

MÁRIO JORGE ALVES BORGES

**MODELAGEM DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE MARÍTIMO DE
SUPRIMENTOS: APLICAÇÃO À BACIA DE CAMPOS**

Dissertação apresentada ao Departamento de
Engenharia Naval e Oceânica da Escola
Politécnica da Universidade de São Paulo para
obtenção do título de Mestre em Engenharia

São Paulo
Dezembro de 1998

DEDALUS - Acervo - EPMN



31600010192

À minha esposa e minha filha.

À memória de meus pais.

AGRADECIMENTOS

Aos gerentes da Petrobras, pela viabilização deste mestrado.

Aos colegas da Petrobras/Getmar, pela ajuda, não só na obtenção de informações utilizadas neste trabalho, como nas tarefas que a mim cabiam quando do meu retorno àquela gerência.

Aos professores e funcionários da Escola de Engenharia Naval e Oceânica da USP, pelo ótimo convívio durante o curso.

À minha esposa e minha filha, pelo carinho com que me envolveram nos momentos difíceis.

Ao Prof. Dr. Rui Carlos Botter que, além da orientação firme e apropriada, sempre me incentivou na busca do conhecimento e, com sua dedicação, muito contribuiu para a conclusão desta dissertação.

MODELAGEM DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE MARÍTIMO DE SUPRIMENTOS – APLICAÇÃO À BACIA DE CAMPOS

MESTRANDO: MÁRIO JORGE ALVES BORGES

ORIENTADOR: PROF. DR. RUI CARLOS BOTTER

ERRATA

1: Capítulo 8 “Referências Bibliográficas” incluir a seguinte referência:

BALLOU, R.H., 1992, Logística Empresarial: Transportes, Administração de Materiais e Distribuição Física. 1 ed. São Paulo, Atlas.

2: Capítulo 3, página 34, onde lê-se “parâmentro” leia-se “parâmetro”

3: Capítulo 4, página 56 onde lê-se “dotada” leia-se “adotada”

4: Apêndice A, pag: 116, onde

lê-se :

“norm(med_ped_convés(tipo_um),coef_variação*med_ped_convés(tipo_um))”

leia-se:

“1440*cont(0.0,0.001,0.913,2.125,0.968,4.250,0.986,6.375,0.992,8.500,0.996,10.625,1.0,17.0)”

5: Apêndice A, pag: 116, onde

lê-se:

“norm(med_ped_água(tipo_um),coef_variação*med_ped_água(tipo_um))”

leia-se:

“1440*cont(0.0,0.001,0.357,4.399,0.857,8.799,0.929,13.2,0.964,17.6,1.0,22.0)”

6: Apêndice A, pag: 116, onde

lê-se:

“norm(med_ped_diesel(tipo_um),coef_variação*med_ped_diesel(tipo_um))”

leia-se:

“1440*cont(0.0,3.0,0.406,18.6,0.844,34.2,1.0,81.0)”

7: Apêndice A, pag.116, onde

lê-se:

"dist_carga_convés,norm(med_qte_convés(tipo_um),coef_variação*med_qte_convés(tipo_um))

leia-se:

"dist_carga_convés,cont(0.0,3999,0.843,14503.5,0.940,29003,0.972,43502.5,0.992,58002,0.994,72501.5,1.0,116000)"

8: Apêndice A, pag.116, onde

lê-se:

"dist_carga_água,norm(med_qte_água(tipo_um),coef_variação*med_qte_água(tipo_um))

leia-se:

"dist_carga_água,cont(0.0,100000,0.138,200000,0.310,300000,0.586,400000,0.931,500000,1.0,600000)"

9: Apêndice A, pag.116, onde

lê-se:

"dist_carga_diesel,norm(med_qte_diesel(tipo_um),coef_variação*med_qte_diesel(tipo_um))

leia-se:

"dist_carga_diesel,cont(0.000,59500,0.222,68000,0.333,76500,0.889,85000,0.889,93500,1.000,102000)"

10: Apêndice A, pag: 116, onde

lê-se:

"norm(med_ped_granel(tipo_um),coef_variação*med_ped_granel(tipo_um))"

leia-se:

"1440*(5000000)"

11: Apêndice A, pag.116, onde

lê-se:

"dist_carga_granel,norm(med_qte_granel(tipo_um),coef_variação*med_qte_granel(tipo_um))

leia-se: "0".

ÍNDICE

	Pg.
RESUMO	3
ABSTRACT.....	4
LISTA DE FIGURAS.....	5
LISTA DE TABELAS.....	8
1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	10
1.1 - MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS	12
1.2 - DELINEAMENTO DO TRABALHO.....	14
2 - CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA LOGÍSTICO DE TRANSPORTE DE SUPRIMENTOS	16
2.1 - REQUISIÇÕES DE SUPRIMENTO DAS UNIDADES MARÍTIMAS	17
2.2 - UNIDADES MARÍTIMAS.....	19
2.3 - EMBARCAÇÕES	21
2.4 - TERMINAL MARÍTIMO.....	23
3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
3.1 - MODELOS DE OTIMIZAÇÃO PARA O DIMENSIONAMENTO DE FROTAS.....	26
3.2 - HEURÍSTICAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE FROTAS	28
3.3 - MODELOS DE SIMULAÇÃO.....	30
3.4 - APLICABILIDADE DAS TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO.....	31
3.5 - ENQUADRAMENTO DO PROBLEMA DE SUPRIMENTO E HIPÓTESES ADOTADAS	32
3.6 – PROCESSO DE MODELAGEM UTILIZANDO TÉCNICAS DE SIMULAÇÃO.....	35
3.7 – ESCOLHA DO “SOFTWARE” PARA CODIFICAÇÃO DO MODELO.....	37
4 – PROCEDIMENTOS PARA A EXPLORAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS	39
4.1 - A QUALIDADE DOS DADOS DE ENTRADA.....	39
4.2 – REVISÃO DE CONCEITOS	40
4.2.1 – Medidas de Posição.....	40
4.2.2 – Medidas de Dispersão.....	41
4.2.3 – Gráficos Utilizados na Análise de Dados	42
4.3 – ANÁLISE DE DADOS PARA O CASO DA PETROBRAS	45
5 - DESCRIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O TRANSPORTE DE SUPRIMENTOS	60
5.1 - O MODELO DE SIMULAÇÃO.....	60
5.2 - A HEURÍSTICA DE ROTEAMENTO DAS EMBARCAÇÕES.....	62
5.3 - A ROTINA DE ROTEAMENTO APLICADA AO MODELO.....	66
5.4 - A ROTINA DE ESCOLHA DA MELHOR EMBARCAÇÃO A SER ALOCADA PARA UMA NOVA MISSÃO.....	68
6 – APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO - ESTUDO DE CASO	69
6.1 – CONJUNTOS DE DADOS UTILIZADOS	69
6.1.1 – Dados referentes à Unidades Marítimas	69

6.1.2 – Dados relativos ao terminal na Bacia de Campos.....	73
6.1.3 – Dados relativos às embarcações na Bacia de Campos	73
6.1.4 – Premissas adotadas.....	74
6.2 – DIMENSIONAMENTO DA FROTA	74
6.3 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO TEMPO MÁXIMO PARA ENTREGA DOS SUPRIMENTOS	85
6.4 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DA VELOCIDADE MÉDIA DAS EMBARCAÇÕES	94
6.5 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS TAXAS DE TRANSBORDO DAS CARGAS DAS EMBARCAÇÕES, DAS UNIDADES MARÍTIMAS E DO TERMINAL	95
6.6 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS CONDIÇÕES DE MAR PARA OPERAÇÃO JUNTO ÀS UNIDADES MARÍTIMAS	98
6.7 – ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MODELO SEM ROTEIRIZAÇÃO	102
7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	104
8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXO A - DESCRIÇÃO DOS COMANDOS DO MODELOS DE SIMULAÇÃO	109
ANEXO B – MODELO DE SIMULAÇÃO CODIFICADO EM ARENA	138

RESUMO

Para que qualquer sistema de exploração e produção de petróleo no mar, tenha sucesso, é necessário contar com um sistema de apoio logístico que possa suprir as necessidades das unidades marítimas e evitar a interrupção de suas atividades.

Os custos envolvidos com a área de transportes marítimo de suprimentos é grande e no caso da Petrobras representa cerca de 65% dos custos envolvidos com a atividade de transporte na área de exploração e produção de petróleo.

Neste trabalho foi desenvolvido um modelo de simulação que representa, com bastante detalhes, o sistema de transporte marítimo de suprimentos e é feita uma aplicação para a Bacia de Campos, visando dimensionar a frota de embarcações à serviço da atividade de transporte de suprimentos.

O dimensionamento da frota é obtido por meio de vários experimentos com o modelo de simulação onde, combinando-se diversos perfis da frota, busca-se o menor custo de afretamento das embarcações somado ao custo provocado pelo atraso na entrega dos suprimentos nas unidades marítimas.

O modelo de simulação incorpora também uma rotina para roteirização da sequência de atendimento das unidades marítimas, visando reduzir o tempo das viagens.

Diversos resultados são apresentados, incluindo-se análises de sensibilidade dos principais parâmetros que regem esse sistema de transporte.

ABSTRACT

Offshore exploration and production systems demand a well designed logistic chain to support all the related activities in order to avoid the interruption of the activities.

The costs involved in the offshore supply transportation area are very high. In particular, for Petrobras, they represent 65% of the overall transportation costs, for the exploration and production of petroleum.

This work presents a simulation model that represents, in high detail, the offshore supply transportation system, where the objective is to evaluate the supply fleet that delivers supplies to offshore units.

The fleet evaluation is obtained through many experiments by changing, in each experiment, the number and/or type of supply vessel, searching for the minimum cost to charter the vessels, and taking into account the cost of the delay to deliver the supplies to offshore units.

The simulation model incorporates a routine that establishes the best route to be followed by the vessels in order to minimize the trip costs.

Several results are presented, including sensitivity analyses for the main parameters that influence this transportation system.

LISTA DE FIGURAS

	Pg.
Figura 1.1 – Atividades primárias de um sistema logístico	11
Figura 1.2 – Rateio dos custos de transporte por modalidade empregada na área de exploração e produção de petróleo da Petrobras	13
Figura 1.3 – Estrutura de custos do sistema de apoio marítimo	13
Figura 1.4 – Rateio dos custos de transporte por tipo de atividade	14
Figura 4.1 - Exemplo de gráfico tipo histograma	42
Figura 4.2 - Exemplo de gráfico tipo dotplot	43
Figura 4.3 - Exemplo de gráfico tipo boxplot	44
Figura 4.4 - Exemplo de diagrama de dispersão	45
Figura 4.5 - Diagrama de dispersão para as variáveis "quant" (água) e "interval".	47
Figura 4.6 – Parâmetros estatísticos principais dos dados analisados.....	47
Figura 4.7 – Histograma da variável "quant" (quantidade de água).....	48
Figura 4.8 – Gráfico de caixa para a variável "quant"	48
Figura 4.9 - Gráfico de caixa para a variável "quant"	50
Figura 4.10 – Valores para composição do gráfico de caixas.....	51
Figura 4.11 - Gráfico de caixas para a variável "quant"	52
Figura 4.12 – Análise de variância das médias de consumo de água para as nove U.M.....	53
Figura 4.13 - Análise de variâncias para o consumo de água das unidades marítimas do grupo I.....	54
Figura 4.14 - Análise de variâncias para o consumo de água das unidades marítimas do grupo II.....	55
Figura 4.15 - Comparação entre os testes de aderência para a distribuição do consumo de água	56
Figura 4.16 - Sumário do teste de aderência para a curva Beta	57
Figura 4.17 - Sumário do teste de aderência para a curva Normal	58
Figura 5.1 – Fluxograma do processo de simulação dos pedidos das U.M.....	63

Figura 5.2 – Fluxograma do processo de simulação da embarcações.....	64
Figura 5.3 – Fluxograma da rotina de roteirização	67
Figura 6.1 - Custos totais em função da composição da frota.....	76
Figura 6.2 - Atendimento de carga de água versus composição da frota.....	82
Figura 6.3 - Atendimento de carga de convés versus composição da frota	83
Figura 6.4 - Atendimento de carga de diesel versus composição da frota	83
Figura 6.5 – Custo de ociosidade em função da composição da frota	84
Figura 6.6 - Tempo máximo para entrega versus composição da frota.....	85
Figura A.1 – Comandos de variáveis, expressões, conjuntos, estatísticas, recursos e “Simulate”	118
Figura A.2 – Lógica da liberação diária de pedidos, leitura de parâmetros e geração da matriz de distâncias.....	119
Figura A.3 – Lógica de leitura dos parâmetros das U.M. e geração dos pedidos de suprimentos.....	120
Figura A.4 – Lógica da ordenação dos pedidos de suprimento e liberação para alocação às embarcações.....	121
Figura A.5 – Lógica do particionamento das cargas.....	122
Figura A.6 – Lógica da montagem dos roteiros de viagem, finalização das alocações de cargas e coleta de algumas estatísticas.....	123
Figura A.7 – Lógica de roteirização das viagens das embarcações, coleta de algumas estatísticas e liberação para atracação das embarcações nos piers.....	124
Figura A.8 – Complementação da lógica da montagem dos roteiros das viagens indicadas na figura A.6.	125
Figura A.9 – Lógica da coleta de parte das estatísticas, gravação de arquivos e variáveis auxiliares.	126
Figura A.10 – Complementação da lógica de liberação para atracação, carregamento das embarcações nos piers e liberação para iniciar viagens.	126
Figura A.11 – Complementação da lógica de finalização das alocações de cargas às embarcações, liberação para atracação nos piers e coleta de estatísticas.	127
Figura A.12 – Complementação da lógica de carregamento das embarcações nos piers e liberação para iniciar viagens.	128

Figura A.13 – Lógica de leitura dos parâmetros das embarcações, coleta de estatísticas, checagem de atividades extra-suprimentos e posicionamento na fila de embarcações	130
Figura A.14 – Parte da lógica destinada à escolha da embarcação adequada ..	130
Figura A.15 – Complementação da lógica de escolha de embarcações, coleta de estatísticas e posicionamento junto ao pier de atracação.	131
Figura A.16 – Lógica de caracterização das embarcações escolhidas, coleta de estatísticas e liberação para iniciar viagens.	131
Figura A.17 – Lógica da atividade de docagem e coleta de estatísticas pertinentes.....	132
Figura A.18 – Lógica do processo de entrega dos pedidos nas U.M. e coleta de estatísticas pertinentes.....	133
Figura A.19 – Complementação da lógica de entrega dos pedidos nas U.M. e coleta de estatísticas pertinentes	134
Figura A.20 – Vista de um conjunto de estatísticas retiradas do modelo.	135
Figura A.21 – Vista de uma zona de proximidade e suas U.M.	136
Figura A.22 – Vista de uma zona de proximidade com suas U.M. associadas , base com três piers de atracação e a fila de embarcações junto à base.....	137

LISTA DE TABELAS

	Pg.
Tabela 4.1 – Consumo de água pela unidade marítima 1	46
Tabela 4.2 – Pontos discrepantes	49
Tabela 6.1- Dados das unidades marítimas	70
Tabela 6.2- Dados das embarcações	74
Tabela 6.3.a - Dados operacionais das frotas para o tempo máximo de entrega de 3.5 dias.....	77
Tabela 6.3.b - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 3.5 Dias	79
Tabela 6.4 - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 1.5 Dias	86
Tabela 6.5 - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 2 Dias	87
Tabela 6.6 - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 2.5 Dias	88
Tabela 6.7 - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 3 Dias	89
Tabela 6.8 - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 4 Dias	90
Tabela 6.9- Dados operacionais das frotas com velocidade de 9 nós a um tempo máximo para entrega de 3.5 Dias	96
Tabela 6.10- Dados operacionais das frotas com velocidade de 10 nós a um tempo máximo para entrega de 3.5 Dias.....	96
Tabela 6.11 – Resultados comparativos da análise de sensibilidade do parâmetro velocidade	95
Tabela 6.12- Dados operacionais das frotas com a taxa de transbordo do cenário básico a um tempo máximo para entrega de 3.5 Dias	97
Tabela 6.13- Dados operacionais das frotas com a taxa de transbordo 10 % superior ao do cenário básico a um tempo máximo para entrega de 3.5 Dias	97
Tabela 6.14 - Resultados da análise de sensibilidade em relação à taxa de transbordo	98

Tabela 6.15 – Parâmetros para a análise de sensibilidade para a probabilidade de espera, tempo médio de espera e tempo médio de atracação.....	99
Tabela 6.16 - Dados operacionais das frotas sem probabilidade de espera para o tempo máximo para entrega de 3.5 dias.	100
Tabela 6.17 - Dados operacionais das frotas com probabilidade de espera para o tempo máximo para entrega de 3.5 dias.	100
Tabela 6.18 – Resultados da análise de sensibilidade com relação à probabilidade de espera, tempos médios de espera e tempos médios para atracação.....	99
Tabela 6.19 - Estudo de sensibilidade com e sem a utilização da rotina de roteirização para o tempo máximo para entrega de 3.5 dias.....	103
Tabela 6.20 – Análise de sensibilidade dos modelos com e sem a rotina de roteirização.....	102
Tabela A.1 - Dados de entrada do modelo de simulação	109
Tabela A.2 - Descrição das variáveis	111
Tabela A.3 - Descrição do atributos.....	114
Tabela A.4 - Descrição dos arquivos, filas, recursos, estações e tabelas”.....	115
Tabela A.5 - Descrição das expressões	116
Tabela A.6 - Descrição dos conjuntos	117

MODELAGEM DE UM SISTEMA DE TRANSPORTE MARÍTIMO DE SUPRIMENTOS: APLICAÇÃO À BACIA DE CAMPOS

1 – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Nas últimas décadas o desenvolvimento da tecnologia aplicada a exploração e produção de petróleo no mar têm sido surpreendente, possibilitando a perfuração de poços com lâmina d'água com mais de 2000 metros.

Os recursos aplicados para tal fim também são de grande magnitude e a Petrobras é uma das empresas no mundo que detém essa tecnologia de exploração e produção de petróleo em águas profundas.

Para que qualquer sistema de exploração e produção de petróleo no mar, também denominado de "offshore", tenha sucesso, é necessário se contar com um sistema de apoio logístico que possa suprir as necessidades das unidades marítimas e evitar a interrupção das suas atividades.

Balou (1993), define um sistema logístico como todas atividades de movimentação e armazenagem, que facilitam o fluxo de produtos desde o ponto de aquisição da matéria-prima até o ponto de consumo final, assim como o fluxo de informações que colocam os produtos em movimento com o propósito de providenciar níveis de serviço adequados aos clientes a um custo razoável. A figura 1.1 apresenta as 3 atividades logísticas primárias definidas por Ballou (1993).

O sistema de apoio logístico à exploração e produção de petróleo tem como finalidade prover matérias-primas ou produtos, em quantidades e tempos definidos, aos menores custos associados a níveis de serviços. Neste trabalho não será tratado do sistema de transporte de passageiros para as unidades marítimas.

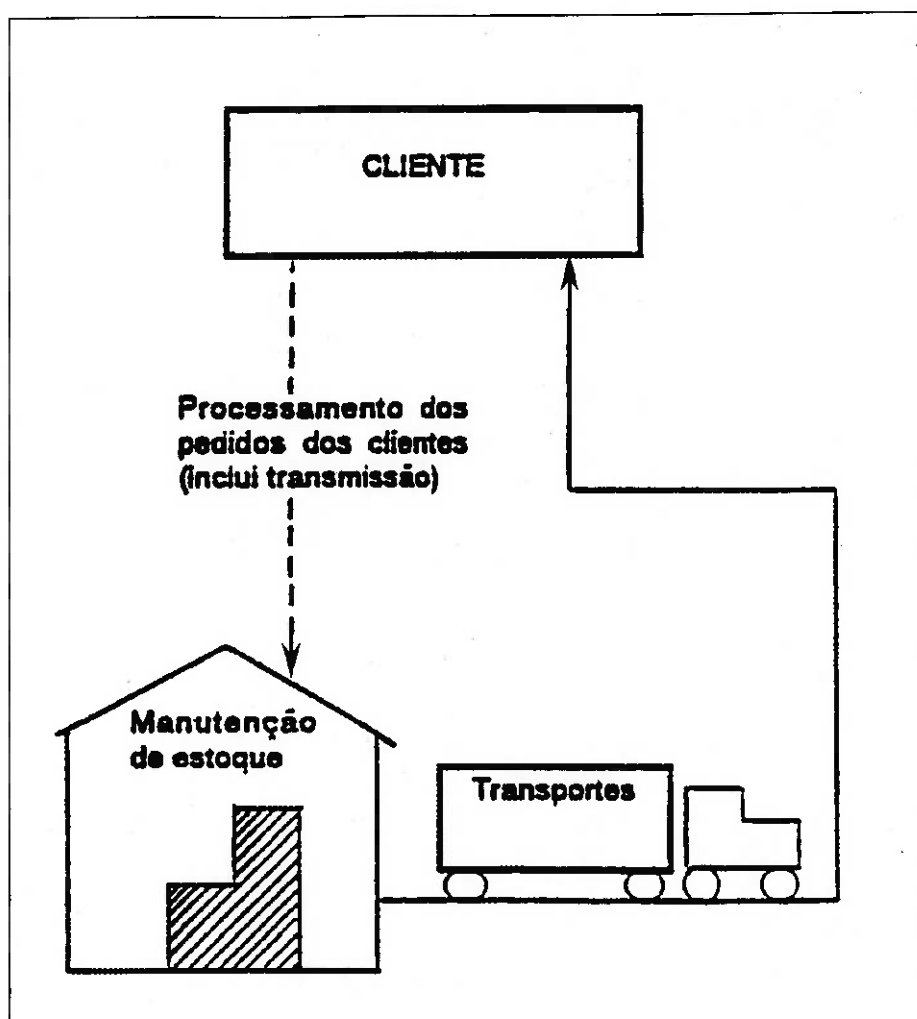


Figura 1.1 – Atividades primárias de um sistema logístico. Fonte: Balou(1993)

No sistema de apoio logístico de exploração e produção de petróleo "offshore", o cliente é a plataforma, e entre outros níveis de serviços, destaca-se o tempo máximo para a entrega de suprimentos. A primeira atividade primária neste caso é de processamento dos pedidos das Unidades Marítimas – UM, que solicitam suprimentos, incluindo a transmissão destes. A segunda atividade primária é a manutenção dos estoques para atender os pedidos das Unidades Marítimas. Neste trabalho será tratada exclusivamente a terceira atividade primária, que é o transporte de suprimentos às unidades marítimas, assumindo-se que as demais atividades primárias já estão sob controle e não interferem no sistema de transporte.

Sempre que possível, serão referenciados os procedimentos e os dados envolvidos nas atividades de apoio logístico da Petrobras-E&P, haja visto os objetivos do presente trabalho apresentados no final do capítulo.

As grandes empresas mundiais de petróleo, e também a Petrobras, estão estruturadas, a grosso modo, em dois grandes segmentos, a saber:

- segmento "upstream", ou seja, atividades que envolvem a exploração e produção de petróleo;
- segmento "downstream", ou seja, atividades de compra, venda, refino e transporte de petróleo e seus derivados.

No caso da Petrobras, embora os dois segmentos possuam suas respectivas áreas de logística, vamos nos deter, no presente trabalho, à área de logística do segmento Exploração e Produção, mais especificamente, à atividade logística primária de transporte de suprimentos às unidades marítimas de exploração e produção de petróleo. Este segmento da empresa tem investido bastante em sua área de logística visto ser esta área, identificada pela alta gerência, como de grande potencial de ganho.

1.1 - Motivação e Objetivos

No caso da Petrobras, em estudo recente realizado pela Gerência de Transporte do segmento Exploração e Produção, concluiu-se que o Apoio Marítimo é responsável por 65% dos custos envolvidos em sua área de transporte, como pode ser visto na figura 1.2.

Da figura 1.3 se constata que 86% dos custos envolvidos no Apoio Marítimo se devem ao afretamento de embarcações de apoio. A figura 1.4 evidencia a atividade de transporte de cargas dentre todas as atividades afetas à área de transporte.

Assim sendo, o enorme volume de recursos destinados ao afretamento de embarcações envolvidas na atividade de suprimento às unidades marítimas foi o grande motivador para a realização do presente trabalho.

A título de ilustração, só na Bacia de Campos, a Petrobras opera cerca de 60 unidades marítimas que são suportadas por uma frota de 50 embarcações, aproximadamente, garantindo a viabilidade de suas operações.

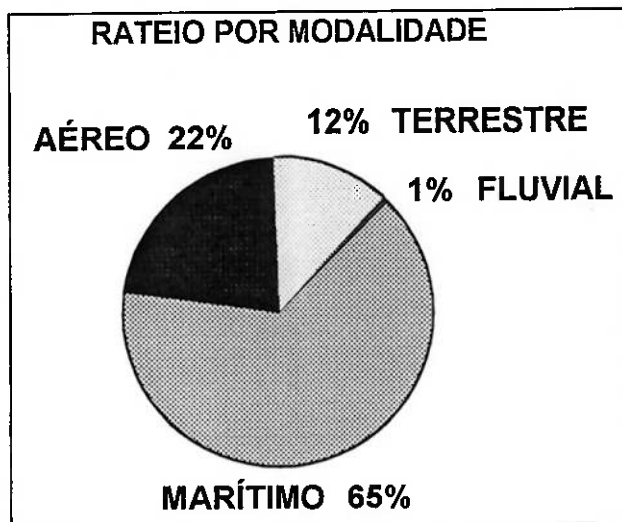


Figura 1.2 – Rateio dos custos de transporte por modalidade empregada na área de exploração e produção de petróleo da Petrobras (Fonte: PETROBRAS/E&P/GETRAN/GETMAR)

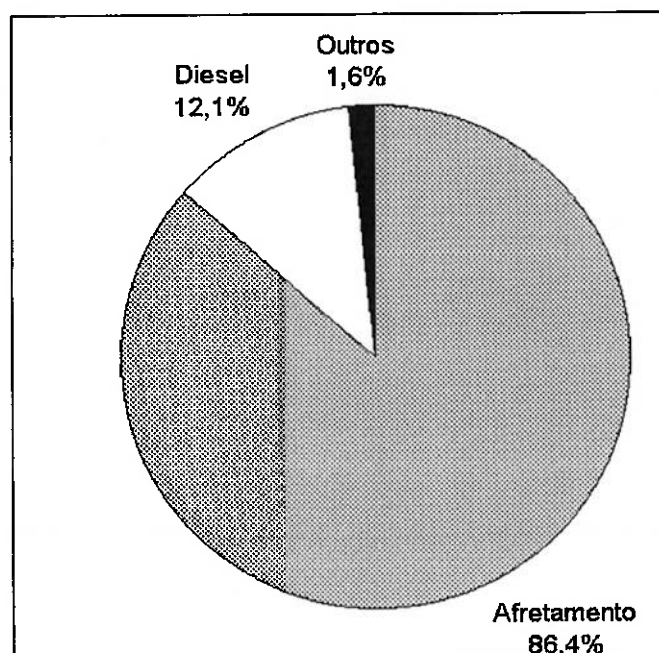


Figura 1.3 – Estrutura de custos do sistema de apoio marítimo (Fonte: PETROBRAS/E&P/GETRAN/GETMAR)

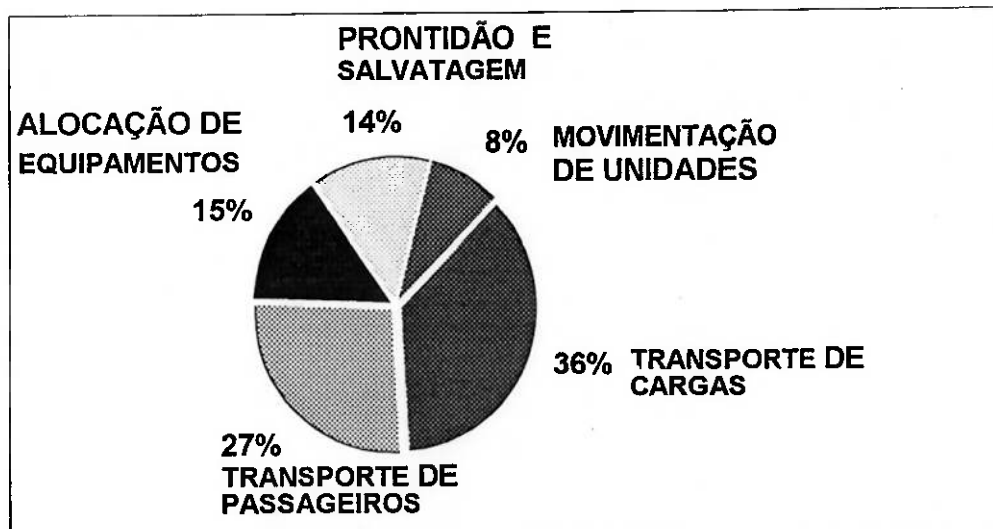


Figura 1.4 – Rateio dos custos de transporte por tipo de atividade (Fonte: PETROBRAS/E&P/GETRAN/GETMAR)

Os objetivos deste trabalho são:

- produzir um modelo que permita a representação do sistema de transporte marítimo de suprimentos, com maior nível de detalhes possível e sua aplicação na Bacia de Campos;
- buscar uma técnica que resolva e implemente o modelo proposto;
- dimensionar a frota de embarcações à serviço da atividade de suprimentos.

1.2 - Delineamento do Trabalho

O capítulo 2 enumera as várias atividades que compõe o sistema de apoio “offshore” e discorre sobre os subsistemas que caracterizam a atividade de transporte de suprimentos.

No capítulo 3 apresenta-se a revisão de alguns trabalhos realizados na área de dimensionamento de frota utilizando técnicas da Pesquisa Operacional, compondo assim a revisão bibliográfica e justifica-se a adequação do modelo proposto com vistas ao dimensionamento de frota.

O capítulo 4 mostra um procedimento para o tratamento dos dados de entrada e procede-se à análise de dados do modelo para o caso da Petrobras.

O capítulo 5 descreve o modelo de simulação para o transporte de suprimentos.

