

**LÍRIA BAPTISTA DE REZENDE**

**A LOGÍSTICA DO CONTÊINER VAZIO, UMA NOVA  
ABORDAGEM.**

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

**SÃO PAULO**

**2003**

**LÍRIA BAPTISTA DE REZENDE**

**A LOGÍSTICA DO CONTÊINER VAZIO, UMA NOVA  
ABORDAGEM.**

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

Área de Concentração:  
Engenharia Naval e Oceânica.

Orientador:  
Prof. Marco Antonio Brinati

**SÃO PAULO**

**2003**

Ao meu amado filho Luiz Henrique pela  
compreensão dos momentos ausentes. À minha  
mãe Maria Inês pelo constante incentivo e à  
memória de meu pai.

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Prof. Marco Antonio Brinati; pela paciência no meu aprendizado; pelo profissionalismo que conduziu-me tão bem; pela dedicação e pelos incentivos que muito me ajudaram na conclusão deste trabalho.

Ao Engº Celso Mitsuo Hino pela disponibilidade, ajudando-me a alcançar o meu objetivo.

Ao Engº Gustavo Costa e a Vanessa Deeke da HSAC Logística pelas disponibilidades e atenções dadas, sem as quais não haveria o sucesso neste trabalho.

A amiga Giuliana Bonatelli Dario pela apoio e incentivo.

Ao estagiário Guilherme Guidolin de Campos pelas horas gastas me ajudando a compilar os resultados.

Aos demais amigos da sala de pós-graduação do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, por suas palavras de incentivo e coleguismo.

Ao Prof. Floriano Carlos Martins Pires Jr. (UFRJ), onde este trabalho começou.

À minha irmã Isis e aos parentes que sempre me apoiaram e me incentivaram.

Ao Prof. Moyses Szajnbok pela suas contribuições neste trabalho.

Ao Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da EPUSP e a seus funcionários pelo suporte na realização deste trabalho.



## RESUMO

Este trabalho examina a logística do contêiner vazio, de acordo com a ótica de uma companhia de navegação, que se defronta com o desbalanceamento entre a demanda e a oferta de contêineres vazios para atender seus contratos de exportação ao longo dos portos da rota. Quando a demanda de um tipo específico de contêiner, num dado porto, é maior do que a oferta, a empresa pode prover contêineres adicionais por meio da transferência de contêineres vazios do mesmo tipo, via marítima ou terrestre, a partir de portos em que a oferta é maior que a demanda, ou por meio de aluguel (*leasing*) de novos contêineres.

Neste trabalho apresenta-se um modelo matemático para que a empresa tome decisões referentes ao reposicionamento e *leasing* de contêineres vazios que atenda as restrições do problema, minimizando o custo envolvido. O presente estudo dá continuidade ao trabalho de Barco, B. L. (**A logística do contêiner vazio**. Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da USP para obtenção do título de mestre. São Paulo, 106 p, Mar. 1998.), explorando as sugestões por ele apresentadas para aperfeiçoamento do modelo original.

O modelo matemático é implementado computacionalmente por meio do pacote "GAMS - Sistema Geral de Modelagem Algébrica"; são utilizados dados providos por uma companhia de navegação.

A análise dos resultados de uma série de testes computacionais, com variação nos principais parâmetros, mostra a consistência do modelo.

## ABSTRACT

This research examines the logistics of the empty container. The study is based on the experience of a shipping company that faces an imbalance in the supply and demand of empty containers, when trying to meet its contractual obligations. When the demand for a specific container type in a certain port exceeds the supply, the company may provide additional containers, either by transporting empty containers of the same type, by sea or land, from ports where the supply is available; or by leasing new containers.

This research presents a mathematical model that allows the company to make decisions to relocate or lease empty containers, solving the problem within its restrictions, minimizing the cost involved. The current study expands the work of Barco, B.L. (**The logistics of the empty container** . Thesis presented at the Escola Politécnica da USP, to obtain a Master's Degree. São Paulo, 106 p. Mar. 1988) exploring his suggestions to improve the original model.

The mathematic model is implemented by computer with GAMS – General Algebraic Modeling System ; the data was provided by a shipping company.

The analysis of a series of computacional tests, with variable principal parameters, shows the consistency of the model.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>1. <u>INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</u></b> .....	<b>1</b>
1.1. APRESENTAÇÃO DO PROBLEMA .....	1
1.2. OBJETIVO DA PESQUISA .....	2
1.3. DELINEAMENTO DO TRABALHO .....	3
<b>2. <u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u></b> .....	<b>4</b>
2.1. CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	4
2.2. MODELOS PROPOSTOS .....	6
2.3. COMENTÁRIOS .....	26
<b>3. <u>O MODELO PROPOSTO</u></b> .....	<b>28</b>
3.1. O PROBLEMA DO REPOSICIONAMENTO DO CONTÊINER VAZIO .....	28
3.2. O MODELO MATEMÁTICO.....	30
3.2.1 ÍNDICES E CONJUNTOS .....	30
3.2.2 PARÂMETROS .....	30
3.2.3 VARIÁVEIS DE DECISÃO.....	31
3.2.4 FUNÇÃO OBJETIVO.....	34
3.2.5 RESTRIÇÕES .....	36
<b>4. <u>RESULTADOS COMPUTACIONAIS</u></b> .....	<b>40</b>
4.1. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO.....	40
4.2. RESOLUÇÃO DO MODELO .....	42
4.3. CENÁRIO BARCO.....	43
4.4. VARIAÇÕES DO CENÁRIO BARCO. ....	56
4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO CENÁRIO BARCO E VARIAÇÕES.....	59
4.6. CENÁRIO ATUALIZADO .....	70
4.7. VARIAÇÃO DO CENÁRIO ATUALIZADO. ....	85

4.8. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO CENÁRIO ATUALIZADO E VARIAÇÃO .....	88
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>90</b>
5.1. CONCLUSÕES SOBRE OS RESULTADOS OBTIDOS .....	90
5.2. CRÍTICAS E COMENTÁRIOS SOBRE A MODELAGEM EMPREGADA .....	91
<b>ANEXO A.....</b>	<b>92</b>
<b>ANEXO B.....</b>	<b>104</b>
<b>ANEXO C.....</b>	<b>124</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>130</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Planejamento total (CRAINIC; DEJAX; GENDREAU, 1990) .....	7
Figura 2.2 - Esquema de todo planejamento (CRAINIC; GENDREAU; DEJAX, 1993).....	10
Figura 2.3 - Diagrama espaço X tempo de movimentação de contêineres (CRAINIC; GENDREAU; DEJAX, 1993).....	13
Figura 2.4 - Fluxo de contêineres (BARCO, 1998) .....	15
Figura 2.5 - Fluxo de contêiner (OLIVEIRA et al, 1998).....	20
Figura 2.6 - Fluxo de Contêineres com trocas entre DC-20 e DC-40 (OLIVEIRA et al, 1998).....	21
Figura 2.7 - Esquema do modelo 1 (ONO, 2001) .....	23
Figura 2.8 - Exemplo de rota (ONO, 2001) .....	23
Figura 2.9 - Representação dos grupos de portos (ONO, 2001) .....	23
Figura 2.10 - Representação da rota adotada como exemplo (ONO, 2001) .....	24
Figura 4.1 – Resultados da função objetivo para cada variação. ....	61
Figura 4.2 – Gráfico comparativo dos resultados. ....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Nome dos navios .....	44
Tabela 4.2 – Tipos de contêineres .....	44
Tabela 4.3 – Portos utilizados .....	44
Tabela 4.4 – Programação das chegadas dos navios nos portos. ....	45
Tabela 4.5 – <i>Schedule</i> dos navios.....	46
Tabela 4.6 – Estoque inicial. ....	47
Tabela 4.7 – Balanço de contêineres vazios.....	48
Tabela 4.8 – Custo unitário (US\$) do transporte marítimo.....	49
Tabela 4.9 – Custo unitário (US\$) do transporte rodoviário.....	50
Tabela 4.10 – Custo unitário (US\$) do leasing para contêineres vazios.....	51
Tabela 4.11 – Custo unitário (US\$) de estocagem de contêineres vazios.....	51
Tabela 4.12 – Resultados do cenário Barco. ....	52
Tabela 4.13 – Estoque antes e depois do reposicionamento programado.....	54
Tabela 4.14 – Movimentação de contêineres. ....	55
Tabela 4.15 – Resultados da Variação 1. ....	56
Tabela 4.16 – Resultados da Variação 2. ....	57
Tabela 4.17 – Resultados da Variação 3. ....	58
Tabela 4.18 – Resultados da Variação 4. ....	59
Tabela 4.19 – Resultados agregados do cenário Barco de suas Variações. ....	60
Tabela 4.20 – Análise comparativa de número de operações para atendimento da demanda de contêineres vazios Cenário Barco x Variação 1.....	62
Tabela 4.21 – Cenário Barco X Variação 1. ....	66
Tabela 4.22 – Cenário Barco X Variação 2.....	67
Tabela 4.23 – Cenário BARCO X Variação 3. ....	68
Tabela 4.24 – Cenário Barco X Variação 4.....	69
Tabela 4.25 – Programação das chegadas dos navios nos portos. ....	71
Tabela 4.26 – <i>Schedule</i> dos navios.....	72
Tabela 4.27 – Estoque inicial. ....	72
Tabela 4.28 – Balanço de contêineres vazios.....	73
Tabela 4.29 – Custo unitário (US\$) do transporte marítimo.....	74

Tabela 4.30 – Custo unitário (R\$) do transporte rodoviário. ....	76
Tabela 4.31 – Custo unitário (US\$) do leasing para contêineres vazios. ....	77
Tabela 4.32 – Custo unitário (US\$) de estocagem de contêineres vazios. ....	78
Tabela 4.33 – Resultados do cenário Atualizado. ....	79
Tabela 4.34 – Estoque antes e depois do reposicionamento programado. ....	81
Tabela 4.35 – Movimentação de contêineres. ....	83
Tabela 4.36 – Trechos com capacidade diminuída em 20%. ....	85
Tabela 4.37 – Resultados da variação do cenário atualizado. ....	86
Tabela 4.38 – Comparação: cenário atualizado X cenário atualizado - capacidade reduzida. ....	89

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Denominação dos navios

Sigla	Nome
ALBRA	Aliança Brasil
ALEUR	Aliança Europa
ALHAM	Aliança Hamburgo
CAFIN	Cap Finnister
CAROC	Cap Roca
CASAN	Cap San Antonio
CASAU	Cap San Augustin
CASMA	Cap San Marco
CASNI	Cap San Nicolas
CASRA	Cap San Raphael
CSHAM	Hamburgo
FBEL	Frota Belen
FLAM	Flamengo
FMAC	Frota Macan
FMAN	Frota Manaus
FSAN	Frota Snatos
INTRE	Intrépido
LBB	Libra Barcelona
LEBL	Leblon
MANEW	Maersk Newark
MAVAL	Maersk Valencia
MAVAN	Maersk Vancouver
PEARG	P & O Eagle
PRN	Cala Parana
SEAXP	Santos Express
SEV	Sevilla

### Tipos de contêineres

DC-20	Contêiner de carga seca com dimensões 20"x 8"x 8,6"
DC-40	Contêiner de carga seca com dimensões 40"x 8"x 8,6"
RF-20	Contêiner integrado <i>reefer</i> com dimensões 20"x 8"x 8,6"
RH-40	Contêiner integrado <i>reefer high cube</i> com dimensões 40"x 8"x 9,6"
HC-40	Contêiner com as mesmas dimensões do RH-40, porém sem refrigeração.



### **Portos utilizados**

<b>Sigla</b>	<b>Nome</b>
FOT	Fortaleza
ITJ	Itajaí
MAO	Manaus
MCZ	Maceió
PEC	Ceará
PNG	Paranaguá
RIG	Rio Grande
RIO	Rio de Janeiro
SEP	Sepetiba
SFS	São Francisco
SLZ	São Luiz
SSA	Salvador
SSZ	Santos
SUP	Suape
VIX	Vitória

# 1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

## 1.1. Apresentação do problema

A adoção do contêiner como acondicionador de cargas teve maior significado a partir de 1956, quando começou a ser utilizado em navios mistos na costa oeste dos E.U.A. Naquela época já foram percebidas as vantagens da utilização do contêiner, tais como a rapidez de carga e descarga do navio e a facilidade da transferência de um modal de transporte para outro (BARCO, 1998).

Com o tempo, os transportadores descobriram outras vantagens: proteção da carga transportada contra roubos, perdas e avarias, diminuindo assim o preço do seguro, simplificação das embalagens, melhor aproveitamento dos espaços dos navios e redução dos fretes devido ao aumento do tamanho médio dos navios e da propulsão, melhora da produtividade das operações portuárias e conseqüente aumento da rotatividade dos navios pela redução de tempo no porto.

O tamanho dos contêineres não era padronizado. Existiam várias dimensões, como o CONEX (*Container Express Service*) com 8'x 6'x 6' criado pelo exército americano para fins de logística militar; os contêineres de 24'x 8'x 8' utilizados e idealizados pela Matson para o transporte por contêineres para o Hawaí e os de 35'x 8'x 8' utilizados pela companhia de navegação Sealand Inc (SOUZA, 1998).

Para facilitar o manuseio e acomodação nos navios, as dimensões dos contêineres foram padronizadas pela ISO (International Standard Organization) em 1968.

Os comprimentos padronizados são os de 10, 20, 30 e 40 pés. Os mais utilizados são os de 20 e 40 pés.

O volume relativo de carga geral transportado em contêineres vem crescendo aceleradamente, saltando de 27% em 1990 para mais de 41% em 1996 e para 46% previstos para 1999 (VELASCO, 1998). Como o contêiner é uma embalagem dispendiosa e não descartável deve ser considerado o seu remanejamento para sucessivas reutilizações, do que decorre a necessidade de um controle de estoque. Assim, pode-se prever o desbalanceamento da distribuição dos contêineres vazios, possibilitando seu envio de um porto de oferta para outro de demanda.

O problema dos contêineres vazios é comum nas empresas de transportes e está relacionado ao desequilíbrio (*imbalance*) entre as quantidades de contêiner que entram e que saíram, constituindo uma tarefa relevante devido aos custos envolvidos, direta ou indiretamente, como espaço, armazenamento, aluguel, etc. Sampaio (2001) classifica o problema de gerenciamento de contêineres vazios (PGCV) como um problema típico de logística reversa, associado à movimentação e à falta de interação entre a distribuição e o transporte dos contêineres cheios e a distribuição e o transporte dessas unidades, quando vazias para serem reutilizadas.

Como os contêineres estão vazios, todo esse processo de reposicionamento representa custos, sem receitas adicionais da operação. Com isso, a movimentação deve ser efetuada de modo a minimizar custos.

A solução é enviar contêiner de um ponto onde há excesso de oferta de contêineres vazios para outro onde há excesso de demanda de contêineres vazios. Isto pode ser conseguido sabendo-se quando e onde haverá a oferta e a demanda de contêineres vazios. No caso de uma empresa de navegação, as informações podem ser obtidas por meio dos itinerários dos navios (*schedules*) e previsões de pedidos de transporte fornecidas pela área comercial.

## 1.2. Objetivo da pesquisa

O objetivo da pesquisa é elaborar um modelo de planejamento logístico para auxiliar a empresa de navegação a tomar decisões referentes ao reposicionamento e *leasing* de contêineres vazios; os excessos de oferta ou de demanda de contêineres vazios, de cada tipo, nos portos da rota, bem como o espaço disponível nos navios

para transporte de contêineres vazios, serão restrições do modelo enquanto que o custo envolvido com reposicionamento, *leasing* e estocagem de contêineres vazios será a função objetivo do modelo.

O ponto de partida para o modelo aqui desenvolvido é o trabalho de Barco (1998). As mudanças neste realizadas visam tornar o modelo mais representativo das condições reais que condicionam a logística do contêiner vazio. As principais alterações foram o tratamento de navios com dupla passagem pelos portos e a mudança na restrição de capacidade dos navios para o transporte de contêiner vazio que passou dos 10% fixos para a quantidade real observada em cada trecho. Outra alteração, também relevante, diz respeito à introdução de um prazo de antecedência para a chegada de um contêiner vazio a um porto tendo em vista o seu embarque carregado num navio. Cada uma destas alterações será explicada com detalhes no decorrer do trabalho.

### 1.3. Delineamento do trabalho

O trabalho será dividido em cinco capítulos:

- **Capítulo 1:** faz-se a introdução ao tema da pesquisa, justifica-se sua relevância e são definidos os objetivos;
- **Capítulo 2:** faz-se uma caracterização do problema, a carência de ferramentas adequadas; e a revisão da literatura;
- **Capítulo 3:** descrevem-se a metodologia empregada e a modelagem do problema, destacando-se as adversidades geradas no tratamento do problema real e as implementações e modificações em relação aos trabalhos anteriores;
- **Capítulo 4:** mostram-se os resultados obtidos e faz-se a análise dos mesmos;
- **Capítulo 5:** faz-se uma discussão geral dos resultados e conclusões finais.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Caracterização do problema

Com o aumento das frotas de contêineres devido ao rápido crescimento da containerização (método para se transportar mercadorias em contêineres), torna-se necessário o desenvolvimento de novas tecnologias, tanto para a movimentação e armazenagem quanto para um controle dos fluxos de carga.

Normalmente, as quantidades de cargas exportadas e importadas não estão em equilíbrio nos portos, ou seja, pode faltar contêiner de um dado tipo em um porto e sobrar em outro.

A logística busca responder as questões:

- Como suprir a demanda de contêineres vazios nos portos?
- Quando iniciar o transporte?
- Qual o porto de origem e o de destino?
- Como fazê-lo: de navio, caminhão ou leasing?

Questões típicas da logística são relevantes, tais como programação, fechamento de carga, data de partida do navio, rotas, seleção do tipo de modal/transportador, contrato de frete, gerenciamento privado da frota; 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), previsão da demanda e oferta de vazios ao longo do período planejado e a grande quantidade de elementos que fazem parte do

gerenciamento de tráfego e transporte. (CRAINIC; GENDREAU; DEJAX, 1993) e (KOPICK et al., 1993)

Conhecendo as informações descritas, definem-se os portos de origem, oferta, e portos de destino, demanda, onde os contêineres vazios serão reposicionados por navio, caminhão ou ainda poderão ser alugados, visando sempre o menor custo.

Os contêineres vazios só poderão ocupar o navio se houver espaço vago (*slots*), ou seja, um CV nunca poderá ocupar o espaço de um outro contêiner com carga.

O sistema apresenta alguns imprevistos difíceis de quantificar, tais como:

- A previsão da área comercial exagerada;
- O cancelamento de carga;
- Quebra de guindastes de movimentação de contêineres (*portainer*);
- Greve de trabalhadores dos portos ou de empresas que prestam serviços para os portos;
- Avaria do próprio equipamento e tempo de reparo;
- Demora na devolução dos contêineres vindos de importação;
- Fiscalização das autoridades;
- Mudança do *schedule* dos navios. (CRAINIC; GENDREAU; DEJAX, 1993)

Essas incertezas podem ser contornadas ao se utilizar um estoque de segurança sendo que isto elevará o custo de estocagem do contêiner, porém evitará a perda de frete.

Lai; Lam; Cham (1995) classificam os contêineres em três tipos de acordo com a aquisição:

- Próprio; quando não utilizado, é armazenado nos depósitos do armador ou de terceiros. Os depósitos de terceiros cobram uma taxa diária de armazenagem
- *Leasing* em curto prazo, inferior a três anos; quando não utilizado, é devolvido para a companhia de *leasing* em operação denominada *drop-off*. A devolução é sujeita a um limite máximo mensal que varia de porto para porto. Uma outra opção é o armazenamento em depósitos para uso posterior.

- *Leasing* em longo prazo, mais de três anos; o tratamento é semelhante ao do contêiner próprio, uma vez que não são permitidas devoluções dentro de um prazo que, dependendo do contrato, varia normalmente de três a cinco anos.

Os valores do *leasing* e do *per diem*, aluguel cobrado por dia pelas empresas locadoras de contêineres, são negociados com as agências; não existe um valor fixo, depende da quantidade de contêiner e do tempo estipulado, quanto maior o prazo pretendido e a quantidade de contêineres, menor serão os preços.

A tarifa de movimentação portuária também não tem um valor fixo, é feito um acordo junto ao porto para lotes de contêineres movimentados.

Em virtude de os portos terem uma demanda sazonal o estoque mínimo mantido de contêineres vazios é calculado segundo séries históricas.

O sistema de contêineres de uma empresa marítima é composto de dois tipos principais de movimentos, que devem ser controlados, descritos a seguir:

1. Movimentos comerciais – contêineres carregados ou cheios, diretamente geradores de lucro e de contêineres vazios e que correspondem a operações comerciais da empresa, importação e exportação. A princípio, todo movimento comercial de contêineres cheios gera, quase que automaticamente, um movimento vazio.
2. Os movimentos técnicos – reequilíbrio de unidades vazias entre os depósitos, movimentos de contêineres alugados ou avariados etc... (SAMPAIO, 2001).

## 2.2. Modelos propostos

Esta parte do capítulo discorre sobre os trabalhos que trataram do problema da logística do contêiner vazio. A seguir são apresentados, por ordem cronológica, resumos dos principais trabalhos analisados.

Crainic; Dejax; Gendreau (1990) propuseram um modelo, em dois níveis de planejamento integrado de distribuição terrestre e transporte de contêineres, que observa a hierarquia nos processos de decisão e o fluxo das informações. O primeiro

nível trata de questões nos planos estratégico e tático, da seleção de depósitos; da alocação de clientes aos depósitos e da determinação dos principais movimentos entre os pontos de contêineres vazios. O segundo nível corresponde ao plano operacional das atividades cotidianas de uma empresa. Neste nível satisfaz-se a demanda e selecionam-se as rotas e os modos de transporte. A Figura 2.1 ilustra o esquema de planejamento descrito.

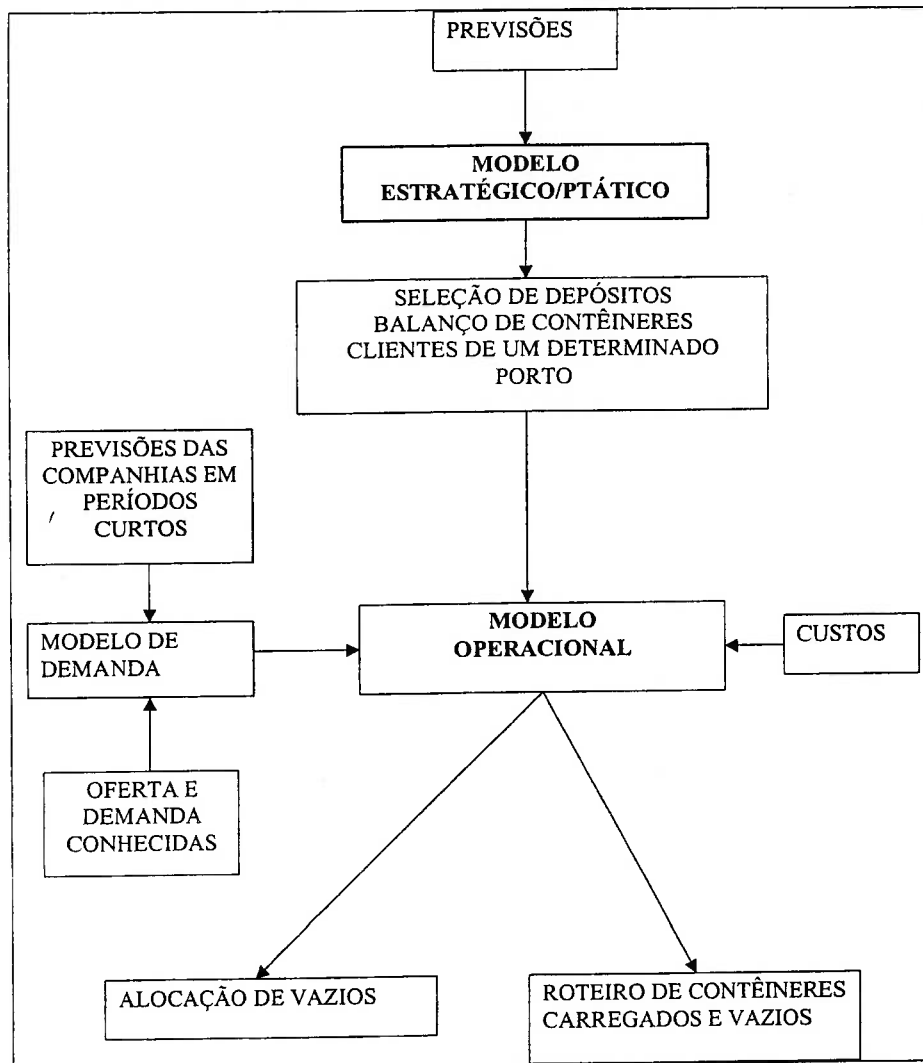


Figura 2.1 - Planejamento total (CRAINIC; DEJAX; GENDREAU, 1990)

O foco do artigo é a descrição de um sistema de suporte de tomada de decisão operacional e de seus dois principais componentes; o modelo dinâmico estocástico de distribuição de contêineres vazios e o modelo de localização de rotas para contêineres vazios.



No artigo de Crainic; Gendreau; Dejax (1993) são apresentados estudos específicos para modelos especialmente adequados às questões do setor transporte de contêineres, com ênfase nos aspectos marítimos do problema, justamente o que o diferencia de outros artigos escritos e lidos pelos autores. Outro ponto em questão está em atender a demanda e minimizar custo ao invés de somente maximizar lucros. Há também a possibilidade de se inserir no sistema novos contêineres.

A motivação dos autores para o estudo do tema foi o fato de que os custos de movimentação de contêineres vazios de uma das principais companhias de navegação europeia (que opera com navios de serviço regular (*liners*) por 20 portos europeus) representavam, em 1986, cerca de 40% dos custos totais de transporte e distribuição.

No estudo são mostrados modelos matemáticos que fazem a alocação de contêineres por terra para atender rotas marítimas de navios porta-contêineres. Os modelos são:

- Modelo determinístico com único tipo de contêiner,
- Formulação determinística com vários tipos de contêineres e
- Modelo estocástico com único tipo de contêiner.

O modelo utilizado como base é o modelo determinístico com único tipo de contêiner devido a isso somente ele é explicado a seguir:

Para a construção do modelo, os níveis de planejamento foram organizados na seguinte forma:

- Estratégico: selecionar terminais e determinar suas zonas logísticas de influência.
- Tático: identificar o fluxo (balanço) de contêineres
- Operacional: alocação dinâmica de contêineres.

Esse planejamento foi representado através de três modelos: formulação da rede multimodal envolvida; modelo de alocação de vazios; e modelo de indicação de rotas.

No plano de operação estratégico/ tático é formulada a rede multimodal envolvida, incluindo sua localização, o problema de distribuição e balanceamento de

vazios entre depósitos. São especificados os algoritmos utilizados. O principal resultado desta fase é o plano de transporte estratégico/ tático, que especifica a configuração da rede para o atual período de planejamento: os depósitos que devem ser utilizados, a alocação de clientes (zona de clientes) a depósitos e os principais fluxos de balanceamento entre os depósitos.

Os dois outros modelos do planejamento; modelo de alocação de vazios e modelo de indicação de rotas correspondem ao planejamento operacional das atividades das companhias. Neste nível a demanda é satisfeita e as rotas e os transportes são selecionados e usados para obter a melhor performance econômica possível no processo dinâmico e estocástico.

O modelo de alocação determina a melhor distribuição de contêineres vazios que satisfaça a demanda. Foi admitido o período de duas semanas.

O modelo de roteirização empenha-se para minimizar o custo total de transporte de contêineres cheios e vazios da origem até o destino. Figura 2.2.

O modelo de alocação tem por objetivo determinar a melhor distribuição de contêineres vazios que satisfaça tanto a demanda conhecida como a prevista. Para levar em conta o alto grau de incerteza que caracteriza o problema, ele deveria ser, de acordo com os autores, um modelo dinâmico e estocástico que cobrisse um horizonte de planejamento de uma ou duas semanas. O objetivo do trabalho de Crainic; Dejax; Gendreau (1990) é preparar formulações para este modelo de alocação.

#### Descrição do problema:

- As decisões pertinentes do processo de alocação do contêiner vazio são principalmente; QUANDO iniciar a operação de transporte, DE ONDE começar e onde terminar a operação, COMO configurar a movimentação, qual modal, rota...A movimentação é realizada nos planos espacial e temporal.

São considerados para a tomada de decisão; o nível de estoque nos depósitos, as substituições entre os vários tipos de contêineres e os contêineres adicionais, adquiridos por leasing ou empréstimo.

Essas decisões requerem grande quantidade de informações:

- Os níveis de oferta e demanda,
- A política das companhias operantes

- As circunstâncias; competição, sociedades das companhias de navegação, regras e normas legais com carregamento...

São descritos, a seguir, as decisões principais e os dados considerados para a realização do processo de alocação do contêiner vazio.

A rede física corresponde ao sistema de distribuição e transportes da companhia nos portos, depósitos e clientes assim como a conexão entre esses elementos.

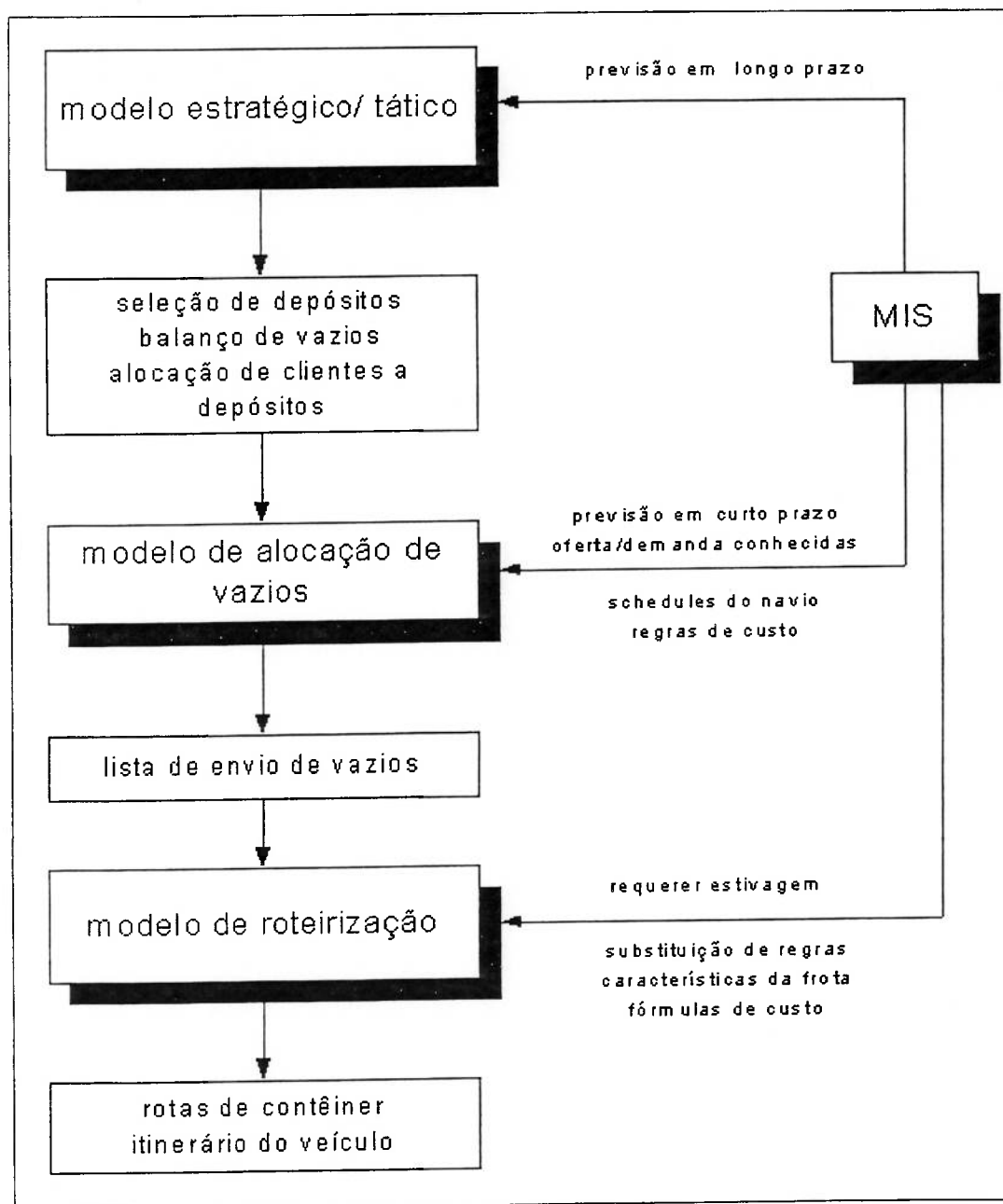


Figura 2.2 - Esquema de todo planejamento (CRAINIC; GENDREAU; DEJAX, 1993)

A alocação corresponde à decisão para determinar como satisfazer cada cliente de demanda:

- Que quantidade,
- A partir de qual depósito e
- Quando iniciar o movimento

Primeiramente é apresentado um modelo determinístico dinâmico com um único tipo de contêiner, e trata das complexas relações existentes entre as várias decisões que devem ser tomadas com relação ao problema de alocação ótima de contêineres sobre uma extensa rede (já descrita). Depois descreve a formulação determinística com vários tipos de contêineres onde são permitidas substituições entre tipos de contêineres e finalmente é apresentado um modelo estocástico com um único tipo de contêiner, que leva em consideração os elementos estocásticos que estão associados a demandas e suprimentos incertos de contêineres vazios por parte dos clientes na rede.

O custo no modelo de Crainic; Gendreau; Dejax (1993) é dividido em:

- Custo unitário de transporte entre os depósitos e os clientes de demanda,
- Custo unitário de transporte entre cliente de oferta e depósitos,
- Custo entre um depósito e outro,
- Custo unitário de manutenção do contêiner nos depósitos
- Custo para trazer um contêiner de fora do sistema para o depósito e
- Custo unitário de penalidade para a demanda de contêineres vazios não atendidos.

#### **A rede física de Crainic; Gendreau; Dejax, (1993):**

A rede física corresponde ao sistema de distribuição e transporte da companhia, formado pelos portos, depósitos e clientes e respectivos arcos de integração.

- Portos: são depósitos especiais, pois são os principais pontos de entrada e saída do sistema, constituindo a interface do sistema de transporte terrestre com a rede marítima internacional.

- Depósitos: oferecem facilidades; são pátios de estações ferroviárias onde a companhia de navegação aluga apenas os espaços de que precisa. Junto com os portos fazem parte da distribuição de contêineres por terra e servem para armazenamento.
- Clientes: são classificados em dois tipos; clientes de demanda e de oferta. Os de demanda requerem contêineres vazios e os de oferta têm os contêineres vazios para oferecer. Os clientes são conhecidos e o plano estratégico/tático determina quais clientes de oferta podem atender a demanda, isto é determinado principalmente pela programação dos navios e pelo tempo estimado para a movimentação e carregamento do contêiner.

Foi definido que não se pode alterar a programação dos navios.

O modelo matemático, modelo determinístico com único tipo de contêiner, de Crainic; Gendreau; Dejax, (1993) tem como características a base em períodos de tempo, clientes de oferta e demanda e é considerado somente um tipo de contêiner.

A Figura 2.3 ilustra a rede física que exemplifica o modelo para o reposicionamento de vazios. A figura está representando três períodos de tempo;  $t-2$ ,  $t-1$  e  $t$ . O triângulo  $a$  representa os contêineres introduzidos no sistema e  $a'$  a demanda externa ao sistema que não foi atendida,  $h$  representa portos,  $s$  são clientes de oferta,  $k$  é a quantidade de contêineres enviada,  $j$  são os depósitos,  $i$  clientes de demanda,  $t$  representa o tempo,  $X$  demanda de contêineres e  $Y$  é a oferta de contêineres.

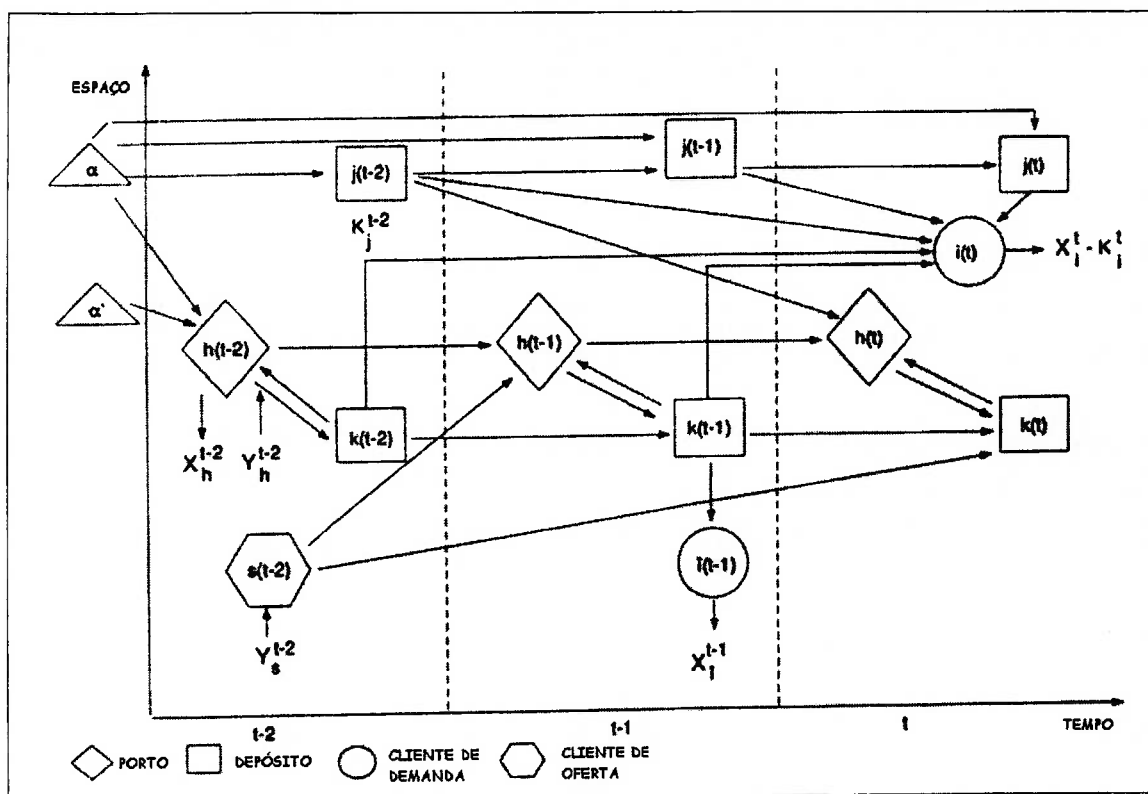


Figura 2.3 - Diagrama espaço X tempo de movimentação de contêineres (CRAINIC; GENDREAU; DEJAX, 1993)

Segundo Barco (1998), sua dissertação representa uma contribuição ao estudo do problema do contêiner vazio. O ponto de partida para a elaboração do modelo de reposicionamento de contêineres vazios é o trabalho de Crainic; Gendreau; Dejax, (1993).

O modelo apresentado serve de ajuda à tomada de decisão para uma empresa controlar seus equipamentos. A solução do modelo indica 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 proposto no trabalho de Barco (1998) foi chamado de modelo matemático Particular e teve como base o modelo de Crainic; Gendreau; Dejax (1993). Devido a isso os modelos de Crainic, Gendreau; Dejax (1993) e Barco (1998) serão explicados de maneira mais específica por meio das mudanças efetuadas por Barco (1998).

O modelo matemático Particular difere do outro modelo, o modelo de Crainic; Gendreau; Dejax (1993), ao basear-se na passagem dos navios pelos portos e

não no tempo. O tempo só é utilizado para o cálculo do custo de armazenagem do contêiner e verificação da possibilidade do transporte de contêineres de um porto a outro em tempo hábil. Barco (1998) considerou em sua rede física que cada porto é um ponto de oferta e demanda, não há depósitos em terra, todos os depósitos são considerados portos, assim não há mais clientes de oferta e demanda e ainda são utilizados vários tipos de contêineres ao invés de um único tipo. Neste modelo é possível o posicionamento por navios.

O horizonte de programação de Barco (1998) é de quatro semanas, escolhido de acordo com informações junto à empresa de navegação.

A Figura 2.4 exemplifica o fluxo de contêineres do modelo Particular baseado na passagem dos navios pelos portos.

