA	20N	10/10	SSZ	119	170	251	17
CAPED	38N	13/10	SSZ	125	188	311	23
ALEUR	10N	14/10	SSZ	109	94	296	25
CAPOL	44S	14/10	SSZ	109	52	296	25
COLOS	51N	18/10	SSZ	97	96	386	28
CATRA	49N	21/10	SSZ	0	54	431	34
CAFIN	39S	24/10	SSZ	6	132	521	40
finall		24/out	SSZ	6	132	521	40
inicio		25/set	SUP	166	115	7	1
CATRA	49S	3/10	SUP	78	133	43	1
CAROC	4N	13/10	SUP	83	118	71	1
ALEUR	10N	19/10	SUP	49	100	86	1
CATRA	49N	24/10	SUP	0	82	82	1
finall		24/out	SUP	0	82	82	1
inicio		25/set	VIX	0	24	0	0
CAPED	38S/N	30/09	VIX	0	13	3	0
CABOT	1S/N	7/10	VIX	0	0	6	0
finall		24/out	VIX	0	0	6	0

continuação da TABELA 8.2 - Estoque Previsto com os reposicionamentos programados.

## 8.2) Testes e análise de sensibilidade.

Na seção anterior, foi obtida a solução ótima para o problema, batizada como Solução Original. A seguir, serão mostrados os testes com mudanças nos valores dos principais parâmetros do modelo, para que seja feita uma análise de sensibilidade:

### Teste 1

No teste 1, o parâmetro modificado foi a capacidade de contêineres vazios do navio SANMIN de 80 para 30 TEUs. Na primeira solução esse navio chegou a ficar com mais de 30 contêineres vazios, isso não ocorreu no teste 1 quando o máximo atingido foi de 30 TEUs. Este resultado era esperado pois a capacidade foi reduzida para 30, porém a surpresa foi que o custo global se manteve o mesmo (US\$ 217.911,00) indicando uma outra solução ótima, como mostram as tabelas 8.3; 8.4; 8.5 e 8.6. (em todas as tabelas a seguir serão mostradas apenas os tipos de contêineres que se alteraram comparados com a solução ótima original - seção 8.1 anterior). Isso ocorreu porque o programa encontrou outros caminhos para fazer o mesmo reposicionamento, os portos de origem e destino se mantiveram, porém a quantidade de contêineres que não podia mais ser transportada pelo SANMIN foi dividida por outros navios como por exemplo o COPACN de Rio Grande para Santos.

Custo total de posicionamento  $Z = 2.1791E+5$

TABELA 8.3- Resultado comparativo do teste 1 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original	Teste 1
IN-20	SSZ	SSZ
ALEURS.SSA	31	31
CATRAS.SUP	97	97
SANMIN.RGR	16	
COPACN.RGR		16

TABELA 8.4 - Resultado comparativo do teste 1 para contêineres do tipo DC-20 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original		Teste 1	
	FOR	RIO	FOR	RIO
DC-20				
ALBRAN.QFS		22		22
COPACN.RGR	1		1	28
SANMAN.RGR		7		3
SANMIN.RGR		50		26

TABELA 8.5 - Resultado comparativo do teste 1 para contêineres do tipo DC-40 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original		Teste 1	
	FOR	SSA	FOR	SSA
DC-40				
COPACN.ITJ	9		9	
HEICON.SSA	3		3	
SANMIN.RIC		15		13
SANMIN.SSZ		1		1
SANMIN.RGF		5		1
SANMIS.RGF				4
CAROCS.RIC				2

TABELA 8.6 - Resultado comparativo do teste 1 para contêineres alugados.

Y(aluguel)	Solução Original		Teste 1	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
IN-20. ALBRAN		53	15	53
IN-20.CAROCS	15			

### Teste 2

No teste 2, o parâmetro modificado foi a capacidade de contêineres vazios do navio SANMIN de 80 para 10 TEUs. Como no teste anterior, o máximo transportado foi restrito pela capacidade colocada de 10 TEUs. Porém, no teste 2 não se conseguiu uma solução com o mesmo custo global, aumentando esse custo em função de uma restrição mais rígida. O novo resultado pode ser verificado nas tabelas 8.7; 8.8; 8.9 e 8.10. onde 8 unidades do tipo DC-40 passaram a ser posicionadas de Santos para Salvador ao invés de Rio de Janeiro para Salvador; como, para esse tipo de equipamento ser posicionado de navio do Rio para Salvador é US\$ 4,00 mais barato, então esta solução fica US\$ 32,00 mais onerosa.

Custo total de posicionamento  $Z = 2.1794E+5$

TABELA 8.7- Resultado comparativo do teste 2 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original	Teste 2
IN-20	SSZ	SSZ
ALEURS.SSA	31	31
CATRAS.SUP	97	97
SANMIN.RGR	16	
COPACN.RGR		16

TABELA 8.8 - Resultado comparativo do teste 2 para contêineres do tipo DC-20 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original		Teste 2	
	FOR	RIO	FOR	RIO
DC-20				
ALBRAN.QFS		22		22
COPACN.RGR	1		1	46
SANMAN.RGI		7		3
SANMIN.RGR		50		8

TABELA 8.9 - Resultado comparativo do teste 2 para contêineres do tipo DC-40 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original		Teste 2	
	FOR	SSA	FOR	SSA
DC-40				
COPACN.ITJ	9		9	
HEICON.SSA	3		3	
SANMIN.RIO		15		5
SANMIN.SSZ		1		
SANMIN.RGR		5		
SANMIS.RGR				5
CABLAN.SSZ				9
CAROCS.RIO				2

TABELA 8.10 - Resultado comparativo do teste 2 para contêineres alugados.

Y(aluguel)	Solução Original		Teste 2	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
IN-20. ALBRAN		53	15	53
IN-20. CAROCN	15			

**Teste 3**

No teste 3, cujos resultados estão nas tabelas 8.11, 8.12 e 8.13, foi mudado o custo de posicionamento por terra do contêiner do tipo DC-20 de Santos para Rio, de US\$ 350,00 para US\$ 349,00, o que resultou numa nova solução com o custo global Z menor. Mas agora todos os contêineres de DC-20 possíveis de se transportar por terra, de Santos para o Rio, foram reposicionados por terra, incluindo 3 unidades que originalmente foram posicionadas para Vitória, fazendo-se necessário alugar essa mesma quantidade em Vitória. A explicação é que o custo de posicionamento por terra ficou 1 dólar mais barato do que o posicionamento por navio de Rio Grande para o Rio que é de US\$ 350,00.

Custo total de posicionamento  $Z = 2.1780E+5$

TABELA 8.11 - Resultado comparativo do teste 3 para contêineres do tipo DC-20 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original		Teste 3	
	FOR	RIO	FOR	RIO
DC-20				
ALBRAN.QFS		22		7
ALEURN.QFS				15
COPACN.RGF	1		1	
SANMAN.RGF		7		
SANMIN.RGF		50		

TABELA 8.12 - Resultado comparativo do teste 3 para contêineres do tipo DC-20 transportados por caminhão.

W(caminhão)	Solução Original		Teste 3	
	VIX	RIO	VIX	RIO
DC-20				
ALBRAN.SSZ		7		36
ALEURN.SSZ		42		32
CAPEDS.SSZ	12		9	
CATRAS.SSZ		9		9
COLOS.N.SSZ				2
COPACN.SSZ				36

TABELA 8.13 - Resultado comparativo do teste 3 para contêineres alugados.