O capítulo 6 discorre sobre a aplicação do modelo com os dados da Petrobras visando o dimensionamento da frota de embarcações e a análise de diversos parâmetros envolvidos.

O capítulo 7 apresenta as conclusões e as recomendações para o desenvolvimento de futuros trabalhos.

2 - CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA LOGÍSTICO DE TRANSPORTE DE SUPRIMENTOS

As atividades do Apoio Marítimo às unidades marítimas são divididas de uma maneira geral, segundo Abeam(1989), da seguinte forma:

- transporte de passageiros;
- transporte de suprimentos;
- reboque e posicionamento de unidades marítimas;
- manuseio de espias;
- prontidão e salvatagem;
- lançamento de linhas e dutos e apoio à operações submarinas.

Entende-se por unidade marítima todo o sistema oceânico envolvido na exploração e produção de petróleo e que se serve do Apoio Marítimo para realizar suas atividades. Exemplos de unidades marítimas são as plataformas fixas de produção e perfuração, cuja característica construtiva principal é o fato de estarem apoiadas no solo marinho; plataformas flutuantes de perfuração e produção, que podem ser ancoradas ou de posicionamento dinâmico; navios-sonda etc.

Para se dimensionar um sistema de transporte de suprimentos "offshore" é necessário definir o tamanho e composição da frota de embarcações que a empresa deve dispor para atender a demanda, dimensionar a capacidade do terminal no que tange o número de piers para receber as embarcações e suas taxas de transbordo para os diversos tipos de suprimento assim como as taxas de transbordo das unidades marítimas. O balanço adequado destes itens proporciona um nível de atendimento eficiente por parte do sistema.

No presente trabalho considera-se que os processos que compõem o sistema estão sob controle. Processos que estejam fora de controle produzem resultados com grande nível de variação, impedindo que se planeje, de forma eficiente, uma atividade ligada à estes processos. Igreja (1997) apresenta maiores detalhes sobre o controle de processos na área de transporte de suprimentos "offshore".

O sistema de transporte de suprimentos para unidades marítimas pode ser descrito da seguinte forma: há um conjunto de unidades marítimas cuja a demanda por suprimentos de diversos tipos, em dado período, deve ser atendida por uma frota de embarcações que os retiram em terminais marítimos.

Podemos dividir didaticamente o sistema de transporte de suprimentos para unidades marítimas, realizadas por embarcações, nos seguintes subsistemas:

- requisições de suprimento das unidades marítimas;
- unidades marítimas;
- embarcações;
- terminal marítimo.

Abaixo, discorre-se sobre estes subsistemas para o caso da Petrobras e que, em tese, não devem diferir muito para as outras empresas internacionais do ramo, e introduz-se algumas considerações que servirão de base para a elaboração do modelo proposto.

2.1 - Requisições de Suprimento das Unidades Marítimas

Quando existe a necessidade de algum tipo de suprimento, a unidade marítima gera um documento que se chama "solicitação de material" que, de alguma forma é atendida pelo órgão de suprimento local. Tão logo este material esteja pronto para ser embarcado para a unidade, gera-se um outro documento, a "solicitação de transporte", que no caso da Bacia de Campos pode ser aéreo ou marítimo, a depender de suas dimensões e urgência.

Assim, esta solicitação é o canal de entrada para que a gerência de transporte local se mobilize visando o atendimento desta requisição. O Sistema de Transporte Marítimo, cuja sigla é STM, é um banco de dados da Petrobras que não só armazena todas as requisições de transporte mas também, as informações pertinentes ao sistema de transporte como um todo. Todas as informações sobre as requisições de transporte, características das embarcações de apoio, do terminal e das unidades marítimas são armazenadas e atualizadas neste imenso banco de dados.

Então, a requisição de transporte chega ao conhecimento dos responsáveis pela programação das embarcações que, de posse de seus dados, aloca os materiais à embarcação que melhor se adequa ao seu transporte, dentre as que estão à disposição no terminal.

Conforme as requisições são emitidas vão sendo guardadas no sistema para que os programadores, a cada começo de jornada, montem os roteiros que as embarcações irão cumprir. Quando se atinge a capacidade de uma determinada embarcação ou não há mais requisições a atender de forma adequada, a embarcação é liberada, assim que for carregada com as cargas programadas, para executar a sua missão de transporte.

Vale informar que existe um tempo limite máximo, acordado entre as gerências de operações das unidades marítimas e de transporte, no qual as requisições devem ser atendidas, sendo este um parâmetro que impacta, de forma contundente, no dimensionamento da frota de embarcações. Esse tempo máximo para a entrega de suprimento pode ser considerado uma janela de tempo "relaxada" para as requisições que são efetuadas pelas unidades marítimas, pois, a princípio, cada requisição poderia conter a data mínima e máxima para ser entregue.

São vários os tipos de cargas que uma unidade marítima pode requisitar. Numa primeira instância, foi verificado que pode-se classificar as diversas cargas conforme os tipos abaixo, sem prejuízo para os resultados do dimensionamento da frota:

- cargas de convés;
- cargas de água;
- cargas de granel;
- cargas de diesel.

As cargas de convés são dos mais variados tipos, tais como tubulações, equipamentos, rancho, materiais de consumo diversos etc. Destas, só as cargas tipo rancho se diferenciam pela sua característica perecível. Contudo, sendo o limite de tempo estabelecido para a entrega das cargas nas unidades marítimas que é, como dito acima, um parâmetro para o dimensionamento da frota, suficientemente pequeno para que a carga de rancho não se deteriore, englobou-se todos estes tipos de carga sob a sigla cargas de convés. Por sua vez, os

graneis sólidos se dividem em bentonita, baritina, cimento. Como o sistema de armazenamento e bombeamento destes graneis são equivalentes, achou-se por bem junta-los na sigla cargas de granel. É esperado que as simplificações nos tipos de carga não alterem a qualidade de resposta do modelo proposto.

As cargas de convés ficam caracterizadas por suas áreas de ocupação e pesos e as de água, granel e diesel por seus pesos. As unidades métricas consideradas são o metro quadrado e o quilograma.

A demanda por suprimentos depende do tipo de serviço e características das unidades marítimas. Assim, os intervalos entre pedidos de cada tipo suprimento e suas respectivas quantidades dependerão da classe à qual a unidade marítima pertence, que será abordada na subseção a seguir.

2.2 - Unidades Marítimas

As unidades marítimas são as responsáveis pelas solicitações que devem ser atendidas pela área de transporte do Apoio Marítimo. Elas solicitam os diversos tipos de serviços mencionados anteriormente. Qualquer mudança de locação e posicionamento de unidades marítimas, embarcações de apoio às instalações de equipamentos no solo marinho, transporte de suprimentos e etc. são exemplos destes serviços. Assim, a área de transporte deve estar permanentemente em contato com o pessoal de operação e planejamento de produção sob pena de, em caso de não atendimento de um serviço, causar solução de continuidade, acarretando prejuízos para a empresa.

A grosso modo, as unidades marítimas a serviço da Petrobras podem ser subdivididas da seguinte forma:

1. Segundo seu tipo:
 - unidades fixas: jaquetas e "jack-up";
 - unidades flutuantes: ancoradas e posicionamento dinâmico.
2. Segundo a operação que realiza:
 - perfuração;
 - produção.

Desta forma, devido às suas características construtivas e tipo de operação, as quantidades de cada tipo de suprimento e os intervalos entre pedidos formam um padrão característico para cada par tipo/operação ao qual uma unidade marítima esteja associada.

As unidades marítimas foram classificadas em três grandes categorias, conforme abaixo:

- Fixas de produção;
- Flutuantes de produção;
- Flutuantes de perfuração.

Vale a pena ressaltar que qualquer unidade marítima que vier a ser incorporada ao grupo deve ser, na medida do possível, classificada em uma das categorias acima. Caracterizando-se um outro padrão de demanda, deve ser criada uma nova categoria que será informada ao modelo proposto.

Assim, as unidades marítimas ficam definidas pelos seguintes parâmetros:

- distribuição probabilísticas dos tempo entre pedidos para cada tipo de suprimento;
- distribuição probabilísticas das quantidades de cada tipo de suprimento;
- coordenadas geográficas;
- taxa de transbordo de carga de convés;
- zona de proximidade.

As taxas de transbordo de água, granéis e diesel são consideradas características das embarcações.

A Petrobras utiliza o conceito de "zona de proximidade", que é definida por uma área geográfica onde se concentram um certo número de unidades marítimas que, por estarem próximas entre si, são preferencialmente atendidas, quando possível, pela mesma embarcação. Este conceito tem como objetivo restringir as programações das embarcações dentro de um perímetro que viabilize o compromisso de atendimento das entregas de suprimentos às unidades marítimas, respeitando parâmetros previamente acordados.

Como será apresentado no capítulo 3, o sistema de transporte de suprimentos pode ser enquadrado genericamente como um problema de

roteirização. Para efeito de roteirização isso significa que, no presente trabalho, o agrupamento inicial está sendo introduzido pelo usuário. A princípio o modelo proposto vai incorporar o conceito de zona de proximidade adotado pela Petrobras.

O modelo permitirá a roteirização das embarcações dentro destas zonas de proximidade com a introdução de uma rotina de otimização do roteiro previamente estabelecido. A utilização de técnicas completas de roteirização como por exemplo, o agrupamento com posterior roteirização, serão discutidas nos capítulos 3 e 5, mas não serão introduzidas nessa modelagem, ficando como recomendação para trabalhos futuros.

2.3 - Embarcações

As embarcações de apoio são, sem dúvida, as entidades mais importantes do sistema de transporte "offshore".

Algumas atividades de apoio são efetuadas de maneira mais rápida e eficaz por meio do transporte aéreo. O transporte de pessoas e cargas leves urgentes se justificam por este tipo de transporte; porém, o elevado custo torna proibitivo o seu uso indiscriminado.

Assim, determinar os tipos, características e número de embarcações à serviço do transporte marítimo impactará, decisivamente, no sucesso da redução de custos da atividade de transporte como um todo.

A Petrobras, através de decisões na esfera governamental, alienou a grande maioria dos rebocadores oceânicos de sua frota e vem, à muito, contratando embarcações no mercado nacional e internacional. O mercado internacional de embarcações "offshore" obedece, de certa maneira, as flutuações do mercado internacional de unidades marítimas que, em última instância, obedece as flutuações do preço do petróleo.

Os preços para o afretamento de embarcações estão divididos em dois tipos de mercados: o spot, cuja contratação se faz por curto período de tempo ou para uma determinada tarefa; e o mercado a termo, para contratações por horizontes mais distendidos.

A Petrobras contrata embarcações no mercado a termo. Devido aos trâmites legais, suas licitações podem durar 9 meses, da data em que o edital é divulgado até a efetiva chegada da embarcação. Porém, não é incomum licitações que durem até 3 anos. Isto é explicado pelo fato de a Petrobras estar na vanguarda em termos de exploração e produção de petróleo em águas profundas. Assim sendo, quando da necessidade de se contratar embarcações para atender serviços em águas profundas, existe a grande possibilidade de não existir, no mercado, embarcações com características adequadas para determinadas fainas. Então, além do tempo necessário para os tramites legais, há de se considerar o prazo para a construção da embarcação.

De uma maneira geral, toda embarcação que é contratada sofre inspeções rigorosas quando de sua chegada à área onde irá atuar visando sua adequação às especificações descritas no edital. Assim sendo, verifica-se o estado geral da embarcação, estados de silos, materiais de manuseio de cargas de convés, guinchos etc inclusive faz-se a medição do nível de combustível da embarcação para esta seja devolvida, ao final do contrato, no mesmo nível. Como a Petrobras fornece o óleo diesel que a embarcação irá consumir durante o período em que estiver ao seu dispor, são feitas medições periódicas do nível de combustível da embarcação para comparação com os dados de consumo médio informados, pela contratada, na licitação. Em caso de consumo excessivo, é feita a cobrança do combustível consumido em excesso. Isto faz parte da estratégia da empresa para um efetivo controle do consumo de óleo diesel.

A Petrobras contrata embarcações de diversos tipos e tamanhos para o apoio às atividades "offshore". Estas embarcações podem ser especialistas ou não, isto é, só executam uma atividade específica ou podem ser utilizadas em mais de uma atividade. São exemplo as embarcações tipo DSV (Diving Support Vessel), que executam atividades de apoio às instalações submarinas e as embarcações tipo AHTS (Anchor Handling Tugboat Supplier), cuja a sigla no Brasil é RAS (Reboque, Manuseio e Suprimento), que executam atividades de reboque de unidades marítimas; seus posicionamentos através do lançamento de suas linhas de ancoragem, atividades estas consideradas o principal motivo para suas contratações mas, além disto, quando as embarcações não estão executando estas atividades principais, auxiliam grandemente no transporte de suprimentos. Caso seja de interesse tem-se em Fayad(1996) a classificação,

adotada pela Petrobras, das embarcações de apoio e suas principais características .

As embarcações podem ser caracterizadas pelos seguintes parâmetros:

- velocidade;
- capacidades total e parciais de carga;
- área de convés;
- taxas de transbordo de água, granel e diesel;
- distribuições dos intervalos de tempo entre docagens e abastecimento e seus respectivos tempos;
- distribuições dos tempos de espera de condições de mar e manobra de atracação junto às unidades marítimas.

Considera-se que alguns tipos de embarcações, por serem menos potentes, não conseguem atracar junto às unidades marítimas para determinadas condições de mar ou o tempo para fazê-lo é demasiado extenso. Assim sendo, para cada tipo de embarcação há de se considerar uma probabilidade de espera e uma distribuição de tempo de espera adicional para atracação junto à unidade marítima.

As embarcações podem ser agrupadas por tipo, que representa um mesmo conjunto de características acima descrito.

Uma vez que as embarcações são os elementos principais de análise de um estudo de dimensionamento de frota, é importante avaliar, para cada uma delas, seus tempos de viagem, de espera e permanência no porto, de permanência nas unidades marítimas, para o período de análise considerado.

2.4 - Terminal Marítimo

O terminal marítimo é outro elemento muito importante no dimensionamento de um sistema de transporte marítimo. Em última instância, o terminal é o “braço” das unidades marítimas em terra firme.

Segundo Brinati(1995), a primeira etapa do processo de planejamento de terminais é a determinação de sua localização geográfica e avaliação da demanda potencial de cargas.

Muitos fatores influenciam a determinação da localização de um terminal marítimo "offshore": proximidade da área de prospecção de petróleo, existência de uma malha rodo-ferroviária adequada, possibilidade de futura ampliação das instalações portuárias, existência de um abrigo natural (por exemplo uma baía), proximidade de cidades com infra-estrutura necessária visando o conforto dos empregados do terminal e de suas famílias etc.

Em outro aspecto importante, a determinação da demanda de cargas, o potencial da área de prospecção deve ser bem avaliada para se evitar dimensionamentos que não se justifiquem ao longo do tempo. Ainda segundo Brinati(1995), no início da exploração de um campo petrolífero são utilizados como pontos de apoio os portos mais próximos da área de sondagens e, a partir da viabilização econômica do campo, se planeja a localização e construção de um terminal de apoio às operações "offshore". O dimensionamento do número de píers de atracação, da profundidade do canal de acesso limitando, com isso, o tamanho das embarcações que irão apoiar as unidades marítimas, e dos equipamentos de movimentação de cargas são itens bastante importantes para a garantia da qualidade do atendimento dos serviços prestados às unidades marítimas. Daí a importância de uma avaliação consistente do potencial petrolífero da região.

O terminal "offshore" utilizado neste trabalho já existe e sua localização é conhecida. A Bacia de Campos começou a ser desenvolvida a partir do descobrimento de petróleo no campo de Garoupa, em 1974. Até 1977, a Petrobras se valeu dos portos no Rio de Janeiro e Vitória para apoiar suas atividades na Bacia de Campos. A partir daí, avaliada a potencialidade desta Bacia, optou-se pela construção da sua base em Macaé.

O porto da Petrobras em Macaé conta com uma área de 50.000 m², 6 píers para atracação com calado máximo de 6 metros, tanques de armazenamento de óleo diesel e graneis de vários tipos, estação de tratamento de fluídos, áreas de pré-embarque para as unidades marítimas, empilhadeiras para as movimentações internas ao porto e guindastes sobre esteiras para a movimentação de materiais para o interior das embarcações. Dentro do STM estão armazenadas não só as características dos diversos equipamentos do porto mas, também, o histórico de todas as movimentações ocorridas dentro do porto,

se constituindo como elemento de grande ajuda no levantamento dos tempos e quantidades dos materiais que lá tramitam.

O porto, o qual será denominado de terminal daqui por diante, fica definido por:

- suas coordenadas de localização;
- número de postos de atendimento (piers de atracação);
- distribuições de tempos de transbordo para cada tipo de suprimento considerado;
- distribuição dos tempos de atracação das embarcações nos piers.

Como os tempos para as manobras de atracação junto ao terminal praticamente não dependem das características das embarcações, julgou-se por bem defini-los como parâmetro do terminal. As cargas de convés, água, diesel e graneis podem ser movimentadas simultaneamente, tanto no terminal como nas unidades marítimas.

É importante ressaltar que, um dos objetivos do trabalho é o dimensionamento da frota de embarcações à disposição do transporte de suprimentos, e por isso, considera-se que as cargas estejam disponíveis no terminal, assim que sejam solicitadas pelas unidades marítimas. Desta forma o modelo inicia a análise, segundo a terminologia adotada, na fase de solicitação de transporte, ignorando a fase anterior, de disponibilização das cargas no terminal.

3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Passa-se a discorrer sobre alguns trabalhos, realizados com o apoio das ferramentas da Pesquisa Operacional, visando a análise e dimensionamento de vários tipos de sistemas de transporte.

3.1 - Modelos de Otimização para o Dimensionamento de frotas

Em Ronen(1993), foi apresentado um estudo sobre as tendências e pesquisas publicadas durante os anos 80 e começo dos 90 em problemas de programação de embarcações e correlatos. Mesmo com o desenvolvimento de hardware, com a potencialização dos micro-computadores, e software, tanto a nível de linguagem de programação quanto de softwares específicos, os trabalhos nesta área são escassos, indicando o baixo nível de penetração de modelos quantitativos em aplicações reais. Vale ressaltar, contudo, que alguns estudos foram realizados no âmbito do dimensionamento de frota, a saber:

- determinação do tamanho e composição da frota norte-americana de petroleiros e graneleiros, avaliado pelo ponto de vista da política marítima daquele país, resolvido utilizando-se a técnica de programação linear;
- determinação do tamanho e composição de uma frota de navios tipo "liners" para uma dada rota comercial;
- verificação da viabilidade do afretamento de um navio porta-contêiner adicional visando a ampliação da capacidade de uma frota para atender a demanda de uma rota comercial. O problema foi resolvido utilizando a técnica de programação inteira mista;
- determinação do tamanho de duas frotas de navios para transporte de gás liquefeito que compartilham um mesmo terminal com rotas diferentes. A estimativa do tempo de espera em fila no terminal foi feita a partir de modelos de filas fechadas;
- designação de rotas para uma frota com excesso de capacidade para atender um contrato de transporte de carga com várias origens e destinos. Foi empregado um modelo de programação não-linear para designação dos

navios à cada rota e velocidade de cruzeiro, tanto nos trechos carregados como nos trechos em lastro;

- determinação dos roteiros ótimos de uma frota de navios porta-contentores operando em uma dada rota comercial, utilizando a técnica de programação não-linear mista inteira;
- designação de navios tipo "liners" de uma frota existente a um conjunto de rotas, utilizando a técnica de programação linear.

Em Larson(1988), foi apresentado um estudo para o Departamento Sanitário da Cidade de Nova York, responsável pelo transporte de lixo naquela cidade. O problema se resumia em se dimensionar a frota de empurradores e balsas destinadas a retirar o lixo, trazido por caminhões, de estações coletoras espalhadas pela cidade e transporta-lo para um grande aterro em uma ilha próxima. O problema continha uma forte componente probabilística no que concerne a demanda de lixo nas estações coletoras. As balsas foram consideradas de um único tipo e os empurradores poderiam se acoplar a um "trem" composto de uma à quatro balsas. Segundo o autor, pela complexidade envolvida no sistema, foi decidido a construção de um modelo híbrido, incorporando a técnica de simulação, conceitos de rede de transporte e de filas em circuito fechado e conceitos "baseado em regras" (rule-based concepts) motivados pela teoria de processos de Markov. Em linhas gerais o modelo utiliza a técnica de simulação na modelagem das quantidades de lixo entregues pelos caminhões nas estações coletoras associada à uma rotina de otimização, que verifica, no decorrer da simulação, qual a estação de coleta representa um gargalo ao sistema, despachando empurradores e balsas à essa estação. O modelo foi "rodado" com vários tamanhos de frota visando a sua melhor composição.

Maroun(1992) apresenta uma relação de modelos e sistemas logísticos de otimização de recursos referentes ao Departamento de Transporte da Petrobras, responsável pelo transporte de petróleo e seus derivados a nível nacional e internacional. A ênfase da referência é para o Modelo de Apoio ao Planejamento para a Previsão da Necessidade de Afretamento no Curto Prazo - MODAF, desenvolvido em 1993 por aquele Departamento, com vistas ao dimensionamento da frota de petroleiros para a cabotagem e longo-curso,

indicando ainda suas rotas otimizadas para o atendimento da demanda no horizonte previsto. A técnica utilizada foi a programação linear.

3.2 - Heurísticas para o dimensionamento de frotas

Em Brinati(1988), o estudo trata do dimensionamento de um sistema de transporte marítimo de passageiros para a substituição de equipes em unidades marítimas da Bacia de Campos. O transporte de passageiros se dá de duas formas: por helicópteros, que é o meio de transporte de passageiros preponderante e por catamarã, que por não oferecer condições adequadas de conforto, é responsável por apenas 25% do transporte de passageiros naquela área. A idéia do estudo é a de procurar alternativas ao transporte aéreo de passageiros que reduzam o custo do transporte.

O trabalho é estruturado em 3 modelos que são:

- modelo de concepção preliminar da embarcação, visando o estudo da forma da embarcação mais adequada ao transporte marítimo de passageiros naquela região;
- modelo de roteamento e dimensionamento de frota;
- modelo de avaliação econômica.

Uma vez definido o tipo de embarcação mais adequada, o estudo lança-se ao dimensionamento da frota. É importante frisar que a demanda associada ao modelo é bastante definida em seu número e frequência. Assim, o problema de dimensionamento da frota teve sua solução precedida pela resolução do problema de roteamento das embarcações. Então, especificados os parâmetros de uma embarcação, tais como capacidade, velocidade, tipo de transbordo, o número de viagens semanais (as trocas de turma em uma unidade marítima se dão num intervalo de 7 dias) fica definido, pela solução do problema de roteamento, o dimensionamento da frota. Uma heurística foi definida para a resolução do problema de roteamento visto que os modelos de programação inteira geralmente requerem elevados tempos de processamento. Uma heurística de "pós-otimização" foi utilizada visando melhorar as soluções encontradas pela primeira heurística, já que estas buscam uma solução viável, não garantindo a solução ótima.

Com o desenvolvimento do trabalho se constatou que nenhum dos algoritmos disponíveis na literatura poderia ser utilizado diretamente na resolução do problema, devido à não consideração de restrições de duração máxima das viagens, que no caso era considerado como fundamental, visto que está intimamente relacionada com o estado físico dos passageiros.

Por fim, o modelo de avaliação econômica estima os custos das alternativas envolvidas no estudo. É importante observar a dificuldade encontrada para a avaliação dos diversos custos que formam a base para a avaliação econômica das alternativas.

Em Brinati(1993), apresenta-se um modelo para o dimensionamento e programação de transporte de suprimentos para unidades marítimas de exploração e produção de petróleo. O estudo está fundamentado na introdução de uma heurística para o roteamento da frota que leva em consideração não só a distribuição espacial dos pontos de demanda mas, também, as janelas de tempo das requisições, isto é, os intervalos de tempo nos quais as cargas devem ser entregues em seus destinos. Salienta-se que mais uma vez foi utilizada uma heurística para o roteamento das embarcações visto que um modelo dotado de solução exata demandaria grandes tempos e capacidades computacionais. Em linhas gerais o algoritmo processa o dimensionamento e programação da seguinte forma: um conjunto de requisições de suprimento para um determinado período de estudo é fornecido ao algoritmo que tenta alocá-las, na medida do possível, em embarcações que foram previamente informadas ao modelo como disponíveis, isto é, a serem afretadas ou já pertencentes à frota. Assim, durante o processamento, o algoritmo vai incorporando embarcações à frota, caso necessário, visando atender a demanda. A escolha da embarcação a ser incorporada leva em consideração sua capacidade de transporte dos diversos tipos de cargas e seus custos relativos à contratação e desempenho operacional. O algoritmo calcula estes custos visando a formação de um "ranking" entre as embarcações disponíveis. Estes custos são atualizados periodicamente pelo algoritmo. Leva-se, ainda, em consideração as indisponibilidades das embarcações causadas por docagens e atividades extra-suprimento que embarcações não especialistas em suprimento possam vir a executar assim como os tempos de transbordo das cargas. Ao final do processamento, o algoritmo gera arquivos de saída com os custos totais das embarcações e da frota como um

todo e as requisições que foram rejeitadas por incapacidade da frota em atendê-las. Os custos totais estão divididos em custos fixos, que são os custos de afretamento, isto é, custos que existem independentemente da utilização ou não das embarcações afretadas, e custos variáveis, avaliados de acordo com as "performances" das embarcações e suas utilizações.

O algoritmo desenvolvido para a solução do problema de dimensionamento e programação da frota de suprimento teve, como ponto de partida, vários algoritmos encontrados na literatura. Assim, determinadas características desses algoritmos foram utilizadas e outras foram introduzidas visando a adequação do novo algoritmo ao problema de suprimento, como mostrado em Gouvea(1992).

3.3 - Modelos de Simulação

Em Botter(1988) foi realizado um estudo com vistas ao desenvolvimento dos modelos operacional e de avaliação econômica para um sistema integrado de transporte de álcool e produtos claros na região da hidrovia Tietê-Paraná. Este estudo foi realizado por convênio firmado entre o então Departamento de Transporte da Petrobras e o Departamento de Engenharia Naval da Universidade de São Paulo. Em linhas gerais, o problema que se apresentava era o seguinte: o transporte de óleo diesel entre a Refinaria de Planalto e as distribuidoras do produto em várias cidades do interior do estado de São Paulo e Campo Grande - MS, assim como uma parte do álcool produzido por usinas do interior do estado em direção à Paulínea, valiam-se da malha ferroviária da Fepasa e RFFSA. Por sua vez, outra parte do álcool era escoado via fluvial até certo ponto da hidrovia Tietê-Paraná, onde era então transportado via rodoviária para a base da refinaria em Paulínia. A idéia geral do estudo era representar, em modelo de simulação, o problema real, verificando-se a possibilidade de alterações na ordem de magnitude do volume a ser transportado via fluvial e a instalação de dutos para escoamento tanto de álcool como de óleo diesel, reduzindo-se assim a participação do transporte rodo-ferroviário neste sistema. Através do modelo de avaliação econômica estimou-se os diversos custos envolvidos nas operações de transporte propiciando a comparação das diversas alternativas. Ao final do

estudo, sugere-se que o sistema seja alterado visando o escoamento dos produtos via duto, fluvial e ferroviária, diminuindo-se, grandemente, este último.

Nota-se neste estudo que, através do modelo utilizado, gerou-se uma solução que diminui o custo de transporte dos produtos envolvidos contemplando alternativas de escoamento que não existiam ou eram subutilizadas até então. O modelo proposto permitiu o dimensionamento adequado dos vários meios de transporte para os produtos, caracterizando-se como importante ferramenta para o seu planejamento.

3.4 - Aplicabilidade das Técnicas de Simulação

Segundo Pegden(1995), a técnica de simulação vem se tornando uma importante ferramenta de apoio à tomada de decisão. Isto se deve, basicamente, ao aumento de velocidade de processamento e capacidade dos micro-computadores e ao desenvolvimento de softwares comerciais disponíveis no mercado.

Ainda segundo Pegden(1995), "simulação é uma das mais poderosas ferramentas de análise disponíveis àqueles responsáveis pelo projeto e operação de processos e sistemas complexos". Num mundo cada vez mais competitivo, a simulação deixou de ser o "último recurso", transformando-se numa ferramenta poderosa para planejamento, projeto e controle de sistemas". Em seu capítulo inicial, o autor descreve a técnica de simulação da seguinte forma: "A simulação prediz o comportamento de sistemas complexos de manufaturas pelo cálculo dos movimentos e interações dos vários componentes do sistema. Pela avaliação do fluxo das partes através de máquinas e estações de trabalho e pelo exame de demandas por recursos limitados, pode-se avaliar arranjos físicos, seleção de equipamentos e procedimentos operacionais. Simulação é uma maneira eficiente de testar sistemas propostos, projetos ou políticas de operação sem ter os custos relativos aos protótipos, teste de campo ou implementações reais. Os responsáveis por planejamentos, de um modo geral, estão vendo a simulação como uma grande ferramenta de apoio à tomada de decisão."

Entende-se, assim, que a técnica de simulação tem seu campo de ação não só no plano operacional mas também no planejamento e dimensionamento de sistemas.

3.5 - Enquadramento do Problema de Suprimento e Hipóteses Adotadas

O trabalho de Brejon (1997) apresenta uma classificação do Problema de Transporte de Suprimentos, que tem como base a proposição de Desrochers, Lenstra e Savelsbergh (1988), que abaixo é reproduzida:

Quanto aos Pontos de Coleta: número de bases - uma

Quanto aos Pontos de Entrega:

- demanda localizada nos nós;
- só são realizadas entregas;
- a demanda determinística;
- existem restrições de múltiplas janelas de tempo nos pontos de entrega;
- todos os pontos de entrega devem ser visitados.

Quanto aos Veículos:

- número de veículos é variável (especificado de acordo com as condições do problema em cada momento);
- os veículos podem ter diferentes capacidades de carga e com compartimentos dedicados;
- os veículos podem ter diferentes janelas de tempo para suas operações e diferentes autonomias, que condicionam a duração máxima de viagem.