A notação empregada na Figura 2.4 é explicada abaixo:

- 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 retornam 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 ficam armazenados no porto I, depois da passagem do navio (n-1);
- T7: representa os contêineres vazios que ficam armazenados no porto I, depois da passagem do navio (n);
- T8: representa os contêineres vazios que serão transportados pelo navio n do porto I para outros portos conforme planejamento prévio;
- T9: representa os contêineres vazios que serão transportados por caminhão do porto I para os outros portos, na saída do navio n;
- T10: representa os contêineres vazios transportados 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.
- W: contêineres movimentados por caminhão
- X: contêineres movimentados por navio
- Y: contêineres obtidos por leasing
- EST: estoque de vazios após a passagem do navio n
- DI: contêineres vazios que retornaram do reparo ou importação
- K: contêineres vazios que vão embarcar no navio n
- KS: contêineres vazios que serão transportados para outros portos na saída de n
- E: contêineres cheios embarcados no navio n para fora do sistema

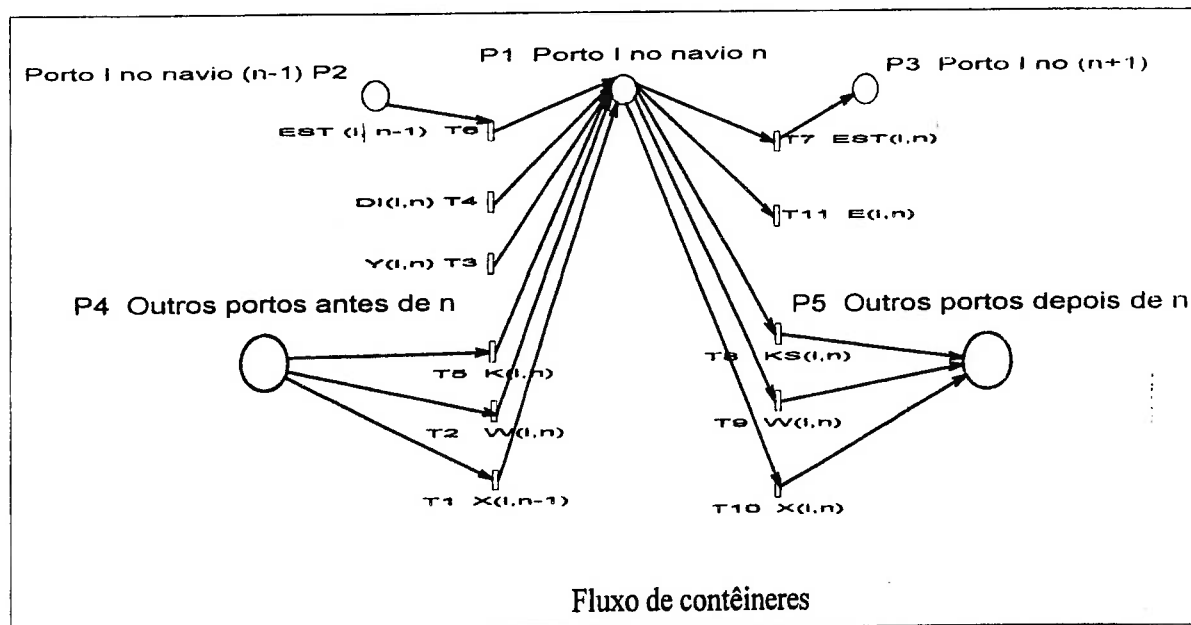


Figura 2.4 - Fluxo de contêineres (BARCO, 1998)



Algumas hipóteses foram adotadas neste último modelo:

- Os contêineres vazios que chegam a um porto em um dado navio apenas estarão disponíveis para o próximo navio que passar por este porto. (Essa condição é válida, ainda que o próximo navio tenha passagem no mesmo dia).
- Os equipamentos que vierem de importação e ainda estão sendo desovados pelo importador também não estão disponíveis.
- O schedule continua sendo considerado fixo para simplificar o problema.
- Os navios utilizam 10%, fixos, de sua capacidade em T.E.U.s para transporte de contêineres vazios por sentido (norte-sul e sul-norte)
- Um mesmo navio recebe nomes diferentes quanto ao sentido de sua viagem, por exemplo; o navio caroc, Cap Roca, quando passa num porto viajando no sentido norte-sul, recebe o nome de carocs e quando passa neste mesmo porto no sentido sul-norte, recebe o nome de carocn. Essa forma de tratamento facilita a programação em GAMS no caso do navio repetir a visita em um porto.

Referente à implementação computacional de Barco (1998), um navio fictício, INICIO, marca a data inicial do período de planejamento garantindo que seja igual em todos os portos assim como outro navio fictício FINALL marca o final do período. O estoque mínimo (estimado por séries históricas) é garantido colocando-se como demanda no navio fictício FINALL de cada porto de entrada do modelo particular.

Outro assunto tratado no modelo Particular é relacionado ao estoque mínimo; como os contêineres ficam presos com os importadores ou em reparo é necessário manter um estoque de equipamentos vazios para que se possa atender aos fechamentos de carga. Como os fechamentos são incertos, pode haver um aumento repentino na demanda que o estoque deve suprir, logo o estoque deve ser estimado por séries históricas. O modelo Particular garante o estoque mínimo desejado em cada porto no fim do planejamento, colocando a quantidade desejada como demanda no navio FINALL de cada porto do arquivo de entrada do modelo. Nas somatórias mostradas a seguir não são explicitados os limites de variação de cada índice.

Os custos considerados no modelo são:

- Custo unitário de embarque no porto de origem mais o custo de desembarque no porto de destino. Como o contêiner vazio não impedirá o transporte de um cheio entre os dois portos e o reposicionamento será realizado por frota própria, não será considerado o custo de transporte marítimo.
- Custo unitário de transporte por terra, estimado por dados históricos.
- Custo médio unitário de se alugar um contêiner.
- Taxa unitária diária de armazenagem dos equipamentos nos portos.

### **Parâmetros de entrada:**

- $EU$ : Conjunto de todos os tipos de contêineres da empresa que serão controlados.
- $P(eu)$ : O conjunto dos nós representando os portos onde os contêineres do tipo  $eu$  são armazenados.
- $N(i)$ : O conjunto dos navios do *schedule* que passam pelo porto  $i$ .
- $E_{n\_eu}^i$ : quantidade de contêineres do tipo  $eu$  que serão embarcadas com carga no porto  $i$  no navio  $n$ .
- $DI_{n\_eu}^i$ : quantidade de contêineres do tipo  $eu$  que voltaram de importação ou reparo, tornando-se disponíveis no porto  $i$  para embarque a partir do navio  $n$ .
- $K_{n\_eu}^i$ : 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  $n$ .
- $KS_{n\_eu}^i$ : quantidade de contêineres do tipo  $eu$  cujo transporte, do porto  $i$  para outro porto, foi previamente programado, saindo no navio  $n$ .
- $TEMP_n^i$ : é o tempo em dias entre o navio  $(n-1)$  e o navio  $n$ , no porto  $i$ .
- $CA_n$ : é 10% da capacidade disponível para embarque de contêineres vazios do navio  $n$ .

**Custos considerados:**

- $C1_{eu}^{ij}$  : custo unitário de posicionamento do contêiner  $eu$  por navio do porto  $i$  para o porto  $j$ .
- $C2_{eu}^{ij}$  : custo médio unitário de transporte do equipamento  $eu$  por terra do porto  $i$  para o porto  $j$ .
- $C3_{eu}^i$  : custo médio unitário para se alugar um contêiner  $eu$  no porto  $i$ .
- $C4_{eu}^i$  : taxa mínima diária de armazenagem do contêiner  $eu$  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  $j$ .
- $W_{n\_eu}^{ij}$  : quantidade de contêineres vazios do tipo  $eu$  alocada em caminhões do porto  $i$ , para o navio  $n$  no porto  $j$ .
- $Y_{n\_eu}^i$  : quantidade de contêineres  $eu$  alugada no porto  $i$  para o navio  $n$ .

**Variáveis auxiliares**

- $EST_{n\_eu}^i$  : é a quantidade de contêineres  $eu$  mantidas em estoque no porto  $i$  na saída do navio  $n$ .

**Função Objetivo:**

$$Z = \sum_{eu} \sum_n \sum_i \sum_j (C1_{eu}^{ij} * X_{n\_eu}^{ij} + C2_{eu}^{ij} * W_{n\_eu}^{ij}) + \sum_{eu} \sum_n \sum_i (C3_{eu}^i * Y_{n\_eu}^i + C4_{eu}^i * EST_{n\_eu}^i * TEMP_{n\_eu}^i) \quad (2.1)$$

onde  $Z$  é a variável a minimizar.

**Restrição de continuidade do estoque:**

$$EST_{n\_eu}^i = EST_{(n-1)\_eu}^i - E_{n\_eu}^i + DI_{n\_eu}^i + K_{n\_eu}^i - KS_{n\_eu}^i + \\ + Y_{n\_eu}^i + \sum_{j|j<i} (X_{(n-1)\_eu}^{ji} + W_{n\_eu}^{ji}) - \sum_{j|i<j} (X_{n\_eu}^{ij} + \sum_{n'} W_{n'\_eu}^{ij}) \quad (2.2)$$

onde  $i < j$ , significa que o porto  $i$  fica antes do porto  $j$  no *schedule* de um determinado navio.

**Restrição de capacidade de reposicionamento por navio:**

$$\sum_{j|j>i} \sum_{eu} (X_{n\_eu}^{ij}) + \sum_{k|k<i} \sum_{j|j>i} \sum_{eu} X_{n\_eu}^{kj} \leq CA_n \quad (2.3)$$

No trabalho de Oliveira et. al., (1998) são realizadas melhorias no modelo Particular, tais como:

- Possibilidade de troca de contêineres vazios,
- Capacidade dos navios flexibilizada e
- Introdução de estoque mínimo de segurança nos portos.

Primeiramente, procurou-se determinar o fluxo de contêineres em um determinado porto. Nesta fase, considerou-se um único tipo de contêiner, sendo posteriormente inserido três tipos.

A Figura 2.5 exemplifica o fluxo de contêineres do modelo proposto por Oliveira et. al, (1998). Logo após está o modelo matemático referente à figura.

Onde:

- $X_{j,i,n-1,t}$  quantidade de contêineres vazios do tipo  $t$  trazidos pelo navio  $(n-1)$  do porto  $j$  e que estará disponível quando o navio  $n$  passar no porto  $i$ .
- $W_{j,i,n,t}$  quantidade de contêineres vazios do tipo  $t$  reposicionada por terra vinda do porto  $j$  para o porto  $i$  quando da passagem do navio  $n$ .
- $O_{i,n,t}$  balanço de contêineres do tipo  $t$  entre a passagem do navio  $n$ .
- $Y_{i,n,t}$  quantidade de contêineres do tipo  $t$  alugados no porto  $i$  na passagem do navio  $n$ ;

- $Est_{i,n,t}$  estoque no porto  $i$ , na passagem do navio  $n$ , no tempo  $t$ .

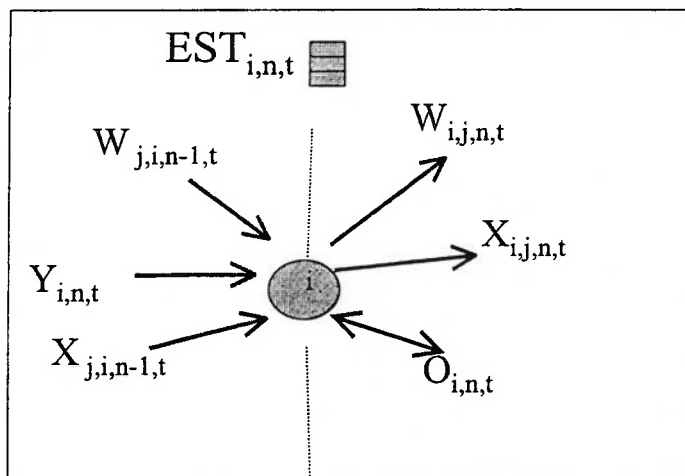


Figura 2.5 - Fluxo de contêiner (OLIVEIRA et al, 1998)

A partir da determinação do fluxo de contêiner no porto  $i$ , foi feita a inclusão da possibilidade de trocas de contêineres.

A troca é realizada entre contêineres de 20" e 40" somente do tipo DC, devido a especificidade dos outros tipos, HK e IN. As possibilidades de troca são um contêiner DC-40 por dois DC-20 e vice versa.

Com isso foram introduzidas algumas variáveis para representar esses contêineres trocados.

- $XT_{i,j,n-1,t}$  contêineres trocados transportados por navio;
- $G_{i,j,n,t}$  contêineres trocados transportados por terra;
- $U_{12i,n}$  contêineres trocados internamente nos portos (dois de 20" por um de 40");
- $U_{21i,n}$  contêineres trocados internamente nos portos (um de 40" por dois de 20").

É ilustrado na Figura 2.6 o fluxo de contêineres com as possibilidades de trocas, sendo que as variáveis  $U_{12}$  e  $U_{21}$  explicam as trocas ocorridas em  $i$ .

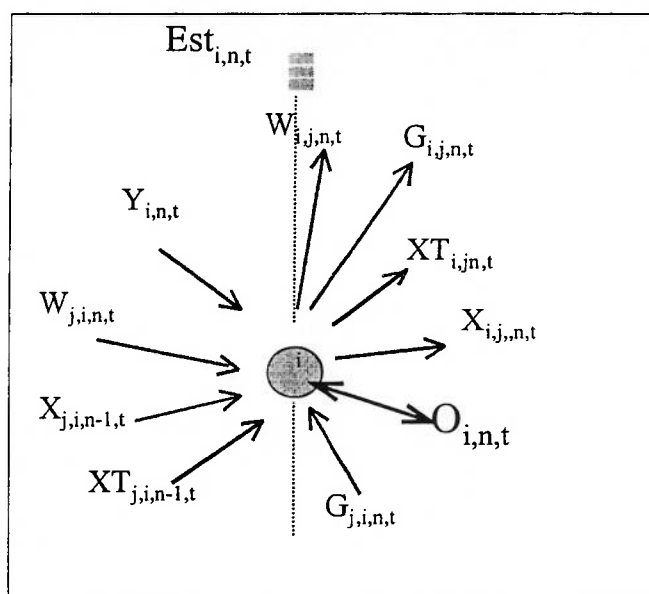


Figura 2.6 - Fluxo de Contêineres com trocas entre DC-20 e DC-40 (OLIVEIRA et al, 1998).

Para a elaboração da equação da capacidade foi necessário conhecer a quantidade de contêineres cheios que embarcam em cada navio, bem como a origem e o destino destes contêineres. Para isso incluiu-se outros parâmetros;  $Z_1$ ,  $Z_2$ ,  $Z_3$  e  $Z_4$ , significando contêineres de 20" simples (DC), 20" insulado (IN), 40" simples (DC) e 40" refrigerados (HK) respectivamente. Para cada um destes parâmetros foi confeccionada uma tabela com a origem, o destino e o navio que vai levar os contêineres cheios. Desse modo o fluxo continua o mesmo, porém mais três equações são adicionadas ao modelo: equação de capacidade dos navios, equação de limite de troca de contêineres de 40' em cada porto e equação de limite de troca de contêineres de 20' em cada porto.

O modelo foi rodado em várias condições para a verificação dos resultados e validação do mesmo.

Os dados de entrada do modelo em relação ao modelo de Barco (1998) aumentaram quantitativamente e qualitativamente bem como o tempo de processamento. Porém, pode se ter muito mais controle sobre as operações de movimentação de contêineres vazios.

De acordo com os autores, as companhias de navegação, bem como os armadores de contêineres utilizando-se desta ferramenta possuirão um leque maior de alternativas de modo a atender satisfatoriamente os seus objetivos.

O trabalho de Ono, (2001), deu suporte ao presente trabalho nas questões de; tratamento de navios com dupla passagem pelos portos e capacidade do navio variando de acordo com o trecho da viagem.

No trabalho de Ono, (2001) é tratado o transporte por cabotagem numa viagem cíclica, desenvolvendo uma nova metodologia para a resolução de um problema de *scheduling* com características de rotas cíclicas, envolvendo multi-origens e multi-destinos.

Primeiramente foram gerados todos os roteiros viáveis, juntamente com os parâmetros relativos a cada uma das rotas para cada classe de embarcação. Posteriormente foi desenvolvido um modelo de programação linear com o objetivo de minimizar o custo total da operação de cabotagem. Estas duas etapas foram amparadas por dois modelos matemáticos, sendo um em cada etapa. Na primeira fase o modelo foi chamado de modelo 1 e gerou as rotas viáveis.

A Figura 2.7 a seguir, mostra o esquema para a formulação do modelo 1

Na segunda etapa o modelo, chamado de modelo 2, gerou rotas otimizadas tendo como base os resultados obtidos do modelo 1.

No caso do presente trabalho é fornecido o *schedule* do navio, portanto a rota de cada navio já é conhecida.

Para cada par origem-destino de uma viagem, Ono (2001) considera todas as cargas que podem estar presentes. A Figura 2.8 mostra uma rota de onde são retirados os pares de origem-destino:

Trecho A-B: A-B, A-C, A-D, A-E, D-E, D-B, C-B, E-B.

Trecho B-C: B-C, B-D, B-E, B-A, A-C, A-D, A-E.

Trecho C-E: C-E, C-D, A-E, A-D, B-D, B-E, D-E.

Trecho E-D: E-D, E-C, E-B, E-A, C-D, A-D, B-D.

Trecho D-C: D-C, D-B, D-A, D-E, E-C, E-A, E-B.

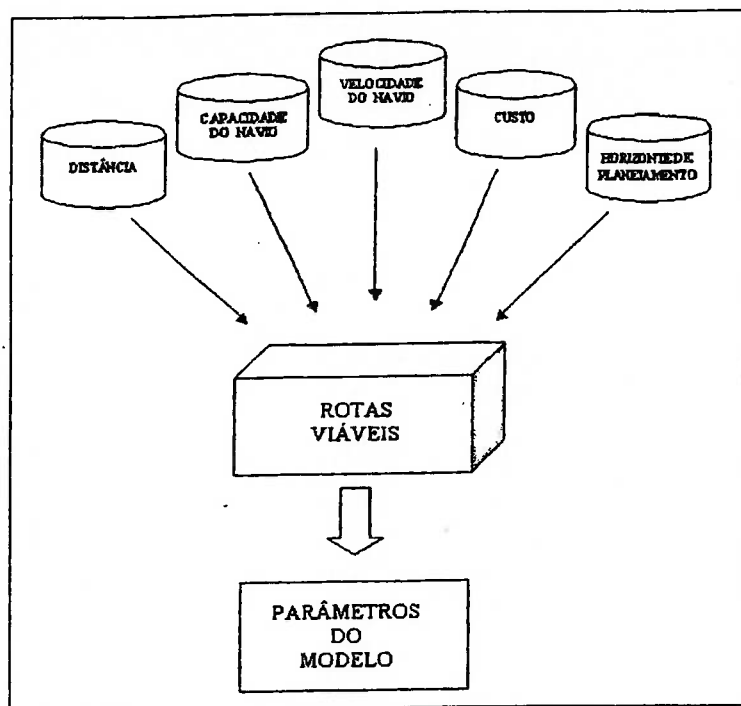


Figura 2.7 - Esquema do modelo 1 (ONO, 2001)

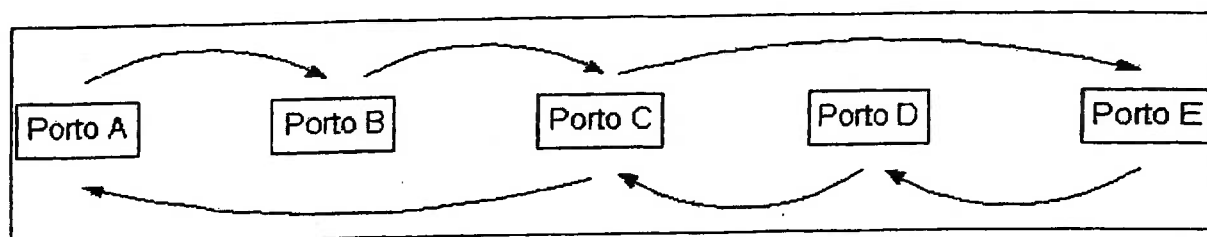


Figura 2.8 - Exemplo de rota (ONO, 2001)

Numa viagem cíclica os portos se repetem, sendo que, um mesmo porto pode ser antecessor e sucessor de outro porto. Para lidar com esta questão, após definir os grupos de portos, Ono 2001 adotou o índice  $l$  para representar o porto de saída da viagem que será estudada, Figura 2.9.

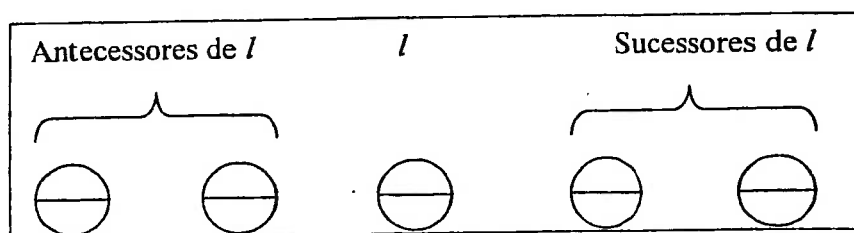


Figura 2.9 - Representação dos grupos de portos (ONO, 2001)



As possibilidades de carregamento entre os grupos foram enumeradas da seguinte forma:

- Cargas com origens em todos os portos antecedentes à 1 e destinos em portos visitados e antecedentes aos portos de origem.
- Cargas com origem em portos antecedentes à 1 e destinos em portos visitados sucessores aos portos de origem e antecedentes à 1.
- Cargas com origem em todos os portos visitados e antecedentes à 1 e destinos em todos os portos visitados sucessores à 1.
- Cargas com origem em 1 e destinos em todos os portos visitados antecedentes à 1.
- Cargas com origem no porto de índice 1 e destinos em todos os portos visitados sucessores à 1.
- Cargas com origem em todos os portos sucessores a 1 e destinos em portos visitados sucessores aos portos de origem.
- Cargas com origem em portos sucessores a 1 e destinos em portos visitados sucessores à 1 e antecedentes à origem.

A rota exemplificada na Figura 2.8 pode ser representada como na Figura 2.10.

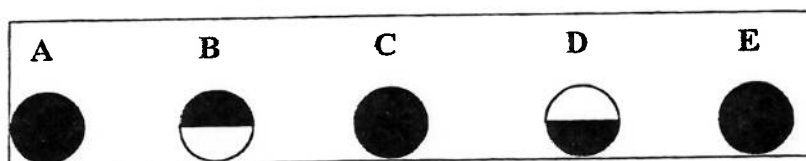


Figura 2.10 - Representação da rota adotada como exemplo (ONO, 2001)

Cada trecho entre o porto de índice  $i$  e o porto de índice  $j$  pode ser formulada matematicamente. A somatória de todas as parcelas resulta na expressão da restrição de capacidade do navio. Essa restrição teve uma metodologia complexa devido às características da viagem cíclica com a inclusão de sete regras, descritas anteriormente. Com isso é possível observar a capacidade do navio nos trechos da viagem.

O modelo ainda permite algumas variações, como quantidade de portos, número de rotas, velocidade, capacidade, quantidade e custos das embarcações e demanda de cargas. A validação do modelo foi feita por meio de um estudo de caso baseado em dados reais da empresa HSAC. A solução gerada pelo modelo apresenta características tanto estratégicas quanto operacionais. Estratégicas no sentido de apresentar um dimensionamento da frota dedicada a esse serviço, bem como estabelecer as rotas necessárias para o atendimento da demanda. Operacionais no sentido de apresentar as condições de carregamento, inclusive de ocupação da embarcação por trecho.

O artigo de CHOONG (2002) analisa o efeito do tamanho de um horizonte de planejamento no gerenciamento de contêineres vazios numa rede de transporte intermodal. Faz-se comparações de custos entre períodos de horizonte de planejamento adotados (15 e 30 dias). O custo apresentado no período de 15 dias é comparado com o custo dos primeiros 15 dias do período de 30 dias.

A estrutura base do modelo é uma adaptação do modelo determinístico com único tipo de contêiner, descrito por Crainic; Gendreau; Dejax (1993).

O objetivo do modelo é minimizar o custo total de movimentação de contêineres vazios. Sendo este custo composto por custo de movimentação de contêineres vazios entre terminais; custo de armazenagem, custo de aquisição de contêineres fora do sistema (*leasing*, compra, empréstimo).

Algumas hipóteses foram adotadas:

1. Quantidade de contêineres vazios disponíveis conhecida,
2. Quantidade de contêineres vazios necessária conhecida,
3. Quando um contêiner é desovado torna-se imediatamente disponível,
4. Para simplificar o modelo, não é permitido estocar contêineres vazios em clientes de oferta. Depois de descarregado, o contêiner é transportado para cliente de demanda ou terminais,
5. Os contêineres vazios não irão para clientes de demanda com grande antecedência ou para períodos futuros,
6. Uso de um único tipo de contêiner,

7. Não são permitidas mudanças de planos,
8. O número de contêineres vazios é previsto no horizonte de planejamento e são determinados os terminais,
9. Os contêineres podem ser alugados, comprados ou emprestados,
10. São considerados três tipos de transporte; caminhão, trem e barcaças,
11. O modal é decidido na zona portuária,
12. Os tempos de trânsito são independentes do começo e chegada no período,
13. Os custos são independentes do tempo no período,
14. A capacidade de estocagem nos portos independem do período,
15. Os contêineres estão prontos para serem usados, não considerando reparos ou descartes.

Foi feito um estudo de caso com base nas atividades do rio Mississipi. Esse estudo foi realizado utilizando 3, 5 e 7 terminais de contêineres, capacidade diária de transporte de contêineres vazios por navio (BL); 0.5%, 10% e 20% do total de contêineres desovados.

As mudanças quanto à capacidade diária por navio relativamente não surtiram impacto no horizonte de planejamento.

Comparando os resultados entre 15 e 30 dias de planejamento é percebido que os custos são menores para o horizonte de planejamento mais curto.

### **2.3. Comentários**

A metodologia de resolução por meio de modelagem matemática linear proposta no presente trabalho baseia-se na dissertação de Barco (1998), que é específico para o problema do contêiner vazio e tem como objetivo a minimização dos custos. O modelo proposto difere do modelo Particular de Barco (1998) na questão do tratamento da capacidade do navio, nos navios com dupla passagem pelos portos e no estabelecimento de estoque mínimo nos portos, que Barco (1998) garante colocando a quantidade de contêineres vazios necessários para o estoque mínimo como demanda em um navio fictício. Outra implementação no modelo proposto é a

inserção de uma janela de tempo entre a chegada do contêiner vazio nos portos e sua utilização o que torna o modelo mais adequado à realidade. O tratamento da restrição de capacidade do navio foi inspirado no trabalho de Ono (2001)

### 3. O MODELO PROPOSTO

Neste capítulo é apresentada a modelagem matemática do problema do reposicionamento do contêiner vazio, sob a ótica de uma empresa de navegação. Mostra-se inicialmente uma descrição detalhada do problema objeto do estudo; a seguir é apresentado o modelo matemático proposto, especificando-se seus índices, variáveis de decisão, função objetivo e restrições.

#### 3.1. O problema do reposicionamento do contêiner vazio

Considere uma empresa de navegação cuja frota de navios porta contêineres opere, por exemplo, numa rota Europa (América do Norte) – América do Sul (Costa Leste), com *schedules* definidos.

A situação mais provável é que, num dado porto da rota, exista desbalanceamento entre a quantidade de contêineres cheios, de um dado tipo e tamanho, que os navios trazem ao porto, daqui para frente chamados de contêineres de importação, e a quantidade de contêineres cheios, do mesmo tipo e tamanho, que os navios retiram do porto, doravante denominados contêineres de exportação.

Dado este desbalanceamento, para que não sobrem contêineres num dado porto, mais precisamente no terminal de contêineres da empresa na região de influência do porto, e não faltem contêineres vazios para atender a demanda de exportação em outro porto, a empresa procura reposicionar os contêineres vazios.

O reposicionamento dos contêineres vazios pode ser realizado por meio dos próprios navios da frota, utilizando espaço ocioso nos navios, ou por meio de caminhões. Outra alternativa a ser considerada é o aluguel de contêineres vazios para

atender a demanda da exportação. Convém observar que a própria viabilidade do aluguel de contêineres está condicionada à existência da oferta de contêineres vazios na região. (No caso em que haja um desbalanceamento generalizado no transporte marítimo entre a exportação e importação de um dado tipo de contêiner, num porto, e que não haja desbalanceamento em sentido contrário no transporte terrestre destes contêineres, é pouco provável que haja oferta de contêineres vazios deste tipo de contêiner.)

Sem o reposicionamento ou o aluguel de contêineres vazios, a oferta de um tipo  $k$  num porto  $i$ , num dia  $t$ , associado ao carregamento de um navio  $n$ , depende:

- do estoque de contêineres vazios após a saída do navio anterior;
- da quantidade de contêineres vazios que retornaram vazios dos clientes de importação após a passagem do último navio;
- da quantidade de contêineres que vieram do reparo após o último navio.

Por sua vez, a demanda de contêineres vazios do tipo  $k$ , no porto  $i$ , no dia  $t$  em que passa o navio  $n$  é igual à demanda de exportação de contêineres cheios do tipo  $k$ , no navio  $n$ , a partir do porto  $i$ .

O problema do reposicionamento dos contêineres vazios pode, então, ser definido. Dado um horizonte de planejamento, com os correspondentes *schedules* dos navios, e conhecidas as ofertas e demandas de contêineres vazios, de cada tipo, em cada porto da rota, pretende-se determinar a configuração, envolvendo o transporte marítimo (utilizando os navios da frota) e transporte terrestre, para reposicionamento dos contêineres vazios da empresa, e o aluguel de contêineres novos, que minimize o custo da empresa.

## 3.2. O modelo matemático

São apresentadas inicialmente as definições dos índices e conjuntos utilizados no modelo, das variáveis de decisão; a seguir são introduzidas a função objetivo e as restrições do problema.

### 3.2.1 Índices e conjuntos

Como base para a elaboração do modelo, definem-se os seguintes índices e conjuntos a serem utilizados nas variáveis e parâmetros:

- $n$ : para indicar os navios pertencentes à companhia que participam do processo e  $N$  o conjunto de navios no horizonte de planejamento;
- $i, j, l$ : para indicar portos e  $I$  o conjunto de portos no horizonte de planejamento;
- $k$ : para indicar o tipo de contêiner e  $K$  o conjunto de tipos de contêineres;
- $t$ : para indicar a unidade de tempo (nos exemplos apresentados, a unidade é medida em dias) e  $T$  o conjunto dos dias.

### 3.2.2 Parâmetros

Os parâmetros do modelo são:

- $C1_{i,k,j}$ : é o custo unitário de movimentação de contêineres vazios, do tipo  $k$  do porto  $i$  para o porto  $j$  por meio de navios;
- $C2_{i,k,j}$ : é o custo unitário de movimentação de contêineres vazios, do tipo  $k$  do porto  $i$  para o porto  $j$  por meio rodoviário;
- $C3_{i,k}$ : custo unitário de *leasing* para contêineres vazios, do tipo  $k$  no porto  $i$ .
- $C4_{i,k}$ : é o custo unitário de estocagem, por uma unidade de tempo para contêineres vazios do tipo  $k$  no porto  $i$ .
- $TEMP_{t,n,i}$ : é o intervalo de tempo entre a passagem do navio  $n$ , que passa na data  $t$  no porto  $i$ , e o navio antecessor a este. Caso não exista um antecessor a

este navio, este tempo é calculado a partir do primeiro dia do período de análise.

- $SUC_{i,n,t}$ : é o conjunto de portos sucessores ao porto  $i$  na passagem do navio  $n$  na data de índice  $t$ .
- $EST_{t,n,i,k}$ : é o estoque de contêineres vazios do tipo  $k$ , na data  $t$ , no porto  $i$ , na passagem do navio  $n$ .

### 3.2.3 Variáveis de decisão

Para elaborar o modelo matemático correspondente ao problema enunciado, o primeiro passo é identificar corretamente as variáveis de decisão do problema. A primeira vista, esta tarefa parece simples – as variáveis de decisão seriam:

1. a quantidade de contêineres vazios, de cada tipo  $k$ , transportada para cada navio  $n$  entre os portos  $i$  e  $j$ .
2. a quantidade de contêineres vazios, de cada tipo  $k$ , transportada por caminhão do porto  $i$  ao porto  $j$  para atender a demanda de exportação no navio  $n$ .
3. a quantidade de contêineres vazios de cada tipo  $k$ , alugada no porto  $i$  para atender a demanda de exportação no navio  $n$ .

É necessário um cuidado adicional para especificar as variáveis de decisão, face ao aspecto particular dos *schedules* dos navios. Dado um horizonte de planejamento, ainda que a duração de uma viagem redonda de um navio seja menor do que a amplitude do intervalo, o navio poderá passar mais de uma vez por algum porto. Por exemplo, é comum a passagem pelo porto de Santos de um navio vindo da Europa, deixando lá os contêineres de importação e seguindo para portos mais ao sul; ao retornar ele passa novamente por Santos para carregar os contêineres de exportação.

Considerando a possibilidade de ocorrer mais de uma passagem do navio por dado porto, dentro do horizonte de planejamento, as variáveis de decisão mencionadas devem ter um índice adicional associado ao dia de sua passagem.



Assim, as variáveis serão designadas por:

- $X_{t,n,i,j,k}$ , variável inteira não negativa que indica a quantidade de contêineres do tipo  $k$  embarcadas no porto  $i$ , no dia  $t$ , no navio  $n$ , com destino ao porto  $j$ ,
- $W_{t,n,i,j,k}$ , variável inteira não negativa que indica a quantidade de contêineres do tipo  $k$  despachadas por caminhão, na data  $t$ , do porto  $i$ , com destino ao porto  $j$ , para atender a demanda de exportação do navio  $n$ ;
- $Y_{t,n,i,k}$ , variável inteira não negativa que indica a quantidade de contêineres do tipo  $k$  alugados no porto  $i$  para atender a demanda de exportação do navio  $n$  no dia  $t$ .

Convém observar que, por analogia com a variável  $X$ , também para a variável  $W$ , o índice  $t$  especifica o dia em que o contêiner vazio é retirado do porto  $i$ , mas o seu valor está diretamente ligado à data da passagem do navio  $n$  no porto  $j$ . A data representada pelo índice  $t$  é formada pelo tempo de viagem mais o prazo de antecedência. Isto é, se o navio  $n$  vai fazer escala no porto  $j$  no dia  $t'$ , o dia  $t$  em que o caminhão deve sair do porto  $i$  levando contêiner vazio para o porto  $j$  é obtido por meio da expressão:  $t=t'-(tvc_{ij} + \text{prazo})$  em que  $tvc_{ij}$  é o tempo de viagem por caminhão entre os portos  $i$  e  $j$  e prazo é o intervalo de tempo necessário para que um contêiner vazio entregue no porto  $i$  possa ser ovado (carregado) para exportação.

Além das variáveis de decisão  $X$ ,  $W$  e  $Y$ , que caracterizam as decisões a serem tomadas, introduz-se ainda a variável:

- $EST_{t,n,i,k}$ : é o estoque de contêineres do tipo  $k$ , no porto  $i$ , depois da passagem do navio  $n$  no dia  $t$ .

Cabe mencionar que, com a forma escolhida para indexar as variáveis de decisão  $X$ , incluindo um índice adicional  $t$  em relação à notação utilizada por Barco (1998), desaparecem as indefinições que o conduziram a substituir, na implementação computacional de seu modelo, cada navio por dois outros: navio sul, para o trecho da viagem no sentido sul e navio norte, para o trecho da viagem no sentido norte.

Tendo em vista aperfeiçoar o modelo matemático de Barco (1998), explicitando a variação dos índices nas diversas somatórias e levando em conta as dificuldades encontradas por Ono (2001) ao trabalhar com navios porta contêineres em rotas cíclicas, é conveniente introduzir o conceito de portos antecessores e sucessores de um porto  $i$  na rota de um navio  $n$ , como se expõe a seguir, respeitando o *schedule* de cada navio.

Considerando que, numa viagem de um navio porta contêiner, os portos da costa brasileira sejam visitados tanto no sentido sul, quando o navio vem da Europa (ou Estados Unidos) ou no sentido norte, quando o navio retorna para a Europa, e que alguns portos brasileiros sejam visitados duas vezes, para a modelagem matemática do problema de reposicionamento de contêineres vazios, é relevante definir, para um dado navio  $n$  e um dado porto  $p$ , quais são os portos antecessores e quais os portos sucessores. Isto é, de que portos o navio  $n$  pode levar contêineres vazios para o porto  $p$  e para que portos o navio  $n$  pode levar contêineres vazios disponíveis no porto  $p$ . Se o navio  $n$  visita o porto  $p$  duas vezes, é necessário especificar os antecessores e sucessores, em cada uma das visitas. Isto é, é preciso definir o dia  $t$  de cada visita e, então, definir para o navio  $n$  quando de sua passagem pelo porto  $p$  no dia  $t$ , quais são os portos antecessores e quais os portos sucessores.

Convém ainda mencionar que o estabelecimento dos portos antecessores e sucessores não deve ser uma simples consulta aos *schedules* dos navios, mas deve eliminar movimentações de contêineres que, a priori, são ineficientes ou não têm sentido. Assim, por exemplo, se o navio  $N$  vai passar pelo porto de Santos no sentido sul e no sentido norte e depois passar pelo porto de Salvador, este deve ser considerado sucessor de Santos somente na segunda passagem. Da mesma forma, se na viagem sul, o navio  $N$  passou por Suape, este porto deve ser considerado anterior de Santos somente na primeira passagem. Também Santos na segunda passagem não é sucessor de Santos na primeira passagem

Convém enfatizar que o procedimento descrito vale para uma rota cíclica genérica e se aplica a todos os portos da rota, desde que sejam conhecidas as previsões de embarque e desembarque em cada porto.

Para que um contêiner vazio não ocupe o espaço de um contêiner cheio e necessário conhecer a capacidade ociosa do navio entre um porto e outro. Para tanto

é preciso ter: uma matriz de carregamento do navio quando este chega ao primeiro porto; uma matriz para cada porto brasileiro de carga e descarga do contêiner cheio. Com isso sabe-se a quantidade de espaços vagos no navio que poderão ser ocupados por contêineres vazios.

### 3.2.4 Função objetivo

O modelo tem como função objetivo a minimização dos custos de realocação de contêineres vazios, com o comprometimento de total atendimento das demandas. A função objetivo é composta por quatro parcelas:

- A primeira parcela refere-se ao custo unitário de movimentação de contêineres vazios efetuada por navio multiplicado pela quantidade de contêineres vazios movimentada por navio

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{j \in SUC(i, n, t)} \sum_{k \in K} C1_{i, j, k} \cdot X_{t, n, i, j, k} \quad (3.1)$$

- A segunda parcela refere-se ao custo unitário de movimentação de contêineres vazios por meio rodoviário multiplicado pela quantidade de contêineres vazios movimentada por meio rodoviário.

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{\substack{j \in J \\ i \neq j}} \sum_{k \in K} C2_{i, j, k} \cdot W_{t, n, i, j, k} \quad (3.2)$$

- A terceira parcela refere-se ao custo unitário para aquisição de contêineres vazios por *leasing* multiplicado pela quantidade de contêineres vazios alugados

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C3_{i, k} \cdot Y_{t, n, i, k} \quad (3.3)$$

- A quarta parcela refere-se ao custo unitário de estocagem de contêiner vazio multiplicado pela quantidade de contêineres vazios estocados e pelos dias que os contêineres ficarão estocados.

$$\sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C4_{i,k} \cdot EST_{t,n,i,k} \cdot TEMP_{t,n,i} \quad (3.4)$$

A função objetivo é assim calculada:

$$\begin{aligned} z = & \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{j \in SUC(i,n,t)} \sum_{k \in K} C1_{i,j,k} \cdot X_{t,n,i,j,k} + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} C2_{i,j,k} \cdot W_{t,n,i,j,k} + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C3_{i,k} \cdot Y_{t,n,i,k} + \\ & \sum_{t \in T} \sum_{n \in N} \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} C4_{i,k} \cdot EST_{t,n,i,k} \cdot TEMP_{t,n,i} \end{aligned} \quad (3.5)$$

em que:

- $C1_{i,k,j}$ : é o custo unitário de movimentação de contêineres vazios, do tipo  $k$  do porto  $i$  para o porto  $j$  por meio de navios;
- $C2_{i,k,j}$ : é o custo unitário de movimentação de contêineres vazios, do tipo  $k$  do porto  $i$  para o porto  $j$  por meio rodoviário;
- $C3_{i,k}$ : custo unitário de leasing para contêineres vazios, do tipo  $k$  no porto  $i$ .
- $C4_{i,k}$ : é o custo unitário de estocagem, por uma unidade de tempo para contêineres vazios do tipo  $k$  no porto  $i$ .
- $TEMP_{t,n,i}$ : é o intervalo de tempo entre a passagem do navio  $n$ , que passa na data  $t$  no porto  $i$ , e o navio antecessor a este. Caso não exista um antecessor a este navio, este tempo é calculado a partir do primeiro dia do período de análise.
- $SUC_{i,n,t}$ : é o conjunto de portos sucessores ao porto  $i$  na passagem do navio  $n$  na data de índice  $t$ .

- $EST_{t,n,i,k}$ : é o estoque de contêineres vazios do tipo  $k$ , na data  $t$ , no porto  $i$ , na passagem do navio  $n$ .