Y(aluguel)	Solução Original		Teste 3		
	SSZ	QFS	VIX	SSZ	QFS
IN-20. ALBRAN		53			53
IN-20. CAROCN	15			15	
IN-20. CABOTS			3		

#### Teste 4

No teste 4 foi mudado o custo de posicionamento por terra do contêiner do tipo DC-20 de Santos para Rio, de US\$ 350,00 para US\$ 351,00. Porém não houve mudança nos posicionamentos, apenas o custo global aumentou em US\$ 58,00 pois 58 unidades foram reposicionadas de Santos para o Rio. O fato de não haver alteração na solução é explicado por não haver mais estoque disponível em Rio Grande para abastecer o Rio de Janeiro de unidades do tipo DC-20, sendo assim mesmo com o custo de transporte de navio de Rio Grande para o Rio de Janeiro sendo mais barato, não há mais contêineres disponíveis para o reposicionamento.

Custo total de posicionamento  $Z = 2.1797E+5$

### Teste 5

No teste 5, cujos resultados são mostrados nas tabelas 8.14 a 8.16, foi mudado o custo de posicionamento por navio do contêiner do tipo IN-20 de Rio para Santos de US\$ 423,00 para US\$ 300,00. Sendo assim, as 34 unidades que eram possíveis de ser transportadas por navio foram alocadas para esse modal ao invés do posicionamento por terra do Rio de Janeiro para Santos, que custaria US\$ 350,00 e tivemos a mesma quantidade de contêineres alugados, apenas esse aluguel teve que ser feito mais cedo para que não faltasse equipamentos durante o processo.

Custo total de posicionamento  $Z = 2.1621E+5$

TABELA 8.14- Resultado comparativo do teste 5 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original	Teste 5
IN-20	SSZ	SSZ
ALEURS.SSA	31	31
CATRAS.SUP	97	97
SANMIN.RGR	16	
COLOSS.RIO		34
SANMAN.RGR		3
COPACN.RGR		13

TABELA 8.15 - Resultado comparativo do teste 5 para contêineres do tipo IN-20 transportados por caminhão.

W(caminhão)	Solução Original		Teste 5	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
IN-20				
ALBRAN.RIC	13			
ALBRAN.ITJ		14		
ALEURN.QFS	12			
CABOTS.RIC	3			
CAROCN.RIC	18			
CAROCN.QPE	11			
CATRAN.RIC	38		20	
CATRAN.ITJ	25		25	
ALBRAN.QPE			11	
CAPOLS.RIC			18	
CAPOLS.QFS			12	
CABLAN.ITJ				14

TABELA 8.16 - Resultado comparativo do teste 5 para contêineres alugados.

Y(aluguel)	Solução Original		Teste 5	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
IN-20.ALBRAN		53	15	53
IN-20.CAROCN	15			

### Teste 6 e 7

Nos testes 6 ( Tabelas 8.17 a 8.19 ) e 7 ( Tabelas 8.20 a 8.22 ) foram colocados 50 e 100 contêineres, respectivamente, como estoque mínimo de segurança de unidades do tipo IN-20 no porto de Suape. Como resultado, essas unidades não puderam ser reposicionadas de Suape para Santos, conforme a solução original. Desta forma, no teste 6 foram alugados em Santos 50 unidades a mais, e no teste 7 foram alugados em Santos 97 unidades e 3 contêineres tiveram que ser posicionados de Salvador para Suape.



## Teste 6

Custo total de posicionamento  $Z = 2.2351E+5$ 

TABELA 8.17- Resultado comparativo do teste 6 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original	Teste 6
IN-20	SSZ	SSZ
ALEURS.SSA	31	31
CATRAS.SUP	97	47
SANMIN.RGR	16	16

TABELA 8.18 - Resultado comparativo do teste 6 para contêineres do tipo IN-20 transportados por caminhão.

W(caminhão)	Solução Original		Teste 6	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
IN-20				
ALBRAN.RIO	13		13	
ALBRAN.ITJ		14		14
ALEURN.QFS	12		12	
CABOTS.RIO	3			
CAROCN.RIO	18		21	
CAROCN.QPB	11		11	
CATRAM.RIO	38		20	
CATRAM.ITJ	25		25	
CAPOLS.ITJ			18	

TABELA 8.19 - Resultado comparativo do teste 6 para contêineres alugados.

Y(aluguel)	Solução Original		Teste 6	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
IN-20. ALBRAN		53	12	
IN-20.CAROCN	15			
IN-20. ALEURS				53
IN-20. ALEURN			53	

teste 7

Custo total de posicionamento  $Z = 2.3010E+5$ 

TABELA 8.20- Resultado comparativo do teste 7 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original	Teste 7	
		SSZ	SUP
IN-20	SSZ	SSZ	SUP
ALEURS.SSA	31	31	
CATRAS.SUP	97		
SANMIN.RGR	16	16	
CAROCN.SSA			3

TABELA 8.21 - Resultado comparativo do teste 7 para contêineres do tipo IN-20 transportados por caminhão.

W(caminhão)	Solução Original		Teste 7	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
IN-20	SSZ	QFS	SSZ	QFS
ALBRAN.RIC	13			
ALBRAN.ITJ		14		14
ALEURN.RIC			3	
ALEURN.QFS	12			
CATRAN.QFS			12	
CABOTS.RIC	3			
CAROCN.RIC	18			
CATRAN.QPE			11	
CAROCN.QPE	11			
CATRAN.RIC	38		69	
CATRAN.ITJ	25		13	
COLOSN.ITJ			12	

TABELA 8.22 - Resultado comparativo do teste 7 para contêineres alugados.

Y(aluguel)	Solução Original		Teste 7	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
IN-20. ALBRAN		53		
IN-20. CAROCN	15		57	
IN-20. ALEURS				53
IN-20. CATRAN			55	

**Teste 8**

No teste 8, o custo de reposicionamento por navio de contêineres do tipo HK-40 de Rio Grande para São Francisco do Sul foi reduzido de US\$ 296,00 para US\$ 249,00. Com este novo custo, 4 contêineres foram transportados por navio ao invés de serem reposicionados por terra de Paranaguá para São Francisco do Sul, que custaria US\$ 250,00 por unidade, como pode ser visto nas tabelas 8.23 e 8.24, que mostra uma análise comparativa dessa solução e da original:

Custo total de posicionamento  $Z = 2.1786E+5$

TABELA 8.23 - Resultado comparativo do teste 8 para contêineres do tipo HK-40 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original		Teste 8	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
CATRAN.RGF		1		5
SANMIN.RGF	1		1	

TABELA 8.24 - Resultado comparativo do teste 8 para contêineres do tipo HK-40 transportados por caminhão.

W(caminhão)	Solução Original	Teste 8
HK-40	QFS	QFS
ALBRAN.QPB	4	
ALBRAN.ITJ	14	14
CABOTS.ITJ	9	9

### Teste 9

No teste 9 realizou-se o mesmo procedimento do teste 8, que foi reduzir o custo de reposicionamento por navio de contêineres do tipo HK-40 de Rio Grande para São Francisco do Sul de US\$ 296,00 para US\$ 249,00 e também reduziu-se o custo de transporte por terra de Paranaguá para São Francisco de US\$ 250,00 para US\$ 179,00. Com este novo custo os 4 contêineres voltaram a ser transportados por terra ao invés de navio, retornando assim à solução original, com a redução da função objetivo para: Custo total de posicionamento  $Z = 2.1758E+5$

### Teste 10

No teste 10 realizou-se procedimento semelhante ao do teste 9, que foi reduzir o custo de reposicionamento por navio de contêineres do tipo HK-40 de Rio Grande para São Francisco do Sul de US\$ 296,00 para US\$ 179,00 e também reduziu-se o custo de transporte por terra de Paranaguá para São Francisco do Sul de US\$ 250,00 para US\$ 179,00. Com estes novos custos, aumentaram em 4 contêineres os reposicionamentos por navio de Rio Grande para São Francisco do Sul, e diminuíram na mesma quantidade os posicionamentos por caminhão de Itajaí para São Francisco do Sul, que custaria US\$ 180,00 por unidade, como mostram as tabelas 8.25 e 8.26.