Características e Objetivos do Problema:

- os custos são euclidianos e a rede não é direcionada;
- é permitida divisão de demanda (a demanda da unidade marítima pode ser satisfeita com mais de uma visita, desde que em dias diferentes);
- um veículo pode fazer várias rotas consecutivas;
- as rotas começam e terminam na base;
- não há restrições de precedência;
- não há restrições entre a base e as unidades marítimas;
- não há restrições entre as unidades marítimas;

- existem restrições entre a base e veículos (tempos de carregamento);
- existem restrições entre unidades marítimas e veículos (tempos de descarga e tipo de carga que o veículo pode levar);
- não existem restrições entre veículos;
- minimizar a soma de custos variáveis (dependentes da duração das rotas) e/ou de custos fixos (relacionados ao afretamento das embarcações).

O problema de dimensionar a frota de veículos a ser utilizada em um sistema de transporte é, portanto, um problema de roteirização de veículos. Para o problema do "caixeiro viajante", pertencente à classe dos problemas de roteirização (o problema do caixeiro viajante pode ser interpretado como um modelo de roteirização de uma frota de um único veículo, cuja capacidade exceda a demanda total, e não haja restrição para o tempo de viagem), a sua solução ótima para um número elevado de locais de visita é difícil de ser obtido computacionalmente. Problemas mais complexos de roteirização, envolvendo considerações como veículos com capacidades distintas, janelas de tempo para o atendimento de demandas, grande número de pontos de demanda e bases etc, tornam as suas soluções ótimas, se não inviáveis, bastante difíceis de serem alcançadas. Assim sendo, para estes tipos de problemas se utilizam técnicas heurísticas. Um algoritmo heurístico é um procedimento que explora a estrutura matemática do problema, para obter uma solução viável, ainda que não ótima. Uma heurística é considerada efetiva se a solução gerada é consistente e próxima da solução ótima.

Neste ponto vale um parênteses para fazer-se uma retrospectiva sobre a evolução do estudo do problema de roteirização de veículos. Em 1979, foi realizado na Universidade de Maryland, EUA, um workshop sobre roteirização e programação de veículos, contando com a presença de 50 especialistas no assunto. Ficou evidente a falta de atenção para problemas mais complexos e reais de roteirização, como por exemplo, problemas que envolvessem tipos diferentes de veículos e restrições de tempo para o atendimento de demandas.

Em Golden e Assad(1988) apresentam-se algoritmos para problemas mais complexos nesta área, indicando um salto na implementação comercial de sistemas de roteirização. Uma das implementações de maior sucesso nesse

período foi o trabalho, desenvolvido por Fisher e Jaikumar, para a empresa DuPont. Valendo-se de um algoritmo heurístico de designação generalizada, aquela empresa conseguiu reduções da ordem de 15% em seus custos de distribuição.

Outro ponto favorável ao maior emprego comercial das técnicas de roteirização foi o desenvolvimento de sistemas para microcomputadores, alguns deles mais poderosos que seus similares para computadores de grande porte.

Embora o desenvolvimento de técnicas exatas para a solução de problemas de roteirização tenham tido avanços consideráveis, as técnicas heurísticas continuam, até hoje, a representar papel ímpar nas aplicações práticas, mormente em problemas de grande porte. As referências acima encontram-se em Brinati(1995).

Analisando o problema de transporte de suprimento e as modelagens que já foram propostas para sua solução e as que estão sendo desenvolvidas por Brejon (1997), optou-se neste trabalho buscar uma outra linha de atuação que pudesse considerar os seguintes aspectos:

- as demandas por suprimentos das várias unidades marítimas, que seguem determinados padrões, como já mencionado, podem ser representados por funções probabilísticas;
- as docagens, a realização de tarefas extra-suprimento, tempos necessários para atracação nas unidades marítimas, etc., são todos de caráter estocástico.

Estes fatores conduziram ao desenvolvimento de um modelo híbrido, associando uma rotina de roteirização com a técnica de simulação, como forma de representar, da melhor maneira possível, o problema do transporte de suprimentos.

Uma vez que as unidades marítimas podem receber suprimentos à qualquer tempo e os tempos para recebimento dos suprimentos são suficientes para que cargas perecíveis não se deterioreem, foi considerado um conceito de janela de tempo "relaxada", com base no tempo máximo para a entrega do suprimento na unidade marítima que deve ser cumprido sob pena de aumentar o custo de espera, que tem como base o custo de paralisar a unidade marítima.

Os modelos de dimensionamento de frota encontrados na literatura, via de regra, tem, como parâmetro para o dimensionamento, os custos variáveis, no

caso de frotas próprias ou já contratadas, ou custos totais, no caso de se ter a possibilidade de escolher quais veículos devem fazer parte da frota.

Como já mencionado, para o caso da Petrobras, o custo do óleo diesel consumido pelas embarcações à sua disposição representam pequena parte do custo total envolvido na atividade de transporte "offshore". Assim, devido ao carácter operacional imposto pela Petrobras, o modelo proposto contempla o dimensionamento pelo custo de afretamento das embarcações e pelo custo de atraso na entrega dos suprimentos em seus destinos. Os resultados são então analisados pela gerência competente que escolherá o melhor perfil para a frota.

É importante enfatizar que, como o modelo proposto contempla o conceito das zonas de proximidade, peculiares no caso da Petrobras-E&P, a rotina de roteirização das embarcações se resume na otimização dos roteiros pré definidos pelo modelo de simulação, que será explorado no capítulo 5.

3.6 – Processo de Modelagem Utilizando Técnicas de Simulação

Uma vez escolhida a técnica de simulação para o desenvolvimento do presente trabalho, buscou-se uma metodologia para o desenvolvimento do modelo que representasse a operação do sistema de transporte marítimo de suprimentos.

Pegden(1995) apresenta um procedimento, que foi adotado neste trabalho, com as seguintes etapas:

- a) Definição do Problema - é a etapa onde ocorre uma definição clara das metas do estudo, por que se está estudando este problema e quais respostas buscam-se encontrar;
- b) Planejamento do Projeto - busca-se nesta fase verificar a existência de recursos físicos, humanos e técnicos para a execução do projeto;
- c) Definição do Sistema - é a etapa onde ocorre a determinação das fronteiras e das restrições a serem usadas na definição do sistema e uma investigação de como o sistema funciona;
- d) Formulação Conceitual do Modelo - é uma etapa onde se desenvolve um modelo preliminar de forma gráfica (por exemplo, diagrama de blocos) ou já

- em um pseudo-código, para definir os componentes, as variáveis e as interações lógicas que constituem o sistema;
- e) Projeto Experimental Preliminar - consiste na seleção das medidas de eficiência que serão empregadas, os fatores a serem variados e quais dados precisam ser colhidos do modelo, de que forma e em que extensão;
 - f) Preparação dos Dados de Entrada - consiste na identificação, coleta e análise dos dados necessários pelo modelo;
 - g) Tradução do Modelo - é a formulação do modelo em uma linguagem de simulação apropriada;
 - h) Verificação e Validação - é uma das etapas essenciais do processo e que consiste na confirmação de que o modelo opera da forma que o analista pretendia e que a saída do modelo é confiável e representativa de um sistema real. A verificação busca mostrar que o programa computacional se desempenhou como esperado e pretendido, fornecendo, desta forma, uma correta representação lógica do modelo. A validação, por outro lado, estabelece que o comportamento do modelo representa de forma válida, o sistema do mundo real que está sendo simulado;
 - i) Projeto Final Experimental - consiste em projetar experimentos que irão gerar as informações desejadas e determinar como cada uma das "corridas" especificadas no projeto serão executadas;
 - j) Experimentações - consiste em executar a simulação para gerar os dados desejados e realizar análises de sensibilidade;
 - k) Análise e Interpretação - consiste em realizar inferências sobre os dados obtidos pela simulação;
 - l) Implementação e Documentação - é a disponibilização, a aplicação do modelo e obter resultados, além de uma documentação do modelo e de seu uso.

As etapas "a" até "c" foram mostradas nos capítulos 1 e 2 e em parte no presente capítulo, onde buscou-se caracterizar o problema e o sistema em estudo, apontando-se as hipóteses que foram assumidas.

As etapas "d" e "e" estão mostradas no capítulo 5 e parte no capítulo 6, onde monta-se o fluxograma detalhado do modelo e se propõe uma experimentação desse modelo.

O capítulo 4 é dedicado a etapa "f", que é considerada a mais importante delas, pois com a obtenção e análise dos dados de entrada do modelo é possível

se conhecer cada vez mais sobre a operação do sistema e, conseqüentemente, pode haver necessidade de se alterar a modelagem proposta.

Os anexos "A" e "B" deste trabalho trazem as etapas "g" e "h", onde o modelo foi codificado e testado até que os resultados estivesse compatíveis com a operação real do sistema.

As etapas "i" até "k" estão apresentadas no capítulo 6 e a documentação deste trabalho citada na etapa "l" pode ser considerado este texto completo. A implementação deste trabalho ficará a cargo da PETROBRAS, nas atividades que forem conduzidas na PETROBRAS/E&P/GETMAR.

3.7 – Escolha do "software" para codificação do modelo

No Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da EPUSP encontram-se disponíveis os seguintes "softwares" de simulação:

- GPSS – General Purpose System Simulation;
- SLAM System;
- ARENA;
- PROMODEL;
- AUTOMOD – Versão estudantil.

Os dois primeiros programas : GPSS e SLAM, amplamente utilizados até o início da década de 90, apresentam um estrutura de programação não amigável, onde o usuário deve conhecer todos os comandos do programa, digitá-los em um formato rígido, compilar, processar e analisar posteriormente os resultados. Isso torna as tarefas de modelagem, verificação e validação um quanto demoradas e não confiáveis.

Os programas ARENA, PROMODEL e AUTOMOD são considerados os melhores simuladores para eventos discretos existentes no mercado atualmente, já estruturados para um ambiente "WINDOWS" e com programação por objetos, além de incorporarem recursos de animação, que facilitam sobremaneira as tarefas de verificação e validação, possibilitando uma apresentação de resultados muito mais adequada.

O programa ARENA (1996) foi escolhido por existir um treinamento básico disponível pelo representante comercial em São Paulo e porque existe uma disciplina de Pós-Graduação do Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da EPUSP que o utiliza.

O programa ARENA possui ainda um módulo de análise de dados, denominado de "INPUT ANALYSER", o módulo de programação e o módulo de análise de resultados, denominado de "OUTPUT ANALYSER".

4 - PROCEDIMENTOS PARA A EXPLORAÇÃO E ANÁLISE DE DADOS

Este capítulo trata da exploração e análise dos dados de entrada para o desenvolvimento de um modelo de simulação, revisa-se alguns conceitos de estatística e apresenta-se um procedimento para o tratamento de dados, com uma aplicação numérica para o caso da Petrobras.

4.1 - A Qualidade dos Dados de Entrada

A qualidade dos dados de entrada para um modelo de simulação é tão importante quanto a fidelidade do modelo em retratar a realidade. O dito "lixo na entrada - lixo na saída" aplica-se não só aos modelos de simulação como à quaisquer outros programas de computador.

O levantamento dos dados que devem ser utilizados é, geralmente, uma tarefa difícil e demorada. O maior problema reside quando se modela sistemas que ainda não existem ou se existirem, a coleta de dados sobre estes não é possível por qualquer razão. Neste caso, só restam as informações obtidas de pessoas com algum conhecimento sobre o sistema. Ainda assim o problema é extremamente complicado pois, segundo Pegden(1995), as pessoas, em geral, não estimam bem, mesmo que estejam familiarizadas com o assunto para o qual foram solicitadas à estimar, esquecendo-se de casos extremos e enfatizando os mais recentes.

No caso de se ter dados sobre um determinado sistema, como por exemplo de tempos de viagem de navios, o analista ainda se depara com uma decisão crucial: utilizar os dados coletados em forma de tabela de frequências diretamente no modelo ou tentar aderir uma curva teórica aos dados coletados e utilizá-la no modelo.

Não há, porém, consenso nesta matéria. Quando se utiliza os dados coletados diretamente no modelo, o que se está fazendo é uma replicação do passado, não permitindo que o modelo experimente outros valores além dos observados. Quando se utiliza uma curva teórica, existe a possibilidade de se obter valores extremos, muito distantes dos valores históricos observados.

Assim, mesmo que se tenha uma amostra grande de dados, isto não é garantia de que o problema da análise de dados esteja resolvido. Deve-se manter em mente que o tratamento adequado desses dados poderá ditar o sucesso do modelo.

Para isto, reporta-se à alguns conceitos de estatística que serão vistos a seguir.

4.2 – Revisão de Conceitos

Passa-se à revisão de alguns conceitos de fundamental importância na análise inicial de um conjunto de dados.

4.2.1 – Medidas de Posição

São medidas que dão a sua localização em relação ao conjunto de dados que esta sendo analisado. São elas:

- Média Aritmética: defini-se média aritmética de um conjunto de pontos como

$$\bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i / n \quad , \quad \text{onde } x_i \text{ são os pontos a serem analisados e}$$

n o número total de pontos.

- Média Aparada: é a média aritmética onde se descarta uma porcentagem dos mais baixos e mais altos valores;
- Mediana: é o valor central de um conjunto de dados, isto é, 50% dos dados observados estão à sua esquerda;
- Moda: é o valor mais freqüente de um conjunto de dados;
- Quartis: dividindo-se um conjunto de dados em quatro partes iguais, ou seja, que em cada parte exista o mesmo número de observações que nas demais, o primeiro quartil deixa 25% das observações à sua esquerda; o segundo quartil, 50% das observações e assim por diante;
- Máximo e Mínimo: são, respectivamente, o maior e o menor valor existentes em um conjunto de dados.

4.2.2 – Medidas de Dispersão

As medidas de posição descritas acima fornecem uma visão limitada sobre o conjunto de dados, visto que não levam em conta o mais importante conceito em estatística que é a variabilidade. Assim, para a sua quantificação, define-se, abaixo, algumas medidas:

- Amplitude: esta medida é obtida pela diferença entre os valores máximo e mínimo observados;
- Desvio Médio Absoluto: esta medida é definida como:

$$dm = \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|/n \quad , \text{ onde } x_i \text{ são os valores observados, } \bar{x} \text{ é a média}$$

aritmética e n o número total de observações. Esta medida dá uma idéia da dispersão global dos valores em torno da média.

- Variância: na medida anterior houve a necessidade de se utilizar os valores absolutos das diferenças, visto que a somatória sem este recurso seria zero. Uma maneira de se contornar este problema é se considerar os valores das diferenças ao quadrado. Assim, a variância fica definida por:

$$s^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 / (n - 1)$$

Esta é a medida de dispersão mais utilizada devido à sua maior facilidade de trato algébrico.

- Desvio padrão: a partir da medida anterior se criou a necessidade de se obter uma medida nas mesmas unidades dos dados originais. Assim, o desvio padrão é a raiz quadrada positiva da variância.
- Coeficiente de Variação: o desvio padrão depende, de certo modo, da magnitude dos dados observados. O coeficiente de variação é uma medida que tira este efeito de magnitude, permitindo que se compare dois ou mais conjuntos de dados quanto às suas variabilidades. Esta medida é conceituada como o quociente entre o desvio padrão e o módulo da média aritmética, sendo expresso em porcentagem.

4.2.3 – Gráficos Utilizados na Análise de Dados

Esta seção mostra os gráficos mais utilizados na análise de dados. São eles:

- Histograma: para a sua construção parte-se de uma tabela de freqüências, onde os dados observados são divididos em classes e contados, definindo-se, então, as freqüências de cada classe. Assim, o histograma representa, graficamente, a distribuição de freqüências. A figura 4.1 mostra um histograma gerado a partir de uma tabela de freqüências associada. Neste exemplo, os valores colocados no eixo das abscissas representam as classes dos tempos gastos no trajeto entre dois pontos A e B e os valores da ordenada mostra as freqüências de ocorrências em cada classe.

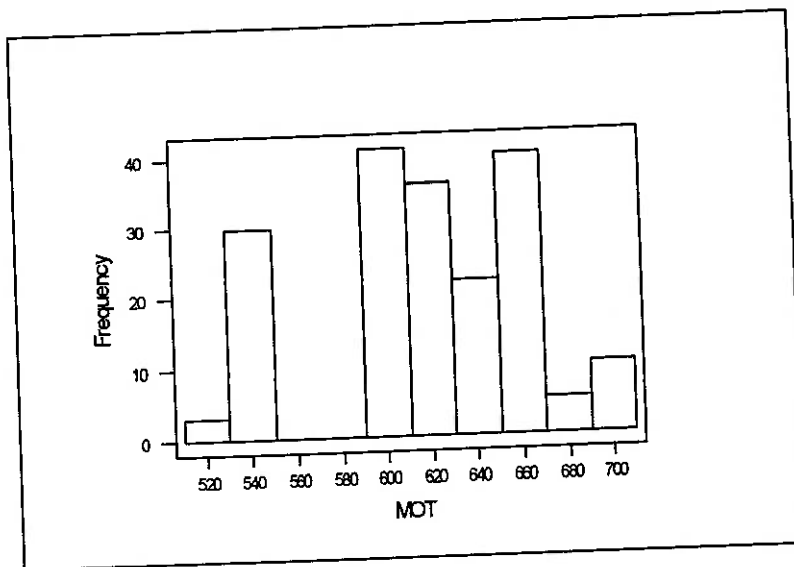


Figura 4.1 - Exemplo de gráfico tipo histograma

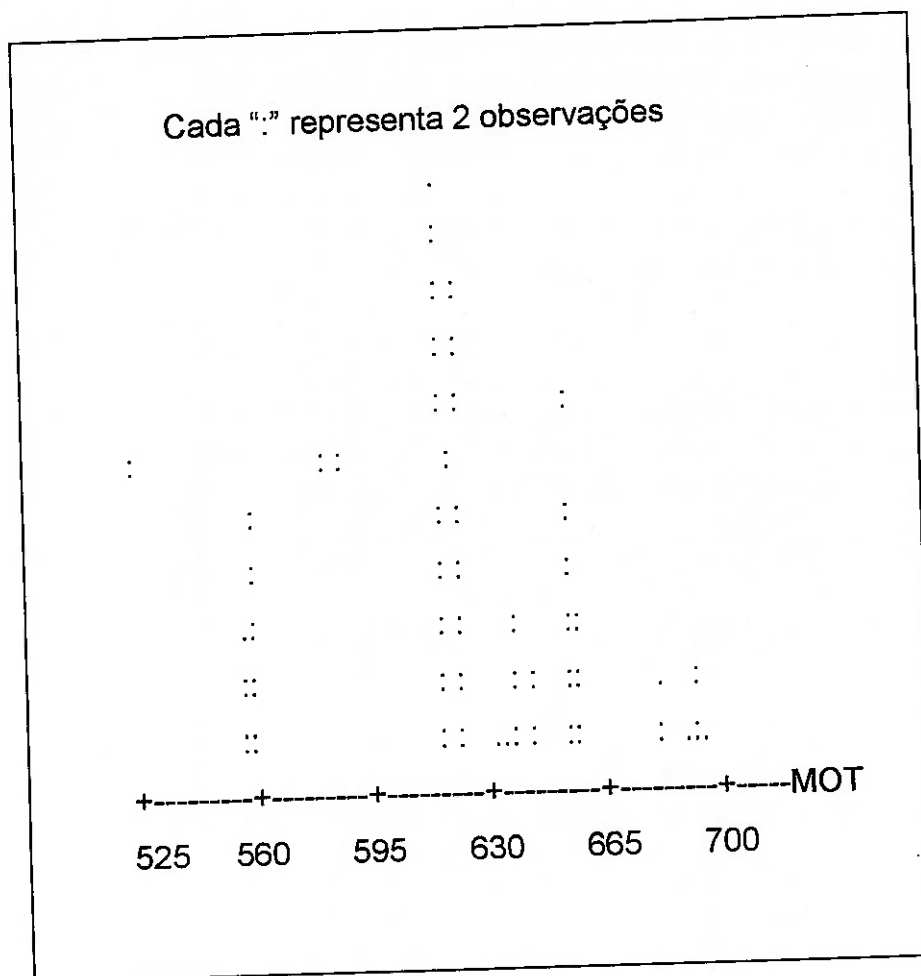


Figura 4.2 - Exemplo de gráfico tipo dotplot

- Gráfico de Pontos: este gráfico possui construção bastante simples, utilizando todos os dados observados de uma amostra, representando-os sobre a abcissa, que contém as classes de frequência amostral. A figura 4.2 mostra um gráfico de pontos (no programa Minitab esse gráfico é denominado de "dotplot").
- Gráfico de Caixas: este é um gráfico mais elaborado que o anterior, visto que utiliza algumas das medidas já mencionadas, a saber: mediana, 1º quartil (Q1), 3º quartil (Q3), máximo e mínimo. Estas medidas são colocadas em uma reta, onde marca-se um retângulo com extremidades em Q1 e Q3 e dentro deste retângulo, marca-se a posição da mediana. Em seguida são marcados dois segmentos de reta: um segmento desenhado abaixo de Q1, com tamanho equivalente a uma vez e meia a diferença entre Q1 e Q3 e outro segmento desenhado acima de Q3 com tamanho equivalente a uma vez e meia a

diferença entre Q1 e Q3. Este critério é conhecido como "critério da diferença entre quartis". Assim, valores que se situem abaixo e acima destes limites são considerados discrepantes ("outliers") e mostrados na figura 4.3 com o símbolo "*", sugerindo ao analista uma reflexão sobre estes valores. A figura 4.3 mostra um gráfico de caixas (no programa Minitab esse gráfico é denominado "boxplot"). Neste exemplo, os valores indicados no eixo das ordenadas se referem aos valores da variável de interesse observada (4DAY).

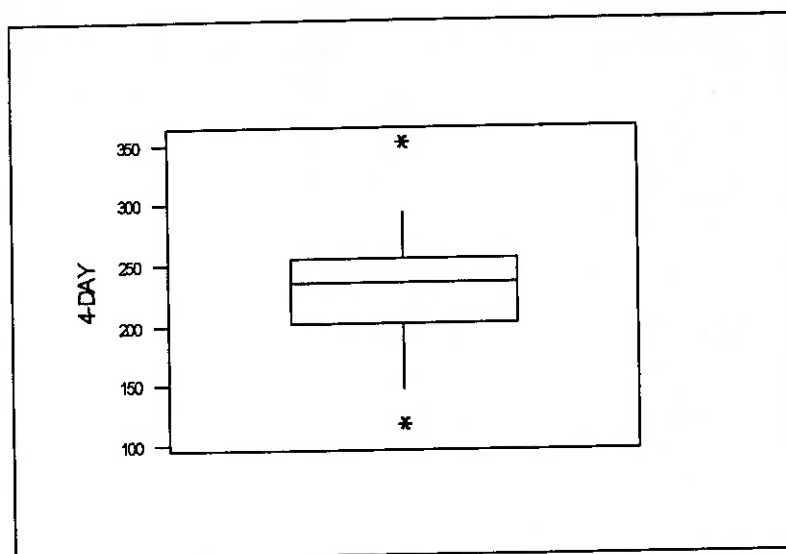


Figura 4.3 - Exemplo de gráfico tipo boxplot

- Diagrama de Dispersão: nos gráficos apresentados acima levou-se em consideração apenas uma variável, ou seja, um conjunto de dados da mesma espécie. Entretanto, existem situações em que há interesse em se saber como uma variável se comporta em relação à uma outra. Nestes casos, podem ser utilizados os diagramas de dispersão. Nestes gráficos são colocados as duas variáveis de interesse em eixos ortogonais onde são posicionados os pontos relativos à estas variáveis. Assim, pode-se reconhecer se existe alguma relação entre as variáveis. A figura 4.4 mostra um diagrama de dispersão. Neste exemplo os valores indicados no eixo das abcissas (tem1) referem-se ao tempo gasto em horas no transporte com uma distância em km indicada nos eixo das ordenadas (MOT1).

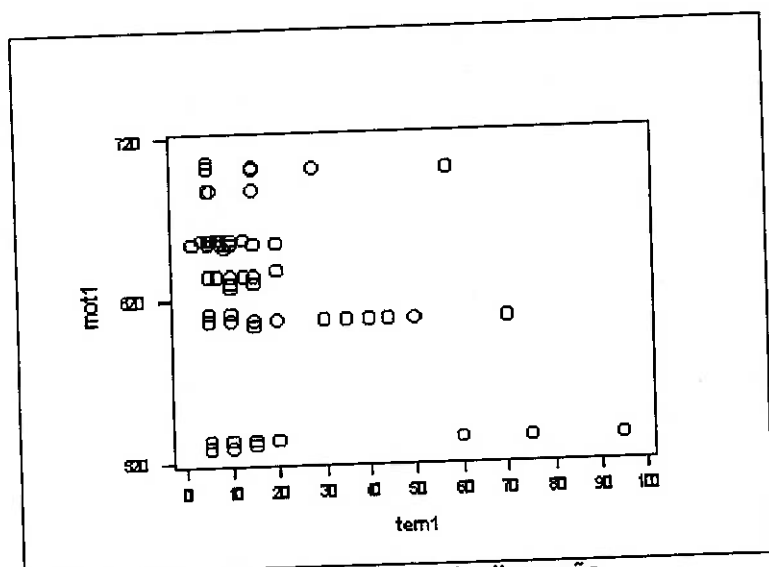


Figura 4.4 - Exemplo de diagrama de dispersão

Os conceitos acima encontram-se em Pegden(1995) e Botter(1996). Para maiores detalhes, inclusive conceitos que serão utilizados na próxima seção, recomenda-se Bussab(1988).

Com isto, encerra-se a revisão de conceitos e passa-se aos procedimentos adotados na análise de dados para o caso da Petrobras.

4.3 – Análise de Dados para o Caso da Petrobras

Os procedimentos que foram adotados nesta pesquisa para a análise dos dados são uma proposta de tratamento que pode ser adotada em qualquer estudo de dados não se propondo, portanto, a ser única ou a mais correta. Contudo, tem-se a certeza de que é um caminho seguro para uma boa análise de dados.

No caso da Petrobras, os dados de interesse para o modelo foram coletados do banco de dados de transporte, o STM – Sistema de Transporte Marítimo. Assim, os dados referentes ao consumo, pelas unidades marítimas para um período de um ano, de água, óleo diesel, graneis e cargas de convés foram extraídos do STM e submetidos à análise. Para efeito didático, vamos analisar os dados referentes ao consumo de água. O mesmo procedimento de análise no caso da água foi adotado para a análise das demais cargas. O programa utilizado para a análise dos dados foi o MINITAB.

Assim, os dados relativos ao consumo de água para um conjunto de nove unidades marítimas foram extraídos do STM e salvos em um arquivo em formato texto; uma planilha eletrônica ou um editor de texto poderia ter sido usado. Após, migrou-se os dados do arquivo para o MINITAB. A tabela 4.1 mostra uma parte dos 207 itens que compõe o conjunto de dados a ser analisado.

Tabela 4.1 – Consumo de água pela unidade marítima 1

Quant (quilos)	Interval (minutos)	Número da UM
50000	1566	1
250000	9651	1
600000	10733	1
600000	9251	1
450000	10904	1
400000	11039	1
450000	8317	1
350000	10877	1
500000	10642	1
350000	9029	1

Na primeira coluna tem-se os dados relativos à quantidade de água solicitada, em quilogramas; na segunda, o intervalo entre cada pedido em minutos, e na terceira o número que identifica a unidade marítima requisitante.

A primeira pergunta que surgiu foi: "Será que as duas variáveis, "quant" e "interval", guardam alguma relação entre si?". Para isto montou-se um diagrama de dispersão. A figura 4.5 mostra este diagrama.

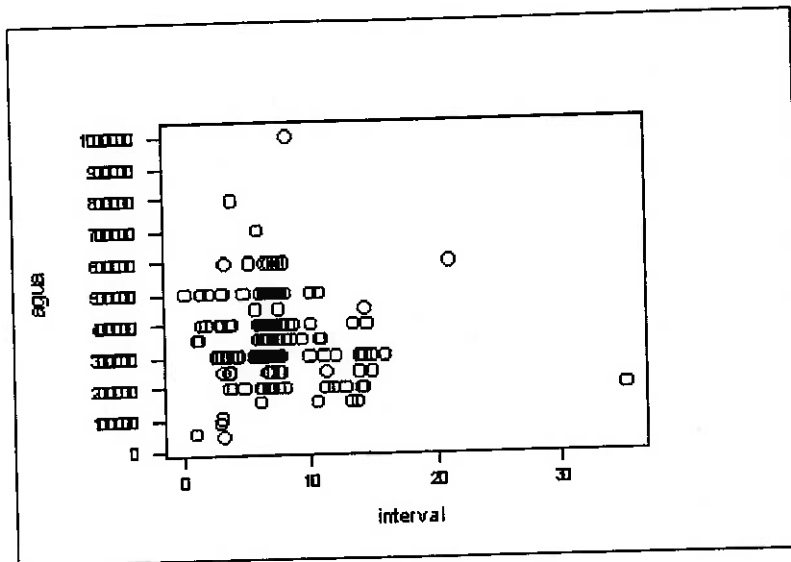


Figura 4.5 - Diagrama de dispersão para as variáveis "quant" (água) e "interval".

Nota-se, pelo diagrama de dispersão que as variáveis não guardam relação entre si. Com isto, pode-se considerar que as variáveis não são correlacionadas.

Isto posto, começou-se a trabalhar com cada variável buscando uma forma de aderir, se possível, uma curva teórica à cada variável. Vamos nos ater, neste texto, ao estudo da variável "quant"; o mesmo procedimento foi feito para a variável "interval". O próximo passo foi verificar as principais características da variável em estudo. A figura 4.6 mostra estas medidas.

Descriptive Statistics						
Variable	N	Mean	Median	TrMean	StDev	SEMean
Quant	207	350821	300000	345989	127168	8839
Variable	Min	Max	Q1	Q3		
Quant	40000	1000000	300000	400000		

Figura 4.6 – Parâmetros estatísticos principais dos dados analisados

Analisando os dados acima verificou-se uma concentração de dados entre 300.000 e 400.000 quilos (intervalo interquartil), intervalo este pequeno em comparação com a amplitude dos dados.