### 3.2.5 Restrições

#### RESTRIÇÃO DE EQUILÍBRIO

$$\begin{aligned}
 EST_{t,n,i,k} = & EST_{t'=ATT(t,n,i),n'=ANN(t,n,i),i,k} + O_{t,n,i,k} + \\
 & + Y_{t,n,i,k} - \sum_{j \in SUC(i,n,t)} X_{t,n,i,j,k} + \\
 & + \sum_{n' \in NCON(t,n,i)} \sum_{j \in JCON(n',t,n,i)} X_{t'=TVIS(n',j),n',j,i,k} + \\
 & - \sum_{t'=ATT(t,n,i)+1}^t \sum_{j \in J} \sum_{n' \in NSC(t',i,j)} W_{t',n',i,j,k} + \\
 & + \sum_{j \in J} W_{t'=t-\text{prazo}-TVC(j,i),n,i,j,k}
 \end{aligned} \tag{3.6}$$

$$t \in T, n \in N, i \in I, k \in K$$

em que:

- $EST_{t,n,i,k}$ : é o estoque de contêineres vazios do tipo  $k$ , do porto  $i$ , após a passagem do navio  $n$  na data  $t$ .
- $ATT_{t,n,i}$ : é o índice do dia da passagem no porto  $i$  do navio que precede imediatamente o navio  $n$  em sua passagem por este no dia  $t$ ;
- $ANN_{t,n,i}$ : é o índice do navio que precede imediatamente o navio  $n$  em sua passagem pelo porto  $i$  no dia  $t$ ;
- $O_{t,n,i,k}$ : representa a diferença entre a oferta e a demanda de contêineres vazios para atender a demanda de exportação de contêineres cheios do tipo  $k$  no porto  $i$ , pelo navio  $n$  no dia  $t$ . Este parâmetro representa essencialmente um balanço entre os contêineres que voltaram ao porto de clientes de

importação ou do reparo, tornando-se disponíveis para os clientes de exportação, e os contêineres necessários para atender a demanda de exportação neste porto. (No caso de aplicação sucessiva do modelo, o parâmetro  $O_{t,n,i,k}$  deve levar em conta reposicionamentos de contêineres vazios previamente programados). O parâmetro pode ser positivo, significando que há um excesso de oferta de contêineres vazios, ou negativo, significando que há um excesso de demanda;

- $Y_{t,n,i,k}$  : é a quantidade de contêineres vazios do tipo  $k$  alugados, no porto  $i$  para atender a demanda do navio  $n$ , no dia  $t$ ;
- $SUC(i,n,t)$ : é o conjunto de portos sucessores do porto  $i$  na rota do navio  $n$  após sua passagem no dia  $t$ ;
- $X_{t,n,i,j,k}$ : é a quantidade de contêineres vazios do tipo  $k$  embarcados no navio  $n$  no porto  $i$  para o porto  $j$  na data  $t$ .
- **prazo**: é o prazo de antecedência com que um contêiner vazio deve chegar a um porto tendo em vista o seu carregamento num dado navio.
- **TVIS (n,i)**: é o dia em que o navio  $n$  visita o porto  $i$  (no caso de dupla passagem, haverá dois valores para  $TVIS_{n,i}$ );
- $NCON(t,n,i) = \{n' \in N: ATT_{t,n,i} - \text{prazo} < TVIS_{n',i} \leq t - \text{prazo}\}$  representa o conjunto de navios que podem trazer contêineres vazios para atender especificamente a demanda do navio  $n$  no porto  $i$  no dia  $t$
- $ANT(i,n,t)$ : é o conjunto de portos antecessores do porto  $i$  na rota do navio  $n$ , por ocasião de sua visita no dia  $t$ . (Convém enfatizar que a definição de conjunto de portos antecessores leva em conta os comentários mencionados na seção 3.2.1);
- $JCON(n',t,n,i) = \{j \in I : j \in ANT_{i,n',t'=TVIS_{n',i}}\}$  Convém observar que, para um navio  $n'$ , o dia  $t'$  deve pertencer ao intervalo  $[ATT_{t,n,i} - \text{prazo}, t - \text{prazo}]$ , conforme explicitado na definição do conjunto  $NCON_{t,n,i}$ .
- $TVC(i,j)$ : é a duração da viagem de caminhão do porto  $i$  ao porto  $j$ ;
- $NSC(t',i,j) = \{n' \in N : TVIS_{n',j} = t' + TVC_{i,j} + \text{prazo}\}$ ;
- $W_{t,n,i,j,k}$ : é a quantidade de contêineres do tipo  $k$  despachadas por caminhão, na data  $t$ , do porto  $i$ , com destino ao porto  $j$ , para atender a demanda de exportação do navio  $n$ .

## RESTRIÇÃO DO ESPAÇO OCUPADO PELOS CONTÊINERES VAZIOS

Para cada navio  $n$ , no trecho a partir de cada porto, em que ele passa no instante  $tvis(n,l)$ , eventualmente passando duas vezes, impõe-se que os contêineres vazios somente possam ocupar o espaço não utilizado pelos contêineres cheios, medido em TEUs.

Essa restrição tem a finalidade de evitar uma perda de receita excessiva causada pela substituição de contêineres cheios (geram frete) por contêineres vazios.

A restrição pode ser assim formulada:

$$\sum_{j \in SUC(l,n,t=tvis(n,l))} \sum_{k \in K} C(k) X_{t=tvis(n,l),n,l,j,k} + \sum_{i \in ANT(n,l,t=tvis(n,l))} \sum_{j \in SUC(l,n,t=tvis(n,l))} \sum_{k \in K} C(k) X_{t=tvis(n,l),n,i,j,k} \leq CA_{n,l} \quad (3.7)$$

$$n \in N, l \in I, \text{ todo } TVIS_{n,l}$$

- 
- $C_k$  é o espaço em TEUs ocupado por um contêiner do tipo  $k$  (para contêineres de 20 pés, este parâmetro assume valor 1 e, para contêineres de 40 pés, valor 2);
- $CA_{n,l}$  é o espaço disponível, em TEUs, no navio  $n$  destinado ao transporte de contêineres vazios quando ele sai do porto  $l$ .

## RESTRIÇÃO DE ESTOQUE MÍNIMO

$$EST_{t,n,i,k} \geq EST_{i,k}^{MIN} \quad (3.8)$$

- $EST_{i,k}^{MIN}$  : é o estoque mínimo de contêineres do tipo  $k$  que deve ser mantido no porto  $i$ .

Essa restrição tem a finalidade de garantir que o estoque mínimo do porto  $i$  para o contêiner do tipo  $k$  seja atendido.

Conhecendo-se as características básicas do problema, será desenvolvido um modelo de programação linear, que alocará os contêineres com base nas informações obtidas. O modelo foi compilado de acordo com as normas de uma empresa de navegação. Para a tomada de decisão, são considerados os custos logísticos envolvidos, como armazenagem, transporte e aluguel. Novamente deve-se enfatizar 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, mas o modelo deve ser ajustado para que ele aponte a melhor opção.



## 4. RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Neste capítulo são apresentados os diversos resultados computacionais obtidos por meio do modelo matemático proposto no Capítulo 3. A consistência do modelo é comprovada por meio de cenários com os dados de entrada que Barco (1998) obteve junto à empresa HSAC; posteriormente são apresentados resultados do modelo com dados atualizados da empresa. A validação final do modelo será efetuada através de um estudo de caso. O cenário escolhido para o estudo de caso foi o mesmo de Barco (1998), utilizando dados da empresa Hamburg Süd (HSAC), sediada na Alemanha e atuante em vários países da Europa, América do Sul e Estados Unidos. Os dados por serem confidenciais não são fidedignos, porém a ordem de grandeza fornece uma representação adequada da realidade.

### 4.1. Implementação computacional do modelo

As informações utilizadas são as seguintes:

1. Schedule dos navios para o horizonte de planejamento escolhido.
2. Dados presentes na planilha de estoques, especificando:
  - Data da última atualização dos dados da planilha;
  - Os tipos de contêineres com seus possíveis *status*;
- Contêineres que já estão destinados para os próximos navios;
- Contêineres que estão designados para sair do sistema;
- Contêineres que já foram estufados e estão aguardando embarque;
- Contêineres que vieram da importação e ainda não foram devolvidos aos terminais;

- Contêineres que estão em reparo;
- Contêineres que estão vazios nos terminais, prontos para a utilização;
- Contêineres que estão sendo transportados vazios, por terra, para um determinado porto;
- Contêineres que estão sendo transportados com carga, por terra, para um determinado porto; e
- Contêineres que, por algum motivo, estão indefinidamente indisponíveis.
  - O estoque de segurança que se deseja manter no porto;
  - A soma total dos contêineres da área de influência do porto;
  - Taxa diária média de devolução de contêineres que se encontram no grupo de indisponíveis e que passarão para o grupo dos disponíveis ao ficarem vazios e prontos para o uso:
- Contêineres que vieram com mercadorias importadas;
- Contêineres que vieram com mercadorias importadas, mas por algum motivo, tiveram de ser descarregados em outro porto;
- Contêineres que estão em reparo e
- Contêineres com avarias mais graves que foram designados para sair do sistema, mas podem ser reparados.
  - Informações sobre a programação dos navios:
- Navios operantes dentro do período de tempo;
- Rota que o navio está, incluindo a direção, norte ou sul.
- Data prevista para a saída do navio do porto.
  - Informações personalizadas para cada navio em relação aos contêineres que irão embarcar:
- Contêineres destinados para embarque no navio
- Previsão de quantos contêineres ainda serão levados com carga no navio;
- Contêineres vazios previstos para embarque no navio para posicionamento em outro porto;
- Contêineres vazios previstos para desembarque do navio para reposicionamento no mesmo porto.
- Contêineres que estão vindo com carga de importação, entrando no estoque total e/ou no indisponível.

Os dados contidos nessa planilha servem para o cálculo de oferta ou demanda de contêineres vazios para cada porto em cada data prevista na passagem do navio. Se o saldo de contêineres for positivo significa oferta, se for negativo, demanda.

Além da planilha de estoque foram usadas:

- - Várias matrizes de custo, todas por unidade de contêiner, em dólares dos EUA:
  - Custo para se levar um contêiner vazio de um porto ao outro, por navio;
  - Custo para se levar um contêiner vazio de um porto ao outro, por caminhão;
  - Custo para se alugar um contêiner num determinado porto e
  - Custo por dia para se manter armazenado um contêiner num determinado porto.
- - Matriz de tempo, em dias, para se transferir contêineres de um porto ao outro, por caminhão.

## 4.2. Resolução do modelo

Para a resolução do modelo foi utilizada uma ferramenta computacional que dispõe de uma linguagem de alto nível para compilação e construção da tabela, assim como na sua resolução. Trabalhos anteriores no Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da EPUSP mostraram a eficácia desta ferramenta, podendo citar os trabalhos de Hino (1999) e Ono (2001).

A ferramenta supra citada é o *GAMS* (sigla de *General Algebraic Modeling System*) em sua versão 20.0 121; o *solver*, que representa o algoritmo para a resolução do problema linear, é o *Cplex 7.0*. Uma descrição mais completa da ferramenta e de seus recursos pode ser obtida pelo manual Brooke; Kendrick; Meeraus (1997).

Os modelos foram compilados e executados em um microcomputador pessoal com sistema *Microsoft Windows 98*®, processador *Pentium Intel 4* com *clock* de 1.7 GHz e memória *RAM* de 512 MB.

No Anexo A e Anexo B podem ser encontrados os códigos fontes originais dos modelos em linguagem *GAMS*. No Anexo C são encontrados as explicações dos algoritmos utilizados na programação.

Convém ressaltar que em função da linguagem de programação utilizada (*GAMS*), podem aparecer alterações nas notações de índices, variáveis e parâmetros utilizadas no código do modelo em relação à formulação matemática apresentada no capítulo anterior. As notações estão explicadas ao longo do texto sem prejuízo ao entendimento da metodologia.

### 4.3. Cenário Barco

Neste cenário foram utilizados os mesmos dados de entrada do modelo de Barco, (1998) citados a seguir:

O período de tempo adotado será de um mês (trinta dias), iniciado no dia com índice *T1* e terminado no dia com índice *T30*. A programação é refeita a cada semana; com informações mais precisas, as decisões referentes ao reposicionamentos ainda não efetivados podem ser alteradas.

Na coluna da esquerda na Tabela 4.1 mostra-se o nome dos dezesseis navios que constavam na programação da empresa no horizonte de planejamento considerado; na coluna da direita aparece a abreviação utilizada nos dados do programa.

A Tabela 4.2 mostra na primeira coluna os tipos de contêineres vazios considerados e na segunda coluna a sigla usada para indicar o tipo de contêiner.

Os portos considerados são dez, descritos na Tabela 4.3, na coluna da esquerda é mostrado o nome dos portos que constam na programação da empresa e na coluna da direita a abreviação utilizada.

**Tabela 4.1 – Nome dos navios**

Navio Aliança Brasil	ALBRA
Navio Aliança Europa	ALEUR
Navio Cabo Blanco	CABLA
Navio Sebastian Caboto	CABOT
Navio Cap Finnister	CAFIN
Navio Calapedra	CAPED
Navio Cap Polônio	CAPOL
Navio Cap Roca	CAROC
Navio Cap Trafalga	CATRA
Navio Colombus Olivos	COLOS
Navio Copacabana	COPAC
Navio Flamengo	FLAME
Navio San Isidro	SANIS
Navio Heicon	HEICO
Navio San Marino	SANMA
Navio San Miguel	SANMI

**Tabela 4.2 – Tipos de contêineres**

Contêiner insulado com 20 pés de comprimento	IN-20
Contêiner padrão com 20 pés de comprimento	DC-20
Contêiner padrão com 40 pés de comprimento	DC-40
Contêiner de carga seca com 9.5 pés de altura e 40 pés de comprimento	HK-40

**Tabela 4.3 – Portos utilizados**

Fortaleza	FOT
Suape	SUP
Salvador	SSA
Vitória	VIX
Rio de Janeiro	RIO
Santos	SSZ
Paranaguá	QPB
São Francisco do Sul	QFS
Itajaí	ITJ
Rio Grande do Sul	RGR

Na Tabela 4.4, a seguir, é mostrada a programação das chegadas dos navios nos portos. Na primeira linha da tabela estão os portos. A segunda linha separa a coluna dos portos em outras duas colunas menores, a primeira coluna menor indica o

dia e a segunda o navio. Por exemplo, na coluna do porto de FOT (Fortaleza) é mostrado as visitas deste porto no dia 2 do navio HEICO (Heicon): dia 14 do navio COPAC (Copacabana) e dia 30 do navio COLOS (Columbus Olivos)

Tabela 4.4 – Programação das chegadas dos navios nos portos.

FOT		SUP		SSA		VIX		RIO	
DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO
2	HEICO	9	CATRA	1	HEICO	6	CAPED	3	CAROC
14	COPAC	19	CAROC	2	ALEUR	13	CABOT	4	SANMA
30	COLOS	25	ALEUR	6	SANMI			4	SANMI
		30	CATRA	8	CABLA			5	ALBRA
				18	CAROC			10	COPAC
				21	SANMA			11	CATRA
				26	CAFIN			12	COLOS
				29	CATRA			18	SANMA
				30	CABOT			22	ALEUR
								26	COLOS
								29	CAFIN
SSZ		QPB		QFS		ITJ		RGR	
DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO
1	CAROC	9	CAPED	2	ALBRA	7	COPAC	1	SANMI
2	SANMI	17	ALEUR	3	CABLA	22	COLOS	4	COPAC
4	ALBRA	30	CAPOL	15	ALEUR			10	CAROC
5	ALEUR			17	CAPED			13	SANMA
5	CABLA			23	CATRA			20	COLOS
5	SANMA			26	CABOT			21	CATRA
7	CAPED			29	CAPOL				
9	COPAC								
13	COLOS								
14	CAROC								
14	CATRA								
15	CABOT								
16	SANMA								
19	CAPED								
20	ALEUR								
20	CAPOL								
24	COLOS								
27	CATRA								
30	CAFIN								

Na Tabela 4.5 é mostrado os *schedules* dos navios. Na primeira coluna da tabela estão os nomes dos navios e nas outras colunas que contêm duas linhas estão a data de visita do navio na primeira linha (acima) e o porto visitado na segunda linha (abaixo). Por exemplo, o navio ALBRA (Aliança Brasil) visita no dia 2 o porto QFS (São Francisco); dia 4 o porto SSZ (Santos) e dia 5 o porto RIO (Rio de Janeiro).

Tabela 4.5 – Schedule dos navios

ALBRA	2	4	5					
	QFS	SSZ	RIO					
ALEUR	2	5	15	17	20	22	25	
	SSA	SSZ	QFS	QPB	SSZ	RIO	SUP	
CABLA	3	5	8					
	QFS	SSZ	SSA					
CABOT	13	15	26	30				
	VIX	SSZ	QFS	SSA				
CAFIN	26	29	30					
	SSA	RIO	SSZ					
CAPED	6	7	9	17	19			
	VIX	SSZ	QPB	QFS	SSZ			
CAPOL	20	29	30					
	SSZ	QFS	QPB					
CAROC	1	3	10	14	18	19		
	SSZ	RIO	RGR	SSZ	SSA	SUP		
CATRA	9	11	14	21	23	27	29	30
	SUP	RIO	SSZ	RGR	QFS	SSZ	SSA	SUP
COLOS	12	13	20	22	24	26	30	
	RIO	SSZ	RGR	ITJ	SSZ	RIO	FOR	
COPAC	4	7	9	10	14			
	RGR	ITJ	SSZ	RIO	FOR			
HEICO	1	2						
	SSA	FOR						
SANMA	4	5	13	16	18	21		
	RIO	SSZ	RGR	SSZ	RIO	SSA		
SANMI	1	2	4	6				
	RGR	SSZ	RIO	SSA				

A Tabela 4.6 mostra o estoque inicial para cada tipo de contêiner presentes em cada porto no começo do horizonte de planejamento, ou seja, antes da passagem do primeiro navio pelo porto. Na primeira linha estão os tipos de contêineres e na primeira coluna estão os portos.

Tabela 4.6 – Estoque inicial.

	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
FOT	43	57	3	1
ITJ	14	13	23	17
QFS	118	92	140	38
QPB	20	20	32	4
RGR	31	50	64	28
RIO	5	69	21	23
SSA	186	210	27	8
SSZ	77	554	141	19
SUP	166	115	7	1
VIX	0	24	0	0

A Tabela 4.7 mostra o balanço de contêineres vazios nos portos, correspondente ao parâmetro  $O_{t,n,i,k}$ . Por exemplo, No porto FOT (Fortaleza) na passagem do navio HEICO (Heicon) no dia 2, a demanda de contêineres vazios (CV) é de 6 CV do tipo IN-20, 9 CV para o tipo DC-20 e 3 CV do tipo DC-40. No porto RIO (Rio de Janeiro) na passagem do navio CAROC (Cap Roca) no dia 3 há oferta de 9 Cv do tipo IN-20, 6 CV do tipo DC-20, 2 CV do tipo DC-40 e 1 CV do tipo HK-40.

A Tabela 4.8 mostra os valores adotados para o custo de transporte marítimo de um contêiner do tipo  $k$  do porto  $I$  ao porto  $J$ ,  $C1(I,J,K)$ . Por exemplo, na segunda linha da tabela pode-se verificar que o custo unitário do transporte marítimo para CV do tipo IN-20 do porto FOT (Fortaleza) até o porto SUP (Suape) é de US\$383.00 e do porto de FOT até o porto SSA (Salvador) é de US\$253.00.

A Tabela 4.9 mostra os valores adotados para o custo de transporte por caminhão de um contêiner do tipo  $k$ , entre o porto  $I$  e o porto  $J$ ,  $C2(I,J,K)$ . Por exemplo, na segunda linha da tabela pode-se verificar que o custo unitário do transporte rodoviário para CV do tipo IN-20 do porto FOT (Fortaleza) até o porto SUP (Suape) é de US\$780.00 e do porto de FOT até o porto SSA (Salvador) é de US\$1,250.00.



Tabela 4.7 – Balanço de contêineres vazios.

			TIPO DE CONTÊNER							TIPO DE CONTÊNER			
DIA	NAVIO	PORTO	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40	DIA	NAVIO	PORTO	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
2	HEICO	FOT	-6	-9	-3	0	2	ALEUR	SSA	-154	35	2	1
14	COPAC	FOT	-6	-24	-3	4	6	SANMI	SSA	16	-38	-16	2
30	COLOS	FOT	-6	-25	-9	2	8	CABLA	SSA	8	66	-3	1
7	COPAC	ITJ	0	-5	-4	-3	18	CAROC	SSA	25	-10	-21	3
22	COLOS	ITJ	25	15	-1	9	21	SANMA	SSA	12	-64	-2	-1
2	ALBRA	QFS	-115	-21	-41	-28	26	CAFIN	SSA	20	10	2	3
3	CABLA	QFS	0	-3	-24	26	29	CATRA	SSA	-28	-66	-2	2
15	ALEUR	QFS	-70	-1	-18	-23	30	CABOT	SSA	4	3	1	1
17	CAPED	QFS	124	-16	5	19	1	CAROC	SSZ	2	26	30	2
23	CATRA	QFS	-70	-13	-29	-30	2	SANMI	SSZ	51	-75	-39	-8
26	CABOT	QFS	12	1	-24	0	4	ALBRA	SSZ	-43	-212	-53	4
29	CAPOL	QFS	-54	-17	-29	-30	5	ALEUR	SSZ	2	-57	19	-18
9	CAPED	QPB	9	-16	-2	0	5	CABLA	SSZ	0	0	0	20
17	ALEUR	QPB	-12	-1	0	0	5	SANMA	SSZ	50	0	0	-20
30	CAPOL	QPB	-6	5	4	0	7	CAPED	SSZ	4	52	60	4
1	SANMI	RGR	0	0	0	0	9	COPAC	SSZ	-46	2	29	1
4	COPAC	RGR	-8	5	2	-3	13	COLOS	SSZ	8	104	120	8
10	CAROC	RGR	-3	2	-43	-5	14	CAROC	SSZ	-209	-188	-75	2
13	SANMA	RGR	5	1	-2	-4	14	CATRA	SSZ	-160	-42	45	6
20	COLOS	RGR	5	9	-3	-5	15	CABOT	SSZ	17	26	30	2
21	CATRA	RGR	-14	-6	-13	-5	16	SANMA	SSZ	2	-34	-10	0
3	CAROC	RIO	9	6	2	1	19	CAPED	SSZ	6	18	60	6
4	SANMA	RIO	3	2	1	0	20	ALEUR	SSZ	-28	-94	-15	2
4	SANMI	RIO	0	-26	0	0	20	CAPOL	SSZ	0	0	0	0
5	ALBRA	RIO	-4	-87	-6	0	24	COLOS	SSZ	-12	44	90	3
10	COPAC	RIO	15	-43	2	2	27	CATRA	ssz	-160	-42	45	6
11	CATRA	RIO	6	4	1	1	30	CAFIN	SSZ	6	78	90	6
12	COLOS	RIO	12	-17	0	1	9	CATRA	SUP	9	18	36	0
18	SANMA	RIO	18	-13	1	2	19	CAROC	SUP	5	-15	28	0
22	ALEUR	RIO	8	-32	-7	1	25	ALEUR	SUP	-34	-18	15	0
26	COLOS	RIO	0	0	0	0	30	CATRA	SUP	-49	-18	-4	0
29	CAFIN	RIO	9	6	2	1	6	CAPED	VIX	0	-23	3	0
1	HEICO	SSA	-1	-28	-5	0	13	CABOT	VIX	0	-13	3	0

Tabela 4.8 – Custo unitário (US\$) do transporte marítimo.

		FOT	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOT	IN-20	0	383	253	177	318	299	289	19	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
FOT	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
FOT	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
FOT	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 4.9 – Custo unitário (US\$) do transporte rodoviário.

		FOT	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOT	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
FOT	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
FOT	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
FOT	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

A Tabela 4.10 mostra os valores adotados para o aluguel de contêineres vazios C3(L,K). Na primeira coluna estão as siglas dos tipos de contêineres e na primeira linha as siglas dos portos. Como exemplo pode-se verificar que o custo unitário do *leasing* de CV do tipo IN-20 no porto FOT (Fortaleza) é de US\$500.00. O mesmo tipo de contêiner para o porto SUP (Suape) é de US\$800.00.

Tabela 4.10 – Custo unitário (US\$) do leasing para contêineres vazios.

	FOT	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

A Tabela 4.11 mostra os valores adotados para o custo de estocagem dos contêineres vazios nos portos, C4 (I,K). Na primeira coluna estão as siglas dos tipos de contêineres e na primeira linha as siglas dos portos. Como exemplo pode-se verificar que o custo unitário de estocagem de CV do tipo IN-20 para o porto SUP (Suape) também é de US\$2.00.

Tabela 4.11 – Custo unitário (US\$) de estocagem de contêineres vazios.

	FOT	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

Os resultados obtidos para o cenário Barco são encontrados na Tabela 4.12. O tempo computacional de processamento foi inferior a dois minutos, o que o torna compatível com o seu escopo básico de modelo de operação. Cabe observar como deve ser feita a interpretação deste resultado: quando se trata de uma variável (Var) X, está se designando o número de contêineres vazios do tipo indicado, carregados no dia (Tempo) no porto (Port1) com destino ao porto (Port2) no navio (Navio); quando se trata de uma variável (Var) W, está se designando o número de contêineres vazios do tipo indicado carregados em caminhões no dia (Tempo) no porto (Port1) com destino ao porto (Port2); quando se trata de uma variável (Var) Y, planeja-se um *leasing* de contêineres vazios no porto (Port1) para atender a demanda de exportação (contêineres cheios) no navio (Navio) no dia (Tempo).

Por exemplo; na segunda linha da Tabela 4.12, abaixo do índice; é mostrado que 3 contêineres vazios do tipo DC-40 serão embarcados no dia (T1) no navio Heicon (HEICO), variável X, no porto de Salvador (SSA) com destino ao porto de Fortaleza (FOT).

Tabela 4.12 – Resultados do cenário Barco.

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
X	T1	SSA	FOT	HEICO	0	0	3	0
W	T1	SSZ	RIO	SANMA	0	68	0	0
X	T1	RGR	SSA	SANMI	0	0	5	0
X	T1	RGR	RIO	SANMI	0	47	0	0
X	T1	RGR	SSZ	SANMI	0	0	0	1
X	T2	QFS	RIO	ALBRA	0	22	0	0
X	T2	SSA	SSZ	ALEUR	31	0	0	0
X	T2	SSA	QFS	ALEUR	0	0	0	1
W	T2	SSZ	VIX	CAPED	0	12	0	0
X	T3	RIO	SSA	CAROC	0	0	2	0
W	T4	RIO	SSZ	CAPED	13	0	0	0
X	T4	RGR	FOT	COPAC	0	1	0	0
X	T4	RGR	SSZ	COPAC	16	0	0	0
X	T5	SSZ	SSA	CABLA	0	0	14	0
W	T6	QPB	SSZ	COPAC	11	0	0	0
X	T7	ITJ	FOT	COPAC	0	0	9	0
X	T9	SUP	SSZ	CATRA	97	0	0	0
W	T10	RIO	SSZ	COLOS	15	0	0	0
W	T11	RIO	SSZ	CAROC	6	0	0	0
W	T12	ITJ	QFS	ALEUR	39	0	0	0
W	T12	RIO	SSZ	CABOT	12	0	0	0
Y	T14	SSZ		CAROC	172	0	0	0
Y	T15	QFS		ALEUR	28	0	0	0
W	T15	QPB	QFS	CAPED	0	0	11	4
W	T17	RIO	SSZ	ALEUR	18	0	0	0
W	T17	QFS	SSZ	ALEUR	12	0	0	0
W	T20	ITJ	QFS	CATRA	0	0	9	23
W	T21	RIO	SSZ	COLOS	8	0	0	0
Y	T27	SSZ		CATRA	28	0	0	0

A Tabela 4.13 apresenta uma comparação do estoque de contêineres antes dos reposicionamentos serem programados na primeira coluna e o estoque previsto com os reposicionamentos programados na segunda coluna. A condição de estoque mínimo de contêineres vazios para cada porto só foi adotada no cenário atualizado.

A primeira coluna, (antes), mostra o comportamento dos estoques de cada tipo de contêiner considerando apenas a oferta de contêineres cheios. Assim um número negativo representa a falta de um determinado tipo de contêiner. As colunas da esquerda indicam o dia e o navio que ocasionou a movimentação, bem como o

porto onde ocorreu. Por exemplo, na data T30 para o navio COLOS (Colombus Olivos) no porto FOT (Fortaleza) o valor -12 do estoque de contêineres DC-40 indica que, sem o reposicionamento ou aluguel de contêineres haveria a falta de 12 contêineres para atender a demanda de exportação de contêineres cheios.

A segunda coluna, (depois), apresenta o comportamento dos estoques se forem feitos o reposicionamento/ aluguel de contêineres vazios indicadas pela solução do modelo, ou seja, considerando a oferta e demanda de contêineres cheios e vazios. Neste caso não pode haver números negativos. Novamente as colunas da esquerda indicam o dia e o navio que ocasionou a movimentação, bem como o porto onde ocorreu.

Observa-se que as demandas foram atendidas, pois não há mais estoques negativos na coluna depois.

A Tabela 4.14 completa, mostra se foi feito o reposicionamento/ aluguel de contêineres vazios indicado pela solução do modelo proposto. É mostrada com detalhes, as movimentações que ocorreram para cada tipo de contêiner. Novamente as colunas da esquerda indicam o dia e o navio responsáveis pela movimentação, e o porto onde ocorreu. Nesta tabela, a coluna X com número negativo representa a saída de contêineres vazios por navio, X com número positivo a chegada de contêineres vazios por navio, W com número negativo a saída de contêineres vazios por caminhão, W com número positivo a chegada de contêineres vazios por caminhão, Y a utilização de *leasing* e O a saída e chegada de contêineres cheios. A coluna EST é o resultado das operações.

A Tabela 4.14 mostra as movimentações de contêineres sugeridas pelo modelo. Por exemplo, no porto de SSZ (Santos) no dia 2, na passagem do navio SANMI (San Miguel) nota-se que havia 130 CV no EST (estoque) de contêineres, no dia 4, na passagem do navio ALBRA (Aliança Brasil) saíram 43 CV (O com número negativo) resultando em 81 CV no EST (estoque) de contêineres do tipo IN-20, no dia 5, na passagem do navio ALEUR (Aliança Europa) nota-se que entraram 2 CV (O com número positivo) resultando em 89 CV no EST (estoque) de contêineres do tipo IN-20.

Tabela 4.13 – Estoque antes e depois do reposicionamento programado.

Antes

Data	Navio	Porto	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
	Início	FOT	43	57	3	1
T2	HEICO	FOT	37	48	0	1
T14	COPAC	FOT	31	24	-3	5
T30	COLOS	FOT	25	-1	-12	7
	Início	ITJ	14	13	23	17
T7	COPAC	ITJ	14	8	19	14
T22	COLOS	ITJ	39	23	18	23
	Início	QFS	118	92	140	38
T2	ALBRA	QFS	3	71	99	10
T3	CABLA	QFS	3	68	75	36
T15	ALEUR	QFS	-67	67	57	13
T17	CAPED	QFS	57	51	62	32
T23	CATRA	QFS	-13	38	33	2
T26	CABOT	QFS	-1	39	9	2
T29	CAPOL	QFS	-55	22	-20	-28
	Início	QPB	20	20	32	4
T9	CAPED	QPB	29	4	30	4
T17	ALEUR	QPB	17	3	30	4
T30	CAPOL	QPB	11	8	34	4
	Início	RGR	31	50	64	28
T1	SANMI	RGR	31	50	64	28
T4	COPAC	RGR	23	55	66	25
T10	CAROC	RGR	20	57	23	20
T13	SANMA	RGR	25	58	21	16
T20	COLOS	RGR	30	67	18	11
T21	CATRA	RGR	16	61	5	6
	Início	RIO	5	69	21	23
T3	CAROC	RIO	14	75	23	24
T4	SANMA	RIO	17	77	24	24
T4	SANMI	RIO	17	51	24	24
T5	ALBRA	RIO	13	-36	18	24
T10	COPAC	RIO	28	-79	20	26
T11	CATRA	RIO	34	-75	21	27
T12	COLOS	RIO	46	-92	21	28
T18	SANMA	RIO	64	-105	22	30
T22	ALEUR	RIO	72	-137	15	31
T26	COLOS	RIO	72	-137	15	31
T29	CAFIN	RIO	81	-131	17	32
	Início	SSA	186	210	27	8
T1	HEICO	SSA	185	182	22	8
T2	ALEUR	SSA	31	217	24	9
T6	SANMI	SSA	47	179	8	11
T8	CABLA	SSA	55	245	5	12
T18	CAROC	SSA	80	235	-16	15
T21	SANMA	SSA	92	171	-18	14
T26	CAFIN	SSA	112	181	-16	17
T29	CATRA	SSA	84	115	-18	19
T30	CABOT	SSA	88	118	-17	20
	Início	SSZ	77	554	141	19
T1	CAROC	SSZ	79	580	171	21
T2	SANMI	SSZ	130	505	132	13
T4	ALBRA	SSZ	87	293	79	17
T5	ALEUR	SSZ	89	236	98	-1
T5	CABLA	SSZ	89	236	98	19
T5	SANMA	SSZ	139	236	98	-1
T7	CAPED	SSZ	143	288	158	3
T9	COPAC	SSZ	97	290	187	4
T13	COLOS	SSZ	105	394	307	12
T14	CAROC	SSZ	-104	206	232	14
T14	CATRA	SSZ	-264	164	277	20
T15	CABOT	SSZ	-247	190	307	22
T16	SANMA	SSZ	-245	156	297	22
T19	CAPED	SSZ	-239	174	357	28
T20	ALEUR	SSZ	-267	80	342	30
T20	CAPOL	SSZ	-267	80	342	30
T24	COLOS	SSZ	-279	124	432	33
T27	CATRA	SSZ	-439	82	477	39
T30	CAFIN	SSZ	-433	160	567	45

Depois

Data	Navio	Porto	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
	Início	FOT	43	57	3	1
T2	HEICO	FOT	37	48	0	1
T14	COPAC	FOT	31	24	0	5
T30	COLOS	FOT	25	0	0	7
	Início	ITJ	14	8	10	14
T7	COPAC	ITJ	0	23	0	0
T22	COLOS	ITJ	39	23	18	23
	Início	QFS	118	92	140	38
T2	ALBRA	QFS	3	49	99	10
T3	CABLA	QFS	3	46	75	36
T15	ALEUR	QFS	0	45	57	13
T17	CAPED	QFS	112	29	73	37
T23	CATRA	QFS	42	16	53	30
T26	CABOT	QFS	54	17	29	30
T29	CAPOL	QFS	0	0	0	0
	Início	QPB	20	20	32	4
T9	CAPED	QPB	18	4	30	4
T17	ALEUR	QPB	6	3	19	0
T30	CAPOL	QPB	0	8	23	0
	Início	RGR	31	50	64	28
T1	SANMI	RGR	31	3	59	27
T4	COPAC	RGR	7	7	61	24
T10	CAROC	RGR	4	9	18	19
T13	SANMA	RGR	9	10	16	15
T20	COLOS	RGR	14	19	13	10
T21	CATRA	RGR	0	13	0	5
	Início	RIO	5	69	21	23
T3	CAROC	RIO	14	75	21	24
T4	SANMA	RIO	4	145	22	24
T4	SANMI	RIO	4	119	22	24
T5	ALBRA	RIO	0	32	16	24
T10	COPAC	RIO	0	58	18	26
T11	CATRA	RIO	0	62	19	27
T12	COLOS	RIO	0	45	19	28
T18	SANMA	RIO	0	32	20	30
T22	ALEUR	RIO	0	0	13	31
T26	COLOS	RIO	0	0	13	31
T29	CAFIN	RIO	9	6	15	32
	Início	SSA	186	210	27	8
T1	HEICO	SSA	185	182	19	8
T2	ALEUR	SSA	0	217	21	8
T6	SANMI	SSA	16	179	5	10
T8	CABLA	SSA	24	245	7	11
T18	CAROC	SSA	49	235	0	14
T21	SANMA	SSA	61	171	0	13
T26	CAFIN	SSA	81	181	2	16
T29	CATRA	SSA	53	115	0	18
T30	CABOT	SSA	57	118	1	19
	Início	SSZ	77	554	141	19
T1	CAROC	SSZ	79	512	171	21
T2	SANMI	SSZ	130	425	132	13
T4	ALBRA	SSZ	87	213	79	18
T5	ALEUR	SSZ	89	156	98	0
T5	CABLA	SSZ	89	156	84	20
T5	SANMA	SSZ	139	156	84	0
T7	CAPED	SSZ	187	208	144	4
T9	COPAC	SSZ	152	210	173	5
T13	COLOS	SSZ	191	314	293	13
T14	CAROC	SSZ	160	126	218	15
T14	CATRA	SSZ	0	84	263	21
T15	CABOT	SSZ	29	110	293	23
T16	SANMA	SSZ	128	76	283	23
T19	CAPED	SSZ	134	94	343	29
T20	ALEUR	SSZ	136	0	328	31
T20	CAPOL	SSZ	136	0	328	31
T24	COLOS	SSZ	132	44	418	34
T27	CATRA	SSZ	0	2	463	40
T30	CAFIN	SSZ	6	80	553	46



Tabela 4.14 – Movimentação de contêineres.

DIA	TIPO	NAVIO	PORTO	IN-20					DC-20					DC-40					HK-40								
				EST	X	W	O	Y	EST	X	W	O	Y	EST	X	W	O	Y	EST	X	W	O	Y				
			FOT	43					57						3					1							
T2	HEICO	FOT	FOT	37	0	0	-6	0	48	0	0	-9	0	0	0	0	0	-3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
T14	COPAC	FOT	FOT	31	0	0	-6	0	24	0	0	-24	0	0	3	0	-3	0	5	0	0	0	4	0	0	0	0
T30	COLOS	FOT	FOT	25	0	0	-6	0	0	1	0	-25	0	0	9	0	-9	0	7	0	0	0	2	0	0	0	0
		ITJ		14					13					23					17								
T7	COPAC	ITJ	ITJ	14	0	0	0	0	8	0	0	-5	0	10	-9	0	-4	0	14	0	0	-3	0	0	0	0	0
T22	COLOS	ITJ	ITJ	0	0	-39	25	0	23	0	0	15	0	0	0	-9	-1	0	0	0	-23	9	0	0	0	0	0
		QFS		118					92					140					38								
T2	ALBRA	QFS	QFS	3	0	0	-115	0	49	-22	0	-21	0	99	0	0	-41	0	10	0	0	-28	0	0	0	0	0
T3	CABLA	QFS	QFS	3	0	0	0	0	46	0	0	-3	0	75	0	0	-24	0	36	0	0	26	0	0	0	0	0
T15	ALEUR	QFS	QFS	0	0	39	-70	28	45	0	0	-1	0	57	0	0	-18	0	13	0	0	-23	0	0	0	0	0
T17	CAPED	QFS	QFS	112	0	-12	124	0	29	0	0	-16	0	73	0	11	5	0	37	1	4	19	0	0	0	0	0
T23	CATRA	QFS	QFS	42	0	0	-70	0	16	0	0	-13	0	53	0	9	-29	0	30	0	23	-30	0	0	0	0	0
T26	CABOT	QFS	QFS	54	0	0	12	0	17	0	0	1	0	29	0	0	-24	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0
T29	CAPOL	QFS	QFS	0	0	0	-54	0	0	0	0	-17	0	0	0	0	-29	0	0	0	0	-30	0	0	0	0	0
		QPB		20					20					32					4								
T9	CAPED	QPB	QPB	18	0	-11	9	0	4	0	0	16	0	30	0	0	-2	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
T17	ALEUR	QPB	QPB	6	0	0	-12	0	3	0	0	-1	0	19	0	-11	0	0	0	0	-4	0	0	0	0	0	0
T30	CAPOL	QPB	QPB	0	0	0	-6	0	8	0	0	5	0	23	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		RGR		31					50					64					28								
T1	SANMI	RGR	RGR	31	0	0	0	0	3	-47	0	0	0	59	-5	0	0	0	27	-1	0	0	0	0	0	0	0
T4	COPAC	RGR	RGR	7	-16	0	-8	0	7	-1	0	5	0	61	0	0	2	0	24	0	0	-3	0	0	0	0	0
T10	CAROC	RGR	RGR	4	0	0	-3	0	9	0	0	2	0	18	0	0	-43	0	19	0	0	-5	0	0	0	0	0
T13	SANMA	RGR	RGR	9	0	0	5	0	10	0	0	1	0	16	0	0	-2	0	15	0	0	-4	0	0	0	0	0
T20	COLOS	RGR	RGR	14	0	0	5	0	19	0	0	9	0	13	0	0	-3	0	10	0	0	-5	0	0	0	0	0
T21	CATRA	RGR	RGR	0	0	0	-14	0	13	0	0	-6	0	0	0	0	-13	0	5	0	0	-5	0	0	0	0	0
		RIO		5					69					21					23								
T3	CAROC	RIO	RIO	14	0	0	9	0	75	0	0	6	0	21	-2	0	2	0	24	0	0	1	0	0	0	0	0
T4	SANMA	RIO	RIO	4	0	-13	3	0	145	0	68	0	0	22	0	0	1	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0
T4	SANMI	RIO	RIO	4	0	0	0	0	119	0	0	-26	0	22	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0
T5	ALBRA	RIO	RIO	0	0	0	-4	0	32	0	0	-87	0	16	0	0	-6	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0
T10	COPAC	RIO	RIO	0	0	-15	15	0	58	69	0	-43	0	18	0	0	2	0	26	0	0	2	0	0	0	0	0
T11	CATRA	RIO	RIO	0	0	-6	6	0	62	0	0	4	0	19	0	0	1	0	27	0	0	1	0	0	0	0	0
T12	COLOS	RIO	RIO	0	0	-12	12	0	45	0	0	-17	0	19	0	0	0	0	28	0	0	1	0	0	0	0	0
T18	SANMA	RIO	RIO	0	0	-18	18	0	32	0	0	-13	0	20	0	0	1	0	30	0	0	2	0	0	0	0	0
T22	ALEUR	RIO	RIO	0	0	-8	8	0	0	0	0	-32	0	13	0	0	-7	0	31	0	0	1	0	0	0	0	0
T26	COLOS	RIO	RIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	0	0	0	0	31	0	0	0	0	0	0	0	0
T29	CAFIN	RIO	RIO	9	0	0	9	0	6	0	0	6	0	15	0	0	2	0	32	0	0	1	0	0	0	0	0
		SSA		186					210					27					8								
T1	HEICO	SSA	SSA	185	0	0	-1	0	182	0	0	-28	0	19	-3	0	-8	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0
T2	ALEUR	SSA	SSA	0	-31	0	-154	0	217	0	0	35	0	21	0	0	2	0	8	-1	0	1	0	0	0	0	0
T6	SANMI	SSA	SSA	16	0	0	16	0	179	0	0	-38	0	5	0	0	-16	0	10	0	0	2	0	0	0	0	0
T8	CABLA	SSA	SSA	24	0	0	8	0	245	0	0	66	0	7	5	0	-3	0	11	0	0	1	0	0	0	0	0
T18	CAROC	SSA	SSA	49	0	0	25	0	235	0	0	-10	0	0	14	0	-21	0	14	0	0	3	0	0	0	0	0
T21	SANMA	SSA	SSA	61	0	0	12	0	171	0	0	-64	0	0	2	0	-2	0	13	0	0	-1	0	0	0	0	0
T26	CAFIN	SSA	SSA	81	0	0	20	0	181	0	0	10	0	2	0	0	2	0	16	0	0	3	0	0	0	0	0
T29	CATRA	SSA	SSA	53	0	0	-28	0	115	0	0	-66	0	0	0	0	-2	0	18	0	0	2	0	0	0	0	0
T30	CABOT	SSA	SSA	57	0	0	4	0	118	0	0	3	0	1	0	0	1	0	19	0	0	1	0	0	0	0	0
		SSZ		77					554					141					19								
T1	CAROC	SSZ	SSZ	79	0	0	2	0	512	0	-68	26	0	171	0	0	30	0	21	0	0	2	0	0	0	0	0
T2	SANMI	SSZ	SSZ	130	0	0	51	0	425	0	-12	-75	0	132	0	0	-39	0	13	0	0	-8	0	0	0	0	0
T4	ALBRA	SSZ	SSZ	87	0	0	-43	0	213	0	0	-212	0	79	0	0	-53	0	18	1	0	4	0	0	0	0	0
T5	ALEUR	SSZ	SSZ	89	0	0	2	0	156	0	0	-57	0	98	0	0	19	0	0	0	0	-18	0	0	0	0	0
T5	CABLA	SSZ	SSZ	89	0	0	0	0	156	0	0	0	0	84	-14	0	0	0	20	0	0	20	0	0	0	0	0
T5	SANMA	SSZ	SSZ	139	0	0	50	0	156	0	0	0	0	84	0	0	0	0	0	0	0	-20	0	0	0	0	0
T7	CAPED	SSZ	SSZ	187	31	13	4	0	208	0	0	52	0	144	0	0	60	0	4	0	0	4	0	0	0	0	0
T9	COPAC	SSZ	SSZ	152	0	11	-46	0	210	0	0	2	0	173	0	0	29	0	5	0	0	1	0	0	0	0	0
T13	COLOS	SSZ	SSZ	191	16	15	8	0	314	0	0	104	0	293	0	0	120	0	13	0	0	8	0	0	0	0	0
T14	CAROC	SSZ	SSZ	160	0	6	-209	172	126	0	0	-188	0	218	0	0	-75	0									



#### 4.4. Variações do cenário Barco.

A partir do cenário Barco geraram-se variações nos parâmetros para avaliar o comportamento do modelo matemático. As variações são assim feitas:

- Variação 1: Custo de movimentação marítima  $C1_{i,k,j}$  multiplicado por três;
- Variação 2: Custo de movimentação rodoviária  $C2_{i,k,j}$  multiplicado por três;
- Variação 3: Custo de movimentação rodoviária  $C2_{i,k,j}$  dividido por três e;
- Variação 4: Custo de movimentação marítima  $C1_{i,k,j}$  e rodoviário  $C2_{i,k,j}$  multiplicados por três.