Custo total de posicionamento  $Z = 2.1751E+5$

TABELA 8.25 - Resultado comparativo do teste 10 para contêineres do tipo HK-40 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original		Teste 10	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
HK-40				5
CATRAN.RGF		1		
SANMIN.RGF	1		1	

TABELA 8.26 - Resultado comparativo do teste 10 para contêineres do tipo HK-40 transportados por caminhão.

W(caminhão)	Solução Original	Teste 10
HK-40	QFS	QFS
ALBRAN.QPB	4	4
ALBRAN.ITJ	14	14
CABOTS.ITJ	9	5

### Teste 11

No teste 11 ( Tabelas 8.27 a 8.35 ), os custos tabelados de armazenagem foram considerados, resultando uma nova solução com um custo global bem maior, pois nela se inclui o custo de todo o estoque disponível em todos os portos. Além disso, a única diferença básica é a vantagem de se fazer posicionamentos por navio ao invés de por caminhão por não se pagar armazenagem quando o contêiner está a bordo. Como exemplo, tem-se os contêineres DC-40, que neste teste que foram posicionados de Vitória para São Francisco do Sul de navio custando US\$ 5,00 mais caro por unidade do que a solução original (que é caminhão de Paranaguá para São Francisco). Porém são economizados 8 dias de armazenagem o que resulta numa economia final de US\$ 11,00 por unidade.

Custo total de posicionamento  $Z = 2.8874E+5$

TABELA 8.27 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo IN-20 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original	Teste 11
IN-20	SSZ	SSZ
ALEURS.SSA	31	31
CATRAS.SUP	97	97
SANMIN.RGR	16	
COPACN.RGR		16

TABELA 8.28 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo DC-20 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original		Teste 11	
	FOR	RIO	FOR	RIO
DC-20				
ALBRAN.QFS		22		21
ALEURN.QFS				1
COPACN.RGF	1		1	9
SANMAN.RGF		7		48
SANMIN.RGF		50		

TABELA 8.29 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo DC-40 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original		Teste 11		
	FOR	SSA	FOR	SSA	QFS
DC-40					
COPACN.ITJ	9		9		
HEICON.SSA	3		3		
SANMIN.RIO		15			
SANMIN.SSZ		1			
SANMIN.RGF		5		3	
CAROCN.RGF				2	
CABLAN.SSZ				16	
CABOTS.VIX					3
CAPEDES.VIX					3

TABELA 8.30 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo HK-40 transportados por navio.

X(navio)	Solução Original		Teste 11	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
HK-40				
CATRAN.RGF		1		1
SANMIN.RGF	1		1	

TABELA 8.31 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo IN-20 transportados por caminhão.

W(caminhão)	Solução Original		Teste 11	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
IN-20				
ALBRAN.RIC	13			
ALBRAN.ITJ		14		
ALEURS.ITJ				14
ALEURN.QFS	12		12	
CAPOLS.RIC			18	
CABOTS.RIC	3			
CAROCN.RIC	18		21	
CAROCN.QPE	11			
COPACN.QPE			11	
CATRAN.RIC	38		12	
COPACN.RIC			13	
COLOSN.RIC			8	
CATRAN.ITJ	25		25	

TABELA 8.32 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo DC-20 transportados por caminhão.

W(caminhão)	Solução Original		Teste 11	
	VIX	RIO	VIX	RIO
DC-20				
ALBRAN.SSZ		7		
ALEURN.SSZ		42		
CAPEDS.SSZ	12			
CATRAS.SSZ		9		
CABOTS.SSZ			12	
SANMAS.SSZ				58

TABELA 8.33 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo DC-40 transportados por caminhão.

W(caminhão)	Solução Original	Teste 11
DC-40	QFS	QFS
ALBRAN.QPB	11	
ALBRAN.ITJ	9	
CAPOLS.QPB		5
CAPEDS.ITJ		9

TABELA 8.34 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres do tipo HK-40 transportados por caminhão.

W(caminhão)	Solução Original	Teste 11
HK-40	QFS	QFS
ALBRAN.QPB	4	
ALBRAN.ITJ	14	
CABOTS.ITJ	9	
CAPOLS.QPB		4
CAPEDS.ITJ		14
CAPOLS.ITJ		9

TABELA 8.35 - Resultado comparativo do teste 11 para contêineres alugados.

Y(aluguel)	Solução Original		Teste 11	
	SSZ	QFS	SSZ	QFS
IN-20. ALBRAN		53		
IN-20. CAROCN	15		12	
IN-20. CATRAN			3	
IN-20. ALEURS				53

Após a realização dos testes se pode verificar que o programa de reposicionamento funciona de acordo, ou seja, os posicionamentos dados são realmente os mais baratos para que nunca haja falta de equipamento dentro do horizonte de planejamento, sendo uma ferramenta de grande utilidade para o setor de operações e logística de uma empresa de navegação.



## 9 - Considerações Finais

Neste capítulo são destacadas as principais contribuições do trabalho, estabelecidas suas limitações e indicadas algumas sugestões para trabalhos futuros.

### 9.1) Síntese do trabalho e principais contribuições

Esta dissertação representa uma contribuição ao estudo do problema do contêiner vazio. Tal problema tem adquirido vital importância para as empresas de navegação, pois representa custos operacionais significativos (transporte e manutenção de estoque). Entretanto, observa-se uma diminuição dos valores dos fretes internacionais que são a receita das empresas de navegação. Sendo assim, com essa concorrência intensa, as empresas que não reduzirem seus custos estão fadadas ao desaparecimento. A logística do contêiner vazio trata do controle dos estoques de equipamentos disponíveis nos diversos portos de uma rede intermodal de transporte de cargas containerizadas. O objetivo é propor medidas para o reposicionamento dos contêineres vazios, de modo que não haja falta do equipamento apropriado nos locais em que há demanda, e que tudo isso seja feito de maneira eficaz e eficiente do ponto de vista econômico.

O ponto de partida para a elaboração do modelo de reposicionamento de contêineres vazios apresentado na presente dissertação é o trabalho de Dejax, Crainic e Gendreau, (Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers) referência [7]. Neste trabalho, eles apresentam um modelo, aqui denominado Modelo Genérico, para movimentação de contêineres vazios, cuja aplicação a um caso real, mesmo nos casos determinísticos, é bastante complexa, tendo em vista a dificuldade de obtenção dos dados de entrada, tais como custo de demanda não atendida. Já o Modelo Prático, proposto nesta dissertação, mostrou-se de fácil utilização. Este modelo consiste em fornecer o reposicionamento de contêineres vazios dos portos onde há excesso de equipamento para aqueles onde há demanda, dentro do menor custo, dado um horizonte de planejamento. Apesar de também ser apenas determinístico, mostrou-se útil, mesmo que haja mudança de cenário, e tem, como resultado, os posicionamentos necessários de menor custo. Desta maneira, é uma ferramenta de ajuda à tomada de decisão para uma empresa controlar seus equipamentos.

Uma contribuição relevante deste trabalho é a aplicação do modelo prático a um caso real. Portanto, ele deixa de ser apenas acadêmico e tem aplicação direta para empresas de navegação. O cenário escolhido para este trabalho foi os portos brasileiros com os quais a empresa de navegação Hamburg Süd trabalha em suas linhas regulares. Foi estabelecido contato com esta empresa através de um estágio de 8 meses realizado no setor operacional, a fim de obter dados para a solução do problema dos contêineres vazios. Todo o trabalho foi adaptado ao sistema de informações desta empresa, que forneceu os dados para a simulação dos reposicionamentos de contêineres vazios dentro do horizonte de planejamento escolhido.