É interessante observar que o primeiro quartil (Q1) coincide com a mediana (Median) ou segundo quartil, indicando que 25% dos dados incidem sobre o valor

300000 quilos, indicando também a concentração de dados em torno deste número.

O próximo passo foi a confecção de gráficos para a visualização das observações acima descritas. Assim, procedeu-se à confecção de um histograma para a variável "quant" mostrado na figura 4.7.

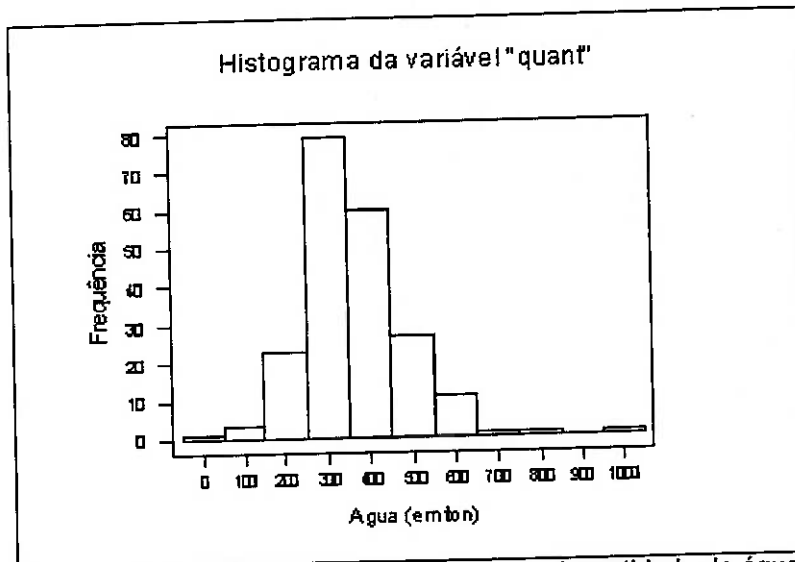


Figura 4.7 – Histograma da variável "quant" (quantidade de água)

Pelo histograma acima nota-se a grande incidência de dados em torno do ponto 300 toneladas observando-se que alguns pontos se afastam, em muito, desta região; a distribuição tem aspecto assimétrico. Com isto, procedeu-se à confecção de um gráfico de caixas, na tentativa de se verificar os pontos que podem ser considerados discrepantes ("outliers"). A figura 4.8 mostra este gráfico.

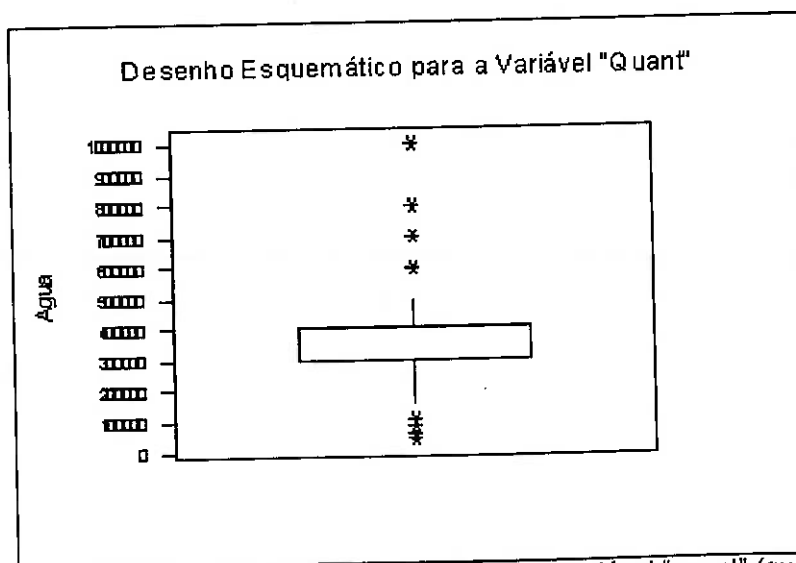


Figura 4.8 – Gráfico de caixa para a variável "quant" (quantidade de água em quilos)

Pelo gráfico acima observa-se que existem pontos acima e abaixo dos limites dados pelo "critério da diferença entre quartis", já mencionado. Utilizando este critério identificou-se estes pontos, que estão listados na tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Pontos discrepantes

Outliers acima de 550000 quilos	Outliers abaixo de 150000 quilos
600000	40000
600000	50000
600000	80000
600000	100000
600000	
600000	
600000	
1000000	
600000	
600000	
800000	
700000	
600000	
600000	

Os dados que estão sendo analisados, conforme mencionado na tabela 4.1, indicam o consumo de 9 unidades marítimas. Surge, então a seguinte pergunta: Será que estes valores discrepantes estão concentrados em alguma unidade marítima ou estão disseminados por todas? Para se verificar isto, procedeu-se à confecção de um gráfico de caixas classificado por unidade marítima. A figura 4.9 mostra este gráfico.

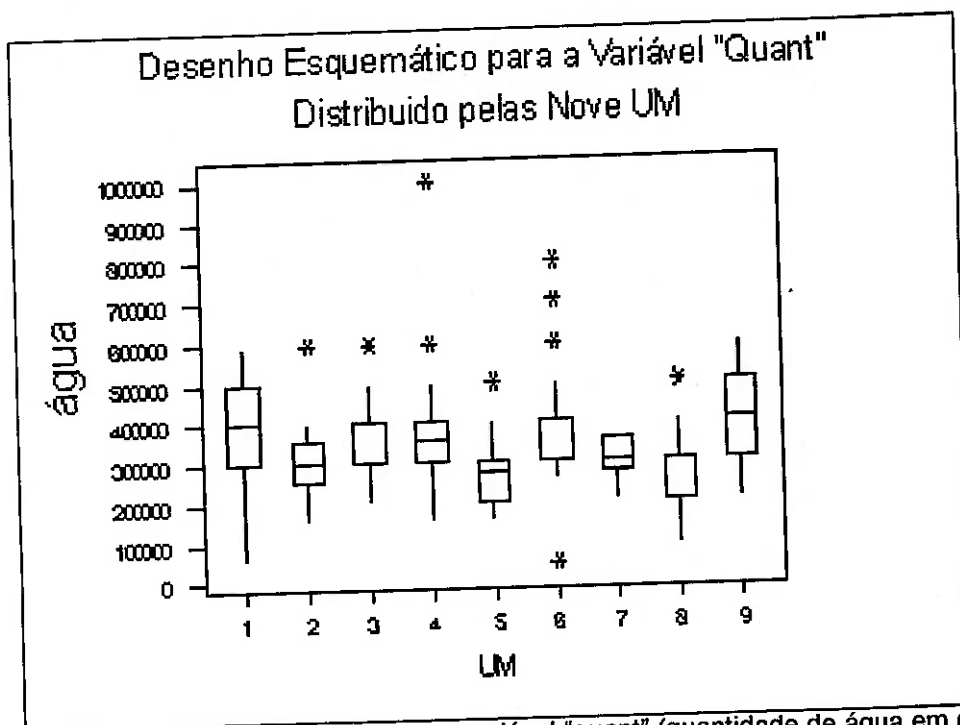


Figura 4.9 - Gráfico de caixa para a variável "quant" (quantidade de água em quilos)

Observa-se, do gráfico acima, que os pontos discrepantes estão, de uma maneira geral, disseminados pelas unidades marítimas.

Sabe-se que, por vezes, as unidades marítimas, por razões diversas, ficam indisponíveis para receber as quantidades de água que haviam requisitado e, por isso, abortam esta operação. Contudo é comum uma unidade marítima que tenha requisitado água, possa recebê-la em volumes superiores ao requisitado, respeitada a sua capacidade. Este expediente é interessante sob o ponto de vista da embarcação envolvida na faina, visto que o retorno da água para o porto incidiria nos índices de eficiência da embarcação. Sob o ponto de vista das unidades marítimas, a quantidade de água acima de sua necessidade operacional não chega a representar um problema. Chegou-se, então, à conclusão de que estes pontos discrepantes deveriam ser desprezados, uma vez que representam a exceção e não a normalidade nas operações de transporte de água. A figuras 4.10 e 4.11 mostram, respectivamente, as principais medidas e o gráfico de caixas esquemático para as nove unidades marítimas e quando consideradas como um todo, desprezando-se os pontos discrepantes da Tabela 4.2.

É importante frisar que a caracterização dos pontos discrepantes se fez de comum acordo com o pessoal responsável pela operação de transporte. De outra maneira seria impossível, pelo ponto de vista do analista, esta tomada de decisão.

Descriptive Statistics

Variable	UM	N	Mean	Median	TrMean	StDev	SEMean
Quant	1	23	391304	400000	397619	97295	20288
	2	20	295000	300000	297222	64685	14464
	3	25	364000	400000	365217	82310	16462
	4	21	330952	350000	331579	67964	14831
	5	18	277778	275000	271875	82644	19479
	6	22	354545	350000	352500	70557	15043
	7	21	292857	300000	294737	53117	11591
	8	18	286111	300000	281250	80084	18876
	9	21	390476	400000	394737	114694	25028
	10	189	334656	300000	334503	90227	6563

Variable	UM	Min	Max	Q1	Q3
Quant	1	150000	500000	300000	500000
	2	150000	400000	250000	350000
	3	200000	500000	300000	400000
	4	150000	500000	300000	350000
	5	150000	500000	200000	300000
	6	250000	500000	300000	400000
	7	200000	350000	275000	350000
	8	150000	500000	237500	300000
	9	200000	500000	300000	500000
	10	150000	500000	300000	400000

Figura 4.10 – Valores para composição do gráfico de caixas

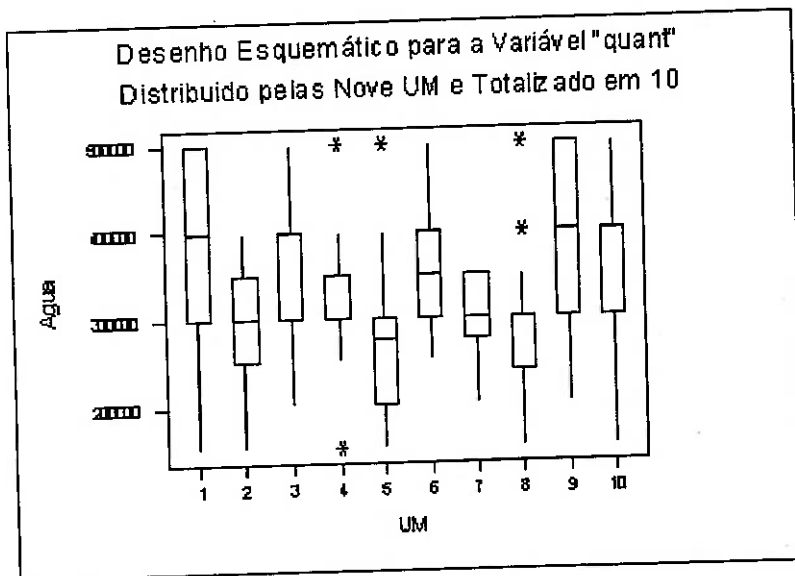


Figura 4.11 - Gráfico de caixas para a variável "quant"

Nota-se que a retirada dos primeiros pontos discrepantes acarretaram o aparecimento de novos pontos discrepantes nas distribuições das unidades marítimas 4, 5 e 8, devido às novas medidas para os primeiro e terceiro quartis e mediana destas distribuições. Estes novos pontos discrepantes não foram retirados visto estarem dentro da amplitude admitida para as solicitações de água daquelas unidades marítimas.

Analisando-se os dados referentes a figura 4.10 observa-se que as médias das unidades marítimas se situam entre 280.000 e 390.000, o que caracteriza um intervalo relativamente grande de variação para as médias.

Surge a necessidade de se comparar as médias de consumo de água para as 9 unidades marítimas contidas na amostra, isto é, testar a hipótese de igualdade de médias (hipótese nula), contra a hipótese alternativa de pelo menos uma média de uma unidade marítima diferente das demais.

Parte-se, então, para a análise de variância que, efetuando testes entre as variâncias das medias observadas, conclui pela aceitação ou rejeição da hipótese igualdade entre as médias. Os pressupostos para a aplicação deste teste, denominado de ANOVA (Analysys Of Variance), foram verificados, ou seja, igualdade de variâncias entre as 9 amostras ou pelo menos, o valor da maior variância não ser superior a 5 vezes o valor da menor variância, conforme Scheffé(1959).

A figura 4.12 mostra o resultado da análise de variância.

One-Way Analysis of Variance

Analysis of Variance on QUANT

Source	DF	SS	MS	F	p
C26	8	3.386E+11	4.232E+10	6.39	0.000
Error	180	1.192E+12	6.622E+09		
Total	188	1.531E+12			

Individual 95% CIs For Mean
Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	+-----+-----+-----+-----	
1	23	391304	97295	(---*---)	
2	20	295000	64685	(---*---)	
3	25	364000	82310	(---*---)	
4	21	330952	67964	(---*---)	
5	18	277778	82644	(---*---)	
6	22	354545	70557	(---*---)	
7	21	292857	53117	(---*---)	
8	18	286111	80084	(---*---)	
9	21	390476	114694	(---*---)	
				+-----+-----+-----+-----	
Pooled StDev =		81375		240000	300000 360000 420000

Tukey's pairwise comparisons

Family error rate = 0.0500

Individual error rate = 0.00197

Critical value = 4.44

Figura 4.12 – Análise de variância das médias de consumo de água para as nove U.M.

Pela figura acima observa-se que a hipótese de igualdade deve ser rejeitada, pois o valor do parâmetro F obtido é maior do que o valor F crítico (F de Snedecor tabelado) ao nível de significância adotado de 5%. Os intervalos das médias para cada uma das unidades marítimas indicados na figura 4.12, mostra que existem intervalos sem nenhuma interseção, indicando médias diferentes entre essas unidades.

A partir daí, deve-se identificar os grupos de unidades marítimas afins, isto é, com médias que podem ser consideradas iguais segundo o critério utilizado acima. Analisando-se a figura 4.12 foram definidos dois grupos de unidades marítimas, utilizando-se uma mera escolha visual entre as suas respectivas

médias: o grupo I, com as unidades marítimas 1, 3, 6 e 9, e o grupo II com as unidades marítimas 2, 4, 5, 7 e 8. Procede-se, então, uma nova análise de variâncias, cujos resultados estão mostrados nas figuras 4.13 e 4.14.

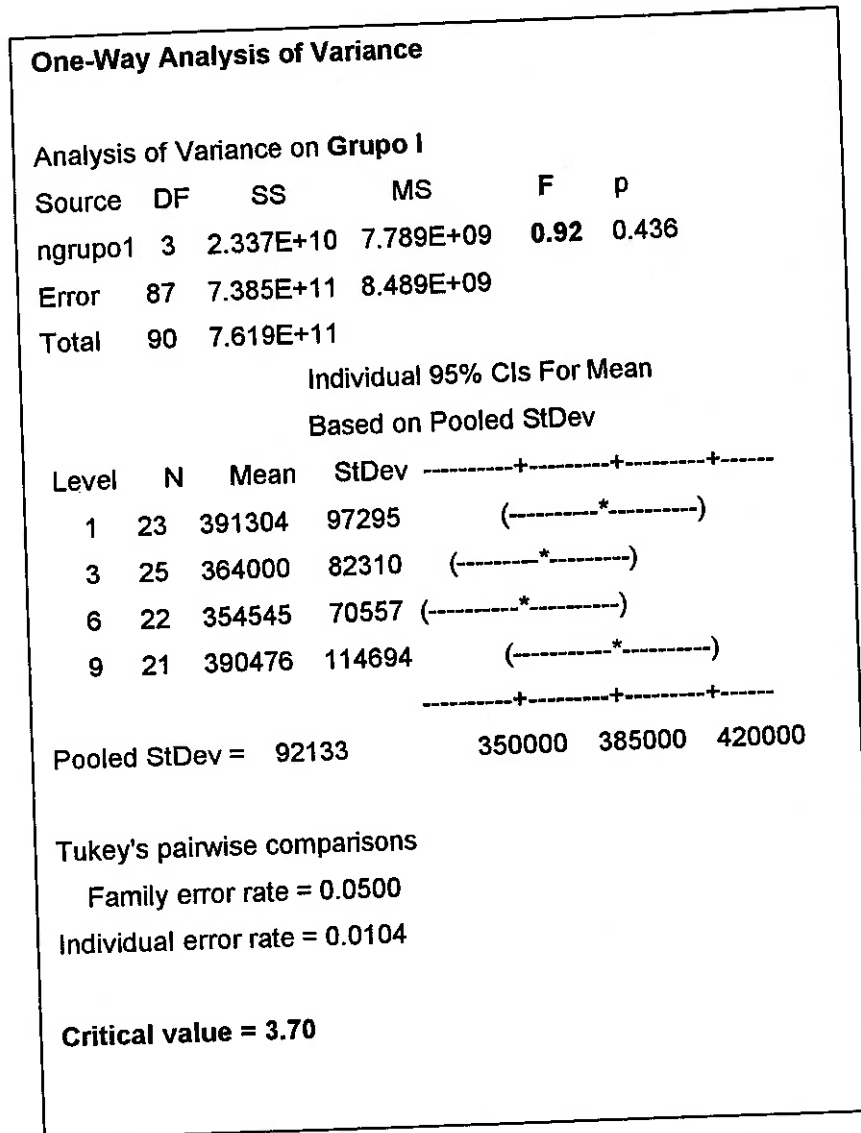


Figura 4.13 - Análise de variâncias para o consumo de água das unidades marítimas do grupo I

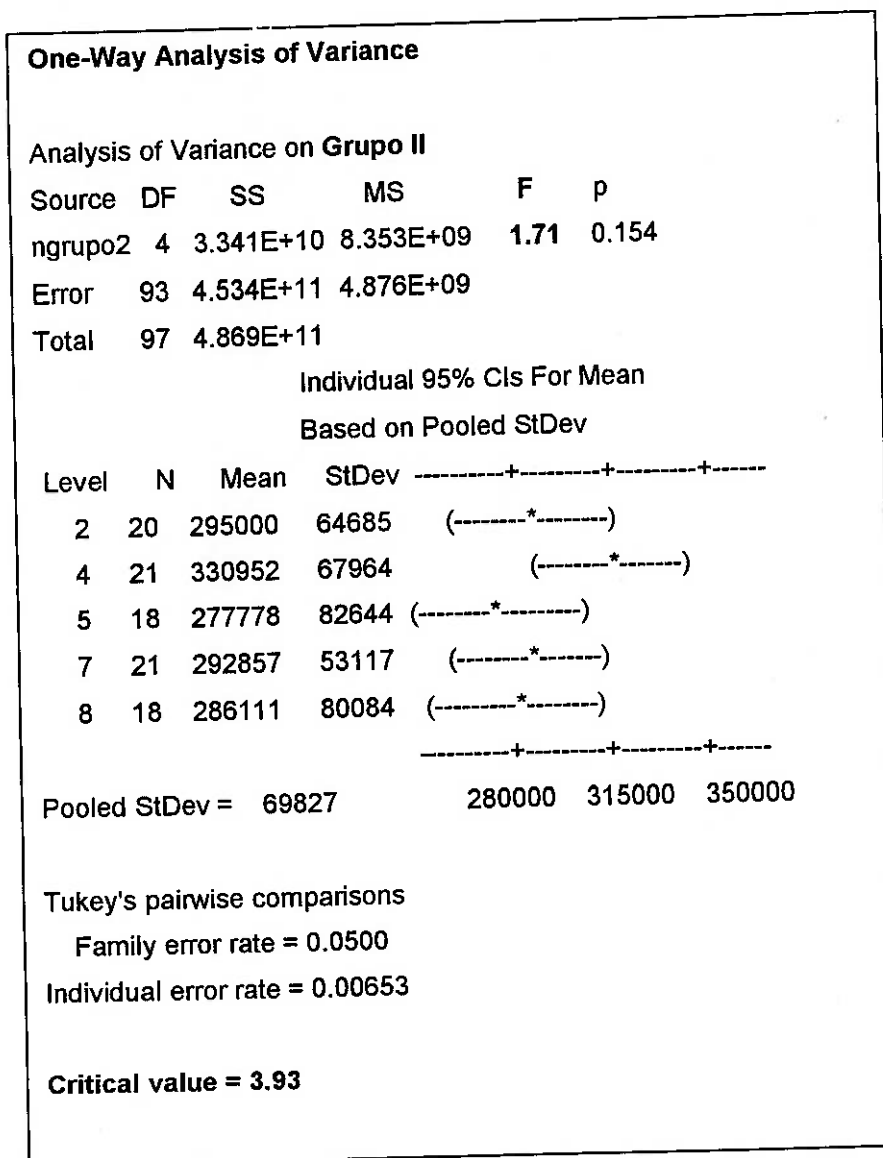


Figura 4.14 - Análise de variâncias para o consumo de água das unidades marítimas do grupo II

Nota-se que, devido ao valor do parâmetro F ser menor que o valor crítico, para os dois grupos, pode-se aceitar a hipótese de igualdade de médias em cada grupo.

Uma vez definido os dois grupos afins, resta a tarefa de encontrar, se viável, uma distribuição teórica que se ajuste aos dados para cada um deles, agora devidamente tratados. A isto se chama "teste de aderência". Para tal, utilizou-se a rotina "Input Analyser" existente no programa ARENA(1996). Os dados foram exportados do programa Minitab através de um arquivo em formato texto e então importados para o programa ARENA para a análise.

Os testes de aderência utilizados pelo programa ARENA(1996) são de dois tipos:

- Qui-Quadrado, que é um teste paramétrico, baseado na média das diferenças observados entre a amostra e a curva teórica dotada;
- Kolmogorov-Smirnov, que é um teste não paramétrico, baseado na maior diferença entre as freqüências acumuladas observadas na amostra e a curva teórica adotada.

O programa ARENA(1996) procura aderir todas as distribuições contínuas que possui em sua base de dados, mostrando de forma ordenada as distribuições teóricas que melhor aderiram, com base no menor erro médio encontrado.

O resultado dos testes de aderência aplicado ao primeiro grupo de unidades marítima para várias distribuições teóricas estão mostrados na figura 4.15. Um sumário para as duas primeiras distribuições do "ranking" estão mostrados, respectivamente, nas figuras 4.16 e 4.17.

Fit All Summary	
Document: A:\rui\Grupo1.txt	
Data File: A:\rui\Grupo1.txt	
Function	Sq Error
Beta	0.0785
Normal	0.0955
Weibull	0.1
Uniform	0.102
Triangular	0.104
Erlang	0.114
Gamma	0.117
Exponential	0.154
Lognormal	0.209

Figura 4.15 - Comparação entre os testes de aderência para a distribuição do consumo de água

Distribution Summary

Distribution: Beta

Expression: $1.5e+005 + 3.5e+005 * \text{BETA}(1.49, 0.832)$

Square Error: 0.078534

Chi Square Test

Number of intervals = 6

Degrees of freedom = 3

Test Statistic = 27

Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.254

Corresponding p-value < 0.01

Data Summary

Number of Data Points = 91

Min Data Value = $1.5e+005$

Max Data Value = $5e+005$

Sample Mean = $3.75e+005$

Sample Std Dev = $9.2e+004$

Histogram Summary

Histogram Range = $1.5e+005$ to $5e+005$

Number of Intervals = 9

Figura 4.16 - Sumário do teste de aderência para a curva Beta

Distribution Summary

Distribution: Normal
Expression: NORM(3.75e+005, 9.15e+004)
Square Error: 0.095454

Chi Square Test

Number of intervals = 6
Degrees of freedom = 3
Test Statistic = 51.5
Corresponding p-value < 0.005

Kolmogorov-Smirnov Test

Test Statistic = 0.151
Corresponding p-value = 0.0286

Data Summary

Number of Data Points = 91
Min Data Value = 1.5e+005
Max Data Value = 5e+005
Sample Mean = 3.75e+005
Sample Std Dev = 9.2e+004

Histogram Summary

Histogram Range = 1.5e+005 to 5e+005
Number of Intervals = 9

Figura 4.17 - Sumário do teste de aderência para a curva Normal

Pelo visto nas figuras 4.16 e 4.17 acima, os níveis descritivos (p-value) para ambos os teste (Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov) são muito baixos, indicando que aderências tanto da distribuição beta, como da distribuição normal não são boas.

Neste caso o analista deve decidir-se por não utilizar uma distribuição teórica, restando-lhe a possibilidade de ser adotada a distribuição de frequência original dos dados (denominada de empírica). O inconveniente da adoção de uma distribuição empírica reside no fato de se estar repetindo valores do passado, sem a possibilidade de serem sorteados os valores caudais das distribuições teóricas.

A análise acima realizada para a água foi repetida para as distribuições de quantidade e intervalos entre pedidos para os outros tipos de suprimentos, visando a quantificação de um padrão de demanda para grupos de unidades marítimas e também para a avaliação das distribuições dos tempos de atracação no terminal e unidades marítimas, probabilidades de condições adequadas para atracação, dos intervalos entre docagens e suas durações, dos tempos de carga e descarga no terminal e unidades marítimas e tempos de viagens entre unidades marítimas e terminal e unidades marítimas.

No Capítulo 6 indica-se os resultados obtidos da análise de dados para a aplicação no modelo de simulação desenvolvido.

5 - DESCRIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO PARA O TRANSPORTE DE SUPRIMENTOS

Este capítulo é dedicado a descrição geral do modelo de simulação proposto. Os fluxogramas referentes à alocação de pedidos às embarcações e ao embarque das cargas e distribuição dos pedidos às unidades marítimas encontram-se nas figuras 5.1 e 5.2. Uma descrição detalhada do modelo codificado em linguagem ARENA(1996) pode ser encontrada nos Anexos A e B.

5.1 - O Modelo de Simulação

O modelo pode ser dividido em dois grandes blocos: a geração de pedidos com a alocação das cargas nas embarcações e o carregamento dos suprimentos nas embarcações e as entregas nas unidades marítimas.

Os pedidos de suprimento pelas unidades marítimas são gerados de maneira independente dentre os quatro tipos de suprimento definidos no modelo. Assim, os pedidos são armazenados num vetor que os libera a cada 1440 minutos, ou seja, diariamente. Estes pedidos são ordenados por unidade marítima e por zona de proximidade a qual a unidade marítima solicitante pertence, ficando assim agrupados todos os pedidos gerados por uma mesma unidade marítima naquele intervalo.

O intuito desta ordenação é que não só os pedidos de suprimentos das unidades marítimas que pertençam a uma mesma zona de proximidade sejam atendidos, na medida do possível, pela mesma embarcação mas também, que uma determinada embarcação só atenda uma zona de proximidade por viagem.

O modelo avalia a quantidade total de carga para as unidades marítimas de uma determinada zona de proximidade. Neste momento seleciona-se a embarcação, das que estão em fila no terminal, que apresente a maior taxa de ocupação de carga referente àquela zona de proximidade.

Se nenhuma embarcação puder carregar a quantidade total de carga, o modelo seleciona a maior embarcação disponível em fila no terminal.

Uma vez selecionada a embarcação, o modelo procede, então, a alocação dos pedidos de suprimento das unidades marítimas daquela zona de proximidade.

Se o pedido de um tipo de suprimento for maior do que a capacidade remanescente da embarcação para aquele determinado tipo de suprimento, o modelo particiona a carga no limite daquela capacidade. O restante do pedido volta para a fila de pedidos para ser atendido posteriormente, assim que haja uma nova embarcação para aquela zona de proximidade.

Quando não houver mais pedidos para serem atendidos para a zona de proximidade em questão ou a capacidade da embarcação for atingida, a embarcação é liberada para o procedimento de embarque das cargas. O modelo procede à escolha de uma nova embarcação para uma outra zona de proximidade, segundo o critério mencionado, e o processo se repete até que todas as zonas de proximidade tenham sido contempladas.

Note-se que, conforme os pedidos das diversas unidades marítimas vão sendo alocados, um primeiro roteiro de viagem é montado segundo a ordenação já descrita. Este roteiro será alterado por uma rotina externa que fará a roteirização desta missão.

Vale a pena frisar que, até então, só se procedeu a alocação de cargas à embarcação. Quando uma embarcação é liberada para realizar o procedimento de carregamento no terminal, o modelo testa a condição de disponibilidade de um píer para a sua atracação e o seu carregamento. Se houver píer disponível, o modelo sorteia o tempo de atracação para a embarcação, calcula seus tempos de carregamento levando em conta as quantidades a serem embarcadas e as respectivas taxas de transbordo, retém a embarcação pelo maior tempo dentre os tempos de carregamento e só então a libera para seguir viagem. Vale mencionar que se coleta, nesta parte do modelo, os dados que formarão as estatísticas dos tempos de permanência das embarcações em fila no terminal e nos piers, taxas de ocupação das embarcações e taxas de ocupação dos piers de atracação.

Uma vez que a embarcação é liberada para realizar sua missão, o modelo verifica qual é a primeira unidade marítima de seu roteiro e a envia para lá. Avalia-se a distância entre o terminal e a unidade marítima e a velocidade da embarcação para o cálculo do tempo de viagem. Decorrido este tempo, o modelo sorteia novos tempos que simulam os períodos em que a embarcação fica aguardando condições adequadas para a sua atracação e de atracação propriamente dita junto à unidade marítima. Estes tempos estão relacionados com as características operacionais das embarcações. Uma vez cumprido estes

tempos, o modelo procede ao descarregamento das cargas, avaliando o tempo de descarregamento em função da quantidade de cargas e suas respectivas taxas de transbordo. Após este período, que é o maior dentre os tempos de descarregamento das diversas cargas, libera-se a embarcação que prosseguirá para a próxima unidade marítima ou para o terminal, se esta foi a última unidade marítima de seu roteiro. Nesta parte do modelo são coletados dados para estatísticas dos tempos de viagem, aguardando condições para atracação, atracação e descarregamento das cargas da embarcação.

Chegando ao terminal, o modelo verifica se o tempo de docagem da embarcação foi alcançado e, no caso de embarcações não especialistas, também se existe alguma missão extra-suprimento (estas missões podem ser de reboque, manuseio de âncoras, entre outras). Em caso positivo, a embarcação cumpre um tempo sorteado para sua docagem ou cumprimento da missão e após este tempo retorna à fila no terminal. Caso contrário, permanece em fila no terminal aguardando nova alocação de cargas.