Os resultados destes cenários estão apresentados nas Tabelas de 4.15 a 4.18.

Tabela 4.15 – Resultados da Variação 1.

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
W	T1	SSZ	RIO	SANMA	0	79	0	0
W	T2	RIO	SSZ	ALEUR	0	0	0	1
W	T2	QFS	SSZ	ALEUR	0	22	0	0
W	T4	RIO	SSZ	CAPED	13	0	0	0
W	T5	ITJ	SSZ	COPAC	0	8	0	0
W	T6	QPB	SSZ	COPAC	11	0	0	0
W	T8	QPB	RIO	COLOS	0	3	0	0
W	T9	SSZ	RIO	COLOS	0	46	0	0
W	T10	RGR	QFS	ALEUR	16	0	0	0
W	T10	RIO	SSZ	COLOS	15	0	0	0
W	T11	RIO	SSZ	CAROC	6	0	0	0
W	T12	ITJ	QFS	ALEUR	39	0	0	0
W	T12	RIO	SSZ	CABOT	12	0	0	0
Y	T13	VIX		CABOT	0	12	0	0
W	T14	SSZ	QFS	CAPED	0	0	0	1
Y	T14	SSZ		CAROC	219	0	0	0
Y	T14	FOT		COPAC	0	0	3	0
Y	T15	QFS		ALEUR	12	0	0	0
W	T15	QPB	QFS	CAPED	0	0	2	4
W	T16	ITJ	SSZ	ALEUR	0	15	0	0
W	T17	RIO	SSZ	ALEUR	18	0	0	0
W	T17	QFS	SSZ	ALEUR	12	0	0	0
W	T18	QPB	RIO	ALEUR	0	5	0	0
Y	T18	SSA		CAROC	0	0	16	0
W	T20	ITJ	QFS	CATRA	0	0	18	23
W	T21	RIO	SSZ	COLOS	8	0	0	0
Y	T21	SSA		SANMA	0	0	2	0
Y	T22	RIO		ALEUR	0	4	0	0
Y	T27	SSZ		CATRA	125	0	0	0
Y	T30	FOT		COLOS	0	1	9	0

Tabela 4.16 – Resultados da Variação 2.

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
X	T1	SSZ	RIO	CAROC	0	36	0	0
X	T1	SSA	FOT	HEICO	0	1	3	0
X	T1	RGR	SSA	SANMI	0	0	5	0
X	T1	RGR	RIO	SANMI	0	50	0	0
X	T1	RGR	SSZ	SANMI	0	0	0	1
X	T2	QFS	RIO	ALBRA	0	22	0	0
X	T2	SSA	SSZ	ALEUR	31	0	0	0
X	T2	SSA	QFS	ALEUR	0	0	0	9
X	T2	SSZ	RIO	SANMI	0	13	0	0
X	T3	RIO	SSA	CAROC	0	0	2	0
X	T4	RGR	SSZ	COPAC	16	0	0	0
X	T4	RIO	SSZ	SANMA	13	0	0	0
X	T5	SSZ	SSA	CABLA	0	0	14	0
X	T6	VIX	QFS	CAPED	0	0	3	0
X	T7	SSZ	QFS	CAPED	0	0	17	0
X	T7	ITJ	FOT	COPAC	0	0	9	0
X	T7	ITJ	RIO	COPAC	0	8	0	0
X	T7	ITJ	SSZ	COPAC	14	0	0	0
X	T9	QPB	SSZ	CAPED	11	0	0	0
X	T9	SUP	SSZ	CATRA	97	0	0	0
X	T11	RIO	SSZ	CATRA	21	0	0	0
X	T11	RIO	QFS	CATRA	0	0	0	19
W	T12	ITJ	QFS	ALEUR	25	0	0	0
X	T12	RIO	SSZ	COLOS	12	0	0	0
Y	T13	VIX		CABOT	0	12	0	0
X	T13	RGR	RIO	SANMA	0	8	0	0
Y	T14	SSZ		CAROC	190	0	0	0
Y	T15	QFS		ALEUR	42	0	0	0
X	T17	QFS	SSZ	CAPED	12	0	0	0
Y	T27	SSZ		CATRA	22	0	0	0

Tabela 4.17 – Resultados da Variação 3.

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
W	T1	SSZ	RIO	SANMA	0	77	0	0
X	T1	RGR	SSA	SANMI	0	0	3	0
X	T1	RGR	RIO	SANMI	0	2	0	0
X	T2	SSA	SSZ	ALEUR	7	0	0	0
X	T2	SSA	QFS	ALEUR	24	0	0	0
W	T2	RIO	SSZ	ALEUR	0	0	0	1
W	T2	QFS	SSZ	ALEUR	3	22	0	0
W	T2	SSA	VIX	CAPED	0	12	0	0
X	T3	QFS	SSA	CABLA	0	0	13	0
W	T3	RGR	ITJ	COPAC	16	0	0	0
W	T4	RIO	SSZ	CAPED	13	0	0	0
X	T4	RGR	FOT	COPAC	0	1	0	0
W	T5	ITJ	SSZ	COPAC	30	8	0	0
W	T6	QPB	SSZ	COPAC	11	0	0	0
X	T7	ITJ	FOT	COPAC	0	0	9	0
W	T8	SSA	SSZ	CAROC	24	0	0	0
W	T8	QPB	RIO	COLOS	0	3	0	0
W	T9	SSA	VIX	CABOT	25	0	0	0
X	T9	SUP	QFS	CATRA	97	0	0	0
W	T9	SSZ	RIO	COLOS	0	48	0	0
W	T10	VIX	SSZ	CAROC	25	0	0	0
W	T10	ITJ	SSZ	CAROC	25	0	0	0
X	T10	RGR	SSA	CAROC	0	0	2	0
W	T10	RIO	SSZ	COLOS	15	0	0	0
W	T10	SUP	FOT	COPAC	0	0	3	0
W	T11	RIO	SSZ	CAROC	6	0	0	0
W	T11	QFS	SSZ	CAROC	105	0	0	0
W	T12	RIO	SSZ	CABOT	12	0	0	0
W	T14	SSZ	QFS	CAPED	0	0	0	1
Y	T15	QFS		ALEUR	175	0	0	0
W	T15	QPB	QFS	CAPED	0	0	24	4
W	T16	ITJ	SSZ	ALEUR	0	15	0	0
W	T17	RIO	SSZ	ALEUR	18	0	0	0
W	T17	QFS	SSZ	ALEUR	78	0	0	0
W	T18	QPB	RIO	ALEUR	0	7	0	0
W	T20	ITJ	QFS	CATRA	0	0	9	23
W	T21	SSA	SSZ	CATRA	4	0	0	0
W	T21	RIO	SSZ	COLOS	8	0	0	0
W	T24	QFS	SSZ	CATRA	55	0	0	0
W	T27	SSZ	QPB	CAPOL	0	2	0	0

Tabela 4.18 – Resultados da Variação 4.

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
Y	T5	RIO		ALBRA	0	36	0	0
Y	T5	SSZ		ALEUR	0	0	0	1
Y	T10	RIO		COPAC	0	43	0	0
W	T12	ITJ	QFS	ALEUR	39	0	0	0
Y	T12	RIO		COLOS	0	13	0	0
Y	T13	VIX		CABOT	0	12	0	0
Y	T14	SSZ		CAROC	264	0	0	0
Y	T14	FOT		COPAC	0	0	3	0
Y	T15	QFS		ALEUR	28	0	0	0
W	T15	QPB	QFS	CAPED	0	0	2	4
Y	T18	SSA		CAROC	0	0	16	0
Y	T18	RIO		SANMA	0	13	0	0
Y	T20	SSZ		ALEUR	3	0	0	0
W	T20	ITJ	QFS	CATRA	0	0	18	23
Y	T21	SSA		SANMA	0	0	2	0
Y	T22	RIO		ALEUR	0	32	0	0
Y	T24	SSZ		COLOS	12	0	0	0
Y	T27	SSZ		CATRA	160	0	0	0
Y	T29	QFS		CAPOL	0	0	0	1
Y	T30	FOT		COLOS	0	1	9	0

#### 4.5. Análise dos resultados do cenário Barco e variações

Para o início das análises dos resultados obtidos no cenário Barco e em suas Variações, os resultados serão avaliados de forma mais agregada. A Tabela 4.19 mostra o número total de reposicionamentos de contêineres vazios por navios, o número total de contêineres alugados para o cenário Barco e suas variantes.

- Na Variação 1 (multiplicar o custo marítimo por três), o impacto na mudança deste parâmetro altera significativamente as decisões; nas mudanças em todas as variáveis, com destaque para a ausência de movimentação por via marítima; a variação da função objetivo em relação ao cenário BARCO mostra, então, o crescimento dos custos quando se suprime o transporte marítimo para o reposicionamento de contêineres vazios, figura 4.1
- Na Variação 2 (multiplicar o custo rodoviário por três) nota-se a mudança significativa das decisões: as movimentações realizadas por caminhão são muito pequenas, as movimentações por navio cresceram significativamente e o *leasing* teve um aumento pouco significativo.

- A Variação 3 (dividir o custo rodoviário por três) novamente mostra o impacto da alteração dos custos de movimentação rodoviária; as modificações novamente foram significativas: aumento do transporte rodoviário, diminuição da movimentação marítima (diferente da Variação 2, pois neste caso ainda há o uso de movimentação marítima) e diminuição do *leasing*. Este é o caso com o menor valor da função objetivo.
- A Variação 4 (multiplicação dos custos rodoviário e marítimo por três) mostra uma situação singular: não há movimentação marítima, pouco uso da movimentação rodoviária e aumento significativo do *leasing*; a função de mérito tem o maior valor entre os casos avaliados.

**Tabela 4.19 – Resultados agregados do cenário Barco de suas Variações.**

Caso	Variáveis	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
Barco	X	144	70	33	2
	Y	228	0	0	0
	W	134	80	20	27
Var1	X	0	0	0	0
	Y	356	17	30	0
	W	150	178	20	29
Var2	X	227	138	53	29
	Y	254	12	0	0
	W	25	0	0	0
Var3	X	128	3	27	0
	Y	175	0	0	0
	W	473	194	36	29
Var4	X	0	0	0	0
	Y	467	150	30	2
	W	39	0	20	27

A Figura 4.1, mostra o resultado da função objetivo de cada variação para que possam ser comparados.

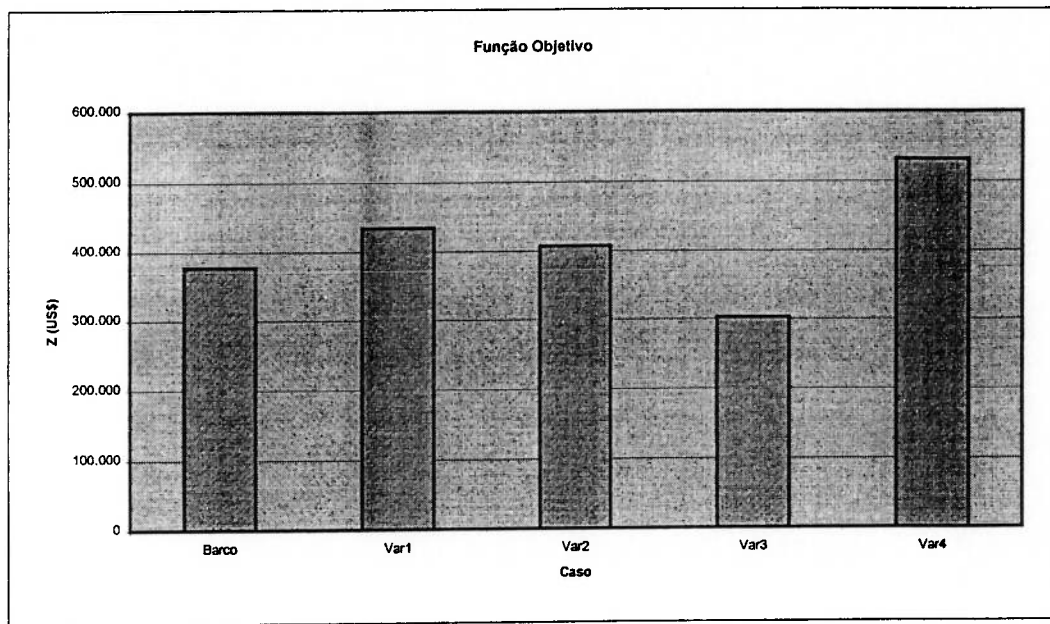


Figura 4.1 – Resultados da função objetivo para cada variação.

A Figura 4.2 mostra os resultados comparativos das variáveis de decisão do modelo. Nesta figura é possível visualizar mais claramente as mudanças proposta para cada Variação. A figura foi construída a partir da Tabela 4.19, aumentando o nível de agregação, ao não diferenciar mais o tipo de contêiner vazio reposicionado, por navios de caminhões, ou alugado.

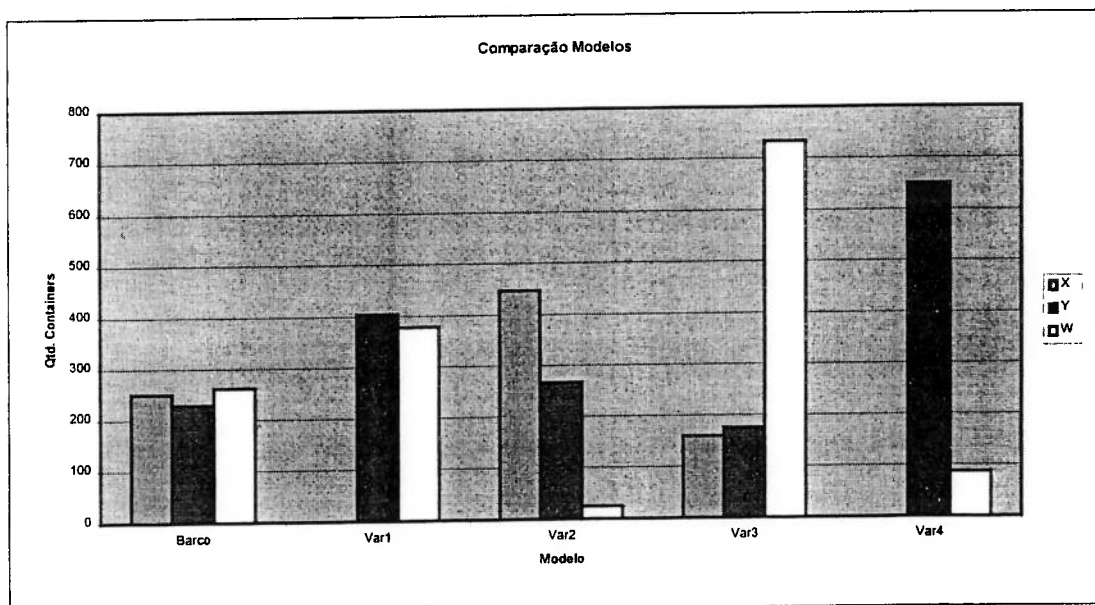


Figura 4.2 – Gráfico comparativo dos resultados.

Para avaliar com mais detalhe a consistência do modelo, será mostrada a seguir uma análise comparativa, de forma mais desagregada, entre resultados obtidos para o cenário Barco e para a variação 1.

A Tabela 4.20 mostra, para cada tipo de equipamento, os reposicionamentos por navios por caminhão e a quantidade de unidades alugadas para cada um dos cenários. A partir dos valores desta tabela, cabem os seguintes comentários:

No cenário Barco, há o transporte de 144 contêineres vazios do tipo IN-20, por navio, para o porto de Santos, 31 vendas de Salvador, 16 de Rio Grande e 97 de Suape (conforme pode ser observado na tabela 4.20. Na variação 1, com a eliminação do reposicionamento por navios, em virtude do aumento do custo do transporte marítimo, toda essa demanda no porto do Santos é suprida por meio do *leasing*. No dia T14, o número de unidades alugadas passa de 172 para 219 (aumento de 47) e, no dia T27, de 28 para 125 (aumento de 97). O custo unitário de *leasing* de uma unidade de contêiner tipo IN-20 em é US\$600.00 ao passo que o custo unitário do transporte por caminhão de Salvador para Santos é US\$1,600.00, de Suape para Santos US\$ 3,000.00 e de Rio Grande para Santos, US\$900.00. (Por sua vez, os custos unitários do transporte marítimo dos mesmos portos acima mencionados para Santos são iguais a US\$1,074.00, US\$1,464.00 e US\$993.00 respectivamente; também maiores que o custo unitário de *leasing*);

Tabela 4.20 – Análise comparativa de número de operações para atendimento da demanda de contêineres vazios Cenário Barco x Variação 1.

OPERAÇÃO	Tipo de equipamento				
	CENÁRIO	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
Reposicionamento por navio	Barco	144	70	33	2
	Variação 1	0	0	0	0
Reposicionamento por caminhão	Barco	134	80	20	27
	Variação 1	150	178	20	29
Aluguel	Barco	228	0	0	0
	Variação 1	356	17	30	0
Conjunto das operações	Barco	506	150	53	20
	Variação 1	506	195	50	29

a) Quanto aos equipamentos tipo IN-20

- não houve mudança no número total de operações;
- desapareceu o reposicionamento por navio, substituído essencialmente pelo aluguel de novas unidades (que passou de 228 para 356) e em pequena escala pelo reposicionamento por caminhões (que passou de 134 a 150);
- o aumento de 16 unidades no reposicionamento por caminhão corresponde, como ser visto na tabela 4.21 ao transporte de Rio Grande (RGR) para São Francisco do Sul (QFS) cujo custo unitário (US\$500.00, conforme tabela 4.9) é igual ao custo local de *leasing* (US\$500,00, conforme tabela 4.10).
- o aumento total do número de unidades do tipo IN-20 alugadas, no cenário variação 1, é igual a 128, inferior ao aumento ocorrido no porto de Santos (144), já que das 28 unidades alugadas em São Francisco do Sul, no cenário Barco, também foram substituídas pelo transporte por caminhão, a partir de Rio Grande, como relatado acima.

b) Quanto aos equipamentos tipo DC-20

- ao mesmo tempo que o reposicionamento por navios (que, no cenário Barco, totalizava 70 unidades) foi eliminado, houve um aumento no número total de operações, que passaram de 150 para 195;
- com o aumento do custo do transporte marítimo, o *leasing* passou a contribuir ainda que de forma secundária, (17 unidades), no atendimento da demanda de contêineres vazios. Embora o transporte marítimo, no cenário Barco, fosse utilizado essencialmente para abastecer o porto do Rio de Janeiro (69 das 70 unidades reposicionadas por navio), neste porto somente foram alugadas 4 das 17 unidades acima mencionadas. As restantes 65 unidades foram supridas por caminhão (conforme pode ser visto na tabela 4.21) sendo 57 a partir de Santos, a um custo unitário igual a US\$ 350.00 e a partir de Paranaguá, a um custo unitário de US\$ 600.00, ambos os custos menores que o adotado para o *leasing* de um equipamento DC-20 no porto do Rio de Janeiro, US\$ 750.00



- o aumento do número total de operações pode ser explicado por uma inconsistência na base de dados correspondentes ao transporte rodoviário (ver tabela 4.9). Por exemplo no cenário Barco, o navio Aliança Brasil transportava 22 contêineres vazios do tipo DC-20 de São Francisco do Sul para o Rio de Janeiro. No cenário Variação 1, há no dia T2, um transporte rodoviário de 22 contêineres vazios tipo DC-20 de São Francisco do Sul para Santos. Conforme se observa na tabela 4.13 (correspondente ao cenário Barco, nesta altura do horizonte de planejamento, o porto de Santos tem grande disponibilidade de contêineres vazios do tipo DC-20; somente mais adiante, no dia T20, o estoque deste tipo de contêineres chega a zero. No dia T9, 46 contêineres vazios do tipo DC-20 são transportados de Santos para o Rio de Janeiro. Dado que o transporte de 22 contêineres vazios DC-20 de São Francisco do Sul para Santos não ocorreu para atender uma demanda pontual, a questão que se coloca é: Não seria melhor transportar para o Rio de Janeiro, por caminhão, 22 contêineres vazios de São Francisco do Sul e 24 contêineres a partir de Santos? A resposta é negativa visto que a soma dos custos unitários de transporte rodoviário entre São Francisco do Sul e Santos (US\$280.00) e entre Santos e Rio de Janeiro (US\$350.00) é menor que os custos de transporte rodoviário entre S

c) Quanto ao equipamento DC-40

- O reposicionamento de contêineres vazios do tipo DC-40 por navio é totalmente substituído pelo *leasing* de novos contêineres havendo uma pequena redução no número total de operações (de 53 para 50).
- Tanto no cenário Barco quanto no cenário Variação 1, o transporte rodoviário é utilizado apenas para abastecer o porto de São Francisco do Sul. No segundo caso, aumenta a participação de Itajaí (que passa a dispor de mais 9 contêineres vazios do tipo DC-40, anteriormente embarcados no navio Copacabana (COPAC) para Fortaleza) em detrimento de Paranaguá (QPB) em virtude do menor custo unitário de transporte (US\$180.00 contra US\$250.00)

- O transporte marítimo era utilizado no cenário Barco para abastecer os portos Salvador (21 unidades) e Fortaleza, (12 unidades) sendo que Salvador contribuía com 3 unidades no início do período do planejamento para atender a demanda de contêineres vazios em Fortaleza. Com o aumento do custo do transporte marítimo e a supressão do reposicionamento por navio, o número total de contêineres alugados em Fortaleza corresponde ao total anteriormente transportado por navio (12 unidades) enquanto em Salvador o *leasing* atende ao balanço líquido do transporte marítimo (18 unidades). Isto explica a redução no número total de operações.

d) Quanto aos equipamentos HK-40

- os dois únicos reposicionamentos por navio no cenário Barco deixam de ocorrer no cenário Variação 1, em que também não há aluguel de contêineres vazios. Não há mudança no número total de operações
- o único contêiner vazio necessário para atender a demanda do porto de Santos que, no cenário Barco, vinha de Rio Grande por navio, a um custo de US\$422.00 passa a ser transportado por caminhão a partir do Rio de Janeiro, a um custo de US\$600.00.

O outro contêiner vazio reposicionado, no cenário Barco, por navio ia de Salvador para São Francisco do Sul, à um custo de US\$306.00; no novo cenário este contêiner é suprido por rodovia a partir de Santos a um custo de US\$520.00.

A Tabela 4.21 é composta por dois quadros, um ao lado do outro, o primeiro, do lado esquerdo, refere-se ao cenário Barco e o do lado direito a Variação 1 (custo marítimo multiplicado por 3). São apresentadas em ambos somente as diferenças de resultados de suas variáveis de decisão.

Uma análise comparativa do mesmo tipo poderia ser feita para: cenário Barco x Variação 2, cenário Barco x variação 3, e cenário Barco x variação 4, mas para evitar a repetição de argumentações somente serão mostradas as tabelas análogas a Tabela 4.21.

**Tabela 4.21– Cenário Barco X Variação 1.**

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40	Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
X	T1	SSA	FOT	HEICO	0	0	3	0									
W	T1	SSZ	RIO	SANMA	0	68	0	0	W	T1	SSZ	RIO	SANMA	0	79	0	0
X	T1	RGR	SSA	SANMI	0	0	5	0									
X	T1	RGR	RIO	SANMI	0	47	0	0									
X	T1	RGR	SSZ	SANMI	0	0	0	1									
X	T2	QFS	RIO	ALBRA	0	22	0	0									
X	T2	SSA	SSZ	ALEUR	31	0	0	0									
X	T2	SSA	QFS	ALEUR	0	0	0	1									
W	T2	SSZ	VIX	CAPED	0	12	0	0	W	T2	RIO	SSZ	ALEUR	0	0	0	1
									W	T2	QFS	SSZ	ALEUR	0	22	0	0
X	T3	RIO	SSA	CAROC	0	0	2	0									
X	T4	RGR	FOT	COPAC	0	1	0	0									
X	T4	RGR	SSZ	COPAC	16	0	0	0									
X	T5	SSZ	SSA	CABLA	0	0	14	0									
									W	T5	ITJ	SSZ	COPAC	0	8	0	0
X	T7	ITJ	FOT	COPAC	0	0	9	0									
									W	T8	QPB	RIO	COLOS	0	3	0	0
X	T9	SUP	SSZ	CATRA	97	0	0	0									
									W	T9	SSZ	RIO	COLOS	0	46	0	0
									W	T10	RGR	QFS	ALEUR	16	0	0	0
									Y	T13	VIX		CABOT	0	12	0	0
									W	T14	SSZ	QFS	CAPED	0	0	0	1
Y	T14	SSZ		CAROC	172	0	0	0	Y	T14	SSZ		CAROC	219	0	0	0
									Y	T14	FOT		COPAC	0	0	3	0
Y	T15	QFS		ALEUR	28	0	0	0	Y	T15	QFS		ALEUR	12	0	0	0
W	T15	QPB	QFS	CAPED	0	0	11		W	T15	QPB	QFS	CAPED	0	0	2	
									W	T16	ITJ	SSZ	ALEUR	0	15	0	0
									W	T18	QPB	RIO	ALEUR	0	5	0	0
									Y	T18	SSA		CAROC	0	0	16	0
W	T20	ITJ	QFS	CATRA	0	0	9		W	T20	ITJ	QFS	CATRA	0	0	18	
									Y	T21	SSA		SANMA	0	0	2	0
									Y	T22	RIO		ALEUR	0	4	0	0
Y	T27	SSZ		CATRA	28	0	0	0	Y	T27	SSZ		CATRA	125	0	0	0
									Y	T30	FOT		COLOS	0	1	9	0

A Tabela 4.22 mostra as diferenças entre o cenário Barco e a Variação 2: a quantidade de vazios movimentada na variação 2 permaneceu inalterada em relação ao cenário Barco, porém, devido ao custo rodoviário estar triplicado houve uma queda de 91% na movimentação por caminhão enquanto o transporte por navio e o leasing aumentaram em 80% e 17% respectivamente.

**Tabela 4.22 – Cenário Barco X Variação 2.**

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40	Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
X	T1	SSA	FOT	HEICO	0	0		0	X	T1	SSZ	RIO	CAROC	0	36	0	0
X	T1	RGR	RIO	SANMI	0	47	0	0	X	T1	RGR	RIO	SANMI	0	50	0	0
									X	T1	SSA	FOT	HEICO	0	1		0
W	T1	SSZ	RIO	SANMA	0	68	0	0									
X	T2	SSA	QFS	ALEUR	0	0	0	1	X	T2	SSA	QFS	ALEUR	0	0	0	9
									X	T2	SSZ	RIO	SANMI	0	13	0	0
W	T2	SSZ	VIX	CAPED	0	12	0	0									
X	T4	RGR	FOT	COPAC	0	1	0	0	X	T4	RIO	SSZ	SANMA	13	0	0	0
W	T4	RIO	SSZ	CAPED	13	0	0	0									
									X	T6	VIX	QFS	CAPED	0	0	3	0
W	T6	QPB	SSZ	COPAC	11	0	0	0									
									X	T7	SSZ	QFS	CAPED	0	0	17	0
									X	T7	ITJ	RIO	COPAC	0	8	0	0
									X	T7	ITJ	SSZ	COPAC	14	0	0	0
									X	T9	QPB	SSZ	CAPED	11	0	0	0
W	T10	RIO	SSZ	COLOS	15	0	0	0									
									X	T11	RIO	SSZ	CATRA	21	0	0	0
									X	T11	RIO	QFS	CATRA	0	0	0	19
W	T11	RIO	SSZ	CAROC	6	0	0	0									
									X	T12	RIO	SSZ	COLOS	12	0	0	0
W	T12	ITJ	QFS	ALEUR	39	0	0	0	W	T12	ITJ	QFS	ALEUR	25	0	0	0
W	T12	RIO	SSZ	CABOT	12	0	0	0									
									X	T13	RGR	RIO	SANMA	0	8	0	0
									Y	T13	VIX		CABOT	0	12	0	0
Y	T14	SSZ		CAROC	172	0	0	0	Y	T14	SSZ		CAROC	190	0	0	0
Y	T15	QFS		ALEUR	28	0	0	0	Y	T15	QFS		ALEUR	42	0	0	0
W	T15	QPB	QFS	CAPED	0	0	11	4									
									X	T17	QFS	SSZ	CAPED	12	0	0	0
W	T17	RIO	SSZ	ALEUR	18	0	0	0									
W	T17	QFS	SSZ	ALEUR	12	0	0	0									
W	T20	ITJ	QFS	CATRA	0	0	9	23									
W	T21	RIO	SSZ	COLOS	8	0	0	0									
Y	T27	SSZ		CATRA	28	0	0	0	Y	T27	SSZ		CATRA	22	0	0	0



As diferenças entre o cenário Barco e a Variação 4 podem ser avaliadas na Tabela 4.24: a movimentação total de vazios da Variação 4 teve uma queda de 0,4%. Devido ao aumento triplicado dos custos dos modais marítimo e rodoviário era esperado um aumento representativo do leasing, como ocorreu.

No caso 4 foram nulas as movimentações feitas por navio. O transporte rodoviário teve uma queda de 67% e o leasing aumentou 185%.

**Tabela 4.24 – Cenário Barco X Variação 4.**

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40	Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40	
X	T1	SSA	FOT	HEICO	0	0	3	0										
W	T1	SSZ	RIO	SANMA	0	68	0	0										
X	T1	RGR	SSA	SANMI	0	0	5	0										
X	T1	RGR	RIO	SANMI	0	47	0	0										
X	T1	RGR	SSZ	SANMI	0	0	0	1										
X	T2	QFS	RIO	ALBRA	0	22	0	0										
X	T2	SSA	SSZ	ALEUR	31	0	0	0										
X	T2	SSA	QFS	ALEUR	0	0	0	1										
W	T2	SSZ	VIX	CAPED	0	12	0	0										
X	T3	RIO	SSA	CAROC	0	0	2	0										
W	T4	RIO	SSZ	CAPED	13	0	0	0										
X	T4	RGR	FOT	COPAC	0	1	0	0										
X	T4	RGR	SSZ	COPAC	16	0	0	0										
X	T5	SSZ	SSA	CABLA	0	0	14	0										
									Y	T5	RIO		ALBRA	0	36	0	0	
									Y	T5	SSZ		ALEUR	0	0	0	1	
W	T6	QPB	SSZ	COPAC	11	0	0	0										
W	T6	QPB	SSZ	COPAC	11	0	0	0										
X	T7	ITJ	FOT	COPAC	0	0	9	0										
X	T9	SUP	SSZ	CATRA	97	0	0	0										
W	T10	RIO	SSZ	COLOS	15	0	0	0										
									Y	T10	RIO		COPAC	0	43	0	0	
W	T11	RIO	SSZ	CAROC	6	0	0	0										
W	T12	RIO	SSZ	CABOT	12	0	0	0		Y	T12	RIO		COLOS	0	13	0	0
										Y	T13	VIX		CABOT	0	12	0	0
										Y	T14	SSZ		CAROC	254	0	0	0
										Y	T14	FOT		COPAC	0	0	3	0
Y	T14	SSZ		CAROC	172	0	0	0										
W	T15	QPB	QFS	CAPED	0	0	11	4	W	T15	QPB	QFS	CAPED	0	0	2	4	
W	T17	RIO	SSZ	ALEUR	18	0	0	0										
W	T17	QFS	SSZ	ALEUR	12	0	0	0										
									Y	T18	SSA		CAROC	0	0	16	0	
									Y	T18	RIO		SANMA	0	13	0	0	
									Y	T20	SSZ		ALEUR	3	0	0	0	
W	T20	ITJ	QFS	CATRA	0	0	9	23	W	T20	ITJ	QFS	CATRA	0	0	18	23	
W	T21	RIO	SSZ	COLOS	8	0	0	0	Y	T21	SSA		SANMA	0	0	2	0	
									Y	T22	RIO		ALEUR	0	32	0	0	
									Y	T24	SSZ		COLOS	12	0	0	0	
									Y	T27	SSZ		CATRA	160	0	0	0	
Y	T27	SSZ		CATRA	28	0	0	0	Y	T29	QFS		CAPOL	0	0	0	1	
									Y	T30	FOT		COLOS	0	1	9	0	

#### 4.6. Cenário atualizado

Neste cenário os dados de entrada para o modelo matemático foram atualizados junto à HSAC.

O período de tempo adotado permanece de um mês, o experimento é de vinte e oito dias, iniciado no dia com índice  $T4$  e terminado no dia com índice  $T31$ . Como o modelo requer previsões para várias semanas (4), as previsões para as últimas semanas de horizonte de planejamento estão sujeitas a um nível de incertezas. Por isto, o modelo deve ser processado sucessivamente, atualizando o horizonte de planejamento, eliminando, por exemplo, semana vencida e incorporando dados mais precisos referentes a semanas que agora estão mais próximas.

Os navios que constam na programação da empresa, os portos e os tipos de contêineres mais usados foram apresentados no começo do trabalho na lista de abreviações e siglas.

Na Tabela 4.25, a seguir, é mostrada a programação das chegadas dos navios nos portos, onde consta no enunciado de cada coluna o porto, o dia de passagem do navio e o nome do navio.

A Tabela 4.26 apresenta os schedules dos navios, onde consta primeiramente o nome do navio, na linha superior o dia de passagem pelos portos e o porto correspondente na linha abaixo.

A Tabela 4.27 mostra o estoque inicial de contêineres de cada tipo em cada porto.

A Tabela 4.28 mostra o balanço de contêineres vazios nos portos, correspondente ao parâmetro  $O_{t,n,i,k}$ .

A Tabela 4.29 mostra os valores adotados para o custo de transporte marítimo de um contêiner do tipo  $K$  do porto  $I$  ao porto  $J$ ,  $C1(I,J,K)$ .

A Tabela 4.30 mostra os valores adotados para o custo de transporte por caminhão de um contêiner do tipo  $K$ , entre o porto  $I$  e o porto  $J$ ,  $C2(I,J,K)$ . Convém que estes custos estão em R\$ e são convertidos em US\$ no modelo para manter se a mesma moeda.

Tabela 4.25 – Programação das chegadas dos navios nos portos.

SSZ		SUP		RIO		PNG		SFS		RIG	
DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO
04	CASNI	05	CAFIN	02	CASNI	10	MAVAL	09	LEBL	07	LEBL
09	MAVAL	08	CASMA	11	CASMA	15	SEEXP	11	MAVAL	09	CASNI
09	CAFIN	12	ALBRA	11	SEEXP	16	SEV	14	FMAN	14	FMAC
11	FSAN	14	LEBL	14	SEV	20	PEARG	15	CAFIN	18	FMAN
12	FMAN	16	FSAN	14	CASNI	21	MAVAN	16	FMAC	18	CASMA
12	CASNI	17	CASNI	19	MAVAN	23	LBB	22	ALBRA	25	CASRA
12	CASMA	17	CASRA	21	LBB	27	ALHAM	23	SEV	29	LBB
13	SEEXP	19	ALEUR	22	CASMA	28	CSHAM	23	PEARG	31	CASAN
14	FLAM	20	FLAM	24	CASAN	30	PRN	25	CSHAM		
14	MAVAL	21	FMAC	25	ALHAM	31	MANEW	29	ALEUR		
15	SEV	21	CASAN	28	PRN						
15	ALBRA	24	FMAN	29	CASRA						
16	CAFIN	25	CAROC	31	CASAU						
17	SEEXP	28	CASAU								
18	PEARG	29	SEV								
20	FMAN	31	FBEL								
20	CASRA										
20	MAVAN										
21	CASMA										
21	CSHAM										
22	LBB										
22	ALEUR										
23	ALBRA										
24	FBEL										
24	SEV										
25	LEBL										
25	CASAN										
25	MAVAN										
26	ALHAM										
27	PEARG										
28	CASRA										
29	PRN										
29	CSHAM										
29	CAROC										
30	MANEW										
31	LBB										
31	ALEUR										
31	ALHAM										

SSA		SEP		FOR		PEC		ITJ	
DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO
17	MAVAL	12	FMAN	06	FMAN	23	SEEXP	16	SEEXP
19	FLAM	13	FSAN	16	LEBL	25	CASMA	24	MAVAN
20	SEEXP	16	FLAM	22	FLAM	31	MAVAN	29	ALHAM
21	LEBL	24	LEBL	24	FMAC				
28	SEV	25	FBEL	26	FMAN				
28	MAVAN	31	INTRE						
29	FMAC								
30	PEARG								

MCZ		MAO		SLZ		VIX	
DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO	DIA	NAVIO
08	FMAN	24	FSAN	29	FMAN	30	INTRE
27	FMAC	28	FLAM				



Tabela 4.26 – Schedule dos navios.