A modelagem proposta baseia-se na passagem dos navios pelos portos da rota dentro de um horizonte de 4 semanas e pressupõe o conhecimento do estoque disponível de contêineres vazios em cada porto após a passagem de cada navio, caso não houvesse nenhuma nova decisão para reposicionamento desses equipamentos. O valor deste estoque disponível é obtido a partir das seguintes informações que fazem parte do banco de dados da empresa: os estoques de contêineres vazios disponíveis em cada porto no início do período de planejamento, a data de saída de cada navio de cada porto, as quantidades de contêineres cheios de importação e exportação movimentadas por cada navio em cada porto e os posicionamentos de contêineres vazios programados em períodos anteriores. Quando o estoque disponível é negativo, significa que haveria falta de equipamento para atender os contratos de exportação se não fosse tomada nenhuma decisão para o reposicionamento de contêineres vazios. Esta demanda pode ser atendida total ou parcialmente pelo remanejamento de contêineres vazios de portos onde o estoque disponível é positivo. Os valores de estoque disponível são dados de entrada do modelo de programação linear realizado no *software* GAMS, que decidirá o destino dos contêineres vazios. A solução do modelo indicará o suprimento dos portos de demanda com posicionamento por navio ou caminhão ou ainda com aluguel de equipamento, buscando minimizar o custo total de atendimento da demanda.

O Modelo Prático foi aplicado com dados reais da companhia Hamburg Süd, tendo como resposta os posicionamentos de menor custo para aquele determinado cenário. A seguir, foi realizada a Análise de Sensibilidade, com testes que modificavam os valores dos parâmetros de entrada, comparando os resultados obtidos com o cenário básico. Para cada

cenário modificado, comprovou-se a consistência do Modelo Prático, como pode ser observado no Capítulo 8.

Portanto, o Modelo Prático pode se constituir em uma ferramenta valiosa para definir os reposicionamentos dos equipamentos vazios que uma companhia de navegação deve fazer para atender a demanda dos portos nos quais opera, sendo melhores os resultados quanto mais precisas forem as informações de entrada.

## 9.2) Limitações e sugestões para trabalhos futuros

Evidentemente, há algumas limitações neste tipo de modelagem. Trabalha-se com determinado período de planejamento e admite-se que sejam conhecidas com certeza as ofertas e demandas de contêineres vazios nos portos da rota. No entanto, estes dados dependem de transações comerciais projetadas, mas que podem não ser concretizadas, como, por exemplo, mudanças de *schedule* dos navios, cargas previstas e não embarcadas, cargas para embarque de última hora, greve nos portos, falta de espaço no navio e outros. Esses contratemplos podem provocar alterações no planejamento. Sendo assim, estes dados devem ser fornecidos pelo setor comercial, que tem que estar sintonizado com o setor de logística para evitar ao máximo tais imprevistos.

Assim, o modelo é aplicado em um período de 30 dias, definindo os reposicionamentos de contêineres vazios. Entretanto, se durante o período ocorrem alterações na matriz de oferta e demanda dos equipamentos, é necessário reaplicar o modelo para nova configuração, a fim de resolver o problema criado e dar as novas diretrizes de posicionamentos dos contêineres vazios.

Há melhorias que poderiam ser incorporadas a trabalhos futuros:

1-) Ao elaborar o modelo matemático aqui descrito, por questões de simplificação, um navio que faz uma viagem norte-sul e posteriormente sul-norte é considerado como sendo 2 navios distintos. Em função deste tratamento, o espaço reservado ao transporte de contêineres vazios, num dado navio, foi dividido em duas partes iguais, uma atribuída ao navio na viagem sul e outra na norte. Isto funciona bem para os portos onde o navio passa uma única vez a cada viagem completa, pois, nesses casos, os dois navios fictícios estarão saindo do porto numa mesma data, oferecendo um espaço em conjunto para contêineres vazios igual ao do navio real. Porém, no caso dos portos de Santos e Rio de Janeiro, nos

quais o navio escala duas vezes; a atribuição de apenas metade do espaço “real”, destinado aos contêineres vazios para o navio hipotético na viagem sul, poderia fazer com que a demanda de equipamentos em Rio Grande tenha de ser atendida com um custo mais alto, trazendo contêineres vazios, por exemplo, de caminhão de Itajaí. Em tal caso, com uma análise de pós-processamento, seria possível aplicar de novo o modelo, com um novo limite de capacidade para a viagem sul, eliminando a distorção obtida no processamento inicial.

2-) Considerando os dados de entrada, a matriz de oferta e demanda por navio é determinística, e por isso sujeita a erros de estimativa. Para melhorar a qualidade das previsões nessa área, pode-se fazer com que a taxa de retorno dos contêineres para o estado disponível seja probabilística, considerando a sazonalidade e as séries históricas. Assim, poder-se-ia ter uma maior precisão do estoque futuro.

3-) Também os tempos de viagem de caminhão e do navio poderiam ser obtidos através de funções probabilísticas, tentando manter o modelo mais próximo da realidade. Entretanto, com esta aleatoriedade nos tempos de viagem, o modelo seria mais complexo e de difícil implementação computacional. Desta maneira, a aleatoriedade do tempo de viagem não foi incluída nessa dissertação.

4-) Permitir as substituições dos equipamentos seria uma opção boa a se acrescentar no modelo. Mas seria importante que o mesmo problema fosse resolvido pelos dois modelos, com e sem substituições. Antes de tomar a decisão sobre os reposicionamentos seria necessário comparar as duas soluções levando em conta outros fatores, não apenas o custo, pois há alguns aspectos do problema que escapam da modelagem. Pode ser que, em certas situações, a substituição represente um benefício a curto prazo, mas pode criar problemas futuros, como uma elevação no tempo de devolução do contêiner substituído. Isso ocorre quando, por exemplo, um contêiner insulado de 20 pés é embarcado com carga comum (que normalmente utiliza contêineres de 20 pés padrão) para um importador que retém o contêiner por mais tempo que os importadores de cargas insuladas. Caso esse contêiner insulado seja necessário a curto prazo, terá que ser feito um reposicionamento

para suprir essa demanda, pois o contêiner embarcado com carga ainda não estará disponível no sistema.

5-) Outra melhoria sugerida para um trabalho posterior é o estabelecimento de uma data na qual o contêiner precisa chegar ao porto para que ele possa ser reutilizado. No Modelo Prático é adotada uma regra simplificadora, de acordo com a qual o contêiner vazio só fica disponível para embarcar num navio, se chegar a um certo porto no navio anterior. O Modelo Genérico sugere a utilização de uma janela de tempo. A utilização de uma janela de tempo forneceria a quantidade de dias que o contêiner ficou armazenado, resultando em imediata aquisição do custo total de armazenagem. Atualmente, tal custo não representa despesas para os armadores devido a acordos com os terminais, porém num outro momento esse custo pode ser importante, como visto no teste 11. Contudo, essa mudança não é muito simples de ser implementada porque esse novo modelo não poderia ser baseado nas datas de passagem dos navios (como o Modelo Prático), e sim baseado no tempo.

6-) A consideração de estoques mínimos de segurança também poderia ser utilizada para que o posicionamento visasse diretamente minimizar o estoque. Ou seja, se ao final do reposicionamento, ainda houvesse portos com um estoque muito acima do estoque mínimo, isso forneceria uma indicação para posicionamentos para fora do Brasil, ou para devolução de equipamentos para as *leasing companies*. Esta é mais uma sugestão para um trabalho futuro.

### Bibliografia

- [1] - WHITE, W. W. Dynamic transshipment network: an algorithm and its application to the distribution of empty containers. *Networks*, n.2, p.211-236, 1972.
- [2] - SANTOS, J. C. **Transporte marítimo internacional**. São Paulo, Gedimex, 1980 .
- [3] - GUALDA, N. D. F. Modelo para análise da competitividade entre alternativas de transporte no estado de São Paulo. *Revista Politécnica*, v.81, n.188, p.14-17, jul., 1985.
- [4] - MAHONEY, J H. *Intermodal freight transportation*, Westports, Eno Foundation for Transportation, 1985 .
- [5] - WHITE, W. W.; BOMERAULT, A. M. A network algorithm for empty freight car allocation. *IBM Syst.*, v. 8, n.2, p.147-169, 1969.
- [6] - DEJAX, P. J.; CRAINIC, T. G. A review of empty flows and fleet management models in freight transportation. *Transportation Science*, v.21, n.4, p.227-248, Nov., 1987.
- [7] - DEJAX, P. J.; CRAINIC, T. G.; GENDREAU, M. Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers. *Operations Research*, v.41, n.1, p.102-126, Jan./Fev., 1993.
- [8] - BRANCH, A. E. **Economics of shipping practice and management**. London, Chapman and Hall, 1988 .