As figuras 5.1 e 5.2 mostram esquematicamente o tratamento dos pedidos e as operações das embarcações.

5.2 - A heurística de Roteamento das Embarcações

As heurísticas de roteamento podem ser agrupadas, segundo Bodin e Golden (1988), nas seguintes classes:

- Agrupamento com posterior roteamento;
- Roteamento com posterior agrupamento;
- Economia e inserção;
- Melhoria e troca;
- Suporte de programação matemática;
- Otimização interativa;

A seguir é feita uma breve descrição de cada classe destas heurísticas, visto não ser este o objetivo do presente trabalho. Maiores detalhes, assim como a referência acima, podem ser encontradas em Brinati(1995).

Fluxo de Alocação de Pedidos

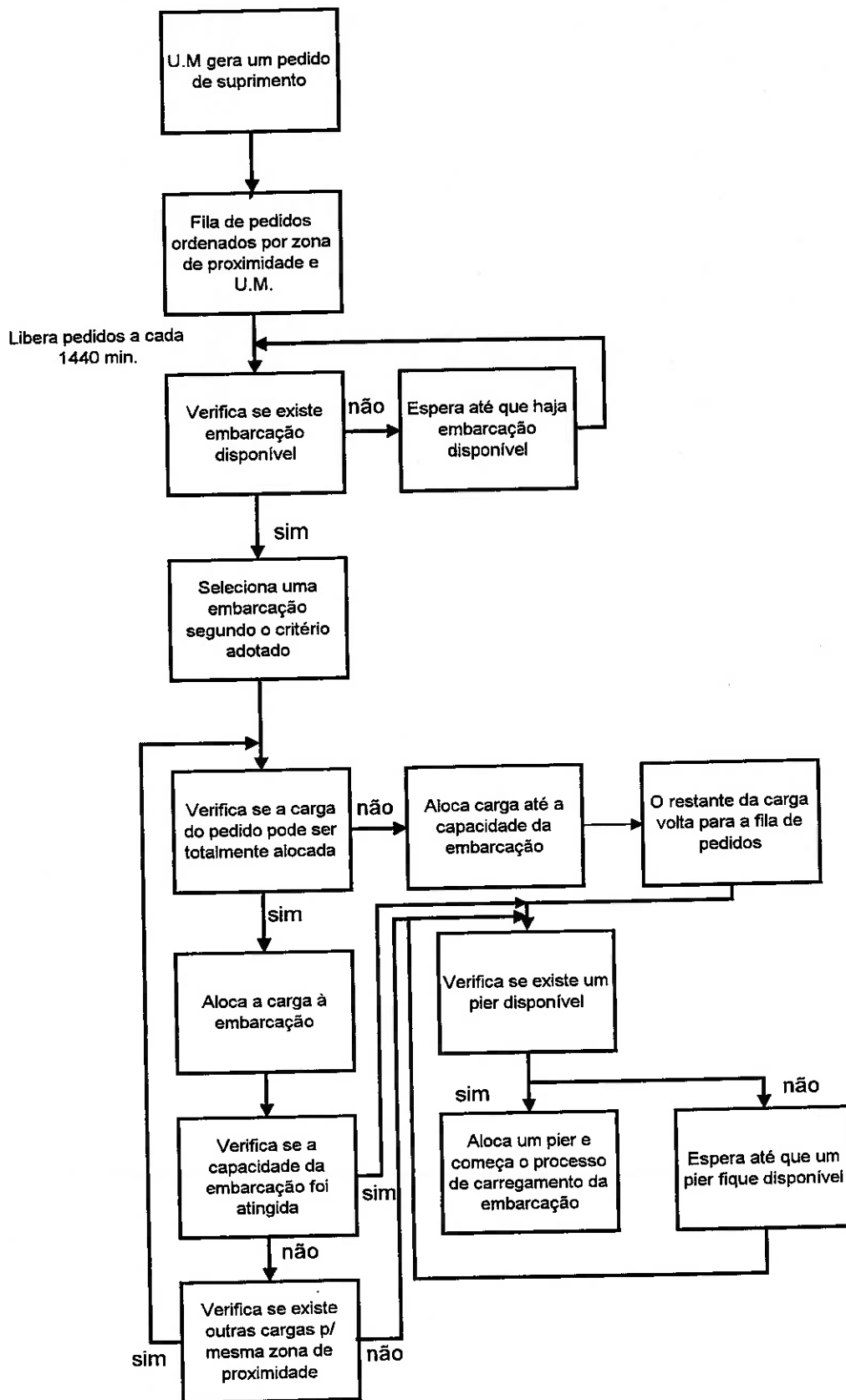


Figura 5.1 – Fluxograma do processo de simulação dos pedidos das U.M.

Fluxo das Embarcações

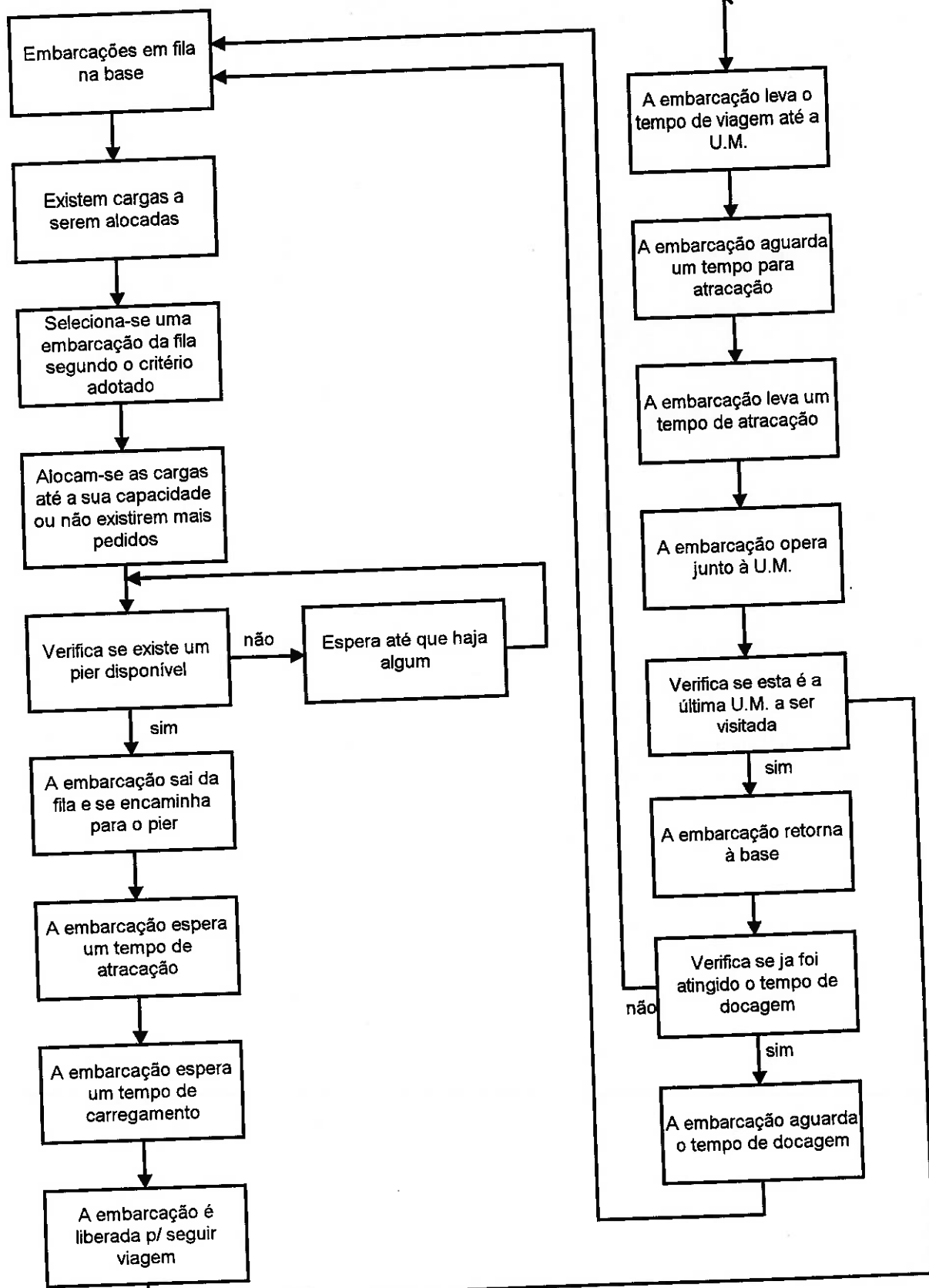


Figura 5.2 – Fluxograma do processo de simulação da embarcações

As heurísticas pertencentes à primeira classe designam um conjunto de pontos de demanda para serem atendidos por cada veículo, respeitando suas respectivas capacidades. Após, determina-se o roteamento de cada veículo utilizando algum procedimento para a solução do problema do "caixeiro viajante".

Nas heurísticas pertencentes à segunda classe determina-se um roteiro gigante que passe por todos os pontos de demanda, que é a solução do problema do "caixeiro viajante", ignorando-se as restrições de capacidade dos veículos e tempo máximo de viagem. O roteiro gigante é então dividido pelos veículos, agora sim, respeitando as restrições mencionadas.

Nas heurísticas pertencentes à terceira classe calculam-se as economias que poderiam ser obtidas se os nós, servidos individualmente pelos veículos, fossem introduzidos em uma determinada rota. Assim, o nó que apresentar a maior economia é introduzido nesta rota, desde que sejam satisfeitas as restrições de capacidade e tempo máximo. O procedimento é repetido até que todos os nós estejam incluídos em alguma rota.

As heurísticas pertencentes à quarta classe são derivadas dos procedimentos para a solução do problema do "caixeiro viajante", nos quais se trocam arcos sucessivamente visando a minimização da função objetivo, respeitando-se as restrições de capacidade e tempo máximo.

As heurísticas pertencentes à quinta classe se baseiam na formulação de programação matemática do problema de roteamento de veículos. Pela introdução de componentes heurísticos, reduz-se a dimensão do problema, viabilizando sua solução.

As heurísticas pertencentes à sexta classe necessitam da participação humana para a definição e revisão dos valores de parâmetros, assim como o estabelecimento de premissas baseadas em experiências anteriores.

Uma forma de se tentar melhorar a solução encontrada por qualquer uma das heurísticas anteriormente mencionadas é a aplicação de um procedimento de melhoria da solução encontrada ou, como é conhecida por "pós-otimização". A palavra "pós-otimização" foi colocada entre aspas pois, na realidade é uma heurística de roteamento que partindo da melhor solução viável apontada por um dos procedimentos anteriores, permite que outra solução igual o melhor seja encontrada.

As heurísticas de “pós-otimização” mais comuns se baseiam no algoritmo conhecido como “2-opt”, cuja principal finalidade é a melhoria de uma determinada rota através da substituição de arcos entre os pontos de demanda, com vistas a diminuição da distância total percorrida. Assim, o algoritmo realiza sucessivas trocas de arcos até não se conseguir mais a diminuição da distância total percorrida pelo veículo naquela rota.

5.3 - A Rotina de Roteamento Aplicada ao Modelo

Conforme já mencionado, o modelo proposto utiliza o conceito de zona de proximidade que já define um conjunto de unidades marítimas que devem ser atendidas, caso haja demanda que pode ser atendida preferencialmente por uma mesma embarcação.

Assim, o modelo gera um primeiro roteiro, de acordo com a ordem de chegada dos pedidos de suprimento às filas de pedidos, que estão divididas por zona de proximidade, obviamente ordenados por unidade marítima. Esta ordenação visa que cada uma dessas unidades marítimas seja visitada uma só vez em um determinado roteiro.

A rotina de roteirização, então, se resume na aplicação do procedimento “2-opt” a este roteiro, uma vez que as restrições de capacidade da embarcação e número máximo de viagens já ficaram garantidas, anteriormente, pelo modelo de simulação. O roteiro, devidamente processado pela rotina, é devolvido ao modelo para que se continue a simulação com um novo sequenciamento do roteiro de viagem que diminui a distância percorrida total, quando no roteiro há mais que 3 UM a serem atendidas. O modelo chama esta rotina à cada nova alocação de pedidos para uma embarcação.

A figura 5.3 mostra o fluxograma referente a rotina de roteirização.

Fluxograma da Rotina de Roteirização

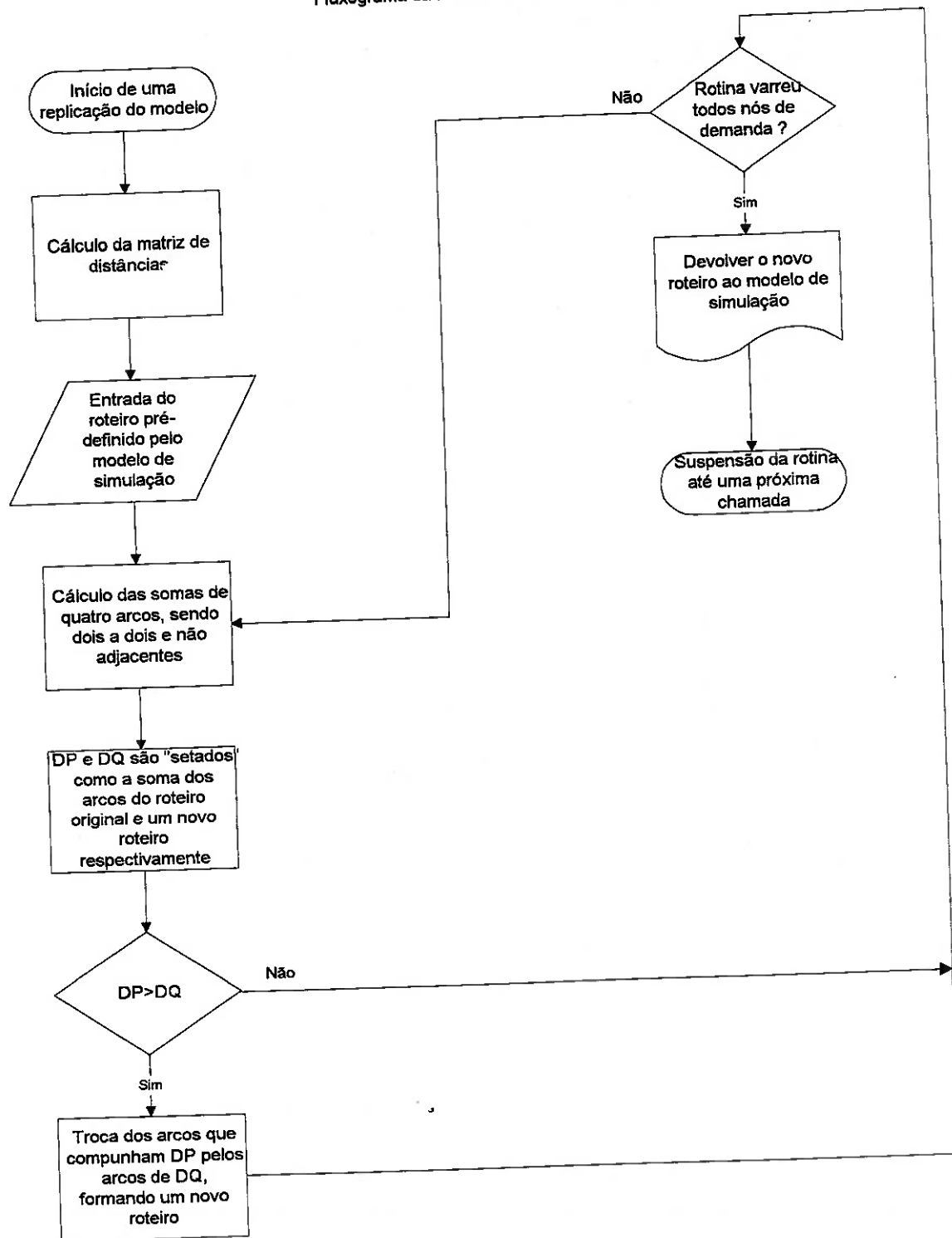


Figura 5.3 – Fluxograma da rotina de roteirização

5.4 - A Rotina de Escolha da Melhor Embarcação a ser Alocada para uma Nova Missão

Essa rotina só é aplicada quando utiliza-se uma frota mista de embarcações.

Face a uma quantidade de pedidos num determinado instante a espera de ser alocada a uma embarcação, compara-se a tonelagem total destes pedidos com o porte de cada tipo de embarcação em fila junto ao terminal.

Aquela embarcação que obtiver maior ocupação com aquela quantidade disponível de pedidos é a escolhida para efetuar esse transporte.

As capacidades individuais da embarcação para cada tipo de carga são testadas posteriormente pelo modelo, na fase de alocação de cada pedido.

6 – APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO - Estudo de Caso

Este capítulo é dedicado a aplicação do modelo de simulação ao problema da Petrobras, buscando-se o dimensionamento da frota necessária para atender um conjunto de plataformas e analisar outros aspectos relevantes.

6.1 – Conjuntos de Dados Utilizados

Todos os dados utilizados nesse estudo de caso se baseiam em informações extraídas da base de dados da Petrobras na Bacia de Campos, denominada STM – Sistema de Transporte Marítimo. Quando a qualidade e quantidade dos dados nesse banco de dados eram suficientemente grandes, procedeu-se a análise estatística descrita no capítulo 4 deste trabalho. Caso contrário, foram extraídas as médias dos processos envolvidos e, com a ajuda do pessoal envolvido nas operações, estipulou-se um valor que representasse o subsistema em estudo.

6.1.1 – Dados referentes à Unidades Marítimas

Adotou-se, devido a confidencialidade de informações exigida pela empresa, um conjunto de 36 unidades marítimas, entre as atualmente existentes, divididas da seguinte maneira: 28 unidades marítimas do tipo 1 (Unidades Fixas de Produção) e 8 do tipo 2 (Unidades Flutuantes de Produção). As coordenadas de localização das unidades marítimas são próximas das coordenadas reais e estão mostradas na tabela 6.1. Estas coordenadas estão em UTM – “Universal Transversal Mercator” e as zonas de proximidade, conforme foi definido no Capítulo 2, estão baseadas num agrupamento prévio efetuado pelo usuário do modelo.

Como os equipamentos de elevação de carga do tipo convés pouco diferem entre os tipos de unidades marítimas, considerou-se que suas taxas de transbordo são iguais e valem 416,66 kg/min.

Tabela 6.1- Dados das unidades marítimas

Unidade Marítima	Tipo	Coordenadas (UTM)		Zona de Proximidade
1	2	7485000	303100	2
2	1	7478164	319931	2
3	1	7478100	341100	2
4	2	7485000	338100	2
5	1	7491000	319931	2
6	1	7486000	352100	2
7	1	7495000	351100	2
8	1	7526100	361100	1
9	1	7515100	394000	1
10	1	7516750	354564	1
11	2	7550000	385000	1
12	1	7524100	396000	1
13	1	7498000	330000	2
14	1	7503000	365000	2
15	1	7488000	365000	2
16	2	7493000	375000	2
17	1	7500000	385000	2
18	1	7533000	335000	1
19	1	7543000	325000	1
20	2	7543000	345000	1
21	1	7553000	350000	1
22	1	7553000	365000	1
23	1	7543000	370000	1
24	2	7533000	380000	1
25	1	7483000	380000	2
26	1	7488000	390000	2
27	2	7498000	400000	2
28	1	7508000	405000	2
29	1	7463000	360000	2
30	1	7463000	395000	2
31	1	7568000	330000	1
32	1	7578000	345000	1
33	1	7578000	380000	1
34	2	7593000	390000	1
35	1	7598000	370000	1
36	1	7598000	350000	1

As distribuições das quantidades de carga e intervalos entre pedidos dessas cargas, para cada tipo de unidade marítima, passaram pela análise estatística mencionada no capítulo 4, onde pelo menos, os pontos discrepantes ("outliers") foram eliminados. Como os resultados da análise de aderência por uma curva teórica que representasse esses processos não foi satisfatória, adotou-se as distribuições de frequência acumulada com base nos dados observados nas amostras retiradas do STM e exploradas utilizando-se o programa MINITAB.

Todas as distribuições são contínuas e estão identificadas por "cont". As distribuições de peso estão expressas em quilogramas e as distribuições de tempo, para medir os intervalos, estão expressas em dias, mas foram multiplicadas por 1440 para a transformação em minutos. Em cada distribuição existem "n" pares de dados, onde o primeiro elemento indica a probabilidade acumulada e o segundo o valor em quilograma ou minutos, representativo do limite inferior daquela classe de frequência.

São elas

1. Unidades Marítimas do Tipo 1:

• Água:

- cont(0.0,100000,0.138,200000,0.310,300000,0.586,400000,0.931,500000,1.0,600000)

Média= 3.67e+005 kg

- 1440 * cont(0.0,0.001,0.357,4.399,0.857,8.799,0.929,13.2,0.964, 17.6,1.0,22.0)

Média= 6.27 dias

• Convés:

- cont(0.0, 3999, 0.843, 14503.5, 0.940, 29003, 0.972, 43502.5, 0.992, 58002, 0.994, 72501.5, 1.0, 116000)

Média= 7.76e+003 kg

- 1440 * cont(0.0, 0.001, 0.913, 2.125, 0.968, 4.250, 0.986, 6.375, 0.992, 8.500, 0.996, 10625, 1.0, 17.0);

Média= 0.75 dias

- Diesel:
 - cont(0.000, 59500, 0.222, 68000, 0.333, 76500, 0.889, 85000, 0.889, 93500, 1.000, 102000)
Média= 7.93e+004 kg.
 - 1440 * cont(0.0, 3.0, 0.406, 18.6, 0.844, 34.2, 1.0, 81.0);
Média= 11.7 dias

2. Unidades Marítimas do Tipo 2:

- Água:
 - cont(0.0, 40000.0, 0.121, 210000.0, 0.674, 380000.0, 0.937, 550000.0, 0.984, 720000.0, 0.989, 890000.0, 1.0, 1400000.0)
Média= 3.49e+005 kg.
 - 1440 * cont(0.0, 0.001, 0.989, 17.499, 0.989, 34.999, 0.995, 52.499, 1.0, 140.0);
Média= 8.06 dias
- Convés:
 - cont(0.00, 18, 0.765, 8891, 0.884, 17764, 0.929, 26639, 0.963, 35509, 0.989, 44382, 0.998, 53254, 0.999, 62127, 1.0, 71000)
Média= 6.71e+003 kg.
 - 1440 * cont(0.0, 0.001, 0.965, 5.124, 0.996, 10.249, 0.997, 25.625, 0.998, 30.750, 1.0, 41.0);
Média= 0.993 dias
- Diesel:
 - cont(0.000, 25500, 0.182, 88400, 0.424, 151300, 0.848, 214200, 0.909, 277100, 1.000, 340000)
Média= 1.59e+005 kg

- 1440 * cont(0.0, 3.0, 0.406, 18.6, 0.844, 34.2, 1.0, 81.0);
Média= 23.2 dias

O conjunto de dados relativo ao consumo de graneis não foi levado em consideração neste estudo de caso devido à problemas na sua obtenção junto ao STM.

6.1.2 – Dados relativos ao terminal na Baía de Campos

O estudo considera o terminal com três piers de atracação. Todos os suprimentos podem ser carregados, simultaneamente, tendo as taxas de transbordo de água, convés e diesel, respectivamente, os valores de 1000, 242.83, 1000 Kg/min. O tempo médio para atracação das embarcações no terminal é de 60 minutos.

As coordenadas do terminal, em UTM, valem 7526650 e 215365.

6.1.3 – Dados relativos às embarcações na Baía de Campos

O estudo leva em consideração dois tipos de embarcações, as quais foram denominadas de pequeno e grande porte, cujas características se encontram na tabela 6.2. O fator de ocupação médio de área pela carga de convés é de 598 Kg/m².

Tabela 6.2- Dados das embarcações

Características	Pequeno Porte	Grande Porte
Velocidade (nós)	9	9
Capacidade (kg)	500.000	3.067.000
Área de Convés (m ²)	150	562
Capacidade de Embarque de Água (kg)	150.000	1.300.000
Capacidade de Embarque de Diesel (kg)	200.000	1.034.800
Capacidade de Embarque de Granéis (kg)	100.000	480.280
Taxa de Transferência de Água (kg/min)	2.466	2.466
Taxa de Transferência de Diesel (kg/min)	2.000	2.000
Taxa de transferência de Granéis (ft ³ /min)	250	333
Probabilidade de Aguardar Condições de Mar (%)	0	0
Tempo Médio de Espera devido Cond. Mar (min)	0	0
Tempo Médio de Atracação junto às U.M. (min)	74	74
Probabilidade de Realizar D.T.M. (%)	0	0
Tempo Médio para Realizar D.T.M. (min)	0	0

6.1.4 – Premissas adotadas

Inicialmente para o processamento do modelo não foram levados em consideração as docagens das embarcações, assim como as probabilidades delas aguardarem condições de mar para atracação nas unidades marítimas.

Em cada experimento foram consideradas cinco replicações e o tempo de cada replicação é de 525.600 minutos, ou seja, um ano. Entre replicações, todas as estatísticas e contadores são zerados. Ao final dos 5 processamentos o módulo "OUTPUT ANALYSER" do ARENA(1996) calcula as médias dos resultados para cada variável de interesse.

6.2 – Dimensionamento da frota

Este estudo de caso tem como objetivo o dimensionamento da frota de embarcações supridoras. Para tanto, foi utilizado o modelo de simulação descrito no capítulo 5 deste trabalho, ou seja, aquele que inclui a escolha da melhor embarcação (quando analisando cenários com frotas mistas) e roteirização para a trajetória a ser percorrida pelas embarcações.

Ao final deste capítulo será mostrado o efeito deste modelo sem a rotina de roteirização.

Os experimentos foram conduzidos da seguinte forma:

- Face a demanda ditada pelos intervalos entre pedidos e quantidade de água, carga de convés e diesel, foram introduzidas embarcações no sistema de tal forma que as demandas fossem atendidas e os custos apurados;
- Dimensionou-se a frota, utilizando-se um conjunto de embarcações de pequeno porte, cujo número variou de 5 a 25 embarcações;
- Da mesma forma, dimensionou-se a frota para um conjunto de embarcações de grande porte, variando de 5 a 14 e um conjunto de embarcações mistas, variando de 9 a 21 embarcações em várias configurações ;
- Como parâmetro de dimensionamento adotou-se o Custo Total, que é composto do custo de atraso para entrega dos suprimentos nas unidades marítimas, que no caso é a taxa média diária de locação de uma UM pelo tempo de atraso apurado, no valor de US\$ 100,000.00 por dia e o custo de afretamento da frota (US\$ 8,000.00 por dia para embarcações de pequeno porte e US\$ 12,000.00 para embarcações de grande porte). Cabe ressaltar que o custo de atraso depende do tempo máximo fixado para a entrega dos suprimentos, que foi inicialmente fixado em 3,5 dias e o custo total de afretamento depende da composição da frota;
- Cada pedido de carga tem seu dia e hora de solicitação guardados pelo modelo e quando a carga é efetivamente entregue na plataforma são guardadas a data e a hora dessa ocorrência. Esses dados são gravados num arquivo Excel externo ao modelo de simulação e uma "macro" calcula se a diferença superou o prazo de entrega, que é de 3.5 dias. Caso positivo, o custo de atraso, com base na taxa diária da UM, é calculado e acumulado.
- O custo de ociosidade das embarcações é tomado com base no tempo médio de espera para serem alocadas a novas tarefas multiplicado pelas taxas diárias de afretamento das embarcações.

Este conjunto de dados é denominado de Cenário Básico.

A figura 6.1 mostra os resultados dos valores de Custos Totais em função da composição da frota, para o tempo máximo para entrega de 3,5 dias (cenário básico).

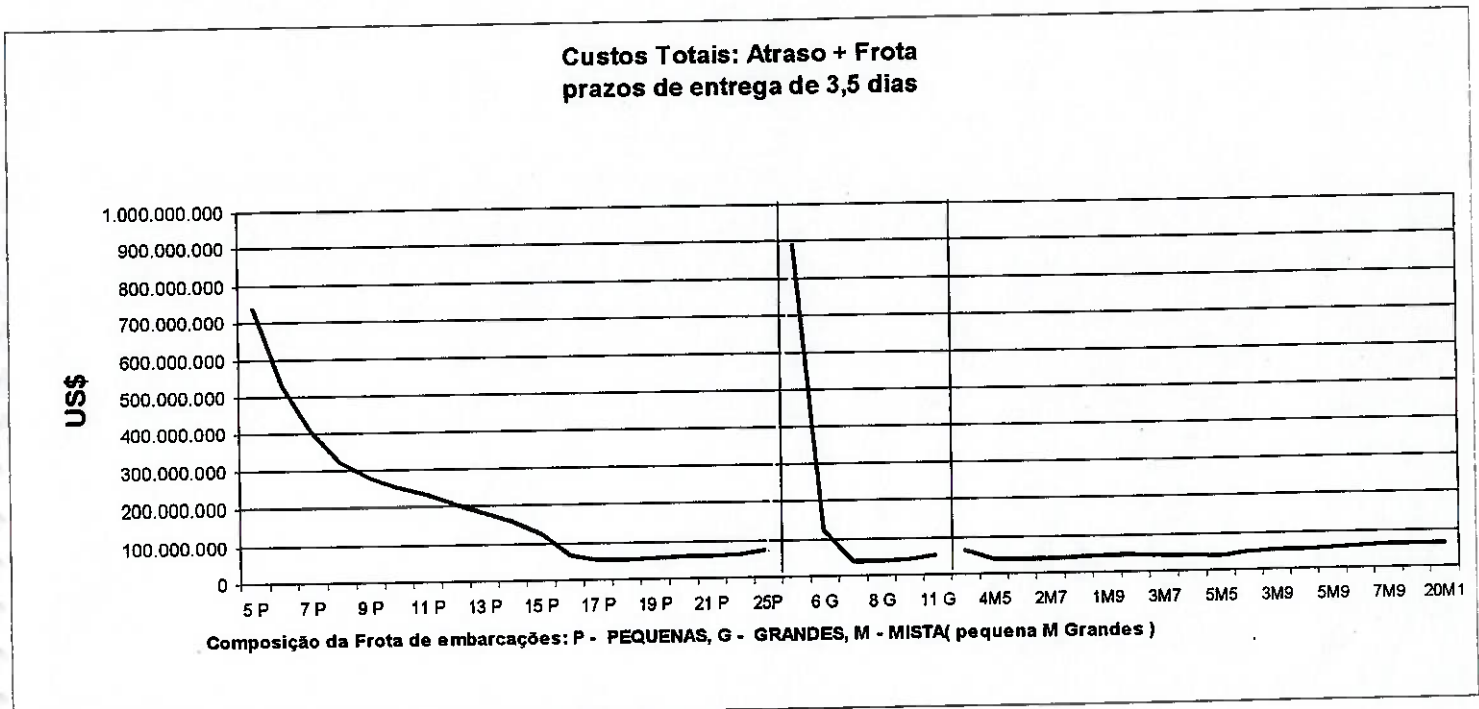


Figura 6.1 - Custos totais em função da composição da frota

A tabela 6.3.a traz os resultados médios obtidos após 5 replicações para cada frota indicada. Os custos associados estão apresentados na tabela 6.3.b.