FMAN	6	8	12	12	14	18	20	24	26
	FOR	MCZ	SEP	SSZ	SFS	RIG	SSZ	SUP	FOR
LEBL	7	9	14	16	21	24	25		
	RIG	SFS	SUP	FOR	SSA	SEP	SSZ		
SEV	14	15	16	23	24	28	29		
	RIO	SSZ	PNG	SFS	SSZ	SSA	SUP		
CASMA	8	11	12	18	21	22	25		
	SUP	RIO	SSZ	RIG	SSZ	RIO	PEC		
SEAXP	11	13	15	16	17	20	23		
	RIO	SSZ	PNG	ITJ	SSZ	SSA	PEC		
MAVAN	19	20	21	24	25	28	31		
	RIO	SSZ	PNG	ITJ	SSZ	SSA	PEC		
FMAC	14	16	21	24	27	29			
	RDG	SUP	SUP	FOR	MCZ	SSA			
FLAM	14	16	19	20	22	28			
	SSZ	SEP	SSA	SUP	FOR	MAO			
CASNI	2	4	9	12	14	17			
	RIO	SSZ	RIG	SSZ	RIO	SUP			
LBB	21	22	23	29	31				
	RIO	SSZ	PNG	RIG	SSZ				
CASRA	17	20	25	28	29				
	SUP	SSZ	RIG	SSZ	RIO				
MAVAL	9	10	11	14	17				
	SSZ	PNG	SFS	SSZ	SSA				
PEARG	18	20	23	27	30				
	SSZ	PNG	SFS	SSZ	SSA				
ALHAM	25	26	27	29	31				
	RIO	SSZ	PNG	ITJ	SSZ				
FSAN	11	13	16	24					
	SSZ	SEP	SUP	MAO					
CASAN	21	24	25	31					
	SUP	RIO	SSZ	RIG					
CSHAM	21	25	28	29					
	SSZ	SFS	PNG	SSZ					
CAFIN	5	9	15	16					
	SUP	SSZ	SFS	SSZ					
ALBRA	12	15	22	23					
	SUP	SSZ	SFS	SSZ					
ALEUR	19	22	29	31					
	SUP	SSZ	SFS	SSZ					
FBEL	24	25	31						
	SSZ	SEP	SUP						
PRN	28	29	30						
	RIO	SSZ	PNG						
CASAU	28	31							
	SUP	RIO							
MANEW	30	31							
	SSZ	PNG							
CAROC	25	29							
	SUP	SSZ							
INTRE	30	31							
	VIX	SEP							

Tabela 4.27 – Estoque inicial.

	DC-20	RF-20	DC-40	HC-40	RH-40
FOT	86	0	58	46	0
ITJ	21	3	156	115	6
MAO	413	0	213	168	2
MCZ	0	0	0	0	0
PEC	34	3	24	25	95
PNG	33	1	9	66	5
RIG	191	26	348	225	24
RIO	186	6	72	11	37
SEP	12	0	25	4	0
SFS	234	1	157	82	355
SLZ	34	0	4	2	0
SSA	138	18	175	82	122
SSZ	236	53	202	308	250
SUP	65	8	207	126	71
VIX	9	0	1	0	0



Tabela 4.29 – Custo unitário (US\$) do transporte marítimo.

	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ	SUP	VIX
FOT.DC20	0	161	186	155	164	191	191	216	241	188	153	199	193	191	185
ITJ.DC20	161	0	176	145	153	181	181	205	230	178	143	189	183	181	175
MAO.DC20	186	176	0	170	179	206	206	230	256	203	168	214	208	206	200
MCZ.DC20	155	145	170	0	147	174	175	199	224	172	137	183	177	175	169
PEC.DC20	164	153	179	147	0	183	183	208	233	181	145	191	186	183	177
PNG.DC20	191	181	206	174	183	0	211	235	260	208	173	219	213	211	205
RIG.DC20	191	181	206	175	183	211	0	235	260	208	173	219	213	211	205
RIO.DC20	216	205	230	199	208	235	235	0	285	232	197	243	237	235	229
SEP.DC20	241	230	256	224	233	260	260	285	0	258	222	268	263	260	254
SFS.DC20	188	178	203	172	181	208	208	232	258	0	170	216	210	208	202
SLZ.DC20	153	143	168	137	145	173	173	197	222	170	0	181	175	173	167
SSA.DC20	199	189	214	183	191	219	219	243	268	216	181	0	221	219	213
SSZ.DC20	193	183	208	177	186	213	213	237	263	210	175	221	0	213	207
SUP.DC20	191	181	206	175	183	211	211	235	260	208	173	219	213	0	205
VIX.DC20	185	175	200	169	177	205	205	229	254	202	167	213	207	205	0
FOT.RF20	0	161	186	155	164	191	191	216	241	188	153	199	193	191	185
ITJ.RF20	161	0	176	145	153	181	181	205	230	178	143	189	183	181	175
MAO.RF20	186	176	0	170	179	206	206	230	256	203	168	214	208	206	200
MCZ.RF20	155	145	170	0	147	174	175	199	224	172	137	183	177	175	169
PEC.RF20	164	153	179	147	0	183	183	208	233	181	145	191	186	183	177
PNG.RF20	191	181	206	174	183	0	211	235	260	208	173	219	213	211	205
RIG.RF20	191	181	206	175	183	211	0	235	260	208	173	219	213	211	205
RIO.RF20	216	205	230	199	208	235	235	0	285	232	197	243	237	235	229
SEP.RF20	241	230	256	224	233	260	260	285	0	258	222	268	263	260	254
SFS.RF20	188	178	203	172	181	208	208	232	258	0	170	216	210	208	202
SLZ.RF20	153	143	168	137	145	173	173	197	222	170	0	181	175	173	167
SSA.RF20	199	189	214	183	191	219	219	243	268	216	181	0	221	219	213
SSZ.RF20	193	183	208	177	186	213	213	237	263	210	175	221	0	213	207
SUP.RF20	191	181	206	175	183	211	211	235	260	208	173	219	213	0	205
VIX.RF20	185	175	200	169	177	205	205	229	254	202	167	213	207	205	0
FOT.DC40	0	171	225	165	174	224	222	255	251	218	163	232	230	213	225
ITJ.DC40	171	0	204	145	153	204	201	235	230	197	143	212	210	193	205
MAO.DC40	225	204	0	198	207	257	255	288	284	251	196	265	263	246	258
MCZ.DC40	165	145	198	0	147	197	195	228	224	191	137	205	203	187	199
PEC.DC40	174	153	207	147	0	206	204	237	233	200	145	214	212	195	207
PNG.DC40	224	204	257	197	206	0	254	288	283	250	196	265	262	246	258
RIG.DC40	222	201	255	195	204	254	0	285	281	248	193	262	260	243	255
RIO.DC40	255	235	288	228	237	288	285	0	314	281	227	295	293	277	289
SEP.DC40	251	230	284	224	233	283	281	314	0	277	222	291	289	272	284
SFS.DC40	218	197	251	191	200	250	248	281	277	0	189	258	256	239	251
SLZ.DC40	163	143	196	137	145	196	193	227	222	189	0	204	202	185	197
SSA.DC40	232	212	265	205	214	265	262	295	291	258	204	0	270	254	266
SSZ.DC40	230	210	263	203	212	262	260	293	289	256	202	270	0	252	264
SUP.DC40	213	193	246	187	195	246	243	277	272	239	185	254	252	0	247
VIX.DC40	225	205	258	199	207	258	255	289	284	251	197	266	264	247	0

Continua na página seguinte.

Continuação Tabela 4.29 – Custo unitário (US\$) do transporte marítimo.

	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ	SUP	VIX
FOT.HC40	0	171	225	165	174	224	222	255	251	218	163	232	230	213	225
ITJ.HC40	171	0	204	145	153	204	201	235	230	197	143	212	210	193	205
MAO.HC40	225	204	0	198	207	257	255	288	284	251	196	265	263	246	258
MCZ.HC40	165	145	198	0	147	197	195	228	224	191	137	205	203	187	199
PEC.HC40	174	153	207	147	0	206	204	237	233	200	145	214	212	195	207
PNG.HC40	224	204	257	197	206	0	254	288	283	250	196	265	262	246	258
RIG.HC40	222	201	255	195	204	254	0	285	281	248	193	262	260	243	255
RIO.HC40	255	235	288	228	237	288	285	0	314	281	227	295	293	277	289
SEP.HC40	251	230	284	224	233	283	281	314	0	277	222	291	289	272	284
SFS.HC40	218	197	251	191	200	250	248	281	277	0	189	258	256	239	251
SLZ.HC40	163	143	196	137	145	196	193	227	222	189	0	204	202	185	197
SSA.HC40	232	212	265	205	214	265	262	295	291	258	204	0	270	254	266
SSZ.HC40	230	210	263	203	212	262	260	293	289	256	202	270	0	252	264
SUP.HC40	213	193	246	187	195	246	243	277	272	239	185	254	252	0	247
VIX.HC40	225	205	258	199	207	258	255	289	284	251	197	266	264	247	0
FOT.RH40	0	171	225	165	174	224	222	255	251	218	163	232	230	213	225
ITJ.RH40	171	0	204	145	153	204	201	235	230	197	143	212	210	193	205
MAO.RH40	225	204	0	198	207	257	255	288	284	251	196	265	263	246	258
MCZ.RH40	165	145	198	0	147	197	195	228	224	191	137	205	203	187	199
PEC.RH40	174	153	207	147	0	206	204	237	233	200	145	214	212	195	207
PNG.RH40	224	204	257	197	206	0	254	288	283	250	196	265	262	246	258
RIG.RH40	222	201	255	195	204	254	0	285	281	248	193	262	260	243	255
RIO.RH40	255	235	288	228	237	288	285	0	314	281	227	295	293	277	289
SEP.RH40	251	230	284	224	233	283	281	314	0	277	222	291	289	272	284
SFS.RH40	218	197	251	191	200	250	248	281	277	0	189	258	256	239	251
SLZ.RH40	163	143	196	137	145	196	193	227	222	189	0	204	202	185	197
SSA.RH40	232	212	265	205	214	265	262	295	291	258	204	0	270	254	266
SSZ.RH40	230	210	263	203	212	262	260	293	289	256	202	270	0	252	264
SUP.RH40	213	193	246	187	195	246	243	277	272	239	185	254	252	0	247
VIX.RH40	225	205	258	199	207	258	255	289	284	251	197	266	264	247	0

Tabela 4.30 – Custo unitário (R\$) do transporte rodoviário.

	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ	SUP	VIX
FOT.DC20	0	3681	3782	974	238	3573	4174	2808	2764	3905	3022	1317	3160	788	2273
ITJ.DC20	3681	0	3700	3076	3643	437	556	1079	1166	378	3473	2624	662	3286	1544
MAO.DC20	3782	3700	0	3568	3160	3782	4081	3731	3643	3906	2477	3556	3700	3935	3877
MCZ.DC20	974	3076	3568	0	1134	2967	3568	2180	2207	3299	1583	617	2504	245	1644
PEC.DC20	238	3643	3160	1134	0	3352	4116	2904	2827	3585	722	1413	3201	1005	2369
PNG.DC20	3573	437	3782	2967	3352	0	814	853	874	378	3335	2516	465	3180	1318
RIG.DC20	4174	556	4081	3568	4116	814	0	1555	1461	331	3911	3117	1166	3781	2020
RIO.DC20	2808	1079	3731	2180	2904	853	1555	0	108	1272	2725	1726	587	2392	533
SEP.DC20	2764	1166	3643	2207	2827	874	1461	108	0	1166	3139	1755	304	2419	562
SFS.DC20	3905	378	3906	3299	3585	378	331	1272	1166	0	3697	2848	911	3510	1768
SLZ.DC20	3022	3473	2477	1583	722	3335	3911	2725	3139	3697	0	1662	2982	1628	2618
SSA.DC20	1317	2624	3556	617	1413	2516	3117	1726	1755	2848	1662	0	2052	829	1193
SSZ.DC20	3160	662	3700	2504	3201	465	1166	587	304	911	2982	2052	0	2716	862
SUP.DC20	788	3286	3935	245	1005	3180	3781	2392	2419	3510	1628	829	2716	0	1857
VIX.DC20	2273	1544	3877	1644	2369	1318	2020	533	562	1768	2618	1193	862	1857	0
FOT.RF20	0	3681	3782	974	238	3573	4174	2808	2764	3905	3022	1317	3160	788	2273
ITJ.RF20	3681	0	3700	3076	3643	437	556	1079	1166	378	3473	2624	662	3286	1544
MAO.RF20	3782	3700	0	3568	3160	3782	4081	3731	3643	3906	2477	3556	3700	3935	3877
MCZ.RF20	974	3076	3568	0	1134	2967	3568	2180	2207	3299	1583	617	2504	245	1644
PEC.RF20	238	3643	3160	1134	0	3352	4116	2904	2827	3585	722	1413	3201	1005	2369
PNG.RF20	3573	437	3782	2967	3352	0	814	853	874	378	3335	2516	465	3180	1318
RIG.RF20	4174	556	4081	3568	4116	814	0	1555	1461	331	3911	3117	1166	3781	2020
RIO.RF20	2808	1079	3731	2180	2904	853	1555	0	108	1272	2725	1726	587	2392	533
SEP.RF20	2764	1166	3643	2207	2827	874	1461	108	0	1166	3139	1755	304	2419	562
SFS.RF20	3905	378	3906	3299	3585	378	331	1272	1166	0	3697	2848	911	3510	1768
SLZ.RF20	3022	3473	2477	1583	722	3335	3911	2725	3139	3697	0	1662	2982	1628	2618
SSA.RF20	1317	2624	3556	617	1413	2516	3117	1726	1755	2848	1662	0	2052	829	1193
SSZ.RF20	3160	662	3700	2504	3201	465	1166	587	304	911	2982	2052	0	2716	862
SUP.RF20	788	3286	3935	245	1005	3180	3781	2392	2419	3510	1628	829	2716	0	1857
VIX.RF20	2273	1544	3877	1644	2369	1318	2020	533	562	1768	2618	1193	862	1857	0
FOT.DC40	0	7362	7564	1948	476	7146	8348	5616	5528	7810	6044	2634	6320	1576	4546
ITJ.DC40	7362	0	7400	6152	7286	874	1112	2158	2332	756	6946	5248	1324	6572	3088
MAO.DC40	7564	7400	0	7136	6320	7564	8162	7462	7286	7812	4954	7112	7400	7870	7754
MCZ.DC40	1948	6152	7136	0	2268	5934	7136	4360	4414	6598	3166	1234	5008	490	3288
PEC.DC40	476	7286	6320	2268	0	6704	8232	5808	5654	7170	1444	2826	6402	2010	4738
PNG.DC40	7146	874	7564	5934	6704	0	1628	1706	1748	756	6670	5032	930	6360	2636
RIG.DC40	8348	1112	8162	7136	8232	1628	0	3110	2922	662	7822	6234	2332	7562	4040
RIO.DC40	5616	2158	7462	4360	5808	1706	3110	0	216	2544	5450	3452	1174	4784	1066
SEP.DC40	5528	2332	7286	4414	5654	1748	2922	216	0	2332	6278	3510	608	4838	1124
SFS.DC40	7810	756	7812	6598	7170	756	662	2544	2332	0	7394	5696	1822	7020	3536
SLZ.DC40	6044	6946	4954	3166	1444	6670	7822	5450	6278	7394	0	3324	5964	3256	5236
SSA.DC40	2634	5248	7112	1234	2826	5032	6234	3452	3510	5696	3324	0	4104	1658	2386
SSZ.DC40	6320	1324	7400	5008	6402	930	2332	1174	608	1822	5964	4104	0	5432	1724
SUP.DC40	1576	6572	7870	490	2010	6360	7562	4784	4838	7020	3256	1658	5432	0	3714
VIX.DC40	4546	3088	7754	3288	4738	2636	4040	1066	1124	3536	5236	2386	1724	3714	0

Continua na página seguinte.

Continuação Tabela 4.30 – Custo unitário (R\$) do transporte rodoviário.

	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ	SUP	VIX
FOT.HC40	0	7362	7564	1948	476	7146	8348	5616	5528	7810	6044	2634	6320	1576	4546
ITJ.HC40	7362	0	7400	6152	7286	874	1112	2158	2332	756	6946	5248	1324	6572	3088
MAO.HC40	7564	7400	0	7136	6320	7564	8162	7462	7286	7812	4954	7112	7400	7870	7754
MCZ.HC40	1948	6152	7136	0	2268	5934	7136	4360	4414	6598	3166	1234	5008	490	3288
PEC.HC40	476	7286	6320	2268	0	6704	8232	5808	5654	7170	1444	2826	6402	2010	4738
PNG.HC40	7146	874	7564	5934	6704	0	1628	1706	1748	756	6670	5032	930	6360	2636
RIG.HC40	8348	1112	8162	7136	8232	1628	0	3110	2922	662	7822	6234	2332	7562	4040
RIO.HC40	5616	2158	7462	4360	5808	1706	3110	0	216	2544	5450	3452	1174	4784	1066
SEP.HC40	5528	2332	7286	4414	5654	1748	2922	216	0	2332	6278	3510	608	4838	1124
SFS.HC40	7810	756	7812	6598	7170	756	662	2544	2332	0	7394	5696	1822	7020	3536
SLZ.HC40	6044	6946	4954	3166	1444	6670	7822	5450	6278	7394	0	3324	5964	3256	5236
SSA.HC40	2634	5248	7112	1234	2826	5032	6234	3452	3510	5696	3324	0	4104	1658	2386
SSZ.HC40	6320	1324	7400	5008	6402	930	2332	1174	608	1822	5964	4104	0	5432	1724
SUP.HC40	1576	6572	7870	490	2010	6360	7562	4784	4838	7020	3256	1658	5432	0	3714
VIX.HC40	4546	3088	7754	3288	4738	2636	4040	1066	1124	3536	5236	2386	1724	3714	0
FOT.RH40	0	7362	7564	1948	476	7146	8348	5616	5528	7810	6044	2634	6320	1576	4546
ITJ.RH40	7362	0	7400	6152	7286	874	1112	2158	2332	756	6946	5248	1324	6572	3088
MAO.RH40	7564	7400	0	7136	6320	7564	8162	7462	7286	7812	4954	7112	7400	7870	7754
MCZ.RH40	1948	6152	7136	0	2268	5934	7136	4360	4414	6598	3166	1234	5008	490	3288
PEC.RH40	476	7286	6320	2268	0	6704	8232	5808	5654	7170	1444	2826	6402	2010	4738
PNG.RH40	7146	874	7564	5934	6704	0	1628	1706	1748	756	6670	5032	930	6360	2636
RIG.RH40	8348	1112	8162	7136	8232	1628	0	3110	2922	662	7822	6234	2332	7562	4040
RIO.RH40	5616	2158	7462	4360	5808	1706	3110	0	216	2544	5450	3452	1174	4784	1066
SEP.RH40	5528	2332	7286	4414	5654	1748	2922	216	0	2332	6278	3510	608	4838	1124
SFS.RH40	7810	756	7812	6598	7170	756	662	2544	2332	0	7394	5696	1822	7020	3536
SLZ.RH40	6044	6946	4954	3166	1444	6670	7822	5450	6278	7394	0	3324	5964	3256	5236
SSA.RH40	2634	5248	7112	1234	2826	5032	6234	3452	3510	5696	3324	0	4104	1658	2386
SSZ.RH40	6320	1324	7400	5008	6402	930	2332	1174	608	1822	5964	4104	0	5432	1724
SUP.RH40	1576	6572	7870	490	2010	6360	7562	4784	4838	7020	3256	1658	5432	0	3714
VIX.RH40	4546	3088	7754	3288	4738	2636	4040	1066	1124	3536	5236	2386	1724	3714	0

A Tabela 4.31 mostra os valores adotados para o aluguel de contêineres vazios C3(I,K); a Tabela 4.32 mostra os custos de estocagem de contêineres vazios C4(I,K).

Tabela 4.31 – Custo unitário (US\$) do leasing para contêineres vazios.

	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ	SUP	VIX
DC20	600	650	700	700	700	700	630	750	700	600	700	650	500	800	700
RF20	750	813	875	875	875	875	788	938	875	750	875	813	625	1000	875
DC40	760	800	900	900	900	900	800	900	900	770	900	800	900	1000	760
HC40	768	808	909	909	909	909	808	909	909	778	909	808	909	1010	768
RH40	950	1000	1125	1125	1125	1125	1000	1125	1125	963	1125	1000	1125	1250	950

Tabela 4.32 – Custo unitário (US\$) de estocagem de contêineres vazios.

	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ	SUP	VIX
DC20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
RF20	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
DC40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
HC40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
RH40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Os resultados obtidos para o cenário Atualizado são encontrados na Tabela 4.33. Como mencionado anteriormente, os modelos foram compilados e executados em um microcomputador pessoal com sistema *Microsoft Windows 98*®, processador *Pentium Intel 4* com *clock* de 1.7 GHz e memória *RAM* de 512 MB. O tempo computacional de processamento foi inferior a dez minutos, o que o torna compatível com o seu escopo básico de modelo de operação. Cabe observar como deve ser feita a interpretação deste resultado: quando se trata de uma variável (Var) X, está se designando o número de contêineres vazios do tipo indicado, carregados no dia (Tempo) no porto (Port1) com destino ao porto (Port2) no navio (Navio); quando se trata de uma variável (Var) W, está se designando o número de contêineres vazios do tipo indicado, transportados de caminhão no dia (Tempo) no porto (Port1) com destino ao porto (Port2) e; quando se trata de uma variável (Var) Y, planeja-se um *leasing* de contêineres vazios no porto (Port1) para ser embarcado no navio (Navio).

Por exemplo; na segunda linha da Tabela 4.33, abaixo do índice; é mostrado que 3 contêineres do tipo DC-40 serão movimentados por navio (X) do porto de Salvador (SSA) para atender a demanda do navio HEICO em Fortaleza (FOT).

A Tabela 4.34 apresenta uma comparação do estoque de contêineres antes dos reposicionamentos serem programados na primeira coluna e o estoque previsto com os reposicionamentos programados na segunda coluna. Observa-se que as demandas foram atendidas, pois não há mais estoques negativos.

A Tabela 4.35 mostra as movimentações de contêineres sugeridas pelo modelo, resultando na coluna da direita da Tabela.

Tabela 4.33 – Resultados do cenário Atualizado.

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	DC20	RF20	DC40	HC40	RH40
X	T4	SSZ	RIG	CASNI	0	10	0	0	0
Y	T4	SSZ		CASNI	101	0	94	0	0
Y	T5	SUP		CAFIN	15	0	0	0	0
X	T6	FOT	SEP	FMAN	0	0	6	9	0
Y	T6	FOT		FMAN	36	0	0	0	0
X	T7	RIG	SFS	LEBL	0	0	0	3	0
X	T7	RIG	SUP	LEBL	0	0	0	4	0
Y	T7	RIG		LEBL	77	0	0	0	0
X	T8	SUP	PEC	CASMA	0	0	1	0	0
X	T8	SUP	RIO	CASMA	0	0	2	0	0
Y	T8	SUP		CASMA	1	0	0	6	0
X	T8	MCZ	SEP	FMAN	0	0	0	4	0
X	T9	SSZ	SFS	CAFIN	0	3	0	0	0
W	T9	SEP	RIO	CASMA	200	0	0	0	0
X	T9	RIG	RIO	CASNI	0	0	0	0	9
Y	T9	RIG		CASNI	28	0	0	0	0
X	T9	SFS	SUP	LEBL	0	2	0	0	0
Y	T9	SFS		LEBL	0	5	0	93	0
X	T9	SSZ	PNG	MAVAL	0	0	0	0	5
Y	T9	SSZ		MAVAL	182	0	32	0	0
X	T10	PNG	SSA	MAVAL	0	0	0	16	0
Y	T10	PNG		MAVAL	2	0	49	0	6
Y	T11	RIO		CASMA	0	0	12	24	0
X	T11	SSZ	MAO	FSAN	0	0	0	54	0
X	T11	SSZ	SEP	FSAN	0	0	7	0	0
X	T11	SSZ	SUP	FSAN	0	2	0	0	0
Y	T11	SSZ		FSAN	39	0	0	0	0
X	T11	SFS	SSA	MAVAL	0	0	28	0	0
X	T12	SUP	SSZ	ALBRA	3	0	0	0	0
Y	T12	SUP		ALBRA	0	2	0	29	0
X	T12	SSZ	RIO	CASNI	0	0	0	0	1
Y	T12	SEP		FMAN	232	0	9	21	0
Y	T12	SSZ		FMAN	3	0	0	0	0
W	T12	SEP	RIO	SEV	36	0	0	0	0
Y	T13	SEP		FSAN	0	0	4	3	0
X	T13	SSZ	ITJ	SEAXP	0	0	0	0	26
X	T13	SSZ	PNG	SEAXP	0	0	7	0	12
Y	T13	SSZ		SEAXP	2	0	0	0	0
W	T14	RIO	SEP	FLAM	0	0	3	0	0
X	T14	SSZ	SEP	FLAM	0	0	0	2	0
X	T14	SSZ	SSA	FLAM	0	2	8	0	43
X	T14	SSZ	SUP	FLAM	0	4	0	0	0
Y	T14	SSZ		FLAM	2	0	0	0	0
Y	T14	RIG		FMAC	37	0	0	0	0
X	T14	SFS	SSZ	FMAN	30	0	0	0	0
Y	T14	SUP		LEBL	0	1	0	0	0
X	T14	SSZ	SSA	MAVAL	0	12	1	23	0
X	T15	SFS	SSZ	CAFIN	43	0	0	0	0
X	T15	PNG	ITJ	SEAXP	21	0	0	0	0
Y	T15	PNG		SEAXP	0	0	17	0	0
Y	T15	SSZ		SEV	2	0	0	0	0

Continua na página seguinte.



Continuação Tabela 4.33 – Resultados do cenário Atualizado.

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	DC20	RF20	DC40	HC40	RH40
Y	T16	SSZ		CAFIN	2	0	0	0	0
Y	T16	SEP		FLAM	2	0	0	0	0
X	T16	SUP	MAO	FSAN	0	0	0	8	0
X	T16	FOT	SSA	LEBL	0	0	32	0	1
Y	T16	FOT		LEBL	88	0	0	0	0
X	T16	ITJ	PEC	SEEXP	0	0	2	3	0
X	T16	ITJ	SSA	SEEXP	0	0	28	2	0
Y	T16	ITJ		SEEXP	49	0	0	0	102
X	T16	PNG	SUP	SEV	0	0	0	11	0
Y	T16	PNG		SEV	0	0	1	0	0
X	T17	SUP	RIO	CASRA	55	0	0	0	8
Y	T17	SSA		MAVAL	0	14	13	3	0
W	T17	SEP	RIO	MAVAN	44	0	0	0	0
X	T17	SSZ	SSA	SEEXP	0	6	47	0	33
X	T18	RIG	PEC	CASMA	0	1	0	12	0
X	T18	RIG	RIO	CASMA	4	0	0	0	0
Y	T18	RIG		FMAN	13	0	0	0	0
W	T18	SSA	SSZ	MAVAN	6	0	0	0	0
X	T19	SUP	SSZ	ALEUR	9	0	0	0	0
Y	T19	SSA		FLAM	0	0	39	0	7
W	T19	SEP	RIO	LBB	24	0	0	0	0
W	T20	SEP	RIO	CASMA	8	0	0	0	0
Y	T20	SSA		SEEXP	0	0	8	0	8
X	T21	SUP	RIO	CASAN	73	0	0	0	0
X	T21	SSZ	RIO	CASMA	18	0	0	0	0
X	T21	SSZ	PNG	CSHAM	0	0	0	0	4
X	T21	RIO	PNG	LBB	0	0	5	0	0
X	T21	SSA	SEP	LEBL	6	0	0	0	0
X	T21	SSA	SSZ	LEBL	40	0	0	0	0
X	T21	PNG	ITJ	MAVAN	33	0	0	0	0
W	T22	SEP	RIO	CASAN	2	0	0	0	0
W	T22	RIO	SEP	LEBL	0	0	0	1	0
W	T23	SEP	RIO	ALHAM	42	0	0	0	0
X	T23	PNG	RIG	LBB	4	0	0	0	0
Y	T23	PEC		SEEXP	0	3	17	10	0
X	T23	SFS	SSA	SEV	0	0	13	0	8
Y	T24	MAO		FSAN	0	0	0	263	0
Y	T24	SEP		LEBL	121	0	0	0	0
X	T24	ITJ	SSA	MAVAN	0	0	2	0	0
Y	T24	ITJ		MAVAN	6	0	0	0	0
X	T25	SUP	SSZ	CAROC	21	0	0	0	0
X	T25	RIG	SSZ	CASRA	17	0	0	0	0
X	T25	SFS	PNG	CSHAM	0	0	15	0	3
Y	T25	SEP		FBEL	1	0	0	0	0
Y	T26	SSZ		ALHAM	21	0	0	0	0
Y	T28	SSZ		CASRA	2	0	0	0	0
Y	T28	MAO		FLAM	0	0	0	111	0
Y	T29	ITJ		ALHAM	12	0	0	0	0
Y	T29	SSA		FMAC	0	0	0	0	4
Y	T29	SSZ		PRN	21	0	0	0	0
Y	T30	SSZ		MANEW	4	0	0	0	0

Tabela 4.34 – Estoque antes e depois do reposicionamento programado.

Estoque ANTES do Reposicionamento							
DIA	NAVIO	PORTO	DC-20	RF-20	DC-40	HC-40	RH-40
	inicio	FOT	86	0	58	46	0
6	FMAN	FOT	53	0	64	48	0
16	LEBL	FOT	-35	0	85	53	1
22	FLAM	FOT	-4	0	106	66	2
24	FMAC	FOT	11	0	113	71	2
26	FMAN	FOT	54	0	128	81	3
	inicio	ITJ	21	3	156	115	6
16	SEAXP	ITJ	-25	0	122	327	-51
24	MAVAN	ITJ	-52	0	99	360	-58
29	ALHAM	ITJ	-97	0	57	346	-77
	inicio	MAO	413	0	213	168	2
24	FSAN	MAO	603	1	148	-113	1
28	FLAM	MAO	709	3	105	-286	3
	inicio	MCZ	0	0	0	0	0
8	FMAN	MCZ	0	0	0	4	0
27	FMAC	MCZ	1	0	0	28	0
	inicio	PEC	34	3	24	25	95
23	SEAXP	PEC	23	-1	-11	-1	38
25	CASMA	PEC	23	-1	-13	-4	32
31	MAVAN	PEC	24	-2	-14	-16	13
	inicio	PNG	33	1	9	66	5
10	MAVAL	PNG	47	2	-4	108	0
15	SEAXP	PNG	68	3	-21	169	-5
16	SEV	PNG	72	3	-22	173	-5
20	PEARG	PNG	84	3	-24	200	-8
21	MAVAN	PNG	101	3	-26	231	-11
23	LBB	PNG	105	3	-26	239	-12
27	ALHAM	PNG	114	3	-29	255	-15
28	CSHAM	PNG	126	3	-34	265	-17
30	PRN	PNG	144	3	-41	280	-20
31	MANEW	PNG	165	3	-49	298	-24
	inicio	RIG	191	26	348	225	24
7	LEBL	RIG	134	20	347	278	26
9	CASNI	RIG	106	17	347	304	27
14	FMAC	RIG	69	10	360	274	27
18	FMAN	RIG	56	7	374	242	27
18	CASMA	RIG	60	8	378	243	27
25	CASRA	RIG	116	19	421	253	29
29	LBB	RIG	85	15	371	237	23
31	CASAN	RIG	73	13	351	231	20
	inicio	RIO	186	6	72	11	37
11	CASMA	RIO	36	11	38	4	51
11	SEAXP	RIO	30	11	38	4	52
14	SEV	RIO	12	12	39	4	55
14	CASNI	RIO	-6	13	40	4	58
19	MAVAN	RIO	-50	15	42	4	59
21	LBB	RIO	-74	17	45	5	47
22	CASMA	RIO	-82	18	46	5	43
24	CASAN	RIO	-106	20	49	6	31
25	ALHAM	RIO	-148	23	51	7	15
28	PRN	RIO	-203	24	48	8	3
29	CASRA	RIO	-221	24	47	8	-1
31	CASAU	RIO	-276	25	44	9	-13
	inicio	SEP	12	0	25	4	0
12	FMAN	SEP	9	0	-7	-21	0
13	FSAN	SEP	9	0	-11	-24	0
16	FLAM	SEP	7	0	-26	-37	0
24	LEBL	SEP	6	0	-22	-40	0
25	FBEL	SEP	5	0	-14	-36	0
31	INTRE	SEP	-1	0	-15	-15	0
	inicio	SFS	234	1	157	82	355
9	LEBL	SFS	201	-1	151	37	267
11	MAVAL	SFS	207	-1	169	34	253
14	FMAN	SFS	243	-1	225	49	256
15	CAFIN	SFS	255	-1	244	54	257
16	FMAC	SFS	267	-1	263	59	258
22	ALBRA	SFS	271	-1	363	145	186
23	SEV	SFS	269	-1	369	153	179
23	PEARG	SFS	267	-1	375	161	172
25	CSHAM	SFS	249	-2	379	165	148
29	ALEUR	SFS	193	-4	344	120	111

Estoque DEPOIS do Reposicionamento							
DIA	NAVIO	PORTO	DC20	RF20	DC40	HC40	RH40
	inicio	FOT	86	0	58	46	0
6	FMAN	FOT	89	0	59	39	0
16	LEBL	FOT	89	0	48	44	0
22	FLAM	FOT	120	0	69	57	1
24	FMAC	FOT	135	0	76	62	1
26	FMAN	FOT	178	0	91	72	2
	inicio	ITJ	21	3	156	115	6
16	SEAXP	ITJ	24	0	92	322	51
24	MAVAN	ITJ	24	0	67	355	70
29	ALHAM	ITJ	24	0	25	341	51
	inicio	MAO	413	0	213	168	2
24	FSAN	MAO	603	1	148	150	1
28	FLAM	MAO	709	3	105	150	3
	inicio	MCZ	0	0	0	0	0
8	FMAN	MCZ	0	0	0	0	0
27	FMAC	MCZ	1	0	0	24	0
	inicio	PEC	34	3	24	25	95
23	SEAXP	PEC	23	2	6	9	38
25	CASMA	PEC	23	2	6	9	32
31	MAVAN	PEC	24	2	6	9	13
	inicio	PNG	33	1	9	66	5
10	MAVAL	PNG	49	2	45	92	6
15	SEAXP	PNG	49	3	45	153	6
16	SEV	PNG	53	3	45	146	6
20	PEARG	PNG	65	3	50	173	15
21	MAVAN	PNG	49	3	48	204	12
23	LBB	PNG	49	3	48	212	11
27	ALHAM	PNG	58	3	50	228	8
28	CSHAM	PNG	70	3	45	238	6
30	PRN	PNG	88	3	53	253	10
31	MANEW	PNG	109	3	45	271	6
	inicio	RIG	191	26	348	225	24
7	LEBL	RIG	211	20	347	271	26
9	CASNI	RIG	211	17	347	297	18
14	FMAC	RIG	211	20	360	267	18
18	FMAN	RIG	211	17	374	235	18
18	CASMA	RIG	211	17	378	224	18
25	CASRA	RIG	250	28	421	234	20
29	LBB	RIG	219	24	371	218	14
31	CASAN	RIG	211	22	351	212	11
	inicio	RIO	186	6	72	11	37
11	CASMA	RIO	236	11	50	28	51
11	SEAXP	RIO	230	11	50	28	52
14	SEV	RIO	248	12	50	28	55
14	CASNI	RIO	230	13	51	28	58
19	MAVAN	RIO	230	15	53	28	69
21	LBB	RIO	230	17	51	29	57
22	CASMA	RIO	230	18	52	28	53
24	CASAN	RIO	230	20	55	29	41
25	ALHAM	RIO	230	23	57	30	25
28	PRN	RIO	248	24	54	31	13
29	CASRA	RIO	230	24	53	31	9
31	CASAU	RIO	230	25	50	32	5
	inicio	SEP	12	0	25	4	0
12	FMAN	SEP	5	0	2	0	0
13	FSAN	SEP	5	0	2	0	0
16	FLAM	SEP	5	0	2	0	0
24	LEBL	SEP	5	0	6	0	0
25	FBEL	SEP	5	0	14	4	0
31	INTRE	SEP	5	0	13	25	0
	inicio	SFS	234	1	157	82	355
9	LEBL	SFS	201	2	151	130	267
11	MAVAL	SFS	207	2	141	130	253
14	FMAN	SFS	213	2	197	145	256
15	CAFIN	SFS	182	2	216	150	257
16	FMAC	SFS	194	2	235	155	258
22	ALBRA	SFS	198	5	335	241	186
23	SEV	SFS	196	5	328	249	171
23	PEARG	SFS	194	5	334	257	164
25	CSHAM	SFS	176	4	323	261	137
29	ALEUR	SFS	120	2	288	216	100

Continua na página seguinte.

Continuação Tabela 4.34 – Estoque antes e depois do reposicionamento programado.

Estoque ANTES do Reposicionamento							
DIA	NAVIO	PORTO	DC-20	RF-20	DC-40	HC-40	RH-40
	início	SLZ	34	0	4	2	0
29	FMAN	SLZ	130	0	9	2	0
	início	SSA	138	18	175	82	122
17	MAVAL	SSA	100	-5	56	27	60
19	FLAM	SSA	147	-15	-12	-12	44
20	SEAXP	SSA	151	-17	-20	-12	36
21	LEBL	SSA	155	-19	-28	-12	28
28	SEV	SSA	159	-25	-90	-13	-21
28	MAVAN	SSA	147	-23	-119	-14	-37
29	FMAC	SSA	141	-22	-134	-14	-45
30	PEARG	SSA	135	-21	-149	-14	-53
	início	SSZ	236	53	202	308	250
4	CASNI	SSZ	199	55	196	293	249
9	MAVAL	SSZ	108	61	180	255	246
9	CAFIN	SSZ	17	67	164	217	243
11	FSAN	SSZ	-22	76	172	210	242
12	FMAN	SSZ	-23	78	177	213	242
12	CASNI	SSZ	-24	80	182	216	242
12	CASMA	SSZ	-25	82	187	219	242
13	SEAXP	SSZ	-27	88	202	227	242
14	FLAM	SSZ	-28	91	209	231	242
14	MAVAL	SSZ	-29	94	216	235	242
15	SEV	SSZ	-30	97	223	239	242
15	ALBRA	SSZ	-31	100	230	243	242
16	CAFIN	SSZ	-33	106	245	251	242
17	SEAXP	SSZ	-35	112	260	259	242
18	PEARG	SSZ	-43	118	270	277	238
20	FMAN	SSZ	-47	118	267	284	235
20	CASRA	SSZ	-51	118	264	291	232
20	MAVAN	SSZ	-55	118	261	298	229
21	CASMA	SSZ	-58	118	258	303	227
21	CSHAM	SSZ	-61	118	255	308	225
22	LBB	SSZ	-64	118	252	313	223
22	ALEUR	SSZ	-67	118	249	318	221
23	ALBRA	SSZ	-73	118	244	319	217
24	FBEL	SSZ	-76	118	241	324	215
24	SEV	SSZ	-79	118	238	329	213
25	LEBL	SSZ	-92	118	233	341	208
25	CASAN	SSZ	-99	118	233	343	207
25	MAVAN	SSZ	-106	118	233	345	206
26	ALHAM	SSZ	-127	117	234	352	202
27	PEARG	SSZ	-148	116	235	359	198
28	CASRA	SSZ	-169	115	236	366	194
29	PRN	SSZ	-176	115	236	368	193
29	CSHAM	SSZ	-183	115	236	370	192
29	CAROC	SSZ	-190	115	236	372	191
30	MANEW	SSZ	-211	114	237	379	187
31	LBB	SSZ	-218	114	237	381	186
31	ALEUR	SSZ	-225	114	237	383	185
31	ALHAM	SSZ	-232	114	237	385	184
	início	SUP	65	8	207	126	71
5	CAFIN	SUP	64	7	216	95	63
8	CASMA	SUP	63	5	229	49	51
12	ALBRA	SUP	83	2	248	20	42
14	LEBL	SUP	104	1	259	21	41
16	FSAN	SUP	146	-1	280	24	39
17	CASNI	SUP	151	-1	283	24	39
17	CASRA	SUP	156	-1	286	24	39
19	ALEUR	SUP	180	-2	298	28	37
20	FLAM	SUP	194	-3	304	31	36
21	FMAC	SUP	201	-3	307	33	35
21	CASAN	SUP	208	-3	310	55	34
24	FMAN	SUP	263	-5	335	69	29
25	CAROC	SUP	331	-7	365	75	24
28	CASAU	SUP	382	-5	384	44	25
29	SEV	SUP	395	-5	389	36	25
31	FBEL	SUP	434	-4	404	13	25
	início	VIX	9	0	1	0	0
30	INTRE	VIX	11	0	1	7	1

Estoque DEPOIS do Reposicionamento							
DIA	NAVIO	PORTO	DC20	RF20	DC40	HC40	RH40
	início	SLZ	34	0	4	2	0
29	FMAN	SLZ	130	0	9	2	0
	início	SSA	138	18	175	82	122
17	MAVAL	SSA	94	9	69	30	60
19	FLAM	SSA	141	11	69	30	51
20	SEAXP	SSA	145	9	69	30	51
21	LEBL	SSA	103	9	69	30	86
28	SEV	SSA	107	9	113	31	71
28	MAVAN	SSA	95	11	84	30	55
29	FMAC	SSA	89	12	69	30	51
30	PEARG	SSA	83	13	69	30	51
	início	SSZ	236	53	202	308	250
4	CASNI	SSZ	300	45	290	293	249
9	MAVAL	SSZ	391	51	306	255	241
9	CAFIN	SSZ	300	54	290	217	238
11	FSAN	SSZ	300	61	292	156	237
12	FMAN	SSZ	302	63	297	159	237
12	CASNI	SSZ	301	65	302	162	236
12	CASMA	SSZ	300	67	307	165	236
13	SEAXP	SSZ	300	73	315	173	198
14	FLAM	SSZ	301	70	314	175	155
14	MAVAL	SSZ	300	61	320	156	155
15	SEV	SSZ	301	64	327	160	155
15	ALBRA	SSZ	300	67	334	164	155
16	CAFIN	SSZ	300	73	349	172	155
17	SEAXP	SSZ	301	73	317	180	122
18	PEARG	SSZ	336	79	327	198	118
20	FMAN	SSZ	332	79	324	205	115
20	CASRA	SSZ	328	79	321	212	112
20	MAVAN	SSZ	324	79	318	219	109
21	CASMA	SSZ	303	79	315	224	107
21	CSHAM	SSZ	300	79	312	229	101
22	LBB	SSZ	327	79	309	234	99
22	ALEUR	SSZ	324	79	306	239	97
23	ALBRA	SSZ	318	79	301	240	93
24	FBEL	SSZ	324	79	298	245	91
24	SEV	SSZ	321	79	295	250	89
25	LEBL	SSZ	308	79	290	262	84
25	CASAN	SSZ	301	79	290	264	83
25	MAVAN	SSZ	300	79	290	266	82
26	ALHAM	SSZ	300	78	291	273	78
27	PEARG	SSZ	319	77	292	280	74
28	CASRA	SSZ	300	76	293	287	70
29	PRN	SSZ	314	76	293	289	69
29	CSHAM	SSZ	307	76	293	291	68
29	CAROC	SSZ	300	76	293	293	67
30	MANEW	SSZ	300	75	294	300	63
31	LBB	SSZ	314	75	294	302	62
31	ALEUR	SSZ	307	75	294	304	61
31	ALHAM	SSZ	300	75	294	306	60
	início	SUP	65	8	207	126	71
5	CAFIN	SUP	79	7	216	95	63
8	CASMA	SUP	79	5	226	55	51
12	ALBRA	SUP	96	4	245	55	42
14	LEBL	SUP	117	4	256	56	41
16	FSAN	SUP	159	4	277	55	39
17	CASNI	SUP	159	4	277	55	39
17	CASRA	SUP	109	4	280	55	31
19	ALEUR	SUP	124	5	292	59	29
20	FLAM	SUP	138	4	298	62	28
21	FMAC	SUP	145	4	301	64	27
21	CASAN	SUP	79	4	304	86	26
24	FMAN	SUP	134	6	329	100	21
25	CAROC	SUP	181	4	359	106	16
28	CASAU	SUP	232	6	378	75	17
29	SEV	SUP	245	6	383	67	17
31	FBEL	SUP	284	7	398	55	17
	início	VIX	9	0	1	0	0
30	INTRE	VIX	11	0	1	7	1







#### 4.7. Variação do cenário atualizado.

A partir do cenário atualizado, foi alterado o dado de capacidade do modelo para mostrar a consistência da restrição de capacidade. Nos trechos de viagem em que a capacidade do navio atingiu seu limite máximo diminuiu-se a disponibilidade do navio em 20% ficando aquém da quantidade de contêineres vazios movimentada no resultado original; com isso pretende-se avaliar como o modelo realoca os contêineres que ultrapassam este novo limite.