- [9] - GILMAN, S. **The competitive dynamics of container shipping**. S. l., s. ed., 1983.
- [10] - VAN DEN BURG, G. **Containerization and other unit transportation**. S. l., s. ed., 1975.
- [11] - WHITTAKER, J.R. **Containerization**. Washington, Hemisphere, 1975.
- [12] - BEAUJON, G. J.; TURQUIST, M. A. A model for fleet sizing and vehicle allocation. *Transportation Science*, v.25, n.1, p.19-45, 1991.
- [13] - CONVERSE, A. O. **Otimização**. São Paulo, EDART, 1977.
- [14] - BRAGA, M. J. F.; LERMONTOV, M.; MACHADO, M. A. S. **Modelos de programação linear**. Rio de Janeiro, Imprensa Naval, 1985 .
- [15] - ERMOL'EV, Y. M.; KRIVETS, T. A.; PETUKHOV, V. S. Planning of shipping empty seaborne containers. *Kibernetika*, n.4, p.145-146, 1976.
- [16] - POWELL, W. B. An operational planning model for the dynamic vehicle allocation problem with uncertain demands. *Transportation Research*, v.21, n. 3, pt.b, p.217-232, 1987.
- [17] - POWELL, W. B. A comparative review of alternative algorithms for the dynamic vehicle allocation problem. *Vehicle Routing: Methods and Studies*, p 249-289, 1988.

- [18] - DEJAX, P. J.; CRAINIC, T. G.; GENDREAU, M.; STEFFAN, H. Forecasting short-term demand for empty containers: a case study. *Transportation Research Record*, n.1328, p.98-103, 1990.
- [19] - MENDIRATTA, V. B.; TURQUIST, M. A. Model for management of empty freight cars. *Transportation Research Record*, n.838, p.50-55, 1981.
- [20] - JASSER, U. In: *Forecast system of equipment demand: FOCS' Manual*. Hamburgo, Hamburg Süd The Shipping Group, 1996.
- [21] - BARTHOLD, M., In: *Decentralized equipment control and operating system: DECOS' Manual*. Hamburgo, Hamburg Süd The Shipping Group, 1996.
- [22] - GAST, O. Logistics as a strategic business area. *Hamburg Süd The Shipping Group News*, n.1, Mar., 1996.
- [23] - BOYES, J. R. C. The final frontier. *Containerisation International*. p.37-39, Abr., 1996. (Edição Comemorativa).
- [24] - PHILLIPS, F. The generation gap. *Containerisation International*, p.42-45, Abr., 1996. (Edição Comemorativa).



## APÊNDICE

\$TITLE A TRANSPORTATION PROBLEM (A3,SEQ=GMS)

\$OFFUPPER

\* O problema visa estimar os posicionamentos dos containeres vazios

\* tendo como base os seus custos.

SETS

N navios do schedule / ALBRAN, ALEURS, ALEURN, CABLAN, CABOTS, CAFINS, CAPEDS, CAPEDN, CAPOLS, CAPOLN, CAROCS, CAROCN, CATRAN, CATRAS, COLOSS, COLOSN, COPACS,

COPACN, HEICON, SANMAS, SANMAN, SANMIN, SANMIS, INICIO, FINALL /

EU tipos de equipamentos / IN-20,DC-20,DC-40,HK-40/

P portos / FOR, SUP, SSA, VIX, RIO, SSZ, QPB, QFS, ITJ, RGR /

;

ALIAS (P, PP);

ALIAS (P,PPP);

ALIAS (N, NP);

ALIAS (N,NPP);

TABLE OPOP(N,P) ajuste da ordem dos navios

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
ALBRAN	30	30	30	30	5	4	30	2	30	30
ALEURS	30	30	3	30	30	5	3	4	30	30
ALEURN	30	4	30	30	10	16	4	5	30	30
CABLAN	30	30	6	30	30	6	30	3	30	30
CABOTS	30	30	13	3	30	13	30	9	30	30
CAFINS	30	30	11	30	12	20	30	30	30	30
CAPEDN	30	30	30	30	30	15	30	30	30	30
CAPEDS	30	30	30	2	30	8	2	6	30	30
CAPOLS	30	30	30	30	30	17	5	10	30	30
CAPOLN	30	30	30	30	30	30	6	11	30	30

CAROCS	30	30	7	30	2	2	30	30	30	6
CAROCN	30	3	8	30	30	11	30	30	30	7
CATRAN	30	5	12	30	30	19	30	8	30	13
CATRAS	30	2	30	30	7	12	30	7	30	12
COLOSS	5	30	30	30	8	10	30	30	4	10
COLOSN	6	30	30	30	11	18	30	30	5	11
COPACS	3	30	30	30	30	30	30	30	2	4
COPACN	4	30	30	30	6	9	30	30	3	5
HEICON	2	30	2	30	30	30	30	30	30	30
SANMAS	30	30	9	30	3	7	30	30	30	8
SANMAN	30	30	10	30	9	14	30	30	30	9
SANMIS	30	30	4	30	30	30	30	30	30	2
SANMIN	30	30	5	30	4	3	30	30	30	3
INICIO	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
FINALL	7	6	14	4	13	21	7	12	6	14

TABLE ONAV(N,P) ajuste da ordem dos navios

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
ALBRAN	30	30	30	30	3	2	30	1	30	30
ALEURS	30	30	1	30	30	2	4	3	30	30
ALEURN	30	5	30	30	4	3	2	1	30	30
CABLAN	30	30	3	30	30	2	30	1	30	30
CABOTS	30	30	4	1	30	2	30	3	30	30
CAFINS	30	30	1	30	2	3	30	30	30	30
CAPEDN	30	30	30	30	30	1	30	30	30	30
CAPEDS	30	30	30	1	30	2	3	4	30	30
CAPOLS	30	30	30	30	30	1	3	2	30	30
CAPOLN	30	30	30	30	30	30	2	1	30	30
CAROCS	30	30	4	30	2	1	30	30	30	3
CAROCN	30	4	3	30	30	2	30	30	30	1
CATRAN	30	5	4	30	30	3	30	2	30	1

CATRAS 30	1	30	30	2	3	30	5	30	4
COLOSS 5	30	30	30	1	2	30	30	4	3
COLOSN 5	30	30	30	4	3	30	30	2	1
COPACS 3	30	30	30	30	30	30	30	2	1
COPACN 5	30	30	30	4	3	30	30	2	1
HEICON 2	30	1	30	30	30	30	30	30	30
SANMAS 30	30	4	30	1	2	30	30	30	3
SANMAN 30	30	4	30	3	2	30	30	30	1
SANMIS 30	30	2	30	30	30	30	30	30	1
SANMIN 30	30	4	30	3	2	30	30	30	1
INICIO 30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
FINALL 30	30	30	30	30	30	30	30	30	30

;