Tabela 6.3.a - Dados operacionais das frotas para o tempo máximo de entrega de 3.5 dias.

FROTA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	
5 pequenas	6236	10	10	0	1017	1017	0	7.0E+08	1.2E+08	9.1E+07	8.3E+07	8.7E+07	8.7E+07	2568	2568	0	64.7	64.7	0.0	6.2	6.2	0.0	99.8	98.4	42.9	
6 pequenas	8671	11	11	0	1188	1188	0	6.9E+08	1.5E+08	9.2E+07	8.8E+07	8.8E+07	8.8E+07	2635	2635	0	60.1	60.1	0.0	7.3	7.3	0.0	99.7	85.7	37.1	
7 pequenas	9405	11	11	0	1527	1527	0	6.9E+08	2.0E+08	9.0E+07	8.8E+07	8.6E+07	8.6E+07	2393	2393	0	53.0	53.0	0.0	6.2	6.2	0.0	99.8	65.7	28.2	
8 pequenas	9832	13	13	0	1875	1875	0	7.0E+08	2.6E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	2224	2224	0	49.0	49.0	0.0	5.3	5.3	0.0	99.8	54.2	23.3	
9 pequenas	10270	14	14	0	2244	2244	0	7.0E+08	3.2E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.9E+07	8.9E+07	2089	2089	0	45.9	45.9	0.0	4.6	4.6	0.0	99.8	45.2	19.8	
10 pequenas	10675	16	16	0	2618	2618	0	6.9E+08	3.8E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.7E+07	1988	1988	0	43.5	43.5	0.0	4.1	4.1	0.0	99.8	38.5	16.6	
11 pequenas	11095	20	20	0	2988	2988	0	7.1E+08	4.3E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.9E+07	8.8E+07	1911	1911	0	41.8	41.8	0.0	3.7	3.7	0.0	99.8	33.4	14.8	
12 pequenas	11554	23	23	0	3350	3350	0	7.0E+08	4.9E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.7E+07	1857	1857	0	40.5	40.5	0.0	3.5	3.5	0.0	99.8	29.8	13.0	
13 pequenas	12003	28	28	0	3687	3687	0	7.0E+08	5.4E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.7E+07	8.7E+07	1822	1822	0	39.6	39.6	0.0	3.3	3.3	0.0	99.8	27.5	11.8	
14 pequenas	12485	29	29	0	4036	4036	0	7.0E+08	5.9E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.9E+07	8.8E+07	1790	1790	0	38.7	38.7	0.0	3.1	3.1	0.0	99.7	24.8	10.9	
15 pequenas	13049	33	33	0	4371	4371	0	7.0E+08	6.4E+08	9.2E+07	9.1E+07	8.7E+07	8.7E+07	1768	1768	0	38.1	38.1	0.0	3.0	3.0	0.0	99.6	23.4	10.0	
16 pequenas	13618	56	56	0	4620	4620	0	6.9E+08	6.7E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	1761	1761	0	37.2	37.2	0.0	3.0	3.0	0.0	98.1	22.1	9.5	
17 pequenas	13848	111	111	0	4796	4796	0	6.9E+08	6.9E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	1748	1748	0	35.7	35.7	0.0	2.8	2.8	0.0	93.4	20.7	8.9	
18 pequenas	13835	202	202	0	4872	4872	0	6.9E+08	6.9E+08	9.2E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.7E+07	1731	1731	0	35.3	35.3	0.0	2.8	2.8	0.0	93.3	20.6	8.9	
19 pequenas	13812	306	306	0	4878	4878	0	6.9E+08	6.8E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.7E+07	1737	1737	0	35.3	35.3	0.0	2.8	2.8	0.0	93.3	20.6	8.9	
20 pequenas	13804	402	402	0	4913	4913	0	6.9E+08	6.9E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.7E+07	1731	1731	0	35.2	35.2	0.0	2.8	2.8	0.0	93.0	20.6	8.9	
21 pequenas	13804	506	506	0	4920	4920	0	6.9E+08	6.9E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.7E+07	1731	1731	0	35.2	35.2	0.0	2.8	2.8	0.0	93.0	20.6	8.9	
22 pequenas	13799	619	619	0	4903	4903	0	6.9E+08	6.8E+08	9.1E+07	8.8E+07	8.8E+07	8.8E+07	1731	1731	0	35.2	35.2	0.0	2.8	2.8	0.0	93.0	20.6	8.9	
25 pequenas	13919	888	888	0	5010	5010	0	7.0E+08	6.9E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.8E+07	1724	1724	0	35.0	35.0	0.0	2.8	2.8	0.0	92.7	20.4	8.8	
5 Grandes	8752	65	0	65	527	0	527	7.0E+08	3.5E+08	9.1E+07	7.2E+07	8.7E+07	6.9E+07	4899	0	4899	52.2	0.0	52.2	16.7	0.0	16.7	97.1	51.3	15.9	
6 Grandes	8362	89	0	89	762	0	762	7.0E+08	6.3E+08	9.2E+07	8.7E+07	9.0E+07	8.4E+07	4031	0	4031	37.5	0.0	37.5	11.0	0.0	11.0	70.2	35.9	11.4	
7 Grandes	8316	426	0	426	902	0	902	6.8E+08	6.7E+08	9.2E+07	9.2E+07	9.0E+07	8.9E+07	3629	0	3629	31.1	0.0	31.1	9.2	0.0	9.2	57.9	30.3	9.6	
8 Grandes	8278	968	0	968	919	0	919	6.9E+08	6.9E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.6E+07	3580	0	3580	30.7	0.0	30.7	9.0	0.0	9.0	57.6	29.1	9.1	
9 Grandes	8231	1525	0	1525	918	0	918	6.9E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.7E+07	8.6E+07	3580	0	3580	30.8	0.0	30.8	9.0	0.0	9.0	57.8	29.3	9.1	
11 Grandes	8269	2359	0	2359	926	0	926	7.0E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.6E+07	8.6E+07	3560	0	3560	30.7	0.0	30.7	9.0	0.0	9.0	57.7	29.1	9.0	
14 Grandes	8269	2433	0	2433	926	0	926	7.0E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.6E+07	8.6E+07	3548	0	3548	30.7	0.0	30.7	9.0	0.0	9.0	57.7	29.1	9.0	
4Peq. 5Grd.	9600	314	420	201	1534	791	743	6.8E+08	6.7E+08	9.2E+07	8.9E+07	8.9E+07	8.9E+07	2756	2229	3319	38.9	47.7	29.4	6.3	5.3	7.3	76.4	37.7	16.3	
3Peq. 6Grd.	9140	578	922	366	1335	509	826	7.0E+08	6.9E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.7E+07	2949	2164	3434	35.9	45.7	29.9	6.9	6.9	5.1	8.0	70.8	34.0	13.7
2Peq. 7Grd.	8669	996	2327	638	1116	238	878	6.9E+08	6.9E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.8E+07	3214	2061	3527	33.2	43.7	30.3	7.8	4.6	8.7	64.6	30.8	11.5	
1Peq. 8Grd.	8439	1313	5797	996	984	66	918	7.0E+08	6.9E+08	9.2E+07	9.1E+07	8.8E+07	8.7E+07	3460	2075	3561	31.5	45.2	30.5	8.6	4.7	8.9	59.9	30.0	9.8	
1Peq. 9Grd.	8324	1985	22065	1554	936	21	915	6.9E+08	6.9E+08	9.2E+07	9.1E+07	8.7E+07	8.7E+07	3548	1956	3586	31.0	41.5	30.8	8.9	4.6	9.0	58.3	29.7	9.4	
2Peq. 8Grd.	8440	1780	7791	1070	1005	107	898	6.9E+08	6.9E+08	9.2E+07	9.1E+07	8.8E+07	8.7E+07	3402	1895	3585	31.6	37.5	30.8	8.4	3.9	9.0	60.9	29.7	9.7	
3Peq. 7Grd.	8713	1339	3111	700	1170	311	859	7.0E+08	7.0E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.7E+07	3127	1938	3558	33.5	40.4	31.0	7.5	3.9	8.8	67.4	29.7	10.9	
4Peq. 6Grd.	9162	875	1430	455	1401	603	797	7.0E+08	6.9E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.7E+07	2858	2038	3480	35.5	42.1	30.5	6.6	4.4	8.2	72.7	32.6	12.4	
5Peq. 5Grd.	9790	474	635	263	1689	957	732	6.9E+08	6.8E+08	9.2E+07	9.2E+07	8.9E+07	8.9E+07	2623	2089	3308	37.8	44.2	29.4	5.8	4.7	7.3	78.0	34.8	14.6	
2Peq. 9Grd.	8329	2485	39071	1560	939	25	914	6.9E+08	6.8E+08	9.2E+07	9.2E+07	8.9E+07	8.9E+07	3536	1912	3584	30.9	39.3	30.6	8.9	4.4	9.0	58.2	30.0	9.2	
3Peq. 9Grd.	8316	2894	38639	1557	954	35	918	6.9E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	3491	1758	3563	30.8	36.7	30.6	8.8	3.8	8.9	58.6	29.2	9.1	
4Peq. 9Grd.	8357	3185	39949	1546	961	42	919	7.0E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.9E+07	8.9E+07	3483	1741	3569	31.1	36.1	30.8	8.7	3.7	9.0	59.1	29.2	9.3	
5Peq. 9Grd.	8372	3631	52074	1537	961	41	921	7.0E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.9E+07	8.9E+07	3479	1689	3567	30.9	36.3	30.6	8.8	3.6	9.0	58.8	29.0	9.2	
6Peq. 9Grd.	8328	4104	67012	1556	959	39	920	6.9E+08	6.9E+08	9.0E+07	9.0E+07	9.0E+07	8.9E+07	3470	1672	3556	30.9	37.2	30.6	8.7	3.9	8.9	58.5	29.0	9.5	
7Peq. 9Grd.	8333	4369	72478	1558	955	39	917	6.9E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.0E+07	9.0E+07	8.9E+07	3473	1577	3567	30.9	35.8	30.7	8.8	3.6	9.0	58.6	29.1	9.4	
19Peq. 2Grd.	12244	1114	1191	247	3654	3357	298	6.9E+08	6.9E+08	9.2E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.8E+07	1892	1771	3265	35.5	36.1	29.3	3.4	3.0	6.9	89.5	23.4	10.0	
20Peq. 1Grd.	13115	745	766	190	4329	4173	157	7.1E+08	7.0E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.8E+07	1796	1745	3151	35.4	35.7	28.8	3.0	2.9	6.3	91.7	21.7	9.5	

LEGENDA:

A	Número de pedidos formulados pelas U.M. e particionados pelo modelo	N	Tempo médio de Viagem redonda de todas as embarcações (minutos)
B	Tempo médio de todas as embarcações a espera de nova missão (minutos)	O	Tempo médio de Viagem redonda das embarcações menores (minutos)
C	Tempo médio das embarcações menores a espera de nova missão (minutos)	P	Tempo médio de Viagem redonda das embarcações maiores (minutos)
D	Tempo médio das embarcações maiores a espera de nova missão (minutos)	Q	Ocupação média de todas as embarcações
E	Número total de embarcações que foram ao porto	R	Ocupação média das as embarcações menores
F	Número de embarcações menores que foram ao porto	S	Ocupação média das as embarcações maiores
G	Número de embarcações maiores que foram ao porto	T	Número médio de plataformas atendidas por viagem para todas as embarcações
H	Total de água pedido pelas U.M. (kg)	U	Número médio de plataformas atendidas por viagem para as embarcações menores
I	Total de água recebido pelas U.M. (kg)	V	Número médio de plataformas atendidas por viagem para as embarcações maiores
J	Total de convés pedido pelas U.M. (kg)	W	Ocupação média de água p/ frota
K	Total de convés recebido pelas U.M. (kg)	X	Ocupação média de convés p/ frota
L	Total de diesel pedido pelas U.M. (kg)	Y	Ocupação média de diesel p/ frota
M	Total de diesel recebido pelas U.M. (kg)		

Tabela 6.3.b - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 3.5 Dias

FROTA	3.5 DIAS				
	A	B	C	D	E
5 Pequenas	721,444,167	54,841	14,600,000	721,499,007	736,044,167
6 Pequenas	514,157,597	73,744	17,520,000	514,231,341	531,677,597
7 Pequenas	384,455,778	95,318	20,440,000	384,551,095	404,895,778
8 Pequenas	295,905,125	134,764	23,360,000	296,039,889	319,265,125
9 Pequenas	253,384,431	171,671	26,280,000	253,556,101	279,664,431
10 Pequenas	223,268,806	232,984	29,200,000	223,501,789	252,468,806
11 Pequenas	198,998,250	334,250	32,120,000	199,332,500	231,118,250
12 Pequenas	169,638,264	421,107	35,040,000	170,059,371	204,678,264
13 Pequenas	145,372,625	563,892	37,960,000	145,936,517	183,332,625
14 Pequenas	116,566,639	661,084	40,880,000	117,227,723	157,446,639
15 Pequenas	81,347,458	803,218	43,800,000	82,150,676	125,147,458
16 Pequenas	18,650,986	1,446,814	46,720,000	20,097,800	65,370,986
17 Pequenas	2,686,861	2,946,558	49,640,000	5,633,419	52,326,861
18 Pequenas	578,597	5,462,475	52,560,000	6,041,072	53,138,597
19 Pequenas	228,986	8,301,947	55,480,000	8,530,933	55,708,986
20 Pequenas	26,319	10,965,813	58,400,000	10,992,133	58,426,319
21 Pequenas	43,764	13,841,587	61,320,000	13,885,351	61,363,764
22 Pequenas	4,167	16,864,223	64,240,000	16,868,390	64,244,167
25 Pequenas	0	24,712,028	73,000,000	24,712,028	73,000,000
5 Grandes	864,652,472	283,850	21,900,000	864,936,323	886,552,472
6 Grandes	98,189,181	566,191	26,280,000	98,755,371	124,469,181
7 Grandes	8,961,931	3,201,542	30,660,000	12,163,472	39,621,931
8 Grandes	4,038,694	7,410,371	35,040,000	11,449,065	39,078,694
9 Grandes	3,376,792	11,664,526	39,420,000	15,041,317	42,796,792
11 Grandes	3,624,056	18,196,091	48,180,000	21,820,147	51,804,056
14 Grandes	3,624,056	18,768,593	61,320,000	22,392,649	64,944,056
4Peq. 5Grd.	6,077,069	3,089,963	33,580,000	9,167,032	39,657,069
3Peq. 6Grd.	3,772,750	5,131,201	35,040,000	8,903,951	38,812,750
2Peq. 7Grd.	3,438,417	7,738,845	36,500,000	11,177,262	39,938,417
1Peq. 8Grd.	3,566,958	9,750,795	37,960,000	13,317,753	41,526,958
1Peq. 9Grd.	3,698,278	14,447,417	42,340,000	18,145,694	46,038,278
2Peq. 8Grd.	3,445,556	12,657,348	40,880,000	16,102,904	44,325,556
3Peq. 7Grd.	2,982,361	10,384,107	39,420,000	13,366,469	42,402,361
4Peq. 6Grd.	2,993,833	7,819,309	37,960,000	10,813,143	40,953,833
5Peq. 5Grd.	3,325,792	4,981,526	36,500,000	8,307,317	39,825,792
2Peq. 9Grd.	3,382,028	17,347,137	45,260,000	20,729,165	48,642,028
3Peq. 9Grd.	3,797,514	19,473,341	48,180,000	23,270,855	51,977,514
4Peq. 9Grd.	3,285,667	21,118,620	51,100,000	24,404,286	54,385,667
5Peq. 9Grd.	3,967,819	23,540,327	54,020,000	27,508,147	57,987,819
6Peq. 9Grd.	3,796,792	26,441,188	56,940,000	30,237,980	60,736,792
7Peq. 9Grd.	3,571,194	27,447,746	59,860,000	31,018,940	63,431,194
19Peq. 2Grd.	444,861	22,820,984	64,240,000	23,265,845	64,684,861
20Peq. 1Grd.	139,028	18,003,147	62,780,000	18,142,175	62,919,028

Legenda:

A -	Custo de Atraso	D -	Custo de Atraso + Custo de Ociosidade
B -	Custo de Ociosidade da Frota	E -	Custo de Atraso + Custo de Afretamento
C -	Custo de Afretamento	Obs: Valores em US\$	

Sobre o dimensionamento da frota mostrado na tabela 6.3.a, cabem os seguintes comentários:

- As colunas H e I, J e K, L e M mostram as demandas requisitadas e atendidas de água, carga de convés e diesel, respectivamente. Quando a frota analisada não é capaz de atender toda a demanda, que são os casos das frotas de 5 a 16 embarcações pequenas e 5 e 6 embarcações grandes, o custo total é muito alto devido ao elevados custos de atraso na entrega dos pedidos de suprimento. Considera-se que a demanda foi atendida para cada tipo de carga, quando a relação entre a quantidade que foi recebida e pedida pela UM supera 0.97. Nota-se que as demandas de carga de convés e diesel são atendidas por frotas com menor número de embarcações, mas nesse Cenário Básico a demanda de água é elevada e é a responsável pelo dimensionamento da frota. As figuras 6.2, 6.3, 6.4 mostram como se comporta o atendimento das demandas de água, convés e diesel em função da composição da frota ;
- A coluna A mostra o número de pedidos formulados pelas unidades marítimas durante o período simulado. Quando são utilizadas somente embarcações de pequeno porte o número de pedidos é maior que o número de pedidos quando se utiliza embarcações de grande porte, devido ao fato de que os pedidos com grande quantidade tendem a ser mais particionados quando é utilizada uma frota de embarcações pequenas;
- As colunas B, C e D mostram respectivamente os tempos médios de todas as embarcações a espera de nova missão, das embarcações de pequeno porte a espera de nova missão, e das embarcações de grande porte a espera de nova missão, respectivamente. A unidade de tempo é minutos. Os resultados são bastante coerentes, pois quando a frota é insuficiente para atender a demanda de alguma carga, esses tempos são baixos, mostrando que as embarcações são rapidamente alocadas a uma nova missão;
- As colunas E, F e G mostram o número total de embarcações que foram ao porto, o número de embarcações de pequeno porte que foram ao porto e o número de embarcações de grande porte que foram ao porto. Essa estatística foi inserida para validar o modelo de simulação, pois quanto maior for a frota, deve ser maior o número de entradas no porto, ressalvando-se que, se a frota

for super dimensionada e, conseqüentemente a demanda já estiver atendida, o número de entradas no porto aumenta porém não proporcionalmente ao excesso de embarcações na frota;

- As colunas N, O e P mostram os tempos médios de viagem redonda de todas as embarcações, das embarcações de pequeno porte e das embarcações de grande porte, respectivamente. Os tempos de viagens redonda para embarcações de pequeno porte é menor do que para as de grande porte devido ao número de plataformas atendidas por viagem de cada tipo de embarcação (colunas T, U e V). Cabe ressaltar que quando a frota de embarcações de pequeno porte é insuficiente para atender a demanda, o tempo de viagem redonda é maior, pois há maior particionamento das cargas e, com isto, um maior número de plataformas são atendidas nas viagens seguintes. Esse mesmo efeito é menos observado quando utilizam-se embarcações de grande porte. Tais comentários também são válidos para as colunas Q, R, S, T, U e V;
- Nas colunas Q, R e S mostram-se as ocupações médias de todas as embarcações; das embarcações de pequeno porte e das embarcações de grande porte, respectivamente;
- Na colunas T, U e V mostram-se o número médio de plataformas atendidas por viagem para todas as embarcações, para as embarcações de pequeno porte e para as embarcações de grande porte;
- Nas colunas W, X e Y mostram-se as ocupações médias de água, convés e diesel para as frota, respectivamente. Nota-se que a alta demanda de água é que leva a alta ocupação dos tanques de água das embarcações de pequeno porte; o mesmo ocorre para as embarcações de grande porte, porém com ocupação dos tanques na ordem de 50%;
- Quando uma frota já atende a demanda de todos os tipos de suprimentos, passa a ser importante a composição da frota, ou seja, se a frota for muito grande, aumenta-se o custo total, penalizado pelo aumento do custo de afretamento. Na figura 6.5 é mostrado o custo de ociosidade da frota em função da composição da frota, calculado como o tempo médio de permanência da frota no terminal a espera de uma nova missão, ponderado pelo custo de afretamento das embarcações da frota;

- É interessante notar que a frota composta de embarcações de grande porte atendem o triplo das unidades marítimas atendidas pela frota de pequeno porte, consumindo apenas o dobro do tempo gasto por estas últimas. Isto se deve, basicamente, à distância entre as unidades marítimas serem muito menores que a distância entre as unidades marítimas e o terminal. Isto favorece às embarcações de grandes porte, que tem capacidade suficiente para atender mais unidades marítimas por viagem.

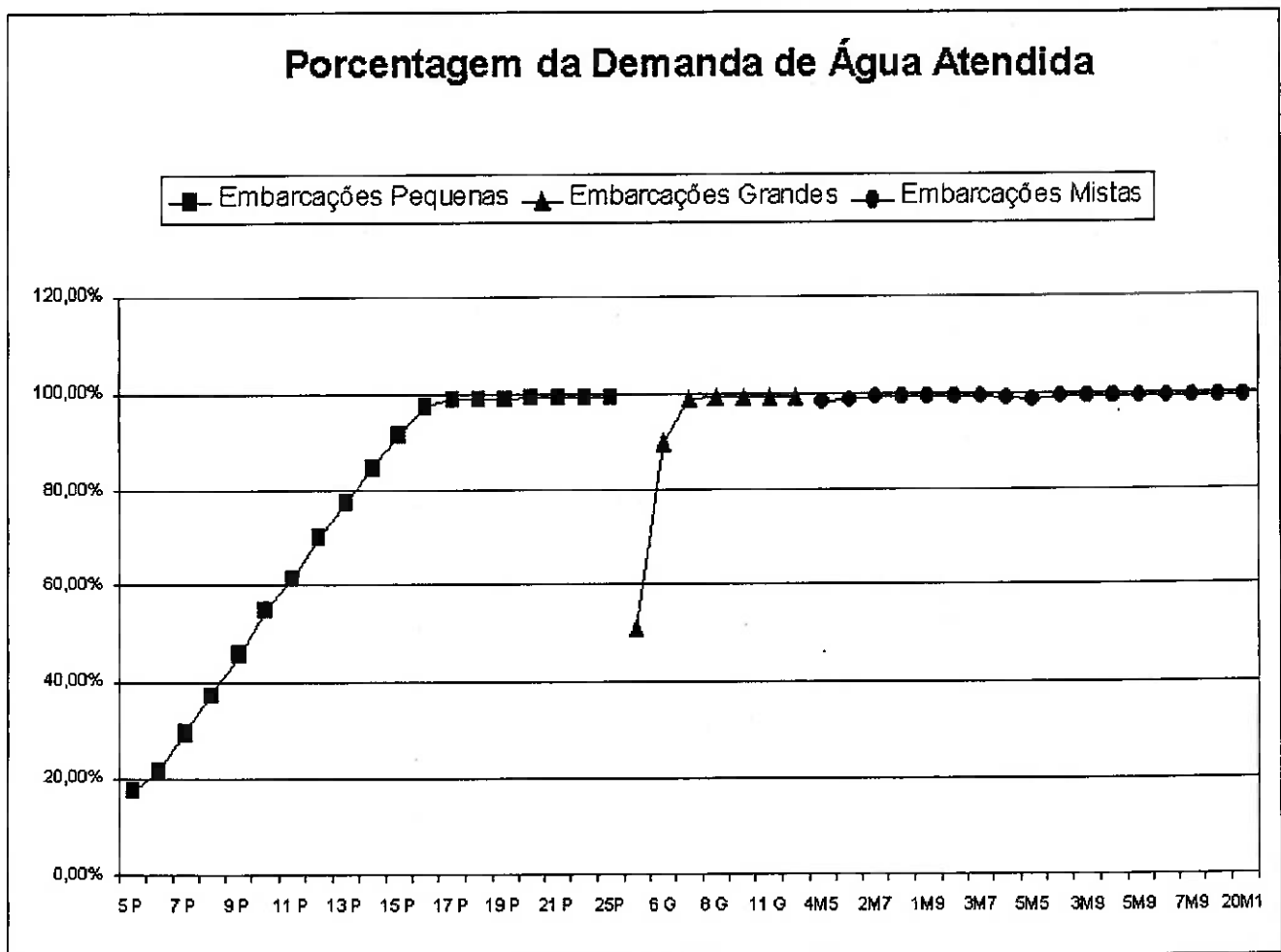


Figura 6.2 - Atendimento de carga de água versus composição da frota

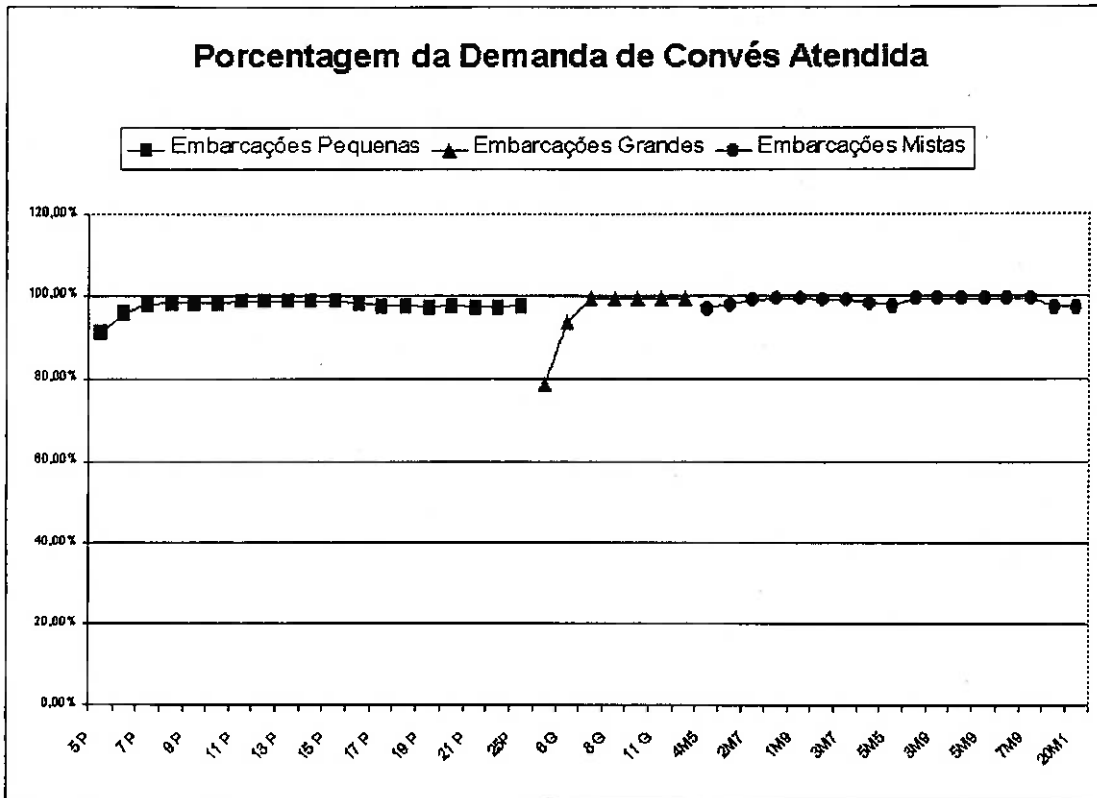


Figura 6.3 - Atendimento de carga de convés versus composição da frota

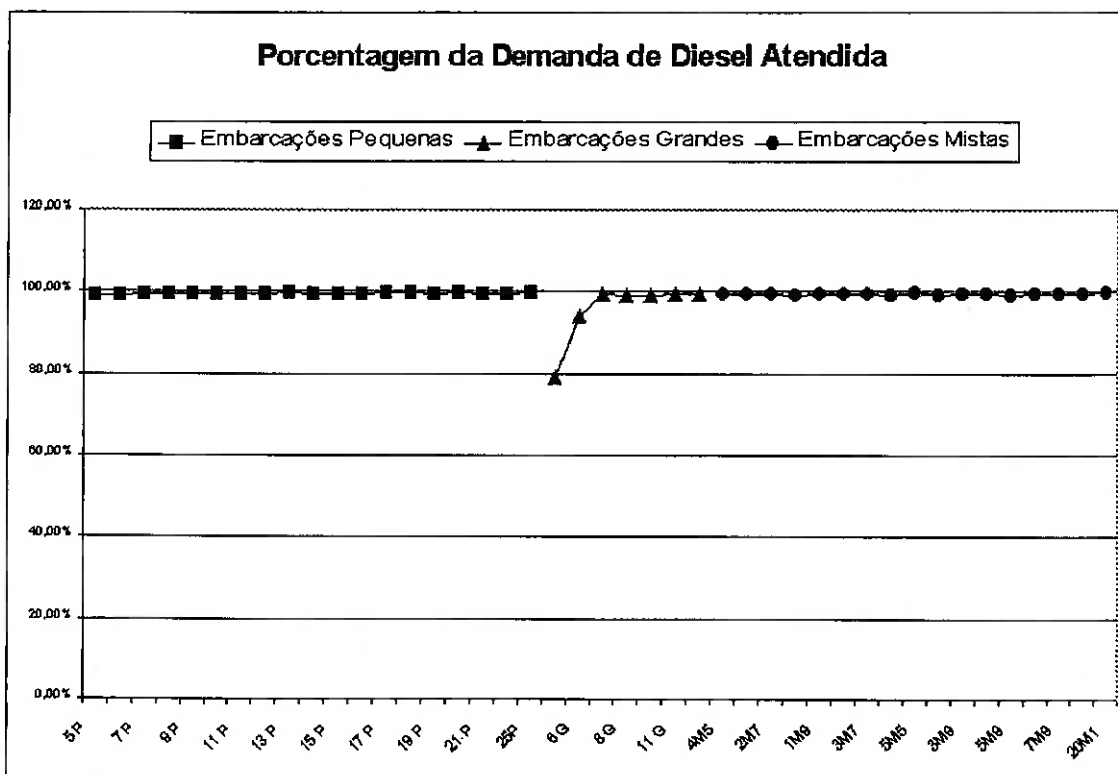


Figura 6.4 - Atendimento de carga de diesel versus composição da frota

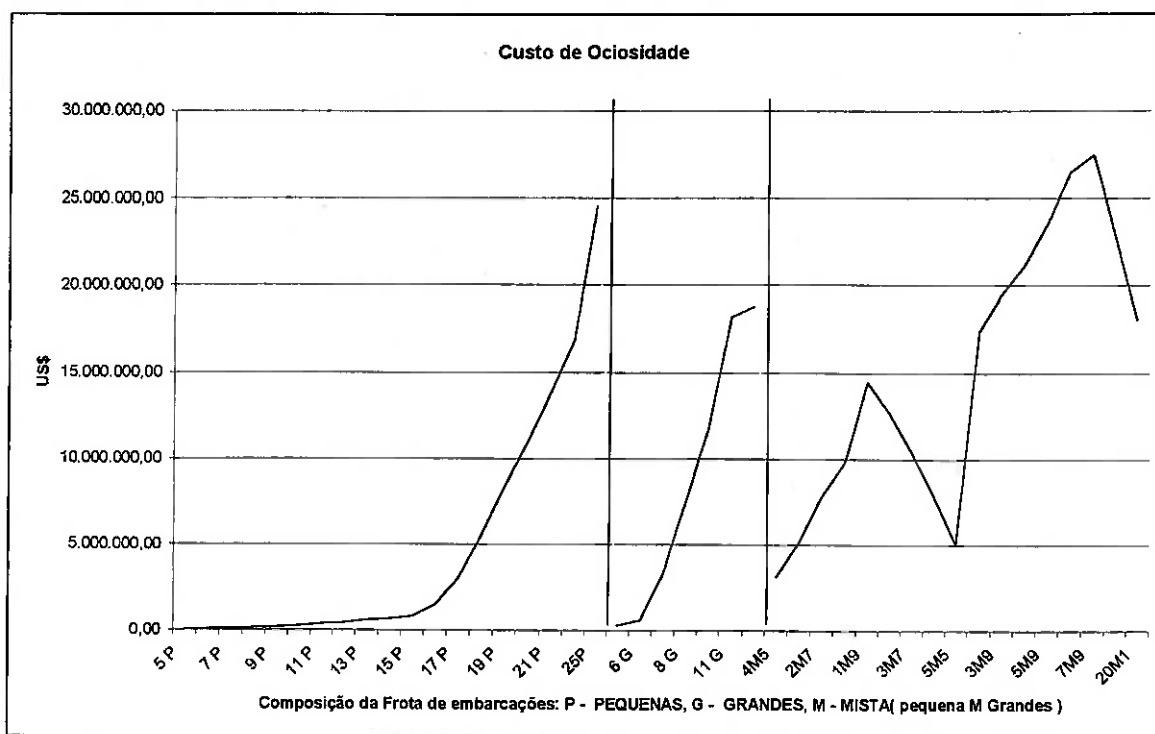


Figura 6.5 – Custo de ociosidade em função da composição da frota

O resultados obtidos para o dimensionamento foram:

- Para frotas compostas por embarcações de pequeno porte, a frota que apresentou menor custo total foi a de 17 embarcações, com US\$ 52,326,861 (coluna "E" da tabela 6.3.b);
- Para frotas compostas de embarcações de grande porte, o dimensionamento foi de 8 embarcações, com um custo total de US\$ 39,078,694.
- Para frotas mistas existem resultados muito próximos um dos outros, onde o menor ponto obtido é com 3 embarcações de pequeno porte e 6 embarcações de grande porte, com um custo total de US\$ 38,812,750.
- Fica evidente que uma frota composta somente de embarcações de pequeno porte é mais onerosa que frotas de embarcações mistas ou somente com embarcações de grande porte.
- Vale a pena ressaltar que, como o custo por atraso na entrega das cargas às unidades marítimas é muito superior ao custo de afretamento das embarcações, o ponto de dimensionamento é tremendamente impactado pelo tempo máximo para entrega que se pretende impor, podendo alterar bastante a composição da frota ótima, como verifica-se a seguir.

6.3 – Análise de sensibilidade do tempo máximo para entrega dos suprimentos

A figura 6.6 mostra o gráfico do custo total versus a composição de frota para vários tempos máximos de entrega dos suprimentos. As tabelas 6.4 a 6.8 mostram os custos associados aos tempos máximos de entrega de 1,5, 2,0, 2,5, 3,0 e 4,0 dias.

Cabe ressaltar que as demandas das cargas não foram alteradas.

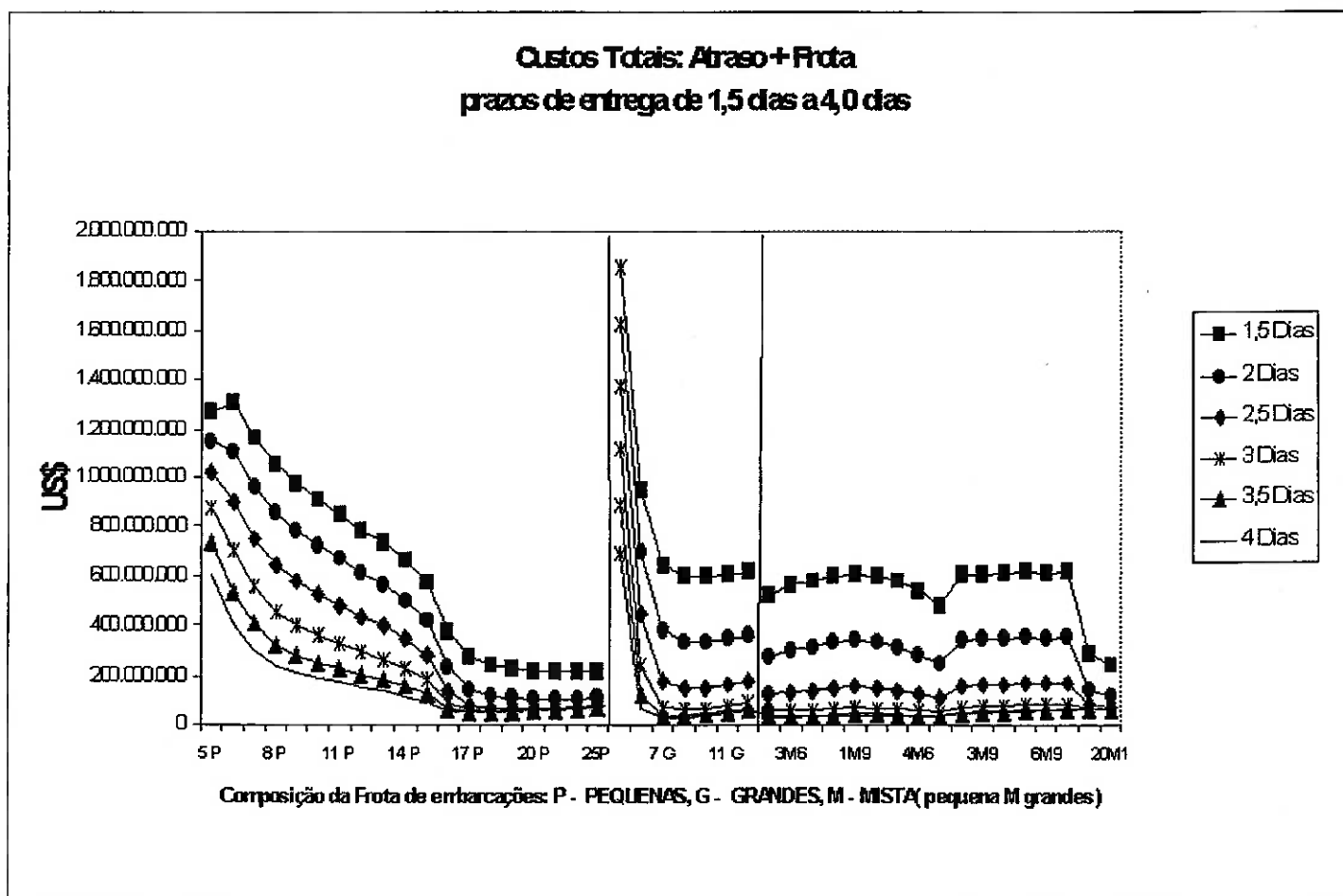


Figura 6.6 - Tempo máximo para entrega versus composição da frota

Tabela 6.4 - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 1.5 Dias

FROTA	1.5 DIAS				
	A	B	C	D	E
5 Pequenas	1,256,949,833	54,841	14,600,000	1,257,004,674	1,271,549,833
6 Pequenas	1,293,399,444	73,744	17,520,000	1,293,473,188	1,310,919,444
7 Pequenas	1,144,802,694	95,318	20,440,000	1,144,898,012	1,165,242,694
8 Pequenas	1,030,367,319	134,764	23,360,000	1,030,502,084	1,053,727,319
9 Pequenas	945,893,444	171,671	26,280,000	946,065,115	972,173,444
10 Pequenas	875,642,194	232,984	29,200,000	875,875,178	904,842,194
11 Pequenas	817,391,417	334,250	32,120,000	817,725,667	849,511,417
12 Pequenas	750,619,222	421,107	35,040,000	751,040,329	785,659,222
13 Pequenas	695,937,417	563,892	37,960,000	696,501,309	733,897,417
14 Pequenas	622,351,333	661,084	40,880,000	623,012,417	663,231,333
15 Pequenas	528,953,792	803,218	43,800,000	529,757,010	572,753,792
16 Pequenas	331,073,944	1,446,814	46,720,000	332,520,758	377,793,944
17 Pequenas	228,310,181	2,946,558	49,640,000	231,256,739	277,950,181
18 Pequenas	189,363,347	5,462,475	52,560,000	194,825,822	241,923,347
19 Pequenas	171,526,250	8,301,947	55,480,000	179,828,197	227,006,250
20 Pequenas	159,283,319	10,965,813	58,400,000	170,249,133	217,683,319
21 Pequenas	153,388,583	13,841,587	61,320,000	167,230,170	214,708,583
22 Pequenas	151,425,028	16,864,223	64,240,000	168,289,251	215,665,028
25 Pequenas	144,771,861	24,712,028	73,000,000	169,483,889	217,771,861
5 Grandes	1,833,813,222	283,850	21,900,000	1,834,097,073	1,855,713,222
6 Grandes	924,003,750	566,191	26,280,000	924,569,941	950,283,750
7 Grandes	613,063,653	3,201,542	30,660,000	616,265,194	643,723,653
8 Grandes	564,900,361	7,410,371	35,040,000	572,310,732	599,940,361
9 Grandes	558,377,125	11,664,526	39,420,000	570,041,651	597,797,125
11 Grandes	559,528,542	18,196,091	48,180,000	577,724,633	607,708,542
14 Grandes	559,528,542	18,768,593	61,320,000	578,297,135	620,848,542
4Peq. 5Grd.	484,603,458	3,089,963	33,580,000	487,693,421	518,183,458
3Peq. 6Grd.	530,045,083	5,131,201	35,040,000	535,176,284	565,085,083
2Peq. 7Grd.	542,193,722	7,738,845	36,500,000	549,932,567	578,693,722
1Peq. 8Grd.	561,693,042	9,750,795	37,960,000	571,443,836	599,653,042
1Peq. 9Grd.	564,297,639	14,447,417	42,340,000	578,745,055	606,637,639
2Peq. 8Grd.	555,094,625	12,657,348	40,880,000	567,751,973	595,974,625
3Peq. 7Grd.	538,043,389	10,384,107	39,420,000	548,427,496	577,463,389
4Peq. 6Grd.	499,551,903	7,819,309	37,960,000	507,371,212	537,511,903
5Peq. 5Grd.	440,533,583	4,981,526	36,500,000	445,515,109	477,033,583
2Peq. 9Grd.	561,244,639	17,347,137	45,260,000	578,591,776	606,504,639
3Peq. 9Grd.	559,947,583	19,473,341	48,180,000	579,420,924	608,127,583
4Peq. 9Grd.	560,639,958	21,118,620	51,100,000	581,758,578	611,739,958
5Peq. 9Grd.	565,530,611	23,540,327	54,020,000	589,070,939	619,550,611
6Peq. 9Grd.	557,988,139	26,441,188	56,940,000	584,429,327	614,928,139
7Peq. 9Grd.	555,446,236	27,447,746	59,860,000	582,893,982	615,306,236
19Peq. 2Grd.	225,317,736	22,820,984	64,240,000	248,138,720	289,557,736
20Peq. 1Grd.	180,758,639	18,003,147	62,780,000	198,761,786	243,538,639

Legenda:

A -	Custo de Atraso	D -	Custo de Atraso + Custo de Ociosidade
B -	Custo de Ociosidade da Frota	E -	Custo de Atraso + Custo de Afretamento
C -	Custo de Afretamento	Obs: Valores em US\$	

Tabela 6.5 - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 2 Dias

FROTA	2 DIAS				
	A	B	C	D	E
5 Pequenas	1,134,865,306	54,841	14,600,000	1,134,920,146	1,149,465,306
6 Pequenas	1,090,981,375	73,744	17,520,000	1,091,055,119	1,108,501,375
7 Pequenas	941,364,042	95,318	20,440,000	941,459,359	961,804,042
8 Pequenas	834,417,514	134,764	23,360,000	834,552,278	857,777,514
9 Pequenas	756,549,250	171,671	26,280,000	756,720,921	782,829,250
10 Pequenas	693,926,722	232,984	29,200,000	694,159,706	723,126,722
11 Pequenas	639,797,917	334,250	32,120,000	640,132,167	671,917,917
12 Pequenas	579,411,792	421,107	35,040,000	579,832,899	614,451,792
13 Pequenas	530,641,667	563,892	37,960,000	531,205,559	568,601,667
14 Pequenas	461,916,847	661,084	40,880,000	462,577,931	502,796,847
15 Pequenas	376,025,528	803,218	43,800,000	376,828,746	419,825,528
16 Pequenas	188,169,181	1,446,814	46,720,000	189,615,994	234,889,181
17 Pequenas	96,794,097	2,946,558	49,640,000	99,740,655	146,434,097
18 Pequenas	65,055,514	5,462,475	52,560,000	70,517,989	117,615,514
19 Pequenas	53,344,875	8,301,947	55,480,000	61,646,822	108,824,875
20 Pequenas	45,306,500	10,965,813	58,400,000	56,272,313	103,706,500
21 Pequenas	41,219,333	13,841,587	61,320,000	55,060,920	102,539,333
22 Pequenas	40,132,389	16,864,223	64,240,000	56,996,612	104,372,389
25 Pequenas	36,444,778	24,712,028	73,000,000	61,156,806	109,444,778
5 Grandes	1,604,552,625	283,850	21,900,000	1,604,836,475	1,626,452,625
6 Grandes	672,943,722	566,191	26,280,000	673,509,913	699,223,722
7 Grandes	348,527,028	3,201,542	30,660,000	351,728,569	379,187,028
8 Grandes	302,220,931	7,410,371	35,040,000	309,631,301	337,260,931
9 Grandes	296,212,653	11,664,526	39,420,000	307,877,179	335,632,653
11 Grandes	297,838,764	18,196,091	48,180,000	316,034,855	346,018,764
14 Grandes	297,838,764	18,768,593	61,320,000	316,607,357	359,158,764
4Peq. 5Grd.	243,708,500	3,089,963	33,580,000	246,798,463	277,288,500
3Peq. 6Grd.	264,363,806	5,131,201	35,040,000	269,495,006	299,403,806
2Peq. 7Grd.	279,326,903	7,738,845	36,500,000	287,065,748	315,826,903
1Peq. 8Grd.	297,417,125	9,750,795	37,960,000	307,167,920	335,377,125
1Peq. 9Grd.	299,530,556	14,447,417	42,340,000	313,977,972	341,870,556
2Peq. 8Grd.	291,437,028	12,657,348	40,880,000	304,094,376	332,317,028
3Peq. 7Grd.	276,571,889	10,384,107	39,420,000	286,955,996	315,991,889
4Peq. 6Grd.	248,014,847	7,819,309	37,960,000	255,834,157	285,974,847
5Peq. 5Grd.	210,401,292	4,981,526	36,500,000	215,382,817	246,901,292
2Peq. 9Grd.	297,872,972	17,347,137	45,260,000	315,220,109	343,132,972
3Peq. 9Grd.	297,760,139	19,473,341	48,180,000	317,233,480	345,940,139
4Peq. 9Grd.	297,159,611	21,118,620	51,100,000	318,278,231	348,259,611
5Peq. 9Grd.	300,762,458	23,540,327	54,020,000	324,302,786	354,782,458
6Peq. 9Grd.	294,545,944	26,441,188	56,940,000	320,987,133	351,485,944
7Peq. 9Grd.	292,148,431	27,447,746	59,860,000	319,596,176	352,008,431
19Peq. 2Grd.	80,389,431	22,820,984	64,240,000	103,210,414	144,629,431
20Peq. 1Grd.	55,472,417	18,003,147	62,780,000	73,475,564	118,252,417

Legenda:

A -	Custo de Atraso	D -	Custo de Atraso + Custo de Ociosidade
B -	Custo de Ociosidade da Frota	E -	Custo de Atraso + Custo de Afretamento
C -	Custo de Afretamento	Obs: Valores em US\$	

Tabela 6.6 - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 2.5 Dias

FROTA	2.5 DIAS				
	A	B	C	D	E
5 Pequenas	1,002,320,347	54,841	14,600,000	1,002,375,188	1,016,920,347
6 Pequenas	883,759,514	73,744	17,520,000	883,833,258	901,279,514
7 Pequenas	732,086,417	95,318	20,440,000	732,181,734	752,526,417
8 Pequenas	623,217,972	134,764	23,360,000	623,352,736	646,577,972
9 Pequenas	550,846,306	171,671	26,280,000	551,017,976	577,126,306
10 Pequenas	496,679,403	232,984	29,200,000	496,912,387	525,879,403
11 Pequenas	450,561,139	334,250	32,120,000	450,895,389	482,681,139
12 Pequenas	401,008,875	421,107	35,040,000	401,429,982	436,048,875
13 Pequenas	360,949,417	563,892	37,960,000	361,513,309	398,909,417
14 Pequenas	305,252,472	661,084	40,880,000	305,913,556	346,132,472
15 Pequenas	238,748,361	803,218	43,800,000	239,551,579	282,548,361
16 Pequenas	93,771,736	1,446,814	46,720,000	95,218,550	140,491,736
17 Pequenas	31,961,069	2,946,558	49,640,000	34,907,628	81,601,069
18 Pequenas	15,161,847	5,462,475	52,560,000	20,624,322	67,721,847
19 Pequenas	10,134,222	8,301,947	55,480,000	18,436,169	65,614,222
20 Pequenas	6,928,153	10,965,813	58,400,000	17,893,966	65,328,153
21 Pequenas	5,398,514	13,841,587	61,320,000	19,240,101	66,718,514
22 Pequenas	4,997,653	16,864,223	64,240,000	21,861,876	69,237,653
25 Pequenas	3,832,875	24,712,028	73,000,000	28,544,903	76,832,875
5 Grandes	1,351,618,403	283,850	21,900,000	1,351,902,253	1,373,518,403
6 Grandes	418,791,944	566,191	26,280,000	419,358,135	445,071,944
7 Grandes	148,782,264	3,201,542	30,660,000	151,983,805	179,442,264
8 Grandes	116,347,736	7,410,371	35,040,000	123,758,107	151,387,736
9 Grandes	111,432,972	11,664,526	39,420,000	123,097,498	150,852,972
11 Grandes	114,127,903	18,196,091	48,180,000	132,323,994	162,307,903
14 Grandes	114,127,903	18,768,593	61,320,000	132,896,496	175,447,903
4Peq. 5Grd.	92,016,931	3,089,963	33,580,000	95,106,893	125,596,931
3Peq. 6Grd.	96,479,250	5,131,201	35,040,000	101,610,451	131,519,250
2Peq. 7Grd.	103,053,986	7,738,845	36,500,000	110,792,831	139,553,986
1Peq. 8Grd.	112,624,389	9,750,795	37,960,000	122,375,184	150,584,389
1Peq. 9Grd.	113,827,750	14,447,417	42,340,000	128,275,167	156,167,750
2Peq. 8Grd.	109,695,694	12,657,348	40,880,000	122,353,043	150,575,694
3Peq. 7Grd.	101,283,806	10,384,107	39,420,000	111,667,913	140,703,806
4Peq. 6Grd.	89,245,986	7,819,309	37,960,000	97,065,295	127,205,986
5Peq. 5Grd.	74,235,778	4,981,526	36,500,000	79,217,303	110,735,778
2Peq. 9Grd.	112,828,264	17,347,137	45,260,000	130,175,401	158,088,264
3Peq. 9Grd.	113,955,944	19,473,341	48,180,000	133,429,285	162,135,944
4Peq. 9Grd.	112,742,667	21,118,620	51,100,000	133,861,286	163,842,667
5Peq. 9Grd.	115,230,500	23,540,327	54,020,000	138,770,827	169,250,500
6Peq. 9Grd.	111,905,722	26,441,188	56,940,000	138,346,911	168,845,722
7Peq. 9Grd.	109,996,708	27,447,746	59,860,000	137,444,454	169,856,708
19Peq. 2Grd.	20,473,458	22,820,984	64,240,000	43,294,442	84,713,458
20Peq. 1Grd.	10,485,417	18,003,147	62,780,000	28,488,564	73,265,417

Legenda:

A -	Custo de Atraso	D -	Custo de Atraso + Custo de Ociosidade
B -	Custo de Ociosidade da Frota	E -	Custo de Atraso + Custo de Afretamento
C -	Custo de Afretamento	Obs: Valores em US\$	

Tabela 6.7 - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 3 Dias

FROTA	3 DIAS				
	A	B	C	D	E
5 Pequenas	862,227,931	54,841	14,600,000	862,282,771	876,827,931
6 Pequenas	686,192,958	73,744	17,520,000	686,266,702	703,712,958
7 Pequenas	536,420,500	95,318	20,440,000	536,515,818	556,860,500
8 Pequenas	432,102,861	134,764	23,360,000	432,237,625	455,462,861
9 Pequenas	372,741,708	171,671	26,280,000	372,913,379	399,021,708
10 Pequenas	330,652,778	232,984	29,200,000	330,885,762	359,852,778
11 Pequenas	295,423,264	334,250	32,120,000	296,757,514	328,543,264
12 Pequenas	258,659,903	421,107	35,040,000	259,081,010	293,699,903
13 Pequenas	227,700,208	563,892	37,960,000	228,264,101	265,660,208
14 Pequenas	187,992,750	661,084	40,880,000	188,653,834	228,872,750
15 Pequenas	140,583,306	803,218	43,800,000	141,386,523	184,383,306
16 Pequenas	42,962,417	1,446,814	46,720,000	44,409,230	89,682,417
17 Pequenas	9,605,806	2,946,558	49,640,000	12,552,364	59,245,806
18 Pequenas	3,165,750	5,462,475	52,560,000	8,628,225	55,725,750
19 Pequenas	1,609,181	8,301,947	55,480,000	9,911,127	57,089,181
20 Pequenas	743,292	10,965,813	58,400,000	11,709,105	59,143,292
21 Pequenas	521,000	13,841,587	61,320,000	14,362,587	61,841,000
22 Pequenas	275,431	16,864,223	64,240,000	17,139,654	64,515,431
25 Pequenas	146,958	24,712,028	73,000,000	24,858,986	73,146,958
5 Grandes	1,096,959,389	283,850	21,900,000	1,097,243,239	1,118,859,389
6 Grandes	219,620,069	566,191	26,280,000	220,186,260	245,900,069
7 Grandes	44,711,889	3,201,542	30,660,000	47,913,430	75,371,889
8 Grandes	29,037,361	7,410,371	35,040,000	36,447,732	64,077,361
9 Grandes	26,953,611	11,664,526	39,420,000	38,618,137	66,373,611
11 Grandes	28,136,819	18,196,091	48,180,000	46,332,911	76,316,819
14 Grandes	28,136,819	18,768,593	61,320,000	46,905,413	89,456,819
4Peq. 5Grd.	26,449,597	3,089,963	33,580,000	29,539,560	60,029,597
3Peq. 6Grd.	24,311,347	5,131,201	35,040,000	29,442,548	59,351,347
2Peq. 7Grd.	24,931,917	7,738,845	36,500,000	32,670,762	61,431,917
1Peq. 8Grd.	27,391,889	9,750,795	37,960,000	37,142,684	65,351,889
1Peq. 9Grd.	27,501,778	14,447,417	42,340,000	41,949,194	69,841,778
2Peq. 8Grd.	26,444,028	12,657,348	40,880,000	39,101,376	67,324,028
3Peq. 7Grd.	23,660,917	10,384,107	39,420,000	34,045,024	63,080,917
4Peq. 6Grd.	21,476,667	7,819,309	37,960,000	29,295,976	59,436,667
5Peq. 5Grd.	19,011,625	4,981,526	36,500,000	23,993,151	55,511,625
2Peq. 9Grd.	27,177,264	17,347,137	45,260,000	44,524,401	72,437,264
3Peq. 9Grd.	28,396,792	19,473,341	48,180,000	47,870,133	76,576,792
4Peq. 9Grd.	27,176,722	21,118,620	51,100,000	48,295,342	78,276,722
5Peq. 9Grd.	28,710,903	23,540,327	54,020,000	52,251,230	82,730,903
6Peq. 9Grd.	27,653,389	26,441,188	56,940,000	54,094,577	84,593,389
7Peq. 9Grd.	26,861,500	27,447,746	59,860,000	54,309,246	86,721,500
19Peq. 2Grd.	4,004,917	22,820,984	64,240,000	26,825,900	68,244,917
20Peq. 1Grd.	1,560,153	18,003,147	62,780,000	19,563,300	64,340,153

Legenda:

A -	Custo de Atraso	D -	Custo de Atraso + Custo de Ociosidade
B -	Custo de Ociosidade da Frota	E -	Custo de Atraso + Custo de Afretamento
C -	Custo de Afretamento	Obs: Valores em US\$	

Tabela 6.8 - Dados sobre custo da frota para um tempo máximo para entrega de 4 Dias

FROTA	4 DIAS				
	A	B	C	D	E
5 Pequenas	589,828,750	54,841	14,600,000	589,883,591	604,428,750
6 Pequenas	382,730,472	73,744	17,520,000	382,804,216	400,250,472
7 Pequenas	283,650,333	95,318	20,440,000	283,745,651	304,090,333
8 Pequenas	213,314,444	134,764	23,360,000	213,449,209	236,674,444
9 Pequenas	183,177,431	171,671	26,280,000	183,349,101	209,457,431
10 Pequenas	161,005,972	232,984	29,200,000	161,238,956	190,205,972
11 Pequenas	142,425,417	334,250	32,120,000	142,759,667	174,545,417
12 Pequenas	119,121,972	421,107	35,040,000	119,543,079	154,161,972
13 Pequenas	98,759,556	563,892	37,960,000	99,323,448	136,719,556
14 Pequenas	76,020,375	661,084	40,880,000	76,681,459	116,900,375
15 Pequenas	48,339,694	803,218	43,800,000	49,142,912	92,139,694
16 Pequenas	8,035,278	1,446,814	46,720,000	9,482,091	54,755,278
17 Pequenas	574,472	2,946,558	49,640,000	3,521,030	50,214,472
18 Pequenas	80,556	5,462,475	52,560,000	5,543,030	52,640,556
19 Pequenas	23,681	8,301,947	55,480,000	8,325,627	55,503,681
20 Pequenas	0	10,965,813	58,400,000	10,965,813	58,400,000
21 Pequenas	556	13,841,587	61,320,000	13,842,142	61,320,556
22 Pequenas	0	16,864,223	64,240,000	16,864,223	64,240,000
25 Pequenas	0	24,712,028	73,000,000	24,712,028	73,000,000
5 Grandes	669,699,500	283,850	21,900,000	669,983,350	691,599,500
6 Grandes	38,903,847	566,191	26,280,000	39,470,038	65,183,847
7 Grandes	1,448,278	3,201,542	30,660,000	4,649,819	32,108,278
8 Grandes	286,181	7,410,371	35,040,000	7,696,551	35,326,181
9 Grandes	194,417	11,664,526	39,420,000	11,858,942	39,614,417
11 Grandes	198,236	18,196,091	48,180,000	18,394,327	48,378,236
14 Grandes	198,236	18,768,593	61,320,000	18,966,829	61,518,236
3Peq. 5Grd.	8,066,986	1,417,622	30,660,000	9,484,608	38,726,986
4Peq. 5Grd.	1,287,750	3,089,963	33,580,000	4,377,713	34,867,750
3Peq. 6Grd.	353,083	5,131,201	35,040,000	5,484,284	35,393,083
2Peq. 7Grd.	203,639	7,738,845	36,500,000	7,942,484	36,703,639
1Peq. 8Grd.	199,111	9,750,795	37,960,000	9,949,906	38,159,111
1Peq. 9Grd.	235,736	14,447,417	42,340,000	14,683,153	42,575,736
2Peq. 8Grd.	179,667	12,657,348	40,880,000	12,837,015	41,059,667
3Peq. 7Grd.	205,347	10,384,107	39,420,000	10,589,455	39,625,347
4Peq. 6Grd.	224,000	7,819,309	37,960,000	8,043,309	38,184,000
5Peq. 5Grd.	462,181	4,981,526	36,500,000	5,443,706	36,962,181
2Peq. 9Grd.	131,167	17,347,137	45,260,000	17,478,303	45,391,167
3Peq. 9Grd.	142,944	19,473,341	48,180,000	19,616,285	48,322,944
4Peq. 9Grd.	141,986	21,118,620	51,100,000	21,260,606	51,241,986
5Peq. 9Grd.	200,722	23,540,327	54,020,000	23,741,050	54,220,722
6Peq. 9Grd.	183,194	26,441,188	56,940,000	26,624,383	57,123,194
19Peq. 2Grd.	34,139	22,820,984	64,240,000	22,855,123	64,274,139
20Peq. 1Grd.	4,597	18,003,147	62,780,000	18,007,745	62,784,597

Legenda:

A -	Custo de Atraso	D -	Custo de Atraso + Custo de Ociosidade
B -	Custo de Ociosidade da Frota	E -	Custo de Atraso + Custo de Afretamento
C -	Custo de Afretamento	Obs: Valores em US\$	

Conclui-se da figura 6.6 e das tabelas 6.3 a 6.8 que:

- Dependendo do tempo máximo para entrega considerado, os custos totais são afetados, de maneira mais contundente, pelas frotas compostas por embarcações de grande porte. Isto se deve ao fato destas embarcações poderem atender um grande número de unidades marítimas por viagem, tornando o tempo de viagem redonda, portanto, maior. Assim, quando o tempo de viagem redonda fica superior ao tempo máximo de entrega dos pedidos de suprimento nas unidades marítimas, os custos por atraso aumentam muito.
- Para tempos máximos de entrega menores de 3 dias (tabelas 6.4, 6.5, 6.6), as frotas compostas apenas de embarcações de pequeno porte levam à custos totais menores do que as frotas compostas de embarcações de grande porte ou mistas. Como os tempos de viagens redondas das embarcações de pequeno porte são bastante menores do que os tempos de viagem redonda das embarcações de grande porte, os custos por atraso para estas configurações são bem menores também. Já que os custos com afretamento de embarcações de pequeno porte são inferiores aos de grande porte, os custos totais são favoráveis às frotas compostas por embarcações de pequeno porte.
- Para o tempo máximo para entrega de 3 dias (tabela 6.7), começa a se notar uma tendência favorável à utilização de embarcações de grande porte, principalmente associada à de pequeno porte. Embora os custos por atraso favoreçam a frota composta por embarcações de pequeno porte, seus custos de afretamento são bastante superiores aos da frota mista, fazendo com que os custos totais praticamente se igualem, com pequena vantagem para esta última.
- Para os tempos máximos de entrega de 3.5 e 4.0 dias (tabelas 6.3.b e 6.8 respectivamente), o tempo de viagem redonda para as embarcações de grande porte caem abaixo dos prazos máximos de atendimento e, com isto, tornam-se atraentes as composições de frota que levam em consideração estes tipos de embarcação.
- Para o tempo máximo para entrega de 1,5 dias (tabela 6.4), o ponto de dimensionamento para frotas compostas de embarcações de pequeno porte

indica 21 embarcações, com um custo total de US\$ 214,708,583.00. Para frotas com embarcações de grande porte, o ponto de dimensionamento indica 9 embarcações, com um custo total de US\$ 597,797,125.00. Para frotas compostas pelos dois tipos de embarcações, o ponto de dimensionamento se dá com 20 embarcações de pequeno e 1 de grande porte, com um custo total de US\$ 243,538,639.00. A troca de embarcações de pequeno porte por embarcações de grande porte não é vantajosa sob nenhum aspecto, como pode ser visto acima, onde a simples troca de uma embarcação de pequeno porte por uma de grande porte elevou o custo total em mais de US\$ 28,000,000.00. Quando se trata de frota composta de embarcações de grande porte, os custos totais aumentam para quase o triplo. Fica evidente que a frota ideal, para este tempo máximo para entrega, é a composta por 21 embarcações de pequeno porte.