Os trechos onde foram alteradas as capacidades dos navios são mostradas a seguir na Tabela 4.36 e foram escolhidos de modo que quando fosse diminuído 20% da capacidade, o valor obtido ficasse menor à quantidade de contêineres vazios movimentada por navio sugerida pelo modelo. Na primeira coluna da Tabela estão os dias em que os navios da segunda coluna passam pelos portos da terceira coluna; na quarta coluna está a capacidade em TEUs do navio de *slots* vagos pra o carregamento de contêineres vazios para o determinado trecho da viagem e a quinta representa a nova capacidade do navio com a redução de 20%.

Tabela 4.36 – Trechos com capacidade diminuída em 20%.

DIA	NAVIO	Port1	Capacidade	Nova Capacidade diminuída
T8	FMAN	MCZ	37	30
T11	MAVAL	SFS	88	70
T14	FMAN	SFS	30	24
T14	MAVAL	SSZ	148	118
T16	LEBL	FOT	65	52
T16	FSAN	SUP	124	99
T16	SEAXP	ITJ	70	56
T17	SEAXP	SSZ	235	188
T21	LEBL	SSA	46	37

A Tabela 4.37 mostra os resultados da variação do cenário atualizado de modo semelhante a mostrada na Tabela 4.33.

Tabela 4.37 – Resultados da variação do cenário atualizado.

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	DC20	RF20	DC40	HC40	RH40
X	T4	SSZ	RIG	CASNI	0	10	0	0	0
Y	T4	SSZ		CASNI	101	0	94	0	0
Y	T5	SUP		CAFIN	15	0	0	0	0
X	T6	FOT	SEP	FMAN	0	0	5	7	0
Y	T6	FOT		FMAN	36	0	0	0	0
X	T7	RIG	SFS	LEBL	0	0	0	3	0
Y	T7	RIG		LEBL	77	0	0	0	0
X	T8	SUP	PEC	CASMA	0	0	1	0	0
X	T8	SUP	RIO	CASMA	0	0	9	0	0
Y	T8	SUP		CASMA	1	0	0	6	0
X	T8	MCZ	SEP	FMAN	0	0	0	4	0
X	T9	SSZ	SFS	CAFIN	0	3	0	0	0
W	T9	SEP	RIO	CASMA	200	0	0	0	0
X	T9	RIG	RIO	CASNI	0	0	0	0	9
Y	T9	RIG		CASNI	28	0	0	0	0
X	T9	SFS	SUP	LEBL	0	2	0	0	0
Y	T9	SFS		LEBL	0	5	0	93	0
X	T9	SSZ	PNG	MAVAL	0	0	0	0	5
Y	T9	SSZ		MAVAL	182	0	32	0	0
X	T10	PNG	SSA	MAVAL	0	2	0	19	0
Y	T10	PNG		MAVAL	2	0	49	0	6
Y	T11	RIO		CASMA	0	0	12	24	0
X	T11	SSZ	SEP	FSAN	0	0	1	5	9
X	T11	SSZ	MAO	FSAN	0	0	0	50	0
Y	T11	SSZ		FSAN	39	0	0	0	0
X	T11	SFS	SSZ	MAVAL	2	0	0	0	0
X	T11	SFS	SSA	MAVAL	0	0	14	0	0
X	T12	SUP	SSZ	ALBRA	12	0	0	0	0
Y	T12	SUP		ALBRA	0	2	0	29	0
X	T12	SSZ	RIO	CASNI	0	0	0	0	1
X	T12	SSZ	SUP	CASNI	0	6	0	0	0
Y	T12	SEP		FMAN	232	0	9	21	0
Y	T12	SSZ		FMAN	3	0	0	0	0
W	T12	SEP	RIO	SEV	36	0	0	0	0
Y	T13	SEP		FSAN	0	0	4	3	0
X	T13	SSZ	PNG	SEAXP	0	0	8	0	12
X	T13	SSZ	ITJ	SEAXP	0	0	0	0	26
Y	T13	SSZ		SEAXP	2	0	0	0	0
W	T14	RIO	SEP	FLAM	0	8	10	0	0
X	T14	SSZ	SSA	FLAM	0	0	8	0	54
Y	T14	SSZ		FLAM	2	0	0	0	0
Y	T14	RIG		FMAC	37	0	0	0	0
X	T14	SFS	SSZ	FMAN	24	0	0	0	0
Y	T14	SUP		LEBL	0	1	0	0	0
X	T14	SSZ	SSA	MAVAL	0	10	0	20	0
X	T15	SFS	SSZ	CAFIN	47	0	0	0	0
X	T15	PNG	ITJ	SEAXP	21	0	0	0	0
Y	T15	PNG		SEAXP	0	0	17	0	0
Y	T15	SSZ		SEV	2	0	0	0	0

Continua na página seguinte.



Continuação Tabela 4.37 – Resultados da variação do cenário atualizado.

Var	Tempo	Port1	Port2	Navio	DC20	RF20	DC40	HC40	RH40
X	T16	SEP	SSA	FLAM	0	8	0	0	9
Y	T16	SEP		FLAM	2	0	0	0	0
X	T16	FOT	SSA	LEBL	0	0	25	0	1
Y	T16	FOT		LEBL	88	0	0	0	0
X	T16	ITJ	PEC	SEAXP	0	0	2	3	0
X	T16	ITJ	SSA	SEAXP	0	0	21	2	0
Y	T16	ITJ		SEAXP	49	0	0	0	102
X	T16	PNG	SUP	SEV	0	0	0	7	0
Y	T16	PNG		SEV	0	0	1	0	0
X	T17	SUP	RIO	CASRA	55	0	0	0	8
Y	T17	SSA		MAVAL	0	14	13	3	0
W	T17	SEP	RIO	MAVAN	44	0	0	0	0
X	T17	SSZ	SSA	SEAXP	0	0	53	0	14
X	T18	RIG	RIO	CASMA	4	0	0	0	0
X	T18	RIG	PEC	CASMA	0	1	0	12	0
Y	T18	RIG		FMAN	13	0	0	0	0
W	T18	SSA	SSZ	MAVAN	15	0	0	0	0
Y	T19	SSA		FLAM	0	0	54	0	7
W	T19	SEP	RIO	LBB	24	0	0	0	0
W	T20	SEP	RIO	CASMA	8	0	0	0	0
Y	T20	SSA		SEAXP	0	0	8	0	0
X	T21	SUP	RIO	CASAN	73	0	0	0	0
X	T21	SSZ	RIO	CASMA	17	0	0	0	0
X	T21	SSZ	PNG	CSHAM	0	0	0	0	4
X	T21	RIO	PNG	LBB	0	0	5	0	0
X	T21	SSA	SEP	LEBL	6	0	0	0	0
X	T21	SSA	SSZ	LEBL	31	0	0	0	0
X	T21	PNG	ITJ	MAVAN	33	0	0	0	0
W	T22	SEP	RIO	CASAN	3	0	0	0	0
W	T22	RIO	SEP	LEBL	0	0	0	1	0
W	T23	SEP	RIO	ALHAM	42	0	0	0	0
X	T23	PNG	RIG	LBB	4	0	0	0	0
Y	T23	PEC		SEAXP	0	3	17	10	0
X	T23	SFS	SSA	SEV	0	0	6	0	8
Y	T24	MAO		FSAN	0	0	0	263	0
Y	T24	SEP		LEBL	122	0	0	0	0
X	T24	ITJ	SSA	MAVAN	0	0	9	0	0
Y	T24	ITJ		MAVAN	6	0	0	0	0
X	T25	SUP	SSZ	CAROC	21	0	0	0	0
X	T25	RIG	SSZ	CASRA	17	0	0	0	0
X	T25	SFS	PNG	CSHAM	0	0	15	0	3
Y	T25	SEP		FBEL	1	0	0	0	0
Y	T26	SSZ		ALHAM	13	0	0	0	0
Y	T28	SSZ		CASRA	11	0	0	0	0
Y	T28	MAO		FLAM	0	0	0	124	0
Y	T29	ITJ		ALHAM	12	0	0	0	0
Y	T29	SSA		FMAC	0	0	8	0	4
Y	T29	SSZ		PRN	21	0	0	0	0
Y	T30	SSZ		MANEW	4	0	0	0	0



#### 4.8. Análise dos resultados do cenário atualizado e variação

Os resultados obtidos no cenário atualizado mostram-se adequados para a resolução do problema proposto: dentro do contexto apresentado o modelo satisfaz os objetivos da pesquisa. A consistência do modelo é mostrada na análise do cenário Barco; para mostrar a consistência da restrição de capacidade, inexistente no cenário Barco, compara-se o cenário atualizado com uma variação onde há uma alteração nos limites de *slots* disponíveis no navio.

A comparação entre os resultados do cenário atualizado e o cenário atualizado - capacidade reduzida é apresentada na Tabela 4.38; a Tabela mostra somente os trechos de viagem em que há carregamento de contêineres vazios. Nesta Tabela é possível verificar que houve alterações significativas na configuração de movimentação de contêineres vazios entre os dois cenários: o número de trechos de viagem que atingem o limite máximo passa de nove para doze trechos e; houve alterações na configuração de carregamento em sessenta trechos de viagem. Apesar destas variações quantitativas verifica-se que não houve muitas alterações nos trechos de viagens utilizados, avaliado pelo fato que de no cenário variação quatro trechos de viagem que originalmente eram usados deixaram de ser.

Outro fator de relevância nesta comparação é relativo ao valor da função objetivo: no cenário atualizado obteve um custo de US\$ 2.037.895,00 enquanto que para a variação houve um aumento de 1,3%, sendo o custo estimado de US\$ 2.064.309,00. Isso mostra que a disponibilidade de *slots* vazios nas embarcações tem um impacto significativo no problema da logística do contêiner vazio.

Há também de observar a diminuição do número de TEUS's transportados por via marítima: 2601 no cenário atualizado contra 2504 no cenário variação; uma redução de 4% no volume movimentado.

Tabela 4.38 – Comparação: cenário atualizado X cenário atualizado - capacidade reduzida.

Cenário atualizado						Variação do cenário atualizado						
DIA	NAVIO	Port1	Uso	capacidade máxima	Atingiu Limite?	DIA	NAVIO	Port1	Uso	capacidade máxima	Atingiu Limite?	Alterou carregamento?
T4	CASNI	SSZ	10	229		T4	CASNI	SSZ	10	229		
T6	FMAN	FOT	29	52		T6	FMAN	FOT	22	52		SIM
T7	LEBL	RIG	14	139		T7	LEBL	RIG	6	139		SIM
T8	FMAN	MCZ	37	37	SIM	T8	FMAN	MCZ	30	30	SIM	SIM
T8	CASMA	SUP	10	494		T8	CASMA	SUP	36	494		SIM
T9	LEBL	SFS	10	58		T9	LEBL	SFS	2	58		SIM
T9	CASNI	RIG	18	325		T9	CASNI	RIG	18	325		
T9	MAVAL	SSZ	10	143		T9	MAVAL	SSZ	10	143		
T9	CAFIN	SSZ	3	549		T9	CAFIN	SSZ	3	549		
T10	MAVAL	PNG	32	97		T10	MAVAL	PNG	40	97		SIM
T11	FSAN	SSZ	123	128		T11	FSAN	SSZ	128	128	SIM	SIM
T11	CASMA	RIO	6	427		T11	CASMA	RIO	19	427		SIM
T11	MAVAL	SFS	88	88	SIM	T11	MAVAL	SFS	70	70	SIM	SIM
T12	CASNI	SSZ	20	293		T12	CASNI	SSZ	26	293		SIM
T12	CASMA	SSZ	6	431		T12	CASMA	SSZ	19	431		SIM
T12	ALBRA	SUP	6	203		T12	ALBRA	SUP	24	203		SIM
T13	FSAN	SEP	110	117		T13	FSAN	SEP	99	117		SIM
T13	SEAXP	SSZ	90	224		T13	SEAXP	SSZ	91	224		SIM
T14	FMAN	SFS	30	30	SIM	T14	FMAN	SFS	24	24	SIM	SIM
T14	FLAM	SSZ	112	123		T14	FLAM	SSZ	123	123	SIM	SIM
T14	CASNI	RIO	0	307		T14	CASNI	RIO	6	307		SIM
T14	MAVAL	SSZ	148	148	SIM	T14	MAVAL	SSZ	118	118	SIM	SIM
T15	CAFIN	SFS	43	353		T15	CAFIN	SFS	47	353		SIM
T15	ALBRA	SSZ	3	256		T15	ALBRA	SSZ	12	256		SIM
T15	SEAXP	PNG	73	186		T15	SEAXP	PNG	73	186		
T16	LEBL	FOT	65	65	SIM	T16	LEBL	FOT	52	52	SIM	SIM
T16	FSAN	SUP	124	124	SIM	T16	FSAN	SUP	99	99	SIM	SIM
T16	FLAM	SEP	108	149		T16	FLAM	SEP	149	149	SIM	SIM
T16	SEV	PNG	22	87		T16	SEV	PNG	14	87		SIM
T16	SEAXP	ITJ	70	70	SIM	T16	SEAXP	ITJ	56	56	SIM	SIM
T17	CASRA	SUP	71	419		T17	CASRA	SUP	71	419		
T17	SEAXP	SSZ	235	235	SIM	T17	SEAXP	SSZ	188	188	SIM	SIM
T18	FMAN	RIG	30	59		T18	FMAN	RIG	24	59		SIM
T18	CASMA	RIG	35	343		T18	CASMA	RIG	48	343		SIM
T19	FLAM	SSA	4	150		T19	FLAM	SSA	0	150		SIM
T19	ALEUR	SUP	18	574		T19	ALEUR	SUP	0	574		SIM
T20	CASRA	SSZ	71	143		T20	CASRA	SSZ	71	143		
T20	SEAXP	SSA	10	198		T20	SEAXP	SSA	10	198		
T21	LEBL	SSA	46	46	SIM	T21	LEBL	SSA	37	37	SIM	SIM
T21	LBB	RIO	10	231		T21	LBB	RIO	9	231		SIM
T21	CASAN	SUP	73	290		T21	CASAN	SUP	73	290		
T21	CASMA	SSZ	53	349		T21	CASMA	SSZ	65	349		SIM
T21	CSHAM	SSZ	8	177		T21	CSHAM	SSZ	8	177		
T21	MAVAN	PNG	33	231		T21	MAVAN	PNG	33	231		
T22	LBB	SSZ	10	203		T22	LBB	SSZ	9	203		SIM
T22	CASMA	RIO	27	341		T22	CASMA	RIO	27	341		
T22	ALBRA	SFS	3	523		T22	ALBRA	SFS	12	523		SIM
T22	ALEUR	SSZ	9	596		T22	ALEUR	SSZ	0	596		SIM
T23	SEV	SFS	64	234		T23	SEV	SFS	42	234		SIM
T23	LBB	PNG	4	276		T23	LBB	PNG	4	276		
T24	LEBL	SEP	40	97		T24	LEBL	SEP	31	97		SIM
T24	SEV	SSZ	64	99		T24	SEV	SSZ	42	99		SIM
T24	MAVAN	ITJ	4	246		T24	MAVAN	ITJ	18	246		SIM
T25	CASRA	RIG	88	449		T25	CASRA	RIG	88	449		
T25	CSHAM	SFS	44	213		T25	CSHAM	SFS	44	213		
T25	CAROC	SUP	21	356		T25	CAROC	SUP	21	356		
T25	MAVAN	SSZ	4	222		T25	MAVAN	SSZ	18	222		SIM
T28	SEV	SSA	22	153		T28	SEV	SSA	14	153		SIM
T28	CASRA	SSZ	71	518		T28	CASRA	SSZ	71	518		
T29	ALEUR	SFS	9	314		T29	ALEUR	SFS	0	314		SIM

## 5. CONCLUSÕES

Geoffrion (1976) menciona que modelos devem ser usados para adquirir conhecimento e não somente para obter respostas a problemas. Ele também enfatizou a necessidade de se apreciar os *tradeoffs* que existem em qualquer situação que se deseje modelar matematicamente. Assim, os resultados vistos no capítulo anterior servem igualmente para a reflexão e a crítica da situação modelada e não meramente como uma resposta quantitativa: apesar da grande dose de elementos computacional empregada, as conclusões também são qualitativas.

Este capítulo finaliza o trabalho e começa pela discussão de conclusões e os seus desdobramentos na prática. Em seguida, são apresentados críticas e comentários sobre o trabalho.

### 5.1. Conclusões sobre os resultados obtidos

O modelo proposto neste trabalho atingiu a meta desejada: foi possível aperfeiçoar o modelo de Barco (1998), tornando-o mais representativo da realidade. O impacto destas mudanças foi de uma complexidade além das demonstradas nos outros modelos, principalmente na questão que se refere ao tratamento de duas passagens de um mesmo navio em um mesmo porto em dias diferentes e sobre a passagem de mais de um navio em um mesmo dia em um mesmo porto.

A avaliação das Variações do Modelo também foi bastante útil para a compreensão do modelo e do problema real, uma vez que a necessidade de refazer o modelo matemático para ser mais adequado a realidade trouxe questões que não foram exploradas pelos trabalhos anteriores, como, por exemplo, o tempo de espera

de contêineres até a sua disponibilidade de uso e a questão da disponibilidade da capacidade do navio, isso relacionado à continuidade da rota.

## **5.2. Críticas e comentários sobre a modelagem empregada**

- O modelo proposto neste trabalho mostrou ser mais adequado para a aplicação em casos reais do que os trabalhos anteriores.
- Outra questão de relevância é o tamanho do modelo: apesar do baixo tempo de processamento, o número de parâmetros e variáveis envolvidos é extremamente grande. É possível, então, que o aumento excessivo do número de elementos dos índices levem a um modelo de porte não suportável em microcomputadores, dado o requerimento de armazenagem do modelo.

## ANEXO A

O Anexo A mostra a listagem do código em linguagem *GAMS* do Cenário Barco e suas variações apresentados no trabalho.

Este modelo utiliza os mesmos dados do modelo apresentado no trabalho de Barco (1998), com o modelo proposto pela nova abordagem.

```

* A logistica do container vazio
*
* O problema visa estimar os posicionamentos dos containeres vazios tendo como funcao de merito a
* minimizacao dos custos de operacao
*
* Caso Basico -(0)
*

* Minimiza o tamanho do arquivo de saida
* =====
* =====
Sofflisting
$offsymxref offsymlist
option limrow = 0;
option limcol = 0;
option solprint = off;
option sysout = off;

* =====
* CONSTANTES
* =====
SCALAR Espera tempo de espera ate que um container que chega ao porto fique disponivel /2/;

* =====
* INDICES
* =====
sets
  N navios do schedule / ALBRA, ALEUR, CABLA, CABOT, CAFIN, CAPED, CAPOL,
                        CAROC, CATRA, COLOS, COPAC, FLAME, SANIS, HEICO,
                        SANMA, SANMI/
  EU tipos de containeres / IN-20, DC-20, DC-40, HK-40 /
  P portos / FOT, SUP, SSA, VIX, RIO, SSZ, QPB, QFS, ITJ, RGR /
  T tempo em dias / T1 * T30 /
;

ALIAS (P, PP);
ALIAS (P, PPP);
ALIAS (N, NN);
ALIAS (N, NNN);
ALIAS (T, TT);
ALIAS (T, TTT);

* =====
* PARAMETROS
* =====
TABLE VISITA (T,N,P) parametro binario que assume valor 1 se o navio N visita o porto P no dia T
      FOT SUP  SSA  VIX  RIO  SSZ  QPB  QFS  ITJ  RGR
T2.  ALBRA
T4.  ALBRA
T5.  ALBRA
T2.  ALEUR
      1
      1
      1

```



T14.CAROC.SSZ										1	
T14.CATRA.SSZ									1		
T15.CABOT.SSZ										1	
T16.SANMA.SSZ			1								1
T19.CAPED.SSZ											
T20.ALEUR.SSZ						1					
T20.CAPOL.SSZ		1									
T24.COLOS.SSZ										1	
T27.CATRA.SSZ										1	
T30.CAFIN.SSZ											1
T17.ALEUR.QPB						1					
T30.CAPOL.QPB		1									
T3 .CABLA.QFS	1										
T15.ALEUR.QFS			1								
T17.CAPED.QFS		1									
T23.CATRA.QFS						1					
T26.CABOT.QFS										1	
T29.CAPOL.QFS				1							
T22.COLOS.ITJ											1
T4 .COPAC.RGR										1	
T10.CAROC.RGR											
T13.SANMA.RGR							1				
T20.COLOS.RGR											1
T21.CATRA.RGR										1	

TABLE P\_ANT(T,N,P,PP) Parametro binario que assume valor 1 se o navio N antes de passar no porto P no dia T ja passou pelo porto PP

\*No caso de dupla passagem na segunda passagem somente sao contados os portos posteriores a primeira passagem

	FOT	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
T4 .ALBRA.SSZ								1		
T5 .ALBRA.RIO						1		1		
T5 .ALEUR.SSZ			1							
T15.ALEUR.QFS			1			1				
T17.ALEUR.QPB			1			1		1		
T20.ALEUR.SSZ						1	1	1		
T22.ALEUR.RIO			1			1	1	1		
T25.ALEUR.SUP			1		1	1	1	1		
T5 .CABLA.SSZ								1		
T8 .CABLA.SSA						1				
T15.CABOT.SSZ				1						
T26.CABOT.QFS				1		1				
T30.CABOT.SSA				1		1		1		
T29.CAFIN.RIO			1							
T30.CAFIN.SSZ			1		1					
T7 .CAPED.SSZ				1						
T9 .CAPED.QPB				1		1				
T17.CAPED.QFS				1		1		1		
T19.CAPED.SSZ							1			
T29.CAPOL.QFS						1				
T30.CAPOL.QPB						1		1		
T3 .CAROC.RIO						1				
T10.CAROC.RGR					1	1				
T14.CAROC.SSZ					1					1
T18.CAROC.SSA					1	1				1
T19.CAROC.SUP			1		1	1				1
T11.CATRA.RIO		1								
T14.CATRA.SSZ		1			1					
T21.CATRA.RGR		1			1	1				
T23.CATRA.QFS		1			1	1				1
T27.CATRA.SSZ					1	1		1		1
T29.CATRA.SSA		1			1	1		1		1
T30.CATRA.SUP			1		1	1		1		1
T13.COLOS.SSZ					1					
T20.COLOS.RGR					1	1				
T22.COLOS.ITJ					1	1				
T24.COLOS.SSZ						1			1	1
T26.COLOS.RIO					1	1			1	1
T30.COLOS.FOT					1	1			1	1
T7 .COPAC.ITJ									1	1
T9 .COPAC.SSZ									1	1
T10.COPAC.RIO						1			1	1
T14.COPAC.FOT					1	1			1	1
T2 .HEICO.FOT			1							
T5 .SANMA.SSZ					1					
T13.SANMA.RGR					1	1				1
T16.SANMA.SSZ						1				1
T18.SANMA.RIO						1				1
T21.SANMA.SSA					1	1				1
T2 .SANMI.SSZ						1				1
T4 .SANMI.RIO						1				1
T6 .SANMI.SSA					1	1				1

TABLE P\_SUC (T,N,P,PPP) Parametro binario que assume valor 1 se o navio N depois de passar no porto P no dia T visita o porto PP antes de eventual retorno ao porto P

	FOT	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
T2 .ALBRA.QFS					1	1				
T4 .ALBRA.SSZ					1					
T2 .ALEUR.SSA		1			1	1	1	1		
T5 .ALEUR.SSZ					1	1	1	1		
T15.ALEUR.QFS		1			1	1				
T17.ALEUR.QPB		1			1	1				
T20.ALEUR.SSZ		1			1					
T22.ALEUR.RIO		1								
T3 .CABLA.QFS			1			1				
T5 .CABLA.SSZ			1							
T13.CABOT.VIX			1			1		1		

T15.CABOT.SSZ					1				
T26.CABOT.QFS					1				
T26.CAFIN.SSA			1		1				
T29.CAFIN.RIO					1				
T6.CAPED.VIX					1		1		
T7.CAPED.SSZ					1		1		
T9.CAPED.QPB					1		1		
T17.CAPED.QFS					1				
T20.CAPOL.SSZ							1	1	
T29.CAPOL.QFS							1		
T1.CAROC.SSZ					1				1
T3.CAROC.RIO							1		1
T10.CAROC.RGR							1		
T14.CAROC.SSZ							1		
T18.CAROC.SSA									
T9.CATRA.SUP					1		1		1
T11.CATRA.RIO					1		1		1
T14.CATRA.SSZ									1
T21.CATRA.RGR							1		1
T23.CATRA.QFS							1		
T27.CATRA.SSZ							1		
T29.CATRA.SSA					1				
T12.COLOS.RIO								1	1
T13.COLOS.SSZ								1	1
T20.COLOS.RGR	1					1		1	
T22.COLOS.ITJ	1					1		1	
T24.COLOS.SSZ	1					1			
T26.COLOS.RIO	1								
T4.COPAC.RGR	1					1	1		1
T7.COPAC.ITJ	1					1	1		
T9.COPAC.SSZ	1					1			
T10.COPAC.RIO	1								
T1.HEICO.SSA	1								1
T4.SANMA.RIO							1		1
T5.SANMA.SSZ									
T13.SANMA.RGR							1	1	
T16.SANMA.SSZ							1		
T18.SANMA.RIO									
T1.SANMI.RGR							1	1	
T2.SANMI.SSZ							1		
T4.SANMI.RIO							1		

PARAMETER ATT (T,N,P) Representa a ordem de TT (dias) de passagem no porto P do navio anterior N que passa no dia T no porto P;  
 PARAMETER ANN (T,N,P) Representa a ordem do navio NN que precede a passagem do navio N no porto P no dia T;  
 PARAMETER TEMP (T,N,P) Intervalo de tempo entre dois navios consecutivos;  
 PARAMETER AUX\_PRI variavel auxiliar para calculo de parametros;

\* Calculo de TEMP(T,N,P) = intervalo de tempo (em dias) entre T data da passagem do navio N no porto P e a data de passagem do navio precedente no porto P

```

LOOP(P,
  LOOP(N,
    LOOP(T,
      IF(VISITA(T,N,P)=1,
        AUX_PRI = 0
        LOOP (TT,
          IF(ORD (TT) GE ORD (T),
            LOOP (NN,
              IF ((VISITA(TT,NN,P) = 1) AND (ORD (NN) NE ORD (N)) AND (AUX_PRI EQ 0)),
                TEMP (T,N,P) = ORD (TT) - ORD (T);

                AUX_PRI = 1;
              IF ((ORD(TT) EQ ORD(T)) AND (ORD(NN) LE ORD(N)),
                AUX_PRI = 0;
              );
            );
          );
        );
      );
    );
  );
  AUX_PRI = 0;
);
);
);
);
);

```

\* Calculo de ATT e ANN

```

AUX_PRI = 0;
LOOP(T,
  LOOP(N,
    LOOP(P,
      IF(VISITA(T,N,P)=1,
        LOOP (TT,
          LOOP (NN,
            IF((VISITA(TT,NN,P)=1) AND (ORD(TT) LT ORD(T)) AND (ORD(N) NE ORD(NN)),
              ATT(T,N,P) = ORD (TT);
              ANN(T,N,P) = ORD (NN) ;
            );
            IF ((VISITA(TT,NN,P)=1) AND (ORD(TT) EQ ORD(T)) AND (ORD(NN) LT ORD(N)),
              ATT(T,N,P) = ORD (TT);
              ANN(T,N,P) = ORD (NN);
            );
          );
        );
      );
    );
  );
);
);
);
);
);

```



TABLE O(T,N,P,EU) oferta e demanda de containeres por porto por navio  
 \*dados de entrada elaborados pelo Bruno a partir de dados da Hamburg Sud

	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
T2 .HEICO.FOT	-6	-9	-3	0
T14.COPAC.FOT	-6	-24	-3	4
T30.COLOS.FOT	-6	-25	-9	2
T7 .COPAC.ITJ	0	-5	-4	-3
T22.COLOS.ITJ	25	15	-1	9
T2 .ALBRA.QFS	-115	-21	-41	-28
T3 .CABLA.QFS	0	-3	-24	26
T15.ALEUR.QFS	-70	-1	-18	-23
T17.CAPED.QFS	124	-16	5	19
T23.CATRA.QFS	-70	-13	-29	-30
T26.CABOT.QFS	12	1	-24	0
T29.CAPOL.QFS	-54	-17	-29	-30
T9 .CAPED.QPB	9	-16	-2	0
T17.ALEUR.QPB	-12	-1	0	0
T30.CAPOL.QPB	-6	5	4	0
T1 .SANMI.RGR	0	0	0	0
T4 .COPAC.RGR	-8	5	2	-3
T10.CAROC.RGR	-3	2	-43	-5
T13.SANMA.RGR	5	1	-2	-4
T20.COLOS.RGR	5	9	-3	-5
T21.CATRA.RGR	-14	-6	-13	-5
T3 .CAROC.RIO	9	6	2	1
T4 .SANMA.RIO	3	2	1	0
T4 .SANMI.RIO	0	-26	0	0
T5 .ALBRA.RIO	-4	-87	-6	0
T10.COPAC.RIO	15	-43	2	2
T11.CATRA.RIO	6	4	1	1
T12.COLOS.RIO	12	-17	0	1
T18.SANMA.RIO	18	-13	1	2
T22.ALEUR.RIO	8	-32	-7	1
T26.COLOS.RIO	0	0	0	0
T29.CAFIN.RIO	9	6	2	1
T1 .HEICO.SSA	-1	-28	-5	0
T2 .ALEUR.SSA	-154	35	2	1
T6 .SANMI.SSA	16	-38	-16	2
T8 .CABLA.SSA	8	66	-3	1
T18.CAROC.SSA	25	-10	-21	3
T21.SANMA.SSA	12	-64	-2	-1
T26.CAFIN.SSA	20	10	2	3
T29.CATRA.SSA	-28	-66	-2	2
T30.CABOT.SSA	4	3	1	1
T1 .CAROC.SSZ	2	26	30	2
T2 .SANMI.SSZ	51	-75	-39	-8
T4 .ALBRA.SSZ	-43	-212	-53	4
T5 .ALEUR.SSZ	2	-57	19	-18
T5 .CABLA.SSZ	0	0	0	20
T5 .SANMA.SSZ	50	0	0	-20
T7 .CAPED.SSZ	4	52	60	4
T9 .COPAC.SSZ	-46	2	29	1
T13.COLOS.SSZ	8	104	120	8
T14.CAROC.SSZ	-209	-188	-75	2
T14.CATRA.SSZ	-160	-42	45	6
T15.CABOT.SSZ	17	26	30	2
T16.SANMA.SSZ	2	-34	-10	0
T19.CAPED.SSZ	6	18	60	6
T20.ALEUR.SSZ	-28	-94	-15	2
T20.CAPOL.SSZ	0	0	0	0
T24.COLOS.SSZ	-12	44	90	3
T27.CATRA.SSZ	-160	-42	45	6
T30.CAFIN.SSZ	6	78	90	6
T9 .CATRA.SUP	9	18	36	0
T19.CAROC.SUP	5	-15	28	0
T25.ALEUR.SUP	-34	-18	15	0
T30.CATRA.SUP	-49	-18	-4	0
T6 .CAPED.VIX	0	-23	3	0
T13.CABOT.VIX	0	-13	3	0

TABLE EST\_INI(P,EU) estoque inicial do porto P para container tipo EU

	IN-20	DC-20	DC-40	HK-40
FOT	43	57	3	1
ITJ	14	13	23	17
QFS	118	92	140	38
QPB	20	20	32	4
RGR	31	50	64	28
RIO	5	69	21	23
SSA	186	210	27	8
SSZ	77	554	141	19
SUP	166	115	7	1
VIX	0	24	0	0

\* Parametros para ajuste do estoque inicial

PARAMETER DIA\_INI(P) indica o dia da passagem do primeiro navio no porto P;  
 PARAMETER NAVIO\_INI(P) indica o numero do navio que passa primeiro no porto P

```

LOOP (P,
  AUX_PRI = 0;
  LOOP (T,
    LOOP (N,
      IF ( (VISITA(T,N,P) = 1) AND (AUX_PRI = 0) ,
        AUX_PRI = 1;
        DIA_INI(P) = ORD(T);
        NAVIO_INI(P) = ORD(N);
      );
    );
  );

```

```

);
);
);
* Ajuste do estoque inicial
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( (ORD(T) EQ DIA_INI(P)) AND (ORD(N) EQ NAVIO_INI(P)) ,
        O(T,N,P,EU) = O(T,N,P,EU) + EST_INI(P,EU);
      );
    );
  );
);
* Parametros para ajuste de limites de operacao de rodovias
* 1) a priori adota-se que nao ha movimentacao de containers via rodovia
* nos dias T1 e T2 de cada porto e em todos os dias apos a passagem do ultimo navio em cada porto
* 2) adota-se tambem que nao pode ocorrer movimentacao via maritima para o ultimo navio de um porto ou de qualquer
* outro navio que chegue ate "espera" dias antes deste navio
PARAMETER DIA_FIM(P) indica o dia da passagem do ultimo navio no porto P (dentro do periodo de analise);
LOOP (P,
  AUX_PRI = 0;
  LOOP (T,
    LOOP (N,
      IF ( (VISITA(T,N,P) = 1) AND (ORD(T) GT AUX_PRI) ,
        AUX_PRI = ORD(T);
      );
    );
  );
  DIA_FIM(P) = AUX_PRI;
);

```

TABLE C1 (P,EU,PP) custo em US\$ por unidade do porto P para o porto PP (Transporte por navio)

	FOT	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOT. IN-20	0	383	253	177	318	299	289	19	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
FOT. DC-20	0	383	253	177	318	299	289	19	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
FOT. 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
FOT. 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 entre o porto P e o porto PP (Transporte por caminhao)

	FOT	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOT. 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	3000	3000
FOT. 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
FOT.	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	300	1200
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
FOT.	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	300	1200
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 de container tipo EU alugado no porto P

	FOT	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 diario em US\$ por unidade de container tipo EU mantido em estoque no porto P (estoque)

	FOT	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 por caminhao entre os portos P e PP em dias

	FOT	SUP	SSA	VIX	RIO	SSZ	QPB	QFS	ITJ	RGR
FOT	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

CA (N) 10 por cento da capacidade dos navios

/

ALBRA 120  
ALEUR 160  
CABLA 50  
CABOT 50  
CAFIN 120  
CAPED 80  
CAPOL 240  
CAROC 500  
CATRA 500  
CGLOS 240  
COPAC 240  
HEICO 80  
SANMA 160  
SANMI 160

/

;

\* =====  
\* VARIAVEIS  
\* =====

## VARIABLES

X (T,N,P,PP,EU) quant. de cont. do tipo EU transp. pelo navio N do porto P para o porto PP  
Y (T,N,P,EU) quant. de cont. do tipo EU alugada para atender a demanda do navio N no porto P  
W (T,N,P,PP,EU) quant. de cont. do tipo EU transportados via rodoviario entre P e PP que chegam dias  
"espera" antes da passagem do navio N  
EST (T,N,P,EU) estoque  
Z custo total de posicionamento;

POSITIVE VARIABLE X, Y, W, EST;

\*INTEGER VARIABLE X, Y, W, EST;

\* =====  
\* EQUACOES  
\* =====

## EQUATIONS

CUSTO define a funcao objetivo  
EQUILIBRIO(T,N,P,EU) satisfaz as restricoes de N pelo porto quando algum navio passa pelo porto  
CAPAC(T,N,P) define a capacidade do navio

/

CUSTO ..

```

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

EQUILIBRIO (T,N,P,EU) $(VISITA(T,N,P) EQ 1) ..
EST(T,N,P,EU)
=E=
SUM((TT,NN)$ (
    (ORD(TT) EQ ATT(T,N,P))$
    (ORD(NN) EQ ANN(T,N,P))
)
, EST(TT,NN,P,EU)
)
- SUM((PPP)
, P_SUC(T,N,P,PPP) * X(T,N,P,PPP,EU)
)
+ SUM((TT,TTT,NN,PP)$ (
    (ORD(TT) LE (ORD(T)-Espera))$
    (ORD(TT) GT (ATT(T,N,P)-Espera))
)
, VISITA(TT,NN,P) * P_ANT(TT,NN,P,PP) * X(TT,NN,PP,P,EU)
)
- SUM((TT,TTT,NN,PP)$ (
    (ORD(TTT) EQ (ORD(TT)+Espera+TEM(P,PP)))$
    (VISITA(TTT,NN,PP) EQ 1)$
    ((ORD(TT)) GT ATT(T,N,P))$
    ((ORD(TT)) LE ORD(T))
)
, W(TT,NN,P,PP,EU)
)
+ SUM((TT,PP)$ (
    (ORD(TT) EQ (ORD(T)-Espera-TEM(PP,P)))
)
, W(TT,N,PP,P,EU)
)
+ O (T,N,P,EU)
+ Y (T,N,P,EU)
;

* zera variaveis nao utilizadas
X.FX(T,N,P,PP,EU)$ (VISITA(T,N,P) EQ 0) = 0;
X.FX(T,N,P,PP,EU)$ (P_SUC(T,N,P,PP) EQ 0) = 0;
X.FX(T,N,P,PP,EU)$ (ORD(T) GT (DIA_FIM(P)-Espera)) = 0;
LOOP (TT,
    W.FX(T,N,P,PP,EU)$ (
        ((ORD(TT)-Espera-TEM(P,PP)) EQ ORD(T))$
        (VISITA(TT,N,PP) EQ 0)
    ) = 0;
);
W.FX(T,N,P,PP,EU)$ (ORD(P) EQ ORD(PP)) = 0;
W.FX(T,N,P,PP,EU)$ (ORD(T) GT DIA_FIM(P)) = 0;

CAPAC (T,N,P)$ (VISITA(T,N,P) EQ 1) ..
SUM ( (TT,TTT,PP,PPP)$ ( (ORD(TT) LE ORD(T)) $ (ORD(TTT) GT ORD(T)) ) ,
    X(TT,N,PP,PPP,"IN-20") * VISITA(TT,N,PPP) +
    X(TT,N,PP,PPP,"DC-20") * VISITA(TT,N,PPP) +
    2 * X(TT,N,PP,PPP,"DC-40") * VISITA(TT,N,PPP) +
    2 * X(TT,N,PP,PPP,"HK-40") * VISITA(TT,N,PPP)
)
)
=L=
CA(N)
;

* =====
* MODEL & SYSTEM
* =====
MODEL TRANSPORT /ALL/;
OPTION INTERLM = 10000;
OPTION LP = CPLEX;
SOLVE TRANSPORT USING LP MINIMIZING Z;

* =====
* ARQUIVOS DE SAIDA
* =====

* Auxiliares
PARAMETER parc1;
PARAMETER parc2;
PARAMETER parc3;
PARAMETER parc4;
PARAMETER parc5;

* =====
* Arquivo de saida Saida
* =====
FILE Sd_var ;
PUT Sd_var ;

* =====
* Variaveis em funcao do tempo
* =====
PUT 'Var';
PUT @6 'Tempo';
PUT @12 'Port1';