TABLE O(N,P,EU) balanco de conteneres por porto por navio

	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
INICIO.FOR	43	57	3	1
HEICON.FOR	-6	-9	-3	0
COPACS.FOR	-6	-24	-3	4
COPACN.FOR	0	0	0	0
COLOSS.FOR	-6	-25	-9	2
COLOSN.FOR	0	0	0	0
FINALL.FOR	0	0	0	0
INICIO.ITJ	14	13	23	17
COPACS.ITJ	0	-5	-4	-3
COPACN.ITJ	0	0	0	0
COLOSS.ITJ	25	15	-1	9
COLOSN.ITJ	0	0	0	0
FINALL.ITJ	0	0	0	0
INICIO.QFS	118	92	140	38
ALBRAN.QFS	-115	-21	-41	-28
CABLAN.QFS	0	-3	-24	26
ALEURS.QFS	-70	-1	-18	-23

ALEURN.QFS	0	0	0	0
CAPEDS.QFS	124	-16	5	19
CATRAS.QFS	-70	-13	-29	-30
CATRAN.QFS	0	0	0	0
CABOTS.QFS	12	1	-24	0
CAPOLS.QFS	-54	-17	-29	-30
CAPOLN.QFS	0	0	0	0
FINALL.QFS	0	0	0	0
INICIO.QPB	20	20	32	4
CAPEDS.QPB	9	-16	-2	0
ALEURS.QPB	-12	-1	0	0
ALEURN.QPB	0	0	0	0
CAPOLS.QPB	-6	5	4	0
CAPOLN.QPB	0	0	0	0
FINALL.QPB	0	0	0	0
INICIO.RGR	31	50	64	28
SANMIS.RGR	0	0	0	0
SANMIN.RGR	0	0	0	0
COPACS.RGR	-8	5	2	-3
COPACN.RGR	0	0	0	0
CAROCS.RGR	-3	2	-43	-5
CAROCN.RGR	0	0	0	0
SANMAS.RGR	5	1	-2	-4
SANMAN.RGR	0	0	0	0
COLOSS.RGR	5	9	-3	-5
COLOSN.RGR	0	0	0	0
CATRAS.RGR	-14	-6	-13	-5
CATRAN.RGR	0	0	0	0
FINALL.RGR	0	0	0	0
INICIO.RIO	5	69	21	23
CAROCS.RIO	9	6	2	1
SANMAS.RIO	3	2	1	0

SANMIN.RIO	0	-26	0	0
ALBRAN.RIO	-4	-87	-6	0
COPACN.RIO	15	-43	2	2
CATRAS.RIO	6	4	1	1
COLOSS.RIO	0	0	0	0
SANMAN.RIO	18	-13	1	2
ALEURN.RIO	8	-32	-7	1
COLOSN.RIO	12	-17	0	1
CAFINS.RIO	9	6	2	1
FINALL.RIO	0	0	0	0
INICIO.SSA	186	210	27	8
HEICON.SSA	-1	-28	-5	0
ALEURS.SSA	-154	35	2	1
SANMIS.SSA	16	-38	-16	2
SANMIN.SSA	0	0	0	0
CABLAN.SSA	8	66	-3	1
CAROCS.SSA	25	-10	-21	3
CAROCN.SSA	0	0	0	0
SANMAS.SSA	12	-64	-2	-1
SANMAN.SSA	0	0	0	0
CAFINS.SSA	20	10	2	3
CATRAN.SSA	-28	-66	-2	2
CABOTS.SSA	4	3	1	1
FINALL.SSA	0	0	0	0
INICIO.SSZ	77	554	141	19
CAROCS.SSZ	2	26	30	2
SANMIN.SSZ	51	-75	-39	-8
ALBRAN.SSZ	-43	-212	-53	4
ALEURS.SSZ	2	-57	19	-18
CABLAN.SSZ	0	0	0	20
SANMAS.SSZ	50	0	0	-20
CAPEDS.SSZ	4	52	60	4

COPACN.SSZ	-46	2	29	1
COLOSS.SSZ	8	104	120	8
CAROCN.SSZ	-209	-188	-75	2
CATRAS.SSZ	0	0	0	0
CABOTS.SSZ	17	26	30	2
SANMAN.SSZ	2	-34	-10	0
CAPEDN.SSZ	6	18	60	6
ALEURN.SSZ	-28	-94	-15	2
CAPOLS.SSZ	0	0	0	0
COLOSN.SSZ	-12	44	90	3
CATRAN.SSZ	-160	-42	45	6
CAFINS.SSZ	6	78	90	6
FINALL.SSZ	0	0	0	0
INICIO.SUP	166	115	7	1
CATRAS.SUP	9	18	36	0
CAROCN.SUP	5	-15	28	0
ALEURN.SUP	-34	-18	15	0
CATRAN.SUP	-49	-18	-4	0
FINALL.SUP	0	0	0	0
INICIO.VIX	0	24	0	0
CAPEDS.VIX	0	-23	3	0
CABOTS.VIX	0	-13	3	0
FINALL.VIX	0	0	0	0

;

TABLE DIA(N,P,EU)      data dos navios nos portos em dias

	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
INICIO.FOR	35333	35333	35333	35333
HEICON.FOR	35334	35334	35334	35334
COPACS.FOR	35346	35346	35346	35346
COPACN.FOR	35346	35346	35346	35346
COLOSS.FOR	35362	35362	35362	35362

COLOSN.FOR 35362 35362 35362 35362  
FINALL.FOR 35362 35362 35362 35362  
INICIO.ITJ 35333 35333 35333 35333  
COPACS.ITJ 35339 35339 35339 35339  
COPACN.ITJ 35339 35339 35339 35339  
COLOSS.ITJ 35354 35354 35354 35354  
COLOSN.ITJ 35354 35354 35354 35354  
FINALL.ITJ 35362 35362 35362 35362  
INICIO.QFS 35333 35333 35333 35333  
ALBRAN.QFS 35334 35334 35334 35334  
CABLAN.QFS 35335 35335 35335 35335  
ALEURS.QFS 35347 35347 35347 35347  
ALEURN.QFS 35347 35347 35347 35347  
CAPEDS.QFS 35349 35349 35349 35349  
CATRAS.QFS 35355 35355 35355 35355  
CATRAN.QFS 35355 35355 35355 35355  
CABOTS.QFS 35358 35358 35358 35358  
CAPOLS.QFS 35361 35361 35361 35361  
CAPOLN.QFS 35361 35361 35361 35361  
FINALL.QFS 35362 35362 35362 35362  
INICIO.QPB 35333 35333 35333 35333  
CAPEDS.QPB 35341 35341 35341 35341  
ALEURS.QPB 35349 35349 35349 35349  
ALEURN.QPB 35349 35349 35349 35349  
CAPOLS.QPB 35362 35362 35362 35362  
CAPOLN.QPB 35362 35362 35362 35362  
FINALL.QPB 35362 35362 35362 35362  
INICIO.RGR 35333 35333 35333 35333  
SANMIS.RGR 35333 35333 35333 35333  
SANMIN.RGR 35333 35333 35333 35333  
COPACS.RGR 35336 35336 35336 35336  
COPACN.RGR 35336 35336 35336 35336

CAROCS.RGR 35342 35342 35342 35342  
CAROCN.RGR 35342 35342 35342 35342  
SANMAS.RGR 35345 35345 35345 35345  
SANMAN.RGR 35345 35345 35345 35345  
COLOSS.RGR 35352 35352 35352 35352  
COLOSN.RGR 35352 35352 35352 35352  
CATRAS.RGR 35353 35353 35353 35353  
CATRAN.RGR 35353 35353 35353 35353  
FINALL.RGR 35362 35362 35362 35362  
INICIO.RIO 35333 35333 35333 35333  
CAROCS.RIO 35335 35335 35335 35335  
SANMAS.RIO 35336 35336 35336 35336  
SANMIN.RIO 35336 35336 35336 35336  
ALBRAN.RIO 35337 35337 35337 35337  
COPACN.RIO 35342 35342 35342 35342  
CATRAS.RIO 35343 35343 35343 35343  
COLOSS.RIO 35344 35344 35344 35344  
SANMAN.RIO 35350 35350 35350 35350  
ALEURN.RIO 35354 35354 35354 35354  
COLOSN.RIO 35359 35359 35359 35359  
CAFINS.RIO 35361 35361 35361 35361  
FINALL.RIO 35362 35362 35362 35362  
INICIO.SSA 35333 35333 35333 35333  
HEICON.SSA 35333 35333 35333 35333  
ALEURS.SSA 35334 35334 35334 35334  
SANMIS.SSA 35338 35338 35338 35338  
SANMIN.SSA 35338 35338 35338 35338  
CABLAN.SSA 35340 35340 35340 35340  
CAROCS.SSA 35350 35350 35350 35350  
CAROCN.SSA 35350 35350 35350 35350  
SANMAS.SSA 35353 35353 35353 35353  
SANMAN.SSA 35353 35353 35353 35353