```

```

PUT @18 'Port2';
PUT @24 'Navio';
PUT @30 'IN-20';
PUT @40 'DC-20';
PUT @50 'DC-40';
PUT @60 'HK-40';
PUT /;

LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      parc2 = 0;
      LOOP (PP,
        *
        Verifica impressao de X
        IF ( SUM( EU , X.L(T,N,P,PP,EU)) NE 0 ,
          PUT 'X';
          PUT @6 T.TL;
          PUT @12 P.TL;
          PUT @18 PP.TL;
          PUT @24 N.TL;
          LOOP ( EU ,
            PUT @(20 + ORD(EU)*10) , X.L(T,N,P,PP,EU):0:2;
          );
          PUT /;
        );
        *-----*
        *
        Verifica impressao de W
        IF ( SUM( EU , W.L(T,N,P,PP,EU)) NE 0 ,
          PUT 'W';
          PUT @6 T.TL;
          PUT @12 P.TL;
          PUT @18 PP.TL;
          PUT @24 N.TL;
          LOOP ( EU ,
            PUT @(20 + ORD(EU)*10) , W.L(T,N,P,PP,EU):0:2;
          );
          PUT /;
        );
        *-----*
        *
        Verifica impressao de Y
        IF ( (SUM( EU , Y.L(T,N,P,EU)) NE 0) AND (parc2 = 0) ,
          PUT 'Y';
          PUT @6 T.TL;
          PUT @12 P.TL;
          PUT @24 N.TL;
          LOOP ( EU ,
            PUT @(20 + ORD(EU)*10) , Y.L(T,N,P,EU):0:2;
          );
          PUT /;
          parc2 = 1;
        );
        *-----*
      );
    );
  );
);

*-----*
* Variavel X
*-----*
FILE Sd_X ;
PUT Sd_X ;

PUT 'X' /;
LOOP (N,
  PUT N.TL;
  LOOP (EU,
    PUT @(10+ORD(EU)*15), EU.TL ;
  );
  PUT /;
  LOOP (P,
    LOOP (PP,
      LOOP (T,
        IF ( SUM( EU , X.L(T,N,P,PP,EU)) NE 0 ,
          PUT T.TL;
          PUT @6 P.TL;
          PUT @12 PP.TL;
          LOOP (EU,
            PUT @(10+ORD(EU)*15), X.L(T,N,P,PP,EU):0:2;
          );
          PUT /;
        );
      );
    );
  );
  PUT /;
);

*-----*
* Variavel W
*-----*
FILE Sd_W ;
PUT Sd_W ;

PUT 'W' /;
LOOP (N,
  PUT N.TL;
  LOOP (EU,

```

```

    PUT @(10+ORD(EU)*15), EU.TL ;
  );
  PUT /;
  LOOP (P,
    LOOP (PP,
      LOOP (T,
        IF ( SUM( EU , W.L(T,N,P,PP,EU)) NE 0 ,
          PUT T.TL;
          PUT @6 P.TL;
          PUT @12 PP.TL;
          LOOP (EU,
            PUT @(10+ORD(EU)*15), W.L(T,N,P,PP,EU):0:2;
          );
          PUT /;
        );
      );
    );
  );
  PUT /;
);

* =====
* Variavel Estoque
* =====
FILE Sd_EST ;
PUT Sd_EST ;

LOOP (P,
  PUT P.TL ;
  LOOP (EU,
    PUT @(ORD(EU)*15), EU.TL ;
  );
  PUT /;
  LOOP (T,
    LOOP (N,
      IF (VISITA(T,N,P) NE 0 ,
        PUT T.TL;
        PUT @5 N.TL;
        LOOP (EU,
          PUT @(ORD(EU)*15), EST.L(T,N,P,EU):0:2;
        );
        PUT /;
      );
    );
  );
  PUT /;
);

* =====
* Restricao de Capacidade
* =====
FILE Sd_Cap ;
PUT Sd_Cap ;

LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      parcl = CAPAC.L(T,N,P);
      IF ( VISITA(T,N,P) NE 0 ,
        PUT T.TL;
        PUT @5 N.TL;
        PUT @12 P.TL;
        PUT @18 parcl:0:2;
        PUT @25 'LE';
        PUT @28 CA(N);
        PUT /;
      );
    );
  );
);

* =====
* Restricao de Equilibrio
* =====
FILE Sd_Equil ;
PUT Sd_Equil ;

PUT 'DIA ' ;
PUT @10 'NAVIO ' ;
PUT @20 'PORTO ' ;
PUT @30 'TIPO ' ;
PUT @40 'EST = ' ;
PUT @50 'EST ANT - ' ;
PUT @60 'SAIDA X + ' ;
PUT @70 'ENTRD X - ' ;
PUT @80 'SAIDA W + ' ;
PUT @90 'ENTRD W + ' ;
PUT @100 'BALANCO + ' ;
PUT @110 'LEASING Y ' ;
PUT /;
PUT
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      LOOP (EU,
        IF ( VISITA(T,N,P) EQ 1 ,
          parcl = SUM((TT,NN),EST.L(TT,NN,P,EU)$(((ORD(TT) EQ ATT(T,N,P))AND(ORD(NN) EQ ANN(T,N,P)))));
          parcl2 = SUM((PPP), P_SUC(T,N,P,PPP) * X.L(T,N,P,PPP,EU) );

```

```

parc3 = SUM((TT,TTT,NN,PP)$ (
                                (ORD(TT) LE (ORD(T)-Espera))$
                                (ORD(TT) GT (ATT(T,N,P)-Espera))
                                )
    , VISITA(TT,NN,P) * P_ANT(TT,NN,P,PP) * X.L(TTT,NN,PP,P,EU)
);
parc4 = SUM((TT,TTT,NN,PP)$ (
                                (ORD(TTT) EQ (ORD(TT)+Espera+TEM(P,PP)))$
                                (VISITA(TTT,NN,PP) EQ 1)$
                                ((ORD(TT)) GT ATT(T,N,P))$
                                ((ORD(TT)) LE ORD(T))
                                )
    , W.L(TT,NN,P,PP,EU)
);
parc5 = SUM((TT,PP)$ (ORD(TT) EQ (ORD(T)-Espera-TEM(PP,P))), W.L(TT,N,PP,P,EU));
PUT T.TL;
PUT @10 N.TL;
PUT @20 P.TL;
PUT @30 EU.TL;
PUT @40 EST.L(T,N,P,EU):0:2;
PUT @50 parc1:0:2;
PUT @60 parc2:0:2;
PUT @70 parc3:0:2;
PUT @80 parc4:0:2;
PUT @90 parc5:0:2;
PUT @100 O(T,N,P,EU):0:2;
PUT @110 Y.L(T,N,P,EU):0:2;
PUT /;
);
);
);
);

```

### Cenário Variação 1

O Cenário Variação 1 altera em relação ao Cenário Barco somente no cálculo da função de mérito. A função de mérito fica assim calculada:

```

CUSTO ..
Z
=E=
SUM ((T,N,P,PP,EU) , 3 * C1(P,EU,PP) * X(T,N,P,PP,EU) )
+ SUM ((T,N,P,PP,EU) , C2(P,EU,PP) * W(T,N,P,PP,EU) )
+ SUM ((T,N,P,EU) , C3(EU,P) * Y(T,N,P,EU) )
+ SUM ((T,N,P,EU) , C4(EU,P) * EST(T,N,P,EU) * TEMP(T,N,P) )
;

```

### Cenário Variação 2

O Cenário Variação 2 altera em relação ao Cenário Barco somente no cálculo da função de mérito. A função de mérito fica assim calculada:

```

CUSTO ..
Z
=E=
SUM ((T,N,P,PP,EU) , C1(P,EU,PP) * X(T,N,P,PP,EU) )
+ SUM ((T,N,P,PP,EU) , 3 * C2(P,EU,PP) * W(T,N,P,PP,EU) )
+ SUM ((T,N,P,EU) , C3(EU,P) * Y(T,N,P,EU) )
+ SUM ((T,N,P,EU) , C4(EU,P) * EST(T,N,P,EU) * TEMP(T,N,P) )
;

```

### Cenário Variação 3

O Cenário Variação 3 altera em relação ao Cenário Barco somente no cálculo da função de mérito. A função de mérito fica assim calculada:

```

CUSTO ..
Z
=E=
  SUM ((T,N,P,PP,EU) , C1(P,EU,PP) * X(T,N,P,PP,EU) )
+ SUM ((T,N,P,PP,EU) , 3 * C2(P,EU,PP) * W(T,N,P,PP,EU) )
+ SUM ((T,N,P,EU) , C3(EU,P) * Y(T,N,P,EU) )
+ SUM ((T,N,P,EU) , C4(EU,P) * EST(T,N,P,EU) * TEMP(T,N,P) )
;

```

### Cenário Variação 4

O Cenário Variação 4 altera em relação ao Cenário Barco somente no cálculo da função de mérito. A função de mérito fica assim calculada:

```

CUSTO ..
Z
=E=
  SUM ((T,N,P,PP,EU) , 3 * C1(P,EU,PP) * X(T,N,P,PP,EU) )
+ SUM ((T,N,P,PP,EU) , 3 * C2(P,EU,PP) * W(T,N,P,PP,EU) )
+ SUM ((T,N,P,EU) , C3(EU,P) * Y(T,N,P,EU) )
+ SUM ((T,N,P,EU) , C4(EU,P) * EST(T,N,P,EU) * TEMP(T,N,P) )
;

```



## ANEXO B

O Anexo B mostra a listagem do código em linguagem *GAMS* do Cenário atualizado apresentado no trabalho.

Este Cenário utiliza dados atualizados e implementa a restrição de estoque mínimo mencionado no Capítulo 4.

```
*A logistica do container vazio
* O problema visa estimar os posicionamentos dos containeres vazios tendo como
*base os seus custos.

* Minimiza o tamanho do arquivo de saida
* =====
* =====
$offlisting
$offsymxref offsymlist
option limrow = 0;
option limcol = 0;
option solprint = off;
option sysout = off;

* =====
* CONSTANTES
* =====
SCALAR Espera tempo de espera ate que um container que chega ao porto fique disponivel /2/;

* =====
* INDICES
* =====
sets
* N 26 Navios
  N navios do schedule / INTRE, FMAN, LEBL, FMAC, FSAN, FLAM, FBEL, PRN, SEV, LBB, CASAU,
  CASNI, CASAN, CASMA, CASRA, MANEW, MAVAL, PEARG, CSHAM, CAFIN, ALBRA, ALEUR,
  CAROC, SEAXP, MAVAN, ALHAM /
* EU 6 Tipos de containeres
  EU tipos de containeres / DC20, RF20, DC40, HC40, RH40 /
* P 15 Portos
  P portos / FOT, ITJ, MAO, MCZ, PEC, PNG, RIG, RIO, SEP, SFS, SLZ, SSA, SSZ, SUP, VIX /
* T 31 Dias
  T tempo em dias / T4 * T31 /
;

ALIAS (P, PP);
ALIAS (P, PPP);
ALIAS (N, NN);
ALIAS (N, NNN);
ALIAS (T, TT);
ALIAS (T, TTT);

* =====
* PARAMETROS
* =====
TABLE VISITA (T,N,P) parametro binario que assume valor 1 se o navio N visita o porto P no dia T
      FOT ITJ MAO MCZ PEC PNG RIG RIO SEP SFS SLZ SSA SSZ SUP VIX
T6.FMAN      1
T16.LEBL     1
T22.FLAM     1
```



T24.FBEL		1
T24.SEV		1
T25.LEBL		1
T25.CASAN		1
T25.MAVAN		1
T26.ALHAM		1
T27.PEARG		1
T28.CASRA		1
T29.PRN		1
T29.CSHAM		1
T29.CAROC		1
T30.MANEW		1
T31.LBB		1
T31.ALEUR		1
T31.ALHAM		1
T7.LEBL	1	
T9.CASNI	1	
T14.FMAC	1	
T18.FMAN	1	
T18.CASMA	1	
T25.CASRA	1	
T29.LBB	1	
T31.CASAN	1	

TABLE HORAS(T,N,P) parametro que assume o valor da hora que o navio N visita o porto P no dia T

\* OBS: nao pode ser colocado 0.00 como horario de chegada (considerar por 0.01)

\* OBS2: nao pode ocorrer de dois navios chegarem no mesmo dia no mesmo horario no mesmo porto (considerar pelo menos 1 min de diferenca)

\* OBS3: a representacao e dada por 'horas.minuto' (exemplo 20.36 representa 20 horas 36 minutos)

FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	FNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ	SUP	VIX
T6.FMAN	4.00													
T16.LEBL	14.15													
T22.FLAM	8.00													
T24.FMAC	11.00													
T26.FMAN	6.00													
T23.SEAXP				20.36										
T25.CASMA				23.30										
T31.MAVAN				2.00										
T11.CASMA							11.12							
T11.SEAXP							19.24							
T14.SEV							5.00							
T14.CASNI							15.00							
T19.MAVAN							7.00							
T21.LBB							4.30							
T22.CASMA							8.45							
T24.CASAN							15.15							
T25.ALHAM							15.30							
T28.PRN							5.00							
T29.CASRA							18.30							
T31.CASAU							5.00							
T5.CAFIN													9.41	
T8.CASMA													12.00	
T12.ALBRA													8.00	
T14.LEBL													12.00	
T16.FSAN													12.00	
T17.CASNI													9.25	
T17.CASRA													3.30	
T19.ALEUR													17.00	
T20.FLAM													10.45	
T21.FMAC													11.00	
T21.CASAN													6.45	
T24.FMAN													21.00	
T25.CAROC													17.00	
T28.CASAU													8.00	
T29.SEV													13.00	
T31.FBEL													0.01	
T30.INTRE														6.00
T16.SEAXP	17.20													
T24.MAVAN	4.00													
T29.ALHAM	4.00													
T8.FMAN				23.00										
T27.FMAC				14.00										
T10.MAVAL					5.00									
T15.SEAXP					2.06									
T16.SEV					12.30									
T20.PEARG					1.30									
T21.MAVAN					21.00									
T23.LBB					4.30									
T27.ALHAM					23.18									
T28.CSHAM					9.20									
T30.PRN					5.00									
T31.MANEW					15.00									
T13.FSAN								3.30						
T16.FLAM								8.00						
T24.LEBL								18.00						
T25.FBEL								23.00						
T31.INTRE								20.00						
T17.MAVAL										7.00				
T19.FLAM										0.30				
T20.SEAXP										20.48				
T21.LEBL										20.30				
T28.SEV										7.30				
T28.MAVAN										7.30				
T29.FMAC										12.00				
T30.PEARG										12.00				
T29.FMAN											18.00			
T9.LEBL									10.30					

T11.MAVAL		22.30	
T14.FMAN		0.01	
T15.CAFIN		9.00	
T16.FMAC		12.00	
T22.ALBRA		5.00	
T23.SEV		13.00	
T23.PEARG		13.01	
T25.CSHAM		19.24	
T29.ALEUR		5.30	
T24.FSAN	19.30		
T28.FLAM	3.45		
T4.CASNI			1.40
T9.MAVAL			1.00
T9.CAFIN			8.12
T11.FSAN			5.00
T12.FMAN		0.01	22.00
T12.CASNI			4.30
T12.CASMA			9.00
T13.SEAXP			0.06
T14.FLAM			9.30
T14.MAVAL			6.00
T15.SEV			10.30
T15.ALBRA			22.00
T16.CAFIN			20.30
T17.SEAXP			22.00
T18.PEARG			6.00
T20.FMAN			23.00
T20.CASRA			10.45
T20.MAVAN			9.50
T21.CASMA			4.00
T21.CSHAM			23.40
T22.LBB			22.01
T22.ALEUR			23.10
T23.ALBRA			23.00
T24.FBEL			10.00
T24.SEV			22.30
T25.LEBL			12.30
T25.CASAN			16.15
T25.MAVAN			23.00
T26.ALHAM			23.00
T27.PEARG			9.12
T28.CASRA			11.30
T29.PRN			3.00
T29.CSHAM			23.00
T29.CAROC			5.00
T30.MANEW			8.00
T31.LBB			22.00
T31.ALEUR			6.00
T31.ALHAM			22.01
T7.LEBL		4.30	
T9.CASNI		17.05	
T14.FMAC		9.00	
T18.FMAN		9.00	
T18.CASMA		15.15	
T25.CASRA		22.30	
T29.LBB		22.00	
T31.CASAN		6.00	

```

PARAMETER AUX_PRI  variavel auxiliar para calculo de parametros;
PARAMETER AUX_DIA  variavel auxiliar para calculo de parametros;
PARAMETER AUX_NAV  variavel auxiliar para calculo de parametros;
PARAMETER AUX_HOR  variavel auxiliar para calculo de parametros;

```

```

PARAMETER N_AIMEDIATO (T,N,P,NN) Parametro binario que assume valor 1 se o navio NN for o antecessor imediato no
porto P do navio N quando de sua passagem no dia T;

```

```

LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( VISITA(T,N,P) = 1 ,
        AUX_DIA = 0;
        AUX_NAV = 0;
        AUX_HOR = 0;
        LOOP (TT$(ORD(TT) LE ORD(T)),
          LOOP (NN,
            IF ( VISITA(TT,NN,P) = 1 ,
              IF ( (ORD(TT) EQ AUX_DIA) AND (HORAS(TT,NN,P) LT AUX_HOR) ,
                AUX_DIA = AUX_DIA
              ELSE
                AUX_DIA = ORD(TT);
                AUX_NAV = ORD(NN);
                AUX_HOR = HORAS(TT,NN,P);
              );
            );
          );
        );
      );
    );
  );
  N_AIMEDIATO(T,N,P,NN)$ (ORD(NN) EQ AUX_NAV) = 1;
);
);

```

```

*****
* Arquivo checagem saida do N_AIMEDIATO
*****
FILE N_AI ;
PUT N_AI ;

```

```

LOOP (NN,
  PUT @(10+ORD(NN)*8) , NN.TL;
);
PUT /;
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      LOOP (NN,
        IF ( N_AIMEDIATO(T,N,P,NN) EQ 1,
          PUT @1 , T.TL;
          PUT @5 , N.TL;
          PUT @11 , P.TL;
          PUT @(10+ORD(NN)*8) , '1' /;
        );
      );
    );
  );
);
*****

PARAMETER P_ANT(T,N,P,PP) Parametro binario que assume valor 1 se o navio N antes de passar no porto P no dia T ja
passou pelo porto PP;
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( VISITA(T,N,P) EQ 1 ,
        AUX_PRI = 0;
        * AUX_PRI = 0 se for 1a passagem, 1 se for 2a passagem
        * Rotina que determina AUX_PRI
        LOOP ( TTS(ORD(TT) LT ORD(T) ) ,
          IF ( VISITA(TT,N,P) EQ 1 ,
            AUX_PRI = 1;
            AUX_DIA = ORD(TT);
            AUX_HOR = HORAS(TT,N,P);
          );
        );
        * Faz atualizacao se AUX_PRI = 0;
        IF ( AUX_PRI = 0 ,
          LOOP ( TTS(ORD(TT) LE ORD(T) ) ,
            LOOP ( PP$( ORD(PP) NE ORD(P) ) ,
              IF ( (VISITA(TT,N,PP) EQ 1) AND (ORD(TT) LT ORD(T)) ,
                P_ANT(T,N,P,PP) = 1;
              );
              IF ( (VISITA(TT,N,PP) EQ 1) AND (ORD(TT) EQ ORD(T)) AND (HORAS(TT,N,PP) LT HORAS(T,N,P)) ,
                P_ANT(T,N,P,PP) = 1;
              );
            );
          );
        );
        ELSE
        * FAZ atualizacao se AUX_PRI = 1;
        LOOP ( TTS( (ORD(TT) GE AUX_DIA)$(ORD(TT) LE ORD(T)) ) ,
          LOOP ( PP$( ORD(PP) NE ORD(P) ) ,
            IF ( (VISITA(TT,N,PP) EQ 1) AND (ORD(TT) GT AUX_DIA) AND (ORD(TT) LT ORD(T)) ,
              P_ANT(T,N,P,PP) = 1;
            );
            IF ( ( VISITA(TT,N,PP) EQ 1) AND (ORD(TT) EQ AUX_DIA) AND (HORAS(TT,N,PP) GT AUX_HOR) ,
              P_ANT(T,N,P,PP) = 1;
            );
            IF ( ( VISITA(TT,N,PP) EQ 1) AND (ORD(TT) EQ ORD(T)) AND (HORAS(TT,N,PP) LT HORAS(T,N,P)) ,
              P_ANT(T,N,P,PP) = 1;
            );
          );
        );
      );
    );
  );
);
*****
* Arquivo checagem saida do P_ANT
*****
FILE P_ANT_SD ;
PUT P_ANT_SD ;

LOOP (PP,
  PUT @(10+ORD(PP)*8) , PP.TL;
);
PUT /;
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( VISITA(T,N,P) EQ 1,
        PUT @1 , T.TL;
        PUT @5 , N.TL;
        PUT @11 , P.TL;
        LOOP (PP,
          IF ( P_ANT(T,N,P,PP) EQ 1,
            PUT @(10+ORD(PP)*8) , '1';
          );
        );
        PUT /;
      );
    );
  );
);
);
*****

```

PARAMETER P\_SUC (T,N,P,PPP) Parametro binario que assume valor 1 se o navio N depois de passar no porto P no dia T visita o porto PP antes de eventual retorno ao porto P;

```

LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( VISITA(T,N,P) EQ 1 ,
        AUX_PRI = 0;
        *
        AUX_PRI = 0 se tiver so uma passagem, 1 se tiver duas passagens E estiver na la passagem
        *
        Rotina que determina AUX_PRI
        LOOP ( TT$(ORD(TT) GT ORD(T) ) ,
          IF ( VISITA(TT,N,P) EQ 1 ,
            AUX_PRI = 1;
            AUX_DIA = ORD(TT);
            AUX_HOR = HORAS(TT,N,P);
          );
        );
        *
        Faz atualizacao se AUX_PRI = 0;
        IF ( AUX_PRI = 0 ,
          LOOP ( TT$(ORD(TT) GE ORD(T) ) ,
            LOOP ( PPP$( ORD(PPP) NE ORD(P) ) ,
              IF ( (VISITA(TT,N,PPP) EQ 1) AND (ORD(TT) GT ORD(T)) ,
                P_SUC(T,N,P,PPP) = 1;
              );
              IF ( (VISITA(TT,N,PPP) EQ 1) AND (ORD(TT) EQ ORD(T)) AND (HORAS(TT,N,PPP) GT HORAS(T,N,P)) ,
                P_SUC(T,N,P,PPP) = 1;
              );
            );
          );
        );
        ELSE
        *
        FAZ atualizacao se AUX_PRI = 1;
        LOOP (TT$( ORD(TT) LE AUX_DIA)$ (ORD(TT) GE ORD(T)) ) ,
          LOOP ( PPP$( ORD(PPP) NE ORD(P) ) ,
            IF ( (VISITA(TT,N,PPP) EQ 1) AND (ORD(TT) LT AUX_DIA) AND (ORD(TT) GT ORD(T)) ,
              P_SUC(T,N,P,PPP) = 1;
            );
            IF ( ( VISITA(TT,N,PPP) EQ 1) AND (ORD(TT) EQ AUX_DIA) AND (HORAS(TT,N,PPP) LT AUX_HOR) ,
              P_SUC(T,N,P,PPP) = 1;
            );
            IF ( ( VISITA(TT,N,PPP) EQ 1) AND (ORD(TT) EQ ORD(T)) AND (HORAS(TT,N,PPP) GT HORAS(T,N,P)) ,
              P_SUC(T,N,P,PPP) = 1;
            );
          );
        );
      );
    );
  );
);

```

```

*****
* Arquivo checagem saida do P_SUC
*****
FILE P_SUC_SD ;
PUT P_SUC_SD ;

```

```

LOOP (PPP,
  PUT @(10+ORD(PPP)*8) , PPP.TL;
);
PUT /;
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( VISITA(T,N,P) EQ 1,
        PUT @1 , T.TL;
        PUT @5 , N.TL;
        PUT @11 , P.TL;
        LOOP (PPP,
          IF ( P_SUC(T,N,P,PPP) EQ 1,
            PUT @(10+ORD(PPP)*8) , '1';
          );
        );
        PUT /;
      );
    );
  );
);

```

```

*****

```

PARAMETER TEMP (T,N,P) Intervalo de tempo entre dois navios consecutivos;  
 \* Calculo de TEMP(T,N,P) = intervalo de tempo (em dias) entre T data da passagem do navio N no porto P e a data de passagem do navio precedente no porto P

```

LOOP (P,
  LOOP (N,
    LOOP (T,
      IF ( VISITA(T,N,P)=1,
        AUX_PRI = 0
        LOOP (TT,
          IF (ORD (TT) GE ORD (T),
            LOOP (NN,
              IF ( ( (VISITA(TT,NN,P) = 1) AND (ORD (NN) NE ORD (N)) AND (AUX_PRI EQ 0) ) ,
                TEMP (T,N,P) = ORD (TT) - ORD (T);
                AUX_PRI = 1;
                IF ( (ORD(TT) EQ ORD(T)) AND (ORD(NN) LE ORD(N)) ,
                  AUX_PRI = 0;
                );
              );
            );
          );
        );
      );
    );
  );
);

```



T17.	MAVAL.	SSA	-36	-23	-119	-55	-62
T19.	FLAM.	SSA	47	-10	-68	-39	-16
T20.	SEAXP.	SSA	4	-2	-8	0	-8
T21.	LEBL.	SSA	4	-2	-8	0	-8
T28.	SEV.	SSA	4	-6	-62	-1	-49
T28.	MAVAN.	SSA	-12	2	-29	-1	-16
T29.	FMAC.	SSA	-6	1	-15	0	-8
T30.	PEARG.	SSA	-6	1	-15	0	-8
T4.	CASNI.	SSZ	-37	2	-6	-15	-1
T9.	MAVAL.	SSZ	-91	6	-16	-38	-3
T9.	CAFIN.	SSZ	-91	6	-16	-38	-3
T11.	FSAN.	SSZ	-39	9	8	-7	-1
T12.	FMAN.	SSZ	-1	2	5	3	0
T12.	CASNI.	SSZ	-1	2	5	3	0
T12.	CASMA.	SSZ	-1	2	5	3	0
T13.	SEAXP.	SSZ	-2	6	15	8	0
T14.	FLAM.	SSZ	-1	3	7	4	0
T14.	MAVAL.	SSZ	-1	3	7	4	0
T15.	SEV.	SSZ	-1	3	7	4	0
T15.	ALBRA.	SSZ	-1	3	7	4	0
T16.	CAFIN.	SSZ	-2	6	15	8	0
T17.	SEAXP.	SSZ	-2	6	15	8	0
T18.	PEARG.	SSZ	-8	6	10	18	-4
T20.	FMAN.	SSZ	-4	0	-3	7	-3
T20.	CASRA.	SSZ	-4	0	-3	7	-3
T20.	MAVAN.	SSZ	-4	0	-3	7	-3
T21.	CASMA.	SSZ	-3	0	-3	5	-2
T21.	CSHAM.	SSZ	-3	0	-3	5	-2
T22.	LBB.	SSZ	-3	0	-3	5	-2
T22.	ALEUR.	SSZ	-3	0	-3	5	-2
T23.	ALBRA.	SSZ	-6	0	-5	1	-4
T24.	FBEL.	SSZ	-3	0	-3	5	-2
T24.	SEV.	SSZ	-3	0	-3	5	-2
T25.	LEBL.	SSZ	-13	0	-5	12	-5
T25.	CASAN.	SSZ	-7	0	0	2	-1
T25.	MAVAN.	SSZ	-7	0	0	2	-1
T26.	ALHAM.	SSZ	-21	-1	1	7	-4
T27.	PEARG.	SSZ	-21	-1	1	7	-4
T28.	CASRA.	SSZ	-21	-1	1	7	-4
T29.	PRN.	SSZ	-7	0	0	2	-1
T29.	CSHAM.	SSZ	-7	0	0	2	-1
T29.	CAROC.	SSZ	-7	0	0	2	-1
T30.	MANEW.	SSZ	-21	-1	1	7	-4
T31.	LBB.	SSZ	-7	0	0	2	-1
T31.	ALEUR.	SSZ	-7	0	0	2	-1
T31.	ALHAM.	SSZ	-7	0	0	2	-1
T5.	CAFIN.	SUP	-1	-1	9	-31	-8
T8.	CASMA.	SUP	-1	-2	13	-46	-12
T12.	ALBRA.	SUP	20	-3	19	-29	-9
T14.	LEBL.	SUP	21	-1	11	1	-1
T16.	FSAN.	SUP	42	-2	21	3	-2
T7.	CASNI.	SUP	5	0	3	0	0
T17.	CASRA.	SUP	5	0	3	0	0
T19.	ALEUR.	SUP	24	-1	12	4	-2
T20.	FLAM.	SUP	14	-1	6	3	-1
T21.	FMAC.	SUP	7	0	3	2	-1
T21.	CASAN.	SUP	7	0	3	22	-1
T24.	FMAN.	SUP	55	-2	25	14	-5
T25.	CAROC.	SUP	68	-2	30	6	-5
T28.	CASAU.	SUP	51	2	19	-31	1
T29.	SEV.	SUP	13	0	5	-8	0
T31.	FBEL.	SUP	39	1	15	-23	0
T30.	INTRE.	VIX	2	0	0	7	1

TABLE EST\_INI(EU,P) estoque inicial do porto P para container tipo EU

	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ
SUP	VIX												
DC20	96	21	413		34	33	191	186	12	234	34	138	236
9													65
RF20		3			3	1	26	6		1		18	53
DC40	58	156	213		24	9	348	72	25	157	4	175	202
207	1												8
HC40	46	115	168		25	66	225	11	4	92	2	82	308
126													
RH40		6	2		95	5	24	37		355		122	250
													71

TABLE EST\_MIN(EU,P) estoque minimo do porto P para container tipo EU

	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ
SUP	VIX												
DC20	89	24	34		8	49	211	230	5	120	20	83	300
RF20					2		17	1		2		9	20
DC40	5	25	29		6	45	130	50	2	85		69	290
HC40	3	40	150		9	68	80	28		130		30	156
RH40		51	1		11	6	11	5		100		51	60
													16

\* Parametros para ajuste do estoque inicial

PARAMETER DIA\_INI(P) indica o dia da passagem do primeiro navio no porto P;

PARAMETER NAVIO\_INI(P) indica o numero do navio que passa primeiro no porto P;

LOOP (P,

AUX\_PRI = 0;

LOOP (T,



```

LOOP (N,
  IF ( (VISITA(T,N,P) = 1) AND (AUX_PRI = 0) ,
    AUX_PRI = 1;
    DIA_INI(P) = ORD(T);
    NAVIO_INI(P) = ORD(N);
  );
);
);
);

* Ajuste do estoque inicial
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( (ORD(T) EQ DIA_INI(P)) AND (ORD(N) EQ NAVIO_INI(P)) ,
        O(T,N,P,EU) = O(T,N,P,EU) + EST_INI(EU,P);
      );
    );
  );
);

* Parametros para ajuste de limites de operacao de rodovias
* 1) a priori adota-se que nao ha movimentacao de containers via rodovia
* nos dias T1 e T2 de cada porto e em todos os dias apos a passagem do ultimo navio em cada porto
* 2) adota-se tambem que nao pode ocorrer movimentacao via maritima para o ultimo navio de um porto ou de qualquer
* outro navio que chegue ate "espera" dias antes deste navio
PARAMETER DIA_FIM(P) indica o dia da passagem do ultimo navio no porto P (dentro do periodo de analise);
LOOP (P,
  AUX_PRI = 0;
  LOOP (T,
    LOOP (N,
      IF ( (VISITA(T,N,P) = 1) AND (ORD(T) GT AUX_PRI) ,
        AUX_PRI = ORD(T);
      );
    );
  );
  DIA_FIM(P) = AUX_PRI;
);

```

TABLE C1(P,EU,PP)		custo em US\$ por unidade do porto P para o porto PP (Transporte por navio)													
	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ	SUP	VIX
FOT.DC20	0	161	186	155	164	191	191	216	241	188	153	199	193	191	185
ITJ.DC20	161	0	176	145	153	181	181	205	230	178	143	189	183	181	175
MAO.DC20	186	176	0	170	179	206	206	230	256	203	168	214	208	206	200
MCZ.DC20	155	145	170	0	147	174	175	199	224	172	137	183	177	175	169
PEC.DC20	164	153	179	147	0	183	183	206	233	181	145	191	186	183	177
PNG.DC20	191	181	206	174	183	0	211	235	260	208	173	219	213	211	205
RIG.DC20	191	181	206	175	183	211	0	235	260	208	173	219	213	211	205
RIO.DC20	216	205	230	199	208	235	235	0	285	232	197	243	237	235	229
SEP.DC20	241	230	256	224	233	260	260	285	0	258	222	268	263	260	254
SFS.DC20	188	178	203	172	181	208	208	232	258	0	170	216	210	208	202
SLZ.DC20	153	143	168	137	145	173	173	197	222	170	0	181	175	173	167
SSA.DC20	199	189	214	183	191	219	219	243	268	216	181	0	221	219	213
SSZ.DC20	193	183	208	177	186	213	213	237	263	210	175	221	0	213	207
SUP.DC20	191	181	206	175	183	211	211	235	260	208	173	219	213	0	205
VIX.DC20	185	175	200	169	177	205	205	229	254	202	167	213	207	205	0
FOT.RF20	0	161	186	155	164	191	191	216	241	188	153	199	193	191	185
ITJ.RF20	161	0	176	145	153	181	181	205	230	178	143	189	183	181	175
MAO.RF20	186	176	0	170	179	206	206	230	256	203	168	214	208	206	200
MCZ.RF20	155	145	170	0	147	174	175	199	224	172	137	183	177	175	169
PEC.RF20	164	153	179	147	0	183	183	208	233	181	145	191	186	183	177
PNG.RF20	191	181	206	174	183	0	211	235	260	208	173	219	213	211	205
RIG.RF20	191	181	206	175	183	211	0	235	260	208	173	219	213	211	205
RIO.RF20	216	205	230	199	208	235	235	0	285	232	197	243	237	235	229
SEP.RF20	241	230	256	224	233	260	260	285	0	258	222	268	263	260	254
SFS.RF20	188	178	203	172	181	208	208	232	258	0	170	216	210	208	202
SLZ.RF20	153	143	168	137	145	173	173	197	222	170	0	181	175	173	167
SSA.RF20	199	189	214	183	191	219	219	243	268	216	181	0	221	219	213
SSZ.RF20	193	183	208	177	186	213	213	237	263	210	175	221	0	213	207
SUP.RF20	191	181	206	175	183	211	211	235	260	208	173	219	213	0	205
VIX.RF20	185	175	200	169	177	205	205	229	254	202	167	213	207	205	0
FOT.DC40	0	171	225	165	174	224	222	255	251	218	163	232	230	213	225
ITJ.DC40	171	0	204	145	153	204	201	235	230	197	143	212	210	193	205
MAO.DC40	225	204	0	198	207	257	255	288	284	251	196	265	263	246	258
MCZ.DC40	165	145	198	0	147	197	195	228	224	191	137	205	203	187	199
PEC.DC40	174	153	207	147	0	206	204	237	233	200	145	214	212	195	207
PNG.DC40	224	204	257	197	206	0	254	288	283	250	196	265	262	246	258
RIG.DC40	222	201	255	195	204	254	0	285	281	248	193	262	260	243	255
RIO.DC40	255	235	288	228	237	288	285	0	314	281	227	295	293	277	289
SEP.DC40	251	230	284	224	233	283	281	314	0	277	222	291	289	272	284
SFS.DC40	218	197	251	191	200	250	248	281	277	0	189	258	256	239	251
SLZ.DC40	163	143	196	137	145	196	193	227	222	189	0	204	202	185	197
SSA.DC40	232	212	265	205	214	265	262	295	291	258	204	0	270	254	266
SSZ.DC40	230	210	263	203	212	262	260	293	289	256	202	270	0	252	264
SUP.DC40	213	193	246	187	195	246	243	277	272	239	185	254	252	0	247
VIX.DC40	225	205	258	199	207	258	255	289	284	251	197	266	264	247	0
FOT.HC40	0	171	225	165	174	224	222	255	251	218	163	232	230	213	225
ITJ.HC40	171	0	204	145	153	204	201	235	230	197	143	212	210	193	205
MAO.HC40	225	204	0	198	207	257	255	288	284	251	196	265	263	246	258
MCZ.HC40	165	145	198	0	147	197	195	228	224	191	137	205	203	187	199
PEC.HC40	174	153	207	147	0	206	204	237	233	200	145	214	212	195	207
PNG.HC40	224	204	257	197	206	0	254	288	283	250	196	265	262	246	258
RIG.HC40	222	201	255	195	204	254	0	285	281	248	193	262	260	243	255
RIO.HC40	255	235	288	228	237	288	285	0	314	281	227	295	293	277	289
SEP.HC40	251	230	284	224	233	283	281	314	0	277	222	291	289	272	284
SFS.HC40	218	197	251	191	200	250	248	281	277	0	189	258	256	239	251
SLZ.HC40	163	143	196	137	145	196	193	227	222	189	0	204	202	185	197
SSA.HC40	232	212	265	205	214	265	262	295	291	258	204	0	270	254	266

SSZ.HC40	230	210	263	203	212	262	260	293	289	256	202	270	0	252	264
SUP.HC40	213	193	246	187	195	246	243	277	272	239	185	254	252	0	247
VIX.HC40	225	205	258	199	207	258	255	289	284	251	197	266	264	247	0
FOT.RH40	0	171	225	165	174	224	222	255	251	218	163	232	230	213	225
ITJ.RH40	171	0	204	145	153	204	201	235	230	197	143	212	210	193	205
MAO.RH40	225	204	0	198	207	257	255	288	284	251	196	265	263	246	258
MCZ.RH40	165	145	198	0	147	197	195	228	224	191	137	205	203	187	199
PEC.RH40	174	153	207	147	0	206	204	237	233	200	145	214	212	195	207
PNG.RH40	224	204	257	197	206	0	254	288	283	250	196	265	262	246	258
RIG.RH40	222	201	255	195	204	254	0	285	281	248	193	262	260	243	255
RIO.RH40	255	235	288	228	237	288	285	0	314	281	227	295	293	277	289
SEP.RH40	251	230	284	224	233	283	281	314	0	277	222	291	289	272	284
SFS.RH40	218	197	251	191	200	250	248	281	277	0	189	258	256	239	251
SLZ.RH40	163	143	196	137	145	196	193	227	222	189	0	204	202	185	197
SSA.RH40	232	212	265	205	214	265	262	295	291	258	204	0	270	254	266
SSZ.RH40	230	210	263	203	212	262	260	293	289	256	202	270	0	252	264
SUP.RH40	213	193	246	187	195	246	243	277	272	239	185	254	252	0	247
VIX.RH40	225	205	258	199	207	258	255	289	284	251	197	266	264	247	0

TABLE C2 (P,EU,PP) custo em US\$ por unidade entre o porto P e o porto PP (Transporte por caminhão)

	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA	SSZ	SUP	VIX
FOT.DC20	0	3681	3782	974	238	3573	4174	2808	2764	3905	3022	1317	3160	788	2273
ITJ.DC20	3681	0	3700	3076	3643	437	556	1079	1166	378	3473	2624	662	3286	1544
MAO.DC20	3782	3700	0	3568	3160	3782	4081	3731	3643	3906	2477	3556	3700	3935	3877
MCZ.DC20	974	3076	3568	0	1134	2967	3568	2180	2207	3299	1583	617	2504	245	1644
PEC.DC20	238	3643	3160	1134	0	3352	4116	2904	2827	3585	722	1413	3201	1005	2369
PNG.DC20	3573	437	3782	2967	3352	0	814	853	874	378	3335	2516	465	3180	1318
RIG.DC20	4174	556	4081	3568	4116	814	0	1555	1461	331	3911	3117	1166	3781	2020
RIO.DC20	2808	1079	3731	2180	2904	853	1555	0	108	1272	2725	1726	587	2392	533
SEP.DC20	2764	1166	3643	2207	2827	874	1461	108	0	1166	3139	1755	304	2419	562
SFS.DC20	3905	378	3906	3299	3585	378	331	1272	1166	0	3697	2848	911	3510	1768
SLZ.DC20	3022	3473	2477	1583	722	3335	3911	2725	3139	3697	0	1662	2982	1628	2618
SSA.DC20	1317	2624	3556	617	1413	2516	3117	1726	1755	2848	1662	0	2052	829	1193
SSZ.DC20	3160	662	3700	2504	3201	465	1166	587	304	911	2982	2052	0	2716	862
SUP.DC20	788	3286	3935	245	1005	3180	3781	2392	2419	3510	1628	829	2716	0	1857
VIX.DC20	2273	1544	3877	1644	2369	1318	2020	533	562	1768	2618	1193	862	1857	0
FOT.RF20	0	3681	3782	974	238	3573	4174	2808	2764	3905	3022	1317	3160	788	2273
ITJ.RF20	3681	0	3700	3076	3643	437	556	1079	1166	378	3473	2624	662	3286	1544
MAO.RF20	3782	3700	0	3568	3160	3782	4081	3731	3643	3906	2477	3556	3700	3935	3877
MCZ.RF20	974	3076	3568	0	1134	2967	3568	2180	2207	3299	1583	617	2504	245	1644
PEC.RF20	238	3643	3160	1134	0	3352	4116	2904	2827	3585	722	1413	3201	1005	2369
PNG.RF20	3573	437	3782	2967	3352	0	814	853	874	378	3335	2516	465	3180	1318
RIG.RF20	4174	556	4081	3568	4116	814	0	1555	1461	331	3911	3117	1166	3781	2020
RIO.RF20	2808	1079	3731	2180	2904	853	1555	0	108	1272	2725	1726	587	2392	533
SEP.RF20	2764	1166	3643	2207	2827	874	1461	108	0	1166	3139	1755	304	2419	562
SFS.RF20	3905	378	3906	3299	3585	378	331	1272	1166	0	3697	2848	911	3510	1768
SLZ.RF20	3022	3473	2477	1583	722	3335	3911	2725	3139	3697	0	1662	2982	1628	2618
SSA.RF20	1317	2624	3556	617	1413	2516	3117	1726	1755	2848	1662	0	2052	829	1193
SSZ.RF20	3160	662	3700	2504	3201	465	1166	587	304	911	2982	2052	0	2716	862
SUP.RF20	788	3286	3935	245	1005	3180	3781	2392	2419	3510	1628	829	2716	0	1857
VIX.RF20	2273	1544	3877	1644	2369	1318	2020	533	562	1768	2618	1193	862	1857	0
FOT.DC40	0	7362	7564	1948	476	7146	8348	5616	5528	7810	6044	2634	6320	1576	4546
ITJ.DC40	7362	0	7400	6152	7286	874	1112	2158	2332	756	6946	5248	1324	6572	3088
MAO.DC40	7564	7400	0	7136	6320	7564	8162	7462	7286	7812	4954	7112	7400	7870	7754
MCZ.DC40	1948	6152	7136	0	2268	5934	7136	4360	4414	6598	3166	1234	5008	490	3288
PEC.DC40	476	7286	6320	2268	0	6704	8232	5808	5654	7170	1444	2826	6402	2010	4738
PNG.DC40	7146	874	7564	5934	6704	0	1628	1706	1748	756	6670	5032	930	6360	2636
RIG.DC40	8348	1112	8162	7136	8232	1628	0	3110	2922	662	7822	6234	2332	7562	4040
RIO.DC40	5616	2158	7462	4360	5808	1706	3110	0	216	2544	5450	3452	1174	4784	1066
SEP.DC40	5528	2332	7286	4414	5654	1748	2922	216	0	2332	6278	3510	608	4838	1124
SFS.DC40	7810	756	7812	6598	7170	756	662	2544	2332	0	7394	5696	1822	7020	3536
SLZ.DC40	6044	6946	4954	3166	1444	6670	7822	5450	6278	7394	0	3324	5964	3256	5236
SSA.DC40	2634	5248	7112	1234	2826	5032	6234	3452	3510	5696	3324	0	4104	1658	2386
SSZ.DC40	6320	1324	7400	5008	6402	930	2332	1174	608	1822	5964	4104	0	5432	1724
SUP.DC40	1576	6572	7870	490	2010	6360	7562	4784	4838	7020	3256	1658	5432	0	3714
VIX.DC40	4546	3088	7754	3288	4738	2636	4040	1066	1124	3536	5236	2386	1724	3714	0
FOT.RH40	0	7362	7564	1948	476	7146	8348	5616	5528	7810	6044	2634	6320	1576	4546
ITJ.RH40	7362	0	7400	6152	7286	874	1112	2158	2332	756	6946	5248	1324	6572	3088
MAO.RH40	7564	7400	0	7136	6320	7564	8162	7462	7286	7812	4954	7112	7400	7870	7754
MCZ.RH40	1948	6152	7136	0	2268	5934	7136	4360	4414	6598	3166	1234	5008	490	3288
PEC.RH40	476	7286	6320	2268	0	6704	8232	5808	5654	7170	1444	2826	6402	2010	4738
PNG.RH40	7146	874	7564	5934	6704	0	1628	1706	1748	756	6670	5032	930	6360	2636
RIG.RH40	8348	1112	8162	7136	8232	1628	0	3110	2922	662	7822	6234	2332	7562	4040
RIO.RH40	5616	2158	7462	4360	5808	1706	3110	0	216	2544	5450	3452	1174	4784	1066
SEP.RH40	5528	2332	7286	4414	5654	1748	2922	216	0	2332	6278	3510	608	4838	1124
SFS.RH40	7810	756	7812	6598	7170	756	662	2544	2332	0	7394	5696	1822	7020	3536
SLZ.RH40	6044	6946	4954	3166	1444	6670	7822	5450	6278	7394	0	3324	5964	3256	5236
SSA.RH40	2634	5248	7112	1234	2826	5032	6234	3452	3510	5696	3324	0	4104	1658	2386
SSZ.RH40	6320	1324	7400	5008	6402	930	2332	1174	608	1822	5964	4104	0	5432	1724
SUP.RH40	1576	6572	7870	490	2010	6360	7562	4784	4838	7020	3256	1658	5432	0	3714
VIX.RH40	4546	3088	7754	3288	4738	2636	4040	1066	1124	3536	5236	2386	1724	3714	0



T8.CASMA						
494.00						
T12.ALBRA						
203.00						
T14.LEBL						
118.00						
T16.FSAN						
124.00						
T17.CASNI						
158.00						
T17.CASRA						
419.00						
T19.ALEUR						
574.00						
T20.FLAM						
75.00						
T21.FMAC						
61.00						
T21.CASAN						
290.00						
T24.FMAN						
74.00						
T25.CAROC						
356.00						
T28.CASAU						
454.00						
T29.SEV						
247.00						
T31.FBEL						
101.00						
T30.INTRE						
69.00						
T16.SEAXP	70.00					
T24.MAVAN	246.00					
T29.ALHAM	171.00					
T8.FMAN		37.00				
T27.FMAC		23.00				
T10.MAVAL			97.00			
T15.SEAXP			186.00			
T16.SEV			87.00			
T20.PEARG			146.00			
T21.MAVAN			231.00			
T23.LBB			276.00			
T27.ALHAM			191.00			
T28.CSHAM			117.00			
T30.PRN			190.00			
T31.MANEW			112.00			
T12.FMAN				60.00		
T13.FSAN				117.00		
T16.FLAM				149.00		
T24.LEBL				97.00		
T25.FBEL				46.00		
T31.INTRE				67.00		
T17.MAVAL					141.00	
T19.FLAM					150.00	
T20.SEAXP					198.00	
T21.LEBL					46.00	
T28.SEV					153.00	
T28.MAVAN					226.00	
T29.FMAC					66.00	
T30.PEARG					66.00	
T29.FMAN				29.00		
T9.LEBL				58.00		
T11.MAVAL				88.00		
T14.FMAN				30.00		
T15.CAFIN				353.00		
T16.FMAC				34.00		
T22.ALBRA				523.00		
T23.SEV				234.00		
T23.PEARG				79.00		
T25.CSHAM				213.00		
T29.ALEUR				314.00		
T24.FSAN	123.00					
T28.FLAM	76.00					
T4.CASNI						
229.00						
T9.MAVAL						
143.00						
T9.CAFIN						
549.00						
T11.FSAN						
128.00						
T12.CASNI						
293.00						
T12.CASMA						
431.00						
T13.SEAXP						
224.00						
T14.FLAM						
123.00						
T14.MAVAL						
148.00						
T15.SEV						
268.00						
T15.ALBRA						
256.00						
T16.CAFIN						
596.00						

```

T17.SEAXP
235.00
T18.PEARG
159.00
T20.FMAN
32.00
T20.CASRA
143.00
T20.MAVAN
124.00
T21.CASMA
349.00
T21.CSHAM
177.00
T22.LBB
203.00
T22.ALEUR
596.00
T23.ALBRA
434.00
T24.FBEL
54.00
T24.SEV
99.00
T25.LEBL
63.00
T25.CASAN
217.00
T25.MAVAN
222.00
T26.ALHAM
233.00
T27.PEARG
60.00
T28.CASRA
518.00
T29.PRN
172.00
T29.CSHAM
168.00
T29.CAROC
578.00
T30.MANEW
86.00
T31.LBB
219.00
T31.ALEUR
428.00
T31.ALHAM
158.00
T7.LEBL 139.00
T9.CASNI 325.00
T14.FMAC 39.00
T18.FMAN 59.00
T18.CASMA 343.00
T25.CASRA 449.00
T29.LBB 150.00
T31.CASAN 272.00
;

```

```

* =====
* VARIAVEIS
* =====
VARIABLES
  X (T,N,P,PP,EU) quant. de cont. do tipo EU transp. pelo navio N do porto P para o porto PP
  Y (T,N,P,EU) quant. de cont. do tipo EU alugada para atender a demanda do navio N no porto P
  W (T,N,P,PP,EU)
* quant. de cont. do tipo EU transportados via rodoviario saindo de P e indo para PP
* que chega dias "espera" (dia T) antes da passagem do navio N no porto PP = atender navio (T,N,PP)
  EST (T,N,P,EU) estoque
  Z custo total de posicionamento;

POSITIVE VARIABLE X, Y, W, EST;

C2(P,EU,PP) = 0.25 * C2(P,EU,PP);

* =====
* EQUACOES
* =====
EQUATIONS
  CUSTO define a funcao objetivo
  EQUILIBRIO(T,N,P,EU) satisfaz as restricoes de N pelo porto quando algum navio passa pelo porto
  CAPAC(T,N,P) define a capacidade do navio
  ESTMIN(T,N,P,EU) respeita o estoque minimo
;

ESTMIN (T,N,P,EU) ..
EST(T,N,P,EU)
=G=
EST_MIN(EU,P)
;

CUSTO ..
Z
=E=
SUM ((T,N,P,PP,EU) , C1(P,EU,PP) * X(T,N,P,PP,EU) )

```

```

+ SUM ((T,N,P,PP,EU) , C2(P,EU,PP) * W(T,N,P,PP,EU) )
+ SUM ((T,N,P,EU) , C3(EU,P) * Y(T,N,P,EU) )
+ SUM ((T,N,P,EU) , C4(EU,P) * EST(T,N,P,EU) * TEMP(T,N,P) )
;

EQUILIBRIO (T,N,P,EU) $ (VISITA(T,N,P) EQ 1) ..
EST(T,N,P,EU)
=E=
SUM((TT,NN)$ (
  (ORD(TT) EQ ATT(T,N,P))$
  (ORD(NN) EQ ANN(T,N,P))
)
, EST(TT,NN,P,EU)
)
- SUM((PPP)
, P_SUC(T,N,P,PPP) * X(T,N,P,PPP,EU)
)
+ SUM((TT,TTT,NN,PP)$ (
  (ORD(TT) LE (ORD(T)-Espera))$
  (ORD(TT) GT (ATT(T,N,P)-Espera))
)
, VISITA(TT,NN,P) * P_ANT(TT,NN,P,PP) * X(TTT,NN,PP,P,EU)
)
- SUM((TT,TTT,NN,PP)$ (
  (ORD(TTT) EQ (ORD(TT)+Espera))$
  (VISITA(TTT,NN,PP) EQ 1)$
  (ORD(TT) - TEM (P,PP) GT ATT(T,N,P))$
  (ORD(TT) - TEM (P,PP) LE ORD(T))
)
, W(TT,NN,P,PP,EU)
)
+ SUM((TT,PP)$ (
  (ORD(TT) EQ (ORD(T)-Espera-TEM(P,PP))
)
, W(TT,N,PP,P,EU)
)
+ O (T,N,P,EU)
+ Y (T,N,P,EU)
;

CAPAC (T,N,P)$ (VISITA(T,N,P) EQ 1) ..
SUM ( (TT,TTT,PP,PPP)$ ( (ORD(TT) LE ORD(T)) $ (ORD(TTT) GT ORD(T)) ) ,
X(TT,N,PP,PPP,"DC20") * VISITA(TTT,N,PPP) +
X(TT,N,PP,PPP,"RF20") * VISITA(TTT,N,PPP) +
2 * X(TT,N,PP,PPP,"DC40") * VISITA(TTT,N,PPP) +
2 * X(TT,N,PP,PPP,"HC40") * VISITA(TTT,N,PPP) +
2 * X(TT,N,PP,PPP,"RH40") * VISITA(TTT,N,PPP)
)
=L=
PDISP(T,N,P)
;

* =====
* Elimina arcos e variaveis nao existentes
* =====
X.FX(T,N,P,PP,EU)$ (VISITA(T,N,P) EQ 0) = 0;
X.FX(T,N,P,PP,EU)$ (P_SUC(T,N,P,PP) EQ 0) = 0;
X.FX(T,N,P,PP,EU)$ (ORD(T) GT (DIA_FIM(P)-Espera)) = 0;
LOOP (TT,
  W.FX(T,N,P,PP,EU)$ (
    ((ORD(TT)-Espera) EQ ORD(T))$
    (VISITA(TT,N,PP) EQ 0)
  ) = 0;
);
W.FX(T,N,P,PP,EU)$ (ORD(P) EQ ORD(PP)) = 0;
W.FX('T4',N,P,PP,EU) = 0;
W.FX('T5',N,P,PP,EU) = 0;
W.FX(T,N,P,PP,EU)$ (ORD(T) GT DIA_FIM(P)) = 0;
W.FX(T,N,P,PP,EU)$ (TEM(P,PP) EQ 99) = 0;

* =====
* MODEL & SYSTEM
* =====
MODEL TRANSPORT /ALL/;
OPTION ITERLIM = 10000;
OPTION LP = CPLEX;
SOLVE TRANSPORT USING LP MINIMIZING Z;
OPTION DECIMALS = 0;
DISPLAY X.L, W.L, Y.L;

* =====
* ARQUIVOS DE SAIDA
* =====

* Auxiliares
PARAMETER parcl;
PARAMETER parc2;
PARAMETER parc3;
PARAMETER parc4;
PARAMETER parc5;

```

```

* =====
* Variavel Estoque
* =====
FILE Sd_EST ;
PUT Sd_EST ;

LOOP (P,
  PUT P.TL ;
  LOOP (EU,
    PUT @(ORD(EU)*15), EU.TL ;
  );
  PUT /;
  LOOP (T,
    LOOP (N,
      IF (VISITA(T,N,P) NE 0 ,
        PUT T.TL;
        PUT @5 N.TL;
        LOOP (EU,
          PUT @(ORD(EU)*15), EST.L(T,N,P,EU):0:2;
        );
        PUT /;
      );
    );
  );
  PUT /;
);

* =====
* Variavel X
* =====
FILE Sd_X ;
PUT Sd_X ;

PUT 'X' /;
LOOP (N,
  PUT N.TL;
  LOOP (EU,
    PUT @(10+ORD(EU)*15), EU.TL ;
  );
  PUT /;
  LOOP (P,
    LOOP (PP,
      LOOP (T,
        IF ( SUM( EU , X.L(T,N,P,PP,EU)) NE 0 ,
          PUT T.TL;
          PUT @6 P.TL;
          PUT @12 PP.TL;
          LOOP (EU,
            PUT @(10+ORD(EU)*15), X.L(T,N,P,PP,EU):0:2;
          );
          PUT /;
        );
      );
    );
  );
  PUT /;
);

* =====
* Variavel W
* =====
FILE Sd_W ;
PUT Sd_W ;

PUT 'W' /;
LOOP (N,
  PUT N.TL;
  LOOP (EU,
    PUT @(10+ORD(EU)*15), EU.TL ;
  );
  PUT /;
  LOOP (P,
    LOOP (PP,
      LOOP (T,
        IF ( SUM( EU , W.L(T,N,P,PP,EU)) NE 0 ,
          PUT T.TL;
          PUT @6 P.TL;
          PUT @12 PP.TL;
          LOOP (EU,
            PUT @(10+ORD(EU)*15), W.L(T,N,P,PP,EU):0:2;
          );
          PUT /;
        );
      );
    );
  );
  PUT /;
);

* =====
* Restricao de Capacidade

```

```

* =====
FILE Sd_Cap ;
PUT Sd_Cap ;

LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      parcl = CAPAC.L(T,N,P);
      IF ( VISITA(T,N,P) NE 0 ,
        PUT T.TL;
        PUT @5 N.TL;
        PUT @12 P.TL;
        PUT @18 parcl:0:2;
        PUT @25 'LE';
        PUT @28 PDISP(T,N,P);
        PUT /;
      );
    );
  );
);

* =====
* Restricao de Equilibrio
* =====
FILE Sd_Equil ;
PUT Sd_Equil ;

PUT 'DIA ' ;
PUT @10 'NAVIO ' ;
PUT @20 'PORTO ' ;
PUT @30 'TIPO ' ;
PUT @40 'EST = ' ;
PUT @50 'EST_ANT -' ;
PUT @60 'SAIDA X +' ;
PUT @70 'ENTRD X +' ;
PUT @80 'SAIDA W +' ;
PUT @90 'ENTRD W +' ;
PUT @100 'BALANCO +' ;
PUT @110 'LEASING Y' ;
PUT /;
PUT
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      LOOP (EU,
        IF ( VISITA(T,N,P) EQ 1 ,
          parcl = SUM((TT,NN),EST.L(TT,NN,P,EU)$((ORD(TT) EQ ATT(T,N,P))AND(ORD(NN) EQ ANN(T,N,P)))));
          parcl2 = SUM((PPP), P_SUC(T,N,P,PPP) * X.L(T,N,P,PPP,EU) );
          parcl3 = SUM((TT,TTT,NN,PP)$ (
            (ORD(TT) LE (ORD(T)-Espera))$
            (ORD(TT) GT (ATT(T,N,P)-Espera))
            )
            , VISITA(TT,NN,P) * P_ANT(TT,NN,P,PP) * X.L(TTT,NN,PP,P,EU)
          );
          parcl4 = SUM((TT,TTT,NN,PP)$ (
            (ORD(TTT) EQ (ORD(TT)+Espera))$
            (VISITA(TTT,NN,PP) EQ 1)$
            ((ORD(TT)-TEM(P,PP)) GT ATT(T,N,P))$
            ((ORD(TT)-TEM(P,PP)) LE ORD(T))
            )
            , W.L(TT,NN,P,PP,EU)
          );
          parcl5 = SUM((TT,PP)$ (ORD(TT) EQ (ORD(T)-Espera)),W.L(TT,N,PP,P,EU) );
          PUT T.TL;
          PUT @10 N.TL;
          PUT @20 P.TL;
          PUT @30 EU.TL;
          PUT @40 EST.L(T,N,P,EU):0:2;
          PUT @50 parcl:0:2;
          PUT @60 parcl2:0:2;
          PUT @70 parcl3:0:2;
          PUT @80 parcl4:0:2;
          PUT @90 parcl5:0:2;
          PUT @100 O(T,N,P,EU):0:2;
          PUT @110 Y.L(T,N,P,EU):0:2;
          PUT /;
        );
      );
    );
  );
);

* =====
* Parametros ATT ANN e TEMP
* =====
FILE Sd_Par1 ;
PUT Sd_Par1 ;

PUT 'ATT' /;
LOOP (P,
  PUT @(7+ORD(P)*7), P.TL ;
);
PUT /;
LOOP (T,

```



```

LOOP (N,
  IF ( SUM( P , ATT(T,N,P)) NE 0 ,
    PUT T.TL;
    PUT @5 N.TL;
    LOOP (P,
      IF ( ATT(T,N,P) NE 0 ,
        PUT @(7+ORD(P)*7), ATT(T,N,P):0:1 ;
      );
    );
    PUT /;
  );
);
PUT / /;

PUT 'ANN' /;
LOOP (P,
  PUT @(7+ORD(P)*7), P.TL ;
);
PUT /;
LOOP (T,
  LOOP (N,
    IF ( SUM( P , ANN(T,N,P)) NE 0 ,
      PUT T.TL;
      PUT @5 N.TL;
      LOOP (P,
        IF ( ANN(T,N,P) NE 0 ,
          PUT @(7+ORD(P)*7), ANN(T,N,P):0:1 ;
        );
      );
      PUT /;
    );
  );
);
PUT / /;

PUT 'TEMP' /;
LOOP (P,
  PUT @(7+ORD(P)*7), P.TL ;
);
PUT /;
LOOP (T,
  LOOP (N,
    IF ( SUM( P , TEMP(T,N,P)) NE 0 ,
      PUT T.TL;
      PUT @5 N.TL;
      LOOP (P,
        IF ( TEMP(T,N,P) NE 0 ,
          PUT @(7+ORD(P)*7), TEMP(T,N,P):0:1 ;
        );
      );
      PUT /;
    );
  );
);
PUT / /;

* =====
* Parametros O
* =====
FILE Sd_Par2 ;
PUT Sd_Par2 ;

PUT 'O' /;
LOOP (EU,
  PUT @(15+ORD(EU)*7), EU.TL ;
);
PUT /;
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( SUM( EU , ABS(O(T,N,P,EU))) NE 0 ,
        PUT T.TL;
        PUT @5 N.TL;
        PUT @12 P.TL;
        LOOP (EU,
          PUT @(15+ORD(EU)*7), O(T,N,P,EU):0:1 ;
        );
      );
    );
  );
);
);

```

### Cenário Atualizado – Capacidade Reduzida

Este Cenário é uma variação do Cenário Atualizado, sendo que a diferença está na redução em 10% da capacidade de transporte via marítimo nos trechos em que o limite superior é atingido. A alteração é feita somente na tabela PDISP.

TABLE PDISP(T,N,P)		Disponibilidade da capacidade do navio N disponível no dia T no porto P											
SSZ	SUP	FOT	ITJ	MAO	MCZ	PEC	PNG	RIG	RIO	SEP	SFS	SLZ	SSA
		VIX											
T6.FMAN		52.00											
T16.LEBL		58.00											
T22.FLAM		200.00											
T24.FMAC		63.00											
T26.FMAN		71.00											
T23.SEAXP						169.00							
T25.CASMA						357.00							
T31.MAVAN						66.00							
T11.CASMA									384.00				
T11.SEAXP									182.00				
T14.SEV									196.00				
T14.CASNI									307.00				
T19.MAVAN									185.00				
T21.LBB									231.00				
T22.CASMA									341.00				
T24.CASAN									367.00				
T25.ALHAM									95.00				
T28.PRN									158.00				
T29.CASRA									331.00				
T31.CASAU									338.00				
T5.CAFIN													
T06.00													
T8.CASMA													
T494.00													
T12.ALBRA													
T182.00													
T14.LEBL													
T118.00													
T16.FSAN													
T124.00													
T17.CASNI													
T158.00													
T17.CASRA													
T419.00													
T19.ALEUR													
T574.00													
T20.FLAM													
T75.00													
T21.FMAC													
T61.00													
T21.CASAN													
T290.00													
T24.FMAN													
T74.00													
T25.CAROC													
T356.00													
T28.CASAU													
T454.00													
T29.SEV													
T247.00													
T31.FBEL													
T101.00													
T30.INTRE													
T69.00													
T16.SEAXP			70.00										
T24.MAVAN			246.00										
T29.ALHAM			171.00										
T8.FMAN					33.00								
T27.FMAC					23.00								
T10.MAVAL							97.00						
T15.SEAXP							186.00						
T16.SEV							87.00						
T20.PEARG							146.00						
T21.MAVAN							231.00						
T23.LBB							276.00						
T27.ALHAM							191.00						
T28.CSHAM							117.00						
T30.PRN							190.00						
T31.MANEV							112.00						
T12.FMAN									60.00				
T13.FSAN									117.00				
T16.FLAM									149.00				
T24.LEBL									97.00				
T25.FBEL									48.00				
T31.INTRE									67.00				
T17.MAVAL												141.00	
T19.FLAM												150.00	
T20.SEAXP												198.00	
T21.LEBL												46.00	
T28.SEV												153.00	
T28.MAVAN												226.00	
T29.FMAC												66.00	
T30.PEARG												66.00	
T29.FMAN										29.00			

T9.LEBL		58.00
T11.MAVAL		79.00
T14.FMAN		27.00
T15.CAFIN		317.00
T16.FMAC		30.00
T22.ALBRA		523.00
T23.SEV		234.00
T23.PEARG		79.00
T25.CSHAM		213.00
T29.ALEUR		314.00
T24.FSAN	123.00	
T28.FLAM	76.00	
T4.CASNI		
229.00		
T9.MAVAL		
143.00		
T9.CAFIN		
549.00		
T11.FSAN		
128.00		
T12.CASNI		
293.00		
T12.CASMA		
431.00		
T13.SEAXP		
224.00		
T14.FLAM		
110.00		
T14.MAVAL		
148.00		
T15.SEV		
268.00		
T15.ALBRA		
256.00		
T16.CAFIN		
596.00		
T17.SEAXP		
211.00		
T18.PEARG		
159.00		
T20.FMAN		
32.00		
T20.CASRA		
143.00		
T20.MAVAN		
124.00		
T21.CASMA		
349.00		
T21.CSHAM		
177.00		
T22.LBB		
203.00		
T22.ALEUR		
596.00		
T23.ALBRA		
434.00		
T24.FBEL		
54.00		
T24.SEV		
99.00		
T25.LEBL		
63.00		
T25.CASAN		
217.00		
T25.MAVAN		
222.00		
T26.ALHAM		
233.00		
T27.PEARG		
60.00		
T28.CASRA		
518.00		
T29.PRN		
172.00		
T29.CSHAM		
168.00		
T29.CAROC		
578.00		
T30.MANEW		
86.00		
T31.LBB		
219.00		
T31.ALEUR		
428.00		
T31.ALHAM		
158.00		
T7.LEBL	139.00	
T9.CASNI	325.00	
T14.FMAC	39.00	
T18.FMAN	59.00	
T18.CASMA	343.00	
T25.CASRA	449.00	
T29.LBB	150.00	
T31.CASAN	272.00	
;		

## ANEXO C

### Detalhes de programação

Em função dos comentários apresentados no capítulo 4 com relação aos portos antecessores e sucessores de um dado porto  $i$ , na rota de um navio  $n$ ; e com base na tabela de programação das chegadas dos navios, (essa tabela é mostrada no item 4.3, tabela 4.4), é construída a matriz binária  $VISITA(T,N,P)$ , empregada na implementação computacional do modelo matemático de reposicionamento de contêineres vazios. Essa matriz assume valor 1 se o navio  $N$  passar pelo porto  $P$  no dia  $T$  e assume valor 0 caso contrário.

A matriz  $VISITA(T,N,P)$  foi utilizada para o cálculo dos parâmetros:

### $N\_AIMEDIATO(T,N,P,NN)$

Parâmetro binário que assume valor 1 se o navio  $NN$  for o antecessor imediato no porto  $P$  do navio  $N$  quando de sua passagem no dia  $T$ ;

O Código GAMS do algoritmo para o cálculo de  $N\_AIMEDIATO$  é dado por:

```

PARAMETER N_AIMEDIATO (T,N,P,NN)
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( VISITA(T,N,P) = 1 ,
        AUX_DIA = 0;
        AUX_NAV = 0;
        AUX_HOR = 0;
        LOOP (TT$(ORD(TT) LE ORD(T)),
          LOOP (NN,
            IF ( VISITA(TT,NN,P) = 1 ,
              IF ( :ORD(TT) EQ AUX_DIA) AND (HORAS(TT,NN,P) LT AUX_HOR) ,
                AUX_DIA = AUX_DIA
              ELSE
                AUX_DIA = ORD(TT);
                AUX_NAV = ORD(NN);
                AUX_HOR = HORAS(TT,NN,P);
              ;
            ;
          ;
        );
      );
    );
  );
  N_AIMEDIATO(T,N,P,NN)$ (ORD(NN) EQ AUX_NAV) = 1;
);
;
;
;

```

};

Sendo a explicação do algoritmo:

1. Para cada porto  $P$ , navio  $N$ , e dia  $T$  verifica se ocorre uma visita.
2. Caso ocorra, as variáveis auxiliares para dia, navio e hora armazenam 0 e então verifica para cada dia  $TT$  anterior ou igual a  $T$  e navio  $NN$  se ocorre outra visita ao porto  $P$ .
3. Em caso afirmativo, se  $TT$  for diferente do dia armazenado ou o horário da nova visita for maior ou igual à hora armazenada, armazena o dia  $TT$ , o navio  $NN$  e a hora da nova visita.
4. O navio anterior imediato  $N\_AIMEDIATO(T,N,P,NN)$ , onde  $NN$  é igual ao navio armazenado, fica igual a 1.
5. Retorna ao passo 1.

### $P\_ANT(T,N,P,PP)$

Parâmetro binário que assume valor 1 se o porto  $PP$  for antecessor do porto  $P$  quando este é visitado pelo navio  $N$  no dia  $T$ ;

O Código GAMS do algoritmo para cálculo de  $P\_ANT$  é dado por:

```

PARAMETER P_ANT(T,N,P,PP)
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( VISITA(T,N,P) EQ 1 ,
        AUX_PRI = 0;
        * AUX_PRI = 0 se for 1a passagem, 1 se for 2a passagem
        * Rotina que determina AUX_PRI
        LOOP ( TTS(ORD(TT) LT ORD(T)) ,
          IF ( VISITA(TT,N,P) EQ 1 ,
            AUX_PRI = 1;
            AUX_DIA = ORD(TT);
            AUX_HOR = HORAS(TT,N,P);
          );
        );
        * Faz atualizacao se AUX_PRI = 0;
        IF ( AUX_PRI = 0 ,
          LOOP ( TTS(ORD(TT) LE ORD(T)) ,
            LOOP ( PPS( ORD(PP) NE ORD(P)) ,
              IF ( (VISITA(TT,N,PP) EQ 1) AND (ORD(TT) LT ORD(T)) ,
                P_ANT(T,N,P,PP) = 1;
              );
              IF ( (VISITA(TT,N,PP) EQ 1) AND (ORD(TT) EQ ORD(T)) AND (HORAS(TT,N,PP) LT HORAS(T,N,P)) ,
                P_ANT(T,N,P,PP) = 1;
              );
            );
          );
        );
        ELSE
        * FAZ atualizacao se AUX_PRI = 1;
        LOOP (TTS( (ORD(TT) GE AUX_DIA)S(ORD(TT) LE ORD(T)) ) ,
          LOOP ( PPS( ORD(PP) NE ORD(P)) ,
            IF ( (VISITA(TT,N,PP) EQ 1) AND (ORD(TT) GT AUX_DIA) AND (ORD(TT) LT ORD(T)) ,
              P_ANT(T,N,P,PP) = 1;
            );
            IF ( ( VISITA(TT,N,PP) EQ 1) AND (ORD(TT) EQ AUX_DIA) AND (HORAS(TT,N,PP) GT AUX_HOR) ,
              P_ANT(T,N,P,PP) = 1;
            );
            IF ( ( VISITA(TT,N,PP) EQ 1) AND (ORD(TT) EQ ORD(T)) AND (HORAS(TT,N,PP) LT HORAS(T,N,P)) ,
              P_ANT(T,N,P,PP) = 1;
            );
          );
        );
      );
    );
  );
};

```

Sendo os passos do algoritmo explicado por:

1. Para cada porto  $P$ , navio  $N$ , e dia  $T$  verifica se ocorre uma visita.
2. Em caso afirmativo, para cada dia  $TT$  anterior a  $T$  verifica se o navio já passou pelo porto  $P$ .
3. Caso já tenha passado armazena o dia da passagem anterior.
4. Se for a primeira passagem, para cada dia  $TT$  menor ou igual a  $T$  e para cada porto  $PP$  diferente de  $P$  verifica:
5. Se ocorrer uma visita e o dia  $TT$  for menor do que  $T$ ,  $P\_ANT(T,N,P,PP) = 1$ .
6. Se ocorrer uma visita, o dia  $TT$  for igual a  $T$  e o horário da segunda visita for anterior ao da primeira,  $P\_ANT(T,N,P,PP) = 1$ .
7. Caso seja a segunda passagem, para cada dia  $TT$  menor ou igual a  $T$ , maior ou igual ao dia da primeira passagem e para cada porto  $PP$  diferente de  $P$  verifica:
8. Se ocorrer uma visita, o dia  $TT$  for maior do o da primeira visita e menor do que  $T$ ,  $P\_ANT(T,N,P,PP) = 1$ .
9. Se ocorrer uma visita, o dia  $TT$  for igual ao da primeira visita e o horário maior,  $P\_ANT(T,N,P,PP) = 1$ .
10. Se ocorrer uma visita, o dia  $TT$  for igual a  $T$  e o horário menor,  $P\_ANT(T,N,P,PP) = 1$ .
11. Retorna ao passo 1.

### **$P\_SUC(T,N,P,PPP)$**

Parâmetro binário que assume valor 1 se o porto  $PPP$  for sucessor do porto  $P$  quando este é visitado pelo navio  $N$ , no dia  $T$ ;

O Código GAMS do algoritmo para cálculo de  $P\_SUC$  é dado por:

```

PARAMETER P_SUC (T,N,P,PPP)
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF ( VISITA(T,N,P) EQ 1 ,
        AUX_PRI = 0;
        AUX_PRI = 0 se tiver so uma passagem, 1 se tiver duas passagens E estiver na 1a passagem
        Rotina que determina AUX_PRI
        LOOP ( TTS(ORD(TT) GT ORD(T) ) ,
          IF ( VISITA(TT,N,P) EQ 1 ,
            AUX_PRI = 1;
            AUX_DIA = ORD(TT);
            AUX_HOR = HORAS(TT,N,P);
          );
        );
        Faz atualizacao se AUX_PRI = 0;
        IF ( AUX_PRI = 0 ,
          LOOP ( TTS(ORD(TT) GE ORD(T) ) ,
            LOOP ( PPP$( ORD(PPP) NE ORD(P) ) ,
              IF ( (VISITA(TT,N,PPP) EQ 1) AND (ORD(TT) GT ORD(T)) ,
                P_SUC(T,N,P,PPP) = 1;
              );
            );
          );
        );
      );
    );
  );

```



ANN Indica o navio *NN* que precede a passagem do navio *N* no porto *P* no dia *T*.

O Código GAMS do algoritmo para cálculo de ANN e ATT é dado por:

```

PARAMETER ATT (T,N,P) e PARAMETER ANN (T,N,P)
AUX_PRI = 0;
LOOP (T,
  LOOP (N,
    LOOP (P,
      IF (VISITA (T,N,P)=1,
        LOOP (TT,
          LOOP (NN,
            IF ((VISITA (TT,NN,P)=1) AND (ORD (TT) LT ORD (T)) AND (ORD (N) NE ORD (NN))),
              ATT (T,N,P) = ORD (TT);
              ANN (T,N,P) = ORD (NN);
            );
          IF ((VISITA (TT,NN,P)=1) AND (ORD (TT) EQ ORD (T)) AND (ORD (NN) LT ORD (N))),
              ATT (T,N,P) = ORD (TT);
              ANN (T,N,P) = ORD (NN);
          );
        );
      );
    );
  );
);

```

Os passos deste algoritmo são explicados com:

1. Para cada porto *P*, navio *N*, e dia *T* verifica se ocorre uma visita.
2. Caso ocorra, verifica para cada dia *TT* e navio *NN* se ocorre outra visita ao porto *P*.
3. Em caso afirmativo, se o navio *NN* for diferente de *N* e *TT* menor do que *T*, o parâmetro ATT foca igual a *TT* e o parâmetro ANN igual a *NN*.
4. Se *TT* for igual a *T* e o navio *NN* menor do que *N*, os parâmetros ATT e ANN também ficam iguais à *TT* e *NN* respectivamente.
5. Retorna para 1.

### **TEMP (T,N,P)**

Indica o intervalo de tempo entre duas passagens consecutivas;

O Código GAMS do algoritmo é dado por:

```

PARAMETER TEMP (T,N,P)
LOOP (P,
  LOOP (N,
    LOOP (T,
      IF (VISITA (T,N,P)=1,
        AUX_PRI = 0;
        LOOP (TT,
          IF (ORD (TT) GE ORD (T),
            LOOP (NN,
              IF ((VISITA (TT,NN,P) = 1) AND (ORD (NN) NE ORD (N)) AND (AUX_PRI EQ 0)),
                TEMP (T,N,P) = ORD (TT) - ORD (T);
                AUX_PRI = 1;
              IF ((ORD (TT) EQ ORD (T)) AND (ORD (NN) LE ORD (N))),
                AUX_PRI = 0;
              );
            );
          );
        );
      );
    );
  );
  AUX_PRI = 0;
);
);
);

```



Os passos deste algoritmo são explicados com:

- Para cada porto  $P$ , navio  $N$ , e dia  $T$  verifica se ocorre uma visita.
- Caso ocorra, verifica para cada dia  $TT$  igual ou posterior a  $T$  se algum navio  $NN$  diferente de  $N$  passa pelo porto  $P$ .
- Em caso afirmativo o intervalo de tempo fica sendo igual à diferença entre  $TT$  e  $T$ .
- Caso  $T$  seja igual a  $TT$  e o navio  $NN$  menor ou igual a  $N$  retorna ao passo 2, caso contrário retorna ao passo 1.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLOU, R. H. **Logística Empresarial**. São Paulo, 1995. Ed Atlas S.A.

BARCO, B. L. **A logística do contêiner vazio**. Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da USP para obtenção do título de mestre. São Paulo, 106 p, Mar. 1998.

BOURBEAU, B., CRAINIC, T. G.; GENDRON, B. **Branch-and-bound parallelization strategies applied to a depot location and container fleet management problem**. *Parallel Computing*, 2000, v.26, pp 27-46.

BROOKE, A.; KENDRICK, D.; MEERAUS, A. **Gams – Sistema Geral de Modelagem Algébrica**. Ed. Edgard Blücher, 1997.

CHOONG, SOOK TYING; COLE, MICHAEL H.; KUTANOGLU, ERHAN. **Empty container management for intermodal transportation networks**. *Transportation Research*, part E 38, p. 423-438, Feb. 2002.

CRAINIC, TEODOR GABRIEL; DEJAX, PIERRE; GENDREAU, MICHEL. **Modelling the container fleet management problem using a stochastic dynamic approach**. Centre de recherche sur les transports – Publication #685, Feb 1990.

CRAINIC, T. G.; GENDREAU, M. DEJAX, P. J. **Dynamic and stochastic models for the allocation of empty containers.** *Operational Research*, v.41, n.1, p.102-126, Jan./Feb., 1993.

DEJAX, PIERRE J.; CRAINIC, TEODOR GABRIEL. **Models for empty freight vehicle transportation logistics.** Paper presented at EURO VIII, Lisbon, Portugal, September 1986.

DEJAX, PIERRE J.; CRAINIC, TEODOR GABRIEL. **A review of flows and fleet management models in freight transportation.** *Operations Research Society of America*, 1997, v.21, n.4, pp 227-247.

ERLENKOTTER, D. **Dual-based procedure for uncapacitated facility location.** *Operations Research*, 1978, v.26, n.6, pp. 992-1009.

FLEISCHMANN, M.; BLOEMHOF-RUWAARD, J. M.; LAAN, R. D. E. van der, NUNEN, J. A. E.E. van, WASSENHOVE, L.N. van. **Quantitative models for reverse logistics: A review.** *European Journal of Operational Research*, n. 103, pp. 1-17, 1997

FLOREZ, H. **Empty-container repositioning and leasing: an optimization model.** Tese de D. Sc., Instituto Politécnico de Nova York, NY, EUA.

GEOFFRION, A.M. The purpose of mathematical programming is insight, not numbers. *Interfaces* V.7, no. 1, jan.-feb.. 1976b, p. 81-93.

HEE, K. M. VAN & WIJBRANDS, R. J. **Decision support system for container terminal planning.** *European Journal of operational Research*, v.34, pp. 262-272.

HINO, C. M. **Métodos heurísticos para elaboração de planos de estivagem de navios porta-contêineres.** Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da USP para obtenção do título de mestre. São Paulo, 221 p, Set. 1999.

KOPICKY, R. J.; BERG, M. J.; LEGG, L.; DASAPPA, V. E MAGGIONI, C. **Reuse and recycling: Reverse logistics opportunities.** Council of logistics Management, 2803, 1993. Butterfield Road Oak Brook, IL 60521.

LAI, K. K.; LAM, K.; CHAM, W. K. **Shipping container logistics and allocation.** Journal of the Operational Research Society, v.46, n.6, p. 687-697.

MENDES, ANDRÉ B.; FERNANDES, MARCELO; ONO, RICARDO T. **Transporte marítimo internacional de contêineres.** (2001). Trabalho final apresentado à USP na disciplina pro-5810. São Paulo, dez 2001

OLIVEIRA, R. C. F.; RODEIRO, P. F.; BARCO, B. L.; BRINATI, M. A. **A logística do contêiner vazio: adaptação e melhoria.** Trabalho de formatura apresentado à Escola Politécnica da USP para obtenção do título de Engenheiro. São Paulo, 41 p, Dez.1998.

ONO, R. T. **Estudo de viabilidade do transporte marítimo de contêineres por cabotagem na costa brasileira.** Dissertação de Mestrado apresentado à Escola Politécnica da USP para obtenção do título de mestre. São Paulo, 2001.

ROBINSON, G. L. **Sistema de controle e gerenciamento de contêineres em terminais marítimos.** Tese de mestrado IME. Rio de Janeiro, 1986.

SAMPAIO, Léa Maria Dantas. **Alocação de contêineres vazios para a logística reversa do transporte de carga.** Dissertação de Mestrado apresentado à Universidade Federal do Rio de Janeiro para obtenção do título de mestre. Rio de Janeiro, março de 2001.

SOUZA, A. A. R. **Terminais de Contêineres/Unitização**. In: Relatórios Internos, Câmara Brasileira de Contêineres, Rio de Janeiro, RJ. 1998.

VELASCO, L. O. M.; TEIXEIRA Lima, E. **“Logística e Contêineres no Brasil”**. Informe Infra-Estrutura BNDES, n.26, maio/98.

WHITE, W. W. **Dynamic transshipment network: an algorithm and its application to the distribution of empty containers**. Networks, n.2, p.211-236, 1972.