CAFINS.SSA 35358 35358 35358 35358  
CATRAN.SSA 35361 35361 35361 35361  
CABOTS.SSA 35362 35362 35362 35362  
FINALL.SSA 35362 35362 35362 35362  
INICIO.SSZ 35333 35333 35333 35333  
CAROCS.SSZ 35333 35333 35333 35333  
SANMIN.SSZ 35334 35334 35334 35334  
ALBRAN.SSZ 35336 35336 35336 35336  
ALEURS.SSZ 35337 35337 35337 35337  
CABLAN.SSZ 35337 35337 35337 35337  
SANMAS.SSZ 35337 35337 35337 35337  
CAPEDS.SSZ 35339 35339 35339 35339  
COPACN.SSZ 35341 35341 35341 35341  
COLOSS.SSZ 35345 35345 35345 35345  
CAROCN.SSZ 35346 35346 35346 35346  
CATRAS.SSZ 35346 35346 35346 35346  
CABOTS.SSZ 35347 35347 35347 35347  
SANMAN.SSZ 35348 35348 35348 35348  
CAPEDN.SSZ 35351 35351 35351 35351  
ALEURN.SSZ 35352 35352 35352 35352  
CAPOLS.SSZ 35352 35352 35352 35352  
COLOSN.SSZ 35356 35356 35356 35356  
CATRAN.SSZ 35359 35359 35359 35359  
CAFINS.SSZ 35362 35362 35362 35362  
FINALL.SSZ 35362 35362 35362 35362  
INICIO.SUP 35333 35333 35333 35333  
CATRAS.SUP 35341 35341 35341 35341  
CAROCN.SUP 35351 35351 35351 35351  
ALEURN.SUP 35357 35357 35357 35357  
CATRAN.SUP 35362 35362 35362 35362  
FINALL.SUP 35362 35362 35362 35362  
INICIO.VIX 35333 35333 35333 35333

CAPEDS.VIX 35338 35338 35338 35338

CABOTS.VIX 35345 35345 35345 35345

FINALL.VIX 35362 35362 35362 35362

;

TABLE C1(P,EU,PP) custo em US\$ por unidade

		FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOR.	IN-20	0	383	253	177	318	299	289	193	251	226
SUP.	IN-20	383	0	442	366	507	488	478	382	440	415
SSA.	IN-20	253	442	0	236	377	358	348	252	310	285
VIX.	IN-20	177	366	236	0	301	282	272	176	234	209
RIO.	IN-20	318	507	377	301	0	423	413	317	375	350
SSZ.	IN-20	299	488	358	282	423	0	394	298	356	331
QPB.	IN-20	289	478	348	272	413	394	0	288	346	321
QFS.	IN-20	193	382	252	176	317	298	288	0	250	225
ITJ.	IN-20	251	440	310	234	375	356	346	250	0	283
RGR.	IN-20	226	415	285	209	350	331	321	225	283	0
FOR.	DC-20	0	383	253	177	318	299	289	193	251	226
SUP.	DC-20	383	0	442	366	507	488	478	382	440	415
SSA.	DC-20	253	442	0	236	377	358	348	252	310	285
VIX.	DC-20	177	366	236	0	301	282	272	176	234	209
RIO.	DC-20	318	507	377	301	0	423	413	317	375	350
SSZ.	DC-20	299	488	358	282	423	0	394	298	356	331
QPB.	DC-20	289	478	348	272	413	394	0	288	346	321
QFS.	DC-20	193	382	252	176	317	298	288	0	250	225
ITJ.	DC-20	251	440	310	234	375	356	346	250	0	283
RGR.	DC-20	226	415	285	209	350	331	321	225	283	0
FOR.	DC-40	0	554	293	242	375	379	385	253	288	283
SUP.	DC-40	554	0	607	556	689	693	699	567	602	597
SSA.	DC-40	293	607	0	295	428	432	438	306	341	336
VIX.	DC-40	242	556	295	0	377	381	387	255	290	285
RIO.	DC-40	375	689	428	377	0	514	520	388	423	418
SSZ.	DC-40	379	693	432	381	514	0	524	392	427	422

QPB.	DC-40	385	699	438	387	520	524	0	398	433	428
QFS.	DC-40	253	567	306	255	388	392	398	0	301	296
ITJ.	DC-40	288	602	341	290	423	427	433	301	0	331
RGR.	DC-40	283	597	336	285	418	422	428	296	331	0
FOR.	HK-40	0	554	293	242	375	379	385	253	288	283
SUP.	HK-40	554	0	607	556	689	693	699	567	602	597
SSA.	HK-40	293	607	0	295	428	432	438	306	341	336
VIX.	HK-40	242	556	295	0	377	381	387	255	290	285
RIO.	HK-40	375	689	428	377	0	514	520	388	423	418
SSZ.	HK-40	379	693	432	381	514	0	524	392	427	422
QPB.	HK-40	385	699	438	387	520	524	0	398	433	428
QFS.	HK-40	253	567	306	255	388	392	398	0	301	296
ITJ.	HK-40	288	602	341	290	423	427	433	301	0	331
RGR.	HK-40	283	597	336	285	418	422	428	296	331	0

TABLE C2 (P, EU, PP) custo em US\$ por unidade

		FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOR.	IN-20	0	780	1250	2000	2500	3000	3000	3000	3000	3000
SUP.	IN-20	780	0	800	1500	2000	3000	3000	3000	3000	3000
SSA.	IN-20	1250	800	0	850	1300	1600	3000	3000	3000	3000
VIX.	IN-20	2000	1500	850	0	550	700	900	1200	3000	3000
RIO.	IN-20	2500	2000	1300	550	0	350	600	900	1000	1300
SSZ.	IN-20	3000	3000	1600	700	350	0	260	280	300	900
QPB.	IN-20	3000	3000	3000	900	600	260	0	250	180	700
QFS.	IN-20	3000	3000	3000	1200	900	280	250	0	120	500
ITJ.	IN-20	3000	3000	3000	3000	1000	300	180	120	0	450
RGR.	IN-20	3000	3000	3000	3000	1300	900	700	500	450	0
FOR.	DC-20	0	780	1250	2000	2500	3000	3000	3000	3000	3000
SUP.	DC-20	780	0	800	1500	2000	3000	3000	3000	3000	3000
SSA.	DC-20	1250	800	0	850	1300	1600	3000	3000	3000	3000
VIX.	DC-20	2000	1500	850	0	550	700	900	1200	3000	3000
RIO.	DC-20	2500	2000	1300	550	0	350	600	900	1000	1300

SSZ.	DC-20	3000	3000	1600	700	350	0	260	280	300	900
QPB.	DC-20	3000	3000	3000	900	600	260	0	250	180	700
QFS.	DC-20	3000	3000	3000	1200	900	280	250	0	120	500
ITJ.	DC-20	3000	3000	3000	3000	1000	300	180	120	0	450
RGR.	DC-20	3000	3000	3000	3000	1300	900	700	500	450	0
FOR.	DC-40	0	1300	2400	3500	6000	6000	6000	6000	6000	6000
SUP.	DC-40	1300	0	1100	2700	3500	6000	6000	6000	6000	6000
SSA.	DC-40	2400	1100	0	1550	2600	3500	3500	3500	3500	6000
VIX.	DC-40	3500	2700	1550	0	1000	1550	2000	2100	2200	3000
RIO.	DC-40	6000	3500	2600	1000	0	600	1000	1100	1200	2000
SSZ.	DC-40	6000	6000	3500	1550	600	0	500	520	550	1500
QPB.	DC-40	6000	6000	6000	2000	1000	500	0	250	300	1200
QFS.	DC-40	6000	6000	6000	2100	1100	520	250	0	180	1100
ITJ.	DC-40	6000	6000	6000	2200	1200	550	300	180	0	900
RGR.	DC-40	6000	6000	6000	3500	2000	1500	1200	1100	900	0
FOR.	HK-40	0	1300	2400	3500	6000	6000	6000	6000	6000	6000
SUP.	HK-40	1300	0	1100	2700	3500	6000	6000	6000	6000	6000
SSA.	HK-40	2400	1100	0	1550	2600	3500	3500	3500	3500	6000
VIX.	HK-40	3500	2700	1550	0	1000	1550	2000	2100	2200	3000
RIO.	HK-40	6000	3500	2600	1000	0	600	1000	1100	1200	2000
SSZ.	HK-40	6000	6000	3500	1550	600	0	500	520	550	1500
QPB.	HK-40	6000	6000	6000	2000	1000	500	0	250	300	1200
QFS.	HK-40	6000	6000	6000	2100	1100	520	250	0	180	1100
ITJ.	HK-40	6000	6000	6000	2200	1200	550	300	180	0	900
RGR.	HK-40	6000	6000	6000	3500	2000	1500	1200	1100	900	0

TABLE C3 (EU,P) custo em US\$ por unidade

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
IN-20	500	800	600	500	600	600	600	500	550	530
DC-20	600	800	650	700	750	500	700	600	650	630
DC-40	760	1000	800	760	900	900	900	770	800	800
HK-40	860	1100	900	860	1000	1000	1000	870	900	900

;
  
TABLE C4 (EU,P) custo em US\$ por unidade

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
IN-20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
DC-20	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
DC-40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
HK-40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

;

TABLE TEM(P,PP) tempo de transito entre os portos em dias

	FOR	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOR	0	2	4	6	7	8	9	9	10	12
SUP	2	0	2	4	5	6	7	7	8	10
SSA	4	2	0	2	3	4	5	5	6	8
VIX	6	4	2	0	1	2	3	3	4	6
RIO	7	5	3	1	0	1	2	2	3	5
SSZ	8	6	4	2	1	0	1	1	2	5
QPB	9	7	5	3	2	1	0	0	1	3
QFS	9	7	5	3	2	1	0	0	1	3
ITJ	10	8	6	4	3	2	1	1	0	2
RGR	12	10	8	6	5	4	3	3	2	0

;

## PARAMETER

LUIZ (NP, P, PP, EU)

ALINA (N, NP, P, PP, EU)

TEMP (N, NP, P, EU)

CA(N) capacidade dos navios

/

ALBRAN 120

ALEURS 80

ALEURN 80

CABLAN 50  
 CABOTS 50  
 CAFINS 120  
 CAPEDN 40  
 CAPEDS 40  
 CAPOLS 120  
 CAPOLN 120  
 CAROCS 250  
 CAROCN 250  
 CATRAN 250  
 CATRAS 250  
 COLOSS 120  
 COLOSN 120  
 COPACS 120  
 COPACN 120  
 HEICON 80  
 SANMAS 80  
 SANMAN 80  
 SANMIS 80  
 SANMIN 80  
 INICIO 00  
 FINALL 00

/ ;

$TEMP(N, NP, P, EU) = (DIA(NP, P, EU) - DIA(N, P, EU)) \$ ((OPOR(NP, P) - 1) EQ$   
 $OPOR(N, P)) \$ (DIA(NP, P, EU) NE 0) ;$

$LUIZ(NP, P, PP, EU) \$ (ONAV(NP, P) NE ONAV(NP, PP)) = 1 \$ ((DIA(NP, PP, EU) - TEM(P, PP)) GE$   
 $SMIN(NPP \$ (DIA(NPP, P, EU) NE 0), DIA(NPP, P, EU))) ;$

$ALINA(N, NP, P, PP, EU) \$ (ONAV(NP, PP) LT 30) = 1 \$ (LUIZ(NP, P, PP, EU) EQ 1) \$ (DIA(N, P, EU) EQ$   
 $SMAX(NPP \$ (DIA(NP, PP, EU) - TEM(P, PP) GE DIA(NPP, P, EU)), DIA(NPP, P, EU)) \$ (DIA(N, P, EU) NE$   
 $SUM(NPP, DIA(NPP, P, EU) \$ (OPOR(NPP, P) EQ (OPOR(N, P) + 1)))) ;$

#### VARIABLES

$X(EU, N, P, PP)$  quant. de cont. do eu transp. pelo navio n dos portos p para pp  
 $W(EU, N, P, PP)$  quant. de cont. do eu transp. por terra para o navio n dos  
 portos p a pp

Y(EU,N,P) quant. de cont. do tipo eu alugada para o navio n no porto p  
 EST(EU,N,P) estoque  
 Z custo total de posicionamento ;

POSITIVE VARIABLE X, W, Y, EST;

EQUATIONS

CUSTO define a funcao objetivo  
 EQUILIBRIO(N,P,EU) satisfas as restricoes  
 CAPAC(N,P) define a capacidade do navio ;

CUSTO .. Z =E= SUM((EU,N,P,PP), C1(P,EU,PP)\*X(EU,N,P,PP))  
 + SUM((EU,N,P), C3(EU,P)\*Y(EU,N,P))  
 + SUM((EU,N,P), C4(EU,P)\*EST(EU,N,P)\*SUM(NP,TEMP(N,NP,P,EU)))  
 + SUM((EU,N,P,PP), C2(P,EU,PP)\*W(EU,N,P,PP));

EQUILIBRIO(N,P,EU)\$ (OPOR(N,P) LT 30) .. EST(EU,N,P) =E= SUM(NP,  
 EST(EU,NP,P)\$ ((OPOR(NP,P))+1) EQ OPOR(N,P)) + O(N,P,EU) - SUM((PP)\$ (ONAV(N,PP) LT  
 30), X(EU,N,P,PP)\$ (ONAV(N,P) LT ONAV(N,PP)))

+ SUM((NP,PP), X(EU,NP,PP,P)\$ ((OPOR(NP,P))+1) EQ OPOR(N,P))\$ (ONAV(NP,P) GT  
 ONAV(NP,PP)) + Y(EU,N,P)

+ SUM(PP\$(LUIZ(N,PP,P,EU) EQ 1), W(EU,N,PP,P))

- SUM((NP,PP)\$ (ALINA(N,NP,P,PP,EU) EQ 1), W(EU,NP,P,PP)) ;

CAPAC(N,P)\$ (OPOR(N,P) LT 30) .. SUM(PP\$(ONAV(N,P) NE ONAV(N,PP)), X("IN-  
 20",N,P,PP)+X("DC-20",N,P,PP)+2\*X("DC-40",N,P,PP)+2\*X("HK-40",N,P,PP))

+ SUM((PPP,PP)\$ (ONAV(N,PPP) LT ONAV(N,P)), (X("IN-20",N,PPP,PP)+X("DC-  
 20",N,PPP,PP)+2\*X("DC-40",N,PPP,PP)+2\*X("HK-40",N,PPP,PP))\$ (ONAV(N,PP) GT ONAV(N,P)))

=L= CA(N);

MODEL TRANSPORT /ALL/ ;

OPTION ITERLIM=10000;

SOLVE TRANSPORT USING LP MINIMIZING Z ;

OPTION DECIMALS=1;

DISPLAY X.L, W.L, Y.L;