- Para o tempo máximo para entrega de 2,0 dias (tabela 6.5), os pontos de dimensionamento se mantêm para as três modalidades de frota. Contudo, como era de se esperar, os custos totais caem bastante, conduzidos diretamente pelos custos de atraso, visto que os custos de afretamento se mantêm. A frota ideal continuaria sendo composta por 21 embarcações de pequeno porte, com um custo total de US\$ 102,539,333.00, menos da metade do custo para o tempo máximo para entrega de 1,5 dias.
- Já para o tempo máximo para entrega de 2,5 dias (tabela 6.6) começam a ocorrer mudanças nas composições de frota ótima. Para frota compostas de embarcações de pequeno porte, o ponto de dimensionamento aponta para uma frota composta de 20 embarcações, com um custo total de US\$ 65,328,153.00. Para frotas compostas de embarcações de grande porte, o ponto de dimensionamento se mantêm em 9 embarcações, porém com um custo total de US\$ 150,852,972.00. Para frotas mistas, o ponto de dimensionamento também é o mesmo, com 20 embarcações de pequeno porte e 1 embarcação de grande porte, com um custo total de US\$ 73,265,417.00. A frota ideal é, para este tempo máximo para entrega, composta de 20 embarcações de pequeno porte. Embora estes cenários favoreçam as frotas compostas de embarcações de pequeno porte, verifica-se um decréscimo do custo total mais acentuado para as frotas que contemplam embarcações de grande porte em suas composições.

- Para o tempo máximo para entrega de 3 dias (tabela 6.7), o ponto de dimensionamento para frotas compostas de embarcações de pequeno porte indica 18 embarcações, com um custo total de US\$ 55,725,750.00. Para frotas compostas de embarcações de grande porte, o ponto de dimensionamento aponta uma frota de 8 embarcações, com um custo total de US\$ 64,077,361.00. Para as frotas mistas, o ponto de dimensionamento indica 5 embarcações de pequeno porte e 5 embarcações de grande porte, com um custo total de US\$ 55,511,625.00. A afirmativa do parágrafo anterior se confirma e as embarcações de grande porte começam a levar grande vantagem sobre as de pequeno porte. Tanto que os custos totais para frotas compostas de embarcações de pequeno porte começam a se estabilizar e os custos das frotas compostas de embarcações de grande porte ainda caem bastante para este tempo máximo para entrega.
- Para o tempo máximo para entrega de 3,5 dias (tabela 6.3.b), houve uma diminuição no número de embarcações requeridas para frotas compostas de embarcações de pequeno porte e mistas. Assim, para a frota composta de embarcações de pequeno porte, 17 embarcações seriam necessárias no ponto de dimensionamento, com um custo total de US\$ 52,326,861.00. Uma frota de 8 embarcações de grande porte seria o ponto de dimensionamento para a frota composta somente de embarcações deste porte, com um custo total de US\$ 39,078,694.00. Para o caso da frota mista, no ponto de dimensionamento, teríamos uma frota composta por 3 embarcações de pequeno porte e 6 embarcações de grande porte, com custo total de US\$ 38,812,750.00. É interessante observar como o perfil da frota ideal muda, para este tempo máximo para entrega, favorecendo as embarcações de maior porte.
- Para o tempo máximo para entrega de 4 dias (tabela 6.8), o ponto de dimensionamento para a frota composta de embarcações de pequeno porte não muda, embora o custo total caia a US\$ 50,214,472.00. Já para a frota composta de embarcações de grande porte, o ponto de dimensionamento aponta uma frota de 7 embarcações e um custo total de US\$ 32,108,278.00. Para a frota mista, o ponto de dimensionamento também muda para uma frota de 4 embarcações de pequeno porte e 5 embarcações de grande porte, com um custo total de US\$ 34,867,750.00. Neste nível, as embarcações de grande

porte levam grande vantagem sobre as de pequeno porte e mesmo com custos de afretamento superiores, reduzem muito os custos totais devido a redução substancial promovida pelos custos de atraso. A partir deste tempo máximo para entrega, os custos totais começam a se estabilizar. Para que se continue a diminuir estes custos, é necessário alterar outros parâmetros do sistema, tais como velocidades, capacidades e taxas de transferências das embarcações, número de piers e taxas de transbordo do terminal, entre outros.

Em resumo, fica evidente como o tempo máximo para entrega acordado entre os responsáveis pela operação das unidades marítimas e pelo transporte marítimo altera, sobremaneira, os custos destas operações. Pela simples mudança do tempo máximo para entrega, aumentando-se em 2 dias a expectativa de entrega dos suprimentos nas unidades marítimas, os custos totais anuais caem em mais de US\$ 175,000,000.00, com mudanças significativas na composição da frota ideal. Destes, US\$ 149,615,000.00 se referem aos custos com atrasos, isto é, custos decorrentes das paradas das unidades marítimas por falta de suprimentos, alocados à operação. Os outros US\$ 26,280.000,00 se referem à mudança da composição da frota, alocados à área de transporte.

A magnitude dos valores acima corroboram para que os tempos máximos de entrega maiores sejam adotados, fazendo com que os responsáveis pela operação das unidades marítimas se empenhem para programar as solicitações de suprimento com maior antecedência.

Nas seções seguintes são feitas análises de sensibilidade dos resultados do modelo em relação a vários parâmetros. A base de comparação é o Cenário Básico cujos dados foram mostrados nas seções 6.1 e 6.2 e os resultados para algumas frotas de embarcações cujos resultados operacionais e de custos são mostrados em parte das tabelas 6.3.a e 6.3.b, considerando um tempo máximo para entrega de 3.5 dias.

6.4 – Análise de sensibilidade da velocidade média das embarcações

Para o caso da velocidade média das embarcações, o estudo de sensibilidade levou em consideração 2 níveis de velocidade: 9 e 10 nós. As

tabelas 6.9 e 6.10 mostram os principais resultados operacionais e a tabela 6.11 mostra a comparação dos dois tipos de composição da frota nos respectivos pontos de dimensionamento as velocidades consideradas acima.

Tabela 6.11 – Resultados comparativos da análise de sensibilidade do parâmetro velocidade

Frota	Custo Total (US\$)		Redução (US\$)	Redução %	Nº Embarcações	
	9 Nós	10 Nós			9 Nós	10 Nós
Pequeno	52,326,861	48,920,361	3,406,500	6.51	17	16
Grande	39,078,694	34,430,389	4,648,305	11.89	8	7

Pela 6.11 acima nota-se que, para o tempo máximo para entrega de 3.5 dias, a frota ideal continua sendo composta de embarcações de grande porte, com redução no número de embarcações empregadas.

É importante ressaltar que as taxas de afretamento para as embarcações permaneceram as mesmas. Isto nem sempre é verdade, isto é, embarcações mais velozes possuem, geralmente, taxas de afretamento maiores. Mas pela tabela acima verifica-se que, no caso de embarcações de grande porte, seria factível tolerar um aumento na taxa de afretamento equivalente ao percentual de redução sem comprometimento no custo total.

6.5 – Análise de sensibilidade das taxas de transbordo das cargas das embarcações, das unidades marítimas e do terminal

Para o caso das taxas de transbordo, foi considerado um aumento de 10% em relação aos valores estabelecidos no Cenário Básico para as taxas pertinentes às embarcações, unidades marítimas e terminal.

As tabelas 6.12 e 6.13 mostram os resultados da operação das frotas com a taxa de transbordo do Cenário Básico e com 10% superiores.

Tabela 6.9- Dados operacionais das frotas com velocidade de 9 nós a um tempo máximo para entrega de 3.5 Dias

FROTA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
6 Grandes	8362	89	0	89	762	0	762	7.0E+08	6.3E+08	9.2E+07	8.7E+07	9.0E+07	8.4E+07	4031	0	4031	37.5	0.0	37.5	11.0	0.0	11.0	70.2	35.9	11.4
7 Grandes	8316	426	0	426	902	0	902	6.8E+08	6.7E+08	9.2E+07	9.2E+07	9.0E+07	8.9E+07	3629	0	3629	31.1	0.0	31.1	9.2	0.0	9.2	57.9	30.3	9.6
8 Grandes	8278	968	0	968	919	0	919	6.9E+08	6.9E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.6E+07	3580	0	3580	30.7	0.0	30.7	9.0	0.0	9.0	57.6	29.1	9.1
13 pequenas	12003	28	28	0	3687	3687	0	7.0E+08	5.4E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.7E+07	8.7E+07	1822	1822	0	39.6	39.6	0.0	3.3	3.3	0.0	99.8	27.5	11.8
14 pequenas	12485	29	29	0	4036	4036	0	7.0E+08	5.9E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.9E+07	8.8E+07	1790	1790	0	38.7	38.7	0.0	3.1	3.1	0.0	99.7	24.8	10.9
15 pequenas	13049	33	33	0	4371	4371	0	7.0E+08	6.4E+08	9.2E+07	9.1E+07	8.7E+07	8.7E+07	1768	1768	0	38.1	38.1	0.0	3.0	3.0	0.0	99.6	23.4	10.0
16 pequenas	13618	56	56	0	4620	4620	0	6.9E+08	6.7E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	1761	1761	0	37.2	37.2	0.0	3.0	3.0	0.0	98.1	22.1	9.5

Tabela 6.10- Dados operacionais das frotas com velocidade de 10 nós a um tempo máximo para entrega de 3.5 Dias

FROTA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
6 Grandes	8299	129	0	129	823	0	823	6.9E+08	6.5E+08	9.1E+07	8.8E+07	8.8E+07	8.6E+07	3687	0	3687	34.5	0.0	34.5	10.1	0.0	10.1	64.6	32.7	10.4
7 Grandes	8257	563	0	563	913	0	913	6.9E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.8E+07	3446	0	3446	31.1	0.0	31.1	9.1	0.0	9.1	58.3	29.5	9.3
8 Grandes	8302	1096	0	1096	923	0	923	7.0E+08	6.9E+08	9.0E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.6E+07	3423	0	3423	30.7	0.0	30.7	9.0	0.0	9.0	57.8	29.0	9.0
13 pequenas	12458	32	32	0	4005	4005	0	7.0E+08	5.8E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.8E+07	1671	1671	0	38.8	38.8	0.0	3.1	3.1	0.0	99.7	25.1	11.0
14 pequenas	13118	35	35	0	4359	4359	0	6.9E+08	6.4E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.9E+07	8.8E+07	1650	1650	0	38.1	38.1	0.0	3.0	3.0	0.0	99.5	23.2	10.2
15 pequenas	13704	48	48	0	4667	4667	0	7.0E+08	6.8E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.8E+07	1639	1639	0	37.3	37.3	0.0	2.9	2.9	0.0	98.6	21.8	9.4
16 pequenas	13898	114	114	0	4832	4832	0	7.0E+08	6.9E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	1624	1624	0	36.2	36.2	0.0	2.9	2.9	0.0	96.0	21.2	9.1

98 LEGENDA:

A	Número de pedidos formulados pelas U.M. e particionados pelo modelo	N	Tempo médio de Viagem redonda de todas as embarcações (minutos)
B	Tempo médio de todas as embarcações a espera de nova missão (minutos)	O	Tempo médio de Viagem redonda das embarcações menores (minutos)
C	Tempo médio das embarcações menores a espera de nova missão (minutos)	P	Tempo médio de Viagem redonda das embarcações menores (minutos)
D	Tempo médio das embarcações maiores a espera de nova missão (minutos)	Q	Ocupação média de todas as embarcações
E	Número total de embarcações que foram ao porto	R	Ocupação média das as embarcações menores
F	Número de embarcações menores que foram ao porto	S	Ocupação média das as embarcações maiores
G	Número de embarcações maiores que foram ao porto	T	Número médio de plataformas atendidas por viagem para todas as embarcações
H	Total de água pedido pelas U.M. (kg)	U	Número médio de plataformas atendidas por viagem para as embarcações menores
I	Total de água recebido pelas U.M. (kg)	V	Número médio de plataformas atendidas por viagem para as embarcações maiores
J	Total de convés pedido pelas U.M. (kg)	W	Ocupação média de água p/ frota
K	Total de convés recebido pelas U.M. (kg)	X	Ocupação média de convés p/ frota
L	Total de diesel pedido pelas U.M. (kg)	Y	Ocupação média de diesel p/ frota
M	Total de diesel recebido pelas U.M. (kg)		

Tabela 6.12- Dados operacionais das frotas com a taxa de transbordo do cenário básico a um tempo máximo para entrega de 3.5 Dias

FROTA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
6 Grandes	8362	89	0	89	762	0	762	7.0E+08	6.3E+08	9.2E+07	8.7E+07	9.0E+07	8.4E+07	4031	0	4031	37.5	0.0	37.5	11.0	0.0	11.0	70.2	35.9	11.4
7 Grandes	8316	426	0	426	902	0	902	6.8E+08	6.7E+08	9.2E+07	9.2E+07	9.0E+07	8.9E+07	3629	0	3629	31.1	0.0	31.1	9.2	0.0	9.2	57.9	30.3	9.6
8 Grandes	8278	968	0	968	919	0	919	6.9E+08	6.9E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.6E+07	3580	0	3580	30.7	0.0	30.7	9.0	0.0	9.0	57.6	29.1	9.1
16 pequenas	13618	56	56	0	4620	4620	0	6.9E+08	6.7E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	1761	1761	0	37.2	37.2	0.0	3.0	3.0	0.0	98.1	22.1	9.5
17 pequenas	13848	111	111	0	4796	4796	0	6.9E+08	6.9E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	1748	1748	0	36.3	36.3	0.0	2.9	2.9	0.0	95.9	21.4	9.1

Tabela 6.13- Dados operacionais das frotas com a taxa de transbordo 10 % superior ao do cenário básico a um tempo máximo para entrega de 3.5 Dias

FROTA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
6 Grandes	8282	112	0	112	825	0	825	6.9E+08	6.5E+08	9.2E+07	8.9E+07	9.0E+07	8.7E+07	3694	0	3694	34.4	0.0	34.4	10.1	0.0	10.1	64.4	32.9	10.5
7 Grandes	8307	525	0	525	913	0	913	6.9E+08	6.8E+08	9.2E+07	9.1E+07	8.8E+07	8.7E+07	3483	0	3483	31.0	0.0	31.0	9.1	0.0	9.1	58.0	29.8	9.3
8 Grandes	8258	1089	0	1089	923	0	923	6.9E+08	6.9E+08	9.0E+07	9.0E+07	8.9E+07	8.8E+07	3440	0	3440	30.6	0.0	30.6	9.0	0.0	9.0	57.3	29.0	9.3
16 pequenas	13754	60	60	0	4691	4691	0	6.9E+08	6.8E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.8E+07	1730	1730	0	36.8	36.8	0.0	2.9	2.9	0.0	97.4	21.6	9.4
17 pequenas	13826	130	130	0	4829	4829	0	7.0E+08	6.9E+08	9.2E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.7E+07	1717	1717	0	36.0	36.0	0.0	2.9	2.9	0.0	95.4	21.1	9.0

LEGENDA:

A	Número de pedidos formulados pelas U.M. e particionados pelo modelo	N	Tempo médio de Viagem redonda de todas as embarcações (minutos)
B	Tempo médio de todas as embarcações a espera de nova missão(minutos)	O	Tempo médio de Viagem redonda das embarcações menores (minutos)
C	Tempo médio das embarcações menores a espera de nova missão(minutos)	P	Tempo médio de Viagem redonda das embarcações menores (minutos)
D	Tempo médio das embarcações maiores a espera de nova missão(minutos)	Q	Ocupação média de todas as embarcações
E	Número total de embarcações que foram ao porto	R	Ocupação média das as embarcações menores
F	Número de embarcações menores que foram ao porto	S	Ocupação média das as embarcações maiores
G	Número de embarcações maiores que foram ao porto	T	Número médio de plataformas atendidas por viagem para todas as embarcações
H	Total de água pedido pelas U.M. (kg)	U	Número médio de plataformas atendidas por viagem para as embarcações menores
I	Total de água recebido pelas U.M. (kg)	V	Número médio de plataformas atendidas por viagem para as embarcações maiores
J	Total de convés pedido pelas U.M. (kg)	W	Ocupação média de água p/ frota
K	Total de convés recebido pelas U.M. (kg)	X	Ocupação média de convés p/ frota
L	Total de diesel pedido pelas U.M. (kg)	Y	Ocupação média de diesel p/ frota
M	Total de diesel recebido pelas U.M. (kg)		

A tabela 6.14 mostra os principais resultados obtidos com a alteração da taxa de transbordo.

Tabela 6.14 - Resultados da análise de sensibilidade em relação à taxa de transbordo

Frota	Custo Total (US\$)		Redução	Redução	Nº Embarcações	
	1	2	(US\$)	%	1	2
Pequeno	52,326,861	50,771,028	1,555,833	2.97	17	17
Grande	39,078,694	33,928,625	5,150,069	13.18	8	7

Legenda: 1 - Taxas de transbordo definidas no Cenário Básico

2 - Taxas de transbordo acrescidas de 10%

Pela tabela 6.14 nota-se que a frota ideal continua sendo composta por embarcações de grande porte. Na frota de pequeno porte não ocorreu redução no número de embarcações empregadas em seu respectivo ponto de dimensionamento. As taxas de afretamento permaneceram as mesmas que, para este caso, é bastante razoável.

É interessante observar que, pelos resultados obtidos das duas análises de sensibilidade (velocidade mostrada na seção 6.4 e a taxa de transbordo nesta seção 6.5), o sistema é mais "sensível" ao aumento nas taxas de transbordo. Uma análise mais profunda poderia indicar em quanto tempo se retornaria investimentos no redimensionamento, tanto no terminal quanto nas unidades marítimas, dos equipamentos destinados ao transbordo de cargas.

É importante observar que, para o caso da frota composta apenas por embarcações de pequeno porte, o sistema é mais sensível ao aumento de velocidade. Como o número de unidades marítimas atendidas por viagem é pequeno para este arranjo, um maior número de viagens é necessário para atender a demanda e isto favorece um sistema com embarcações mais velozes em relação àquelas com maiores taxas de transbordo.

6.6 – Análise de sensibilidade das condições de mar para operação junto às unidades marítimas

No caso da análise de sensibilidade para a probabilidade de espera por condições adequadas para atracação nas unidades marítimas ("condições de

mar”), tempo médio de espera para atracação e tempo médio de atracação nas unidades marítimas, foram considerados os valores de acordo com a tabela 6.15.

Tabela 6.15 – Parâmetros para a análise de sensibilidade para a probabilidade de espera, tempo médio de espera e tempo médio de atracação

Embarcações	Probabilidade de Espera	Tempo Médio de Espera	Tempo Médio de Atracação
Pequeno Porte	0.3	300	90
Grande Porte	0.1	150	74

Obs: Os valores para os tempos médios estão expressos em minutos.

No cenário básico as probabilidades de espera foram consideradas zero.

A tabela 6.15 mostra que, para as embarcações de pequeno porte, existe uma probabilidade de 30% deste tipo de embarcação encontrar condições onde não possa operar junto as unidades marítimas. Nesta condição, sorteia-se um tempo de uma distribuição normal com média 300 minutos e desvio padrão de 20% desta média, que simula o tempo de espera por condições adequadas para operar. O tempo de atracação é sorteado de uma distribuição normal com média 90 minutos e desvio padrão de 20% desta média. As tabelas 6.16 e 6.17 mostram os resultados operacionais das frotas com e sem probabilidade de espera para atracarem.

A tabela 6.18 mostra os valores para os principais parâmetros de comparação. Os valores constantes das colunas 1 e 2 se referem, respectivamente, aos custos totais levando-se em conta os parâmetros do Cenário Básico e os da tabela 6.15.

Tabela 6.18 – Resultados da análise de sensibilidade com relação à probabilidade de espera, tempos médios de espera e tempos médios para atracação

Frota Porte	Custo Total (US\$)		Aumento	Aumento	Nº Embarcações	
	1	2	(US\$)	%	1	2
Pequeno	52,326,861	65,160,875	12,834,014	24.53	17	21
Grande	39,078,694	42,434,972	3,356,278	8.59	8	8

Tabela 6.16 - Dados operacionais das frotas sem probabilidade de espera para o tempo máximo para entrega de 3.5 dias.

FROTA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
16 pequenas	13618	56	56	0	4620	4620	0	6.9E+08	6.7E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	1761	1761	0	37.2	37.2	0.0	3.0	3.0	0.0	98.1	22.1	9.5
17 pequenas	13848	111	111	0	4796	4796	0	6.9E+08	6.9E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	1748	1748	0	36.3	36.3	0.0	2.9	2.9	0.0	95.9	21.4	9.1
18 pequenas	13835	202	202	0	4872	4872	0	7.0E+08	6.9E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.7E+07	1737	1737	0	35.7	35.7	0.0	2.8	2.8	0.0	94.8	20.9	8.9
19 pequenas	13812	306	306	0	4878	4878	0	6.9E+08	6.8E+08	9.2E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.7E+07	1737	1737	0	35.5	35.5	0.0	2.8	2.8	0.0	93.8	21.0	9.0
20 pequenas	13841	402	402	0	4913	4913	0	6.9E+08	6.9E+08	9.2E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.7E+07	1731	1731	0	35.3	35.3	0.0	2.8	2.8	0.0	93.4	20.7	8.9
21 pequenas	13804	506	506	0	4920	4920	0	6.9E+08	6.9E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.8E+07	1732	1732	0	35.3	35.3	0.0	2.8	2.8	0.0	93.3	20.6	8.9
22 pequenas	13799	619	619	0	4903	4903	0	6.9E+08	6.8E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.8E+07	1731	1731	0	35.2	35.2	0.0	2.8	2.8	0.0	93.0	20.6	9.0
7 Grandes	8316	426	0	426	902	0	902	6.8E+08	6.7E+08	9.2E+07	9.2E+07	9.0E+07	8.9E+07	3629	0	3629	31.1	0.0	31.1	9.2	0.0	9.2	57.9	30.3	9.6
8 Grandes	8278	968	0	968	919	0	919	6.9E+08	6.9E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.6E+07	3580	0	3580	30.7	0.0	30.7	9.0	0.0	9.0	57.6	29.1	9.1
9 Grandes	8231	1525	0	1525	918	0	918	6.9E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.7E+07	8.6E+07	3580	0	3580	30.8	0.0	30.8	9.0	0.0	9.0	57.8	29.3	9.1

Tabela 6.17 - Dados operacionais das frotas com probabilidade de espera para o tempo máximo para entrega de 3.5 dias.

FROTA	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
16 pequenas	12282	31	31	0	3883	3883	0	6.9E+08	5.7E+08	9.1E+07	8.9E+07	9.0E+07	8.9E+07	2129	2129	0	39.2	39.2	0.0	3.2	3.2	0.0	99.7	26.0	11.5
17 pequenas	12697	35	35	0	4186	4186	0	6.9E+08	6.1E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.6E+07	8.6E+07	2094	2094	0	38.3	38.3	0.0	3.0	3.0	0.0	99.6	24.1	10.3
18 pequenas	13338	41	41	0	4446	4446	0	6.9E+08	6.5E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	2082	2082	0	37.8	37.8	0.0	3.0	3.0	0.0	99.4	22.8	9.8
19 pequenas	13663	78	78	0	4652	4652	0	6.8E+08	6.7E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.8E+07	2064	2064	0	36.9	36.9	0.0	2.9	2.9	0.0	97.2	21.7	9.5
20 pequenas	13750	145	145	0	4789	4789	0	6.9E+08	6.8E+08	9.1E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.7E+07	2045	2045	0	36.0	36.0	0.0	2.9	2.9	0.0	95.4	21.1	9.1
21 pequenas	13878	215	215	0	4908	4908	0	7.0E+08	6.9E+08	9.2E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.7E+07	2028	2028	0	35.7	35.7	0.0	2.8	2.8	0.0	94.6	20.8	8.9
22 pequenas	13903	301	301	0	4949	4949	0	7.0E+08	7.0E+08	9.2E+07	9.0E+07	8.7E+07	8.7E+07	2028	2028	0	35.4	35.4	0.0	2.8	2.8	0.0	94.1	20.7	8.8
7 Grandes	8269	310	0	310	892	0	892	7.0E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	3795	0	3795	32.0	0.0	32.0	9.3	0.0	9.3	60.2	30.1	9.5
8 Grandes	8244	823	0	823	919	0	919	7.0E+08	7.0E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.8E+07	8.8E+07	3725	0	3725	31.1	0.0	31.1	9.0	0.0	9.0	58.5	29.0	9.2
9 Grandes	8324	1364	0	1364	922	0	922	7.0E+08	6.9E+08	9.1E+07	9.1E+07	8.7E+07	8.7E+07	3727	0	3727	30.8	0.0	30.8	9.1	0.0	9.1	57.8	29.4	9.1

LEGENDA:

A	Número de pedidos formulados pelas U.M. e particionados pelo modelo	N	Tempo médio de Viagem redonda de todas as embarcações (minutos)
B	Tempo médio de todas as embarcações a espera de nova missão (minutos)	O	Tempo médio de Viagem redonda das embarcações menores (minutos)
C	Tempo médio das embarcações menores a espera de nova missão (minutos)	P	Tempo médio de Viagem redonda das embarcações menores (minutos)
D	Tempo médio das embarcações maiores a espera de nova missão (minutos)	Q	Ocupação média de todas as embarcações
E	Número total de embarcações que foram ao porto	R	Ocupação média das as embarcações menores
F	Número de embarcações menores que foram ao porto	S	Ocupação média das as embarcações maiores
G	Número de embarcações maiores que foram ao porto	T	Número médio de plataformas atendidas por viagem para todas as embarcações
H	Total de água pedido pelas U.M. (kg)	U	Número médio de plataformas atendidas por viagem para as embarcações menores
I	Total de água recebido pelas U.M. (kg)	V	Número médio de plataformas atendidas por viagem para as embarcações maiores
J	Total de convés pedido pelas U.M. (kg)	W	Ocupação média de água p/ frota
K	Total de convés recebido pelas U.M. (kg)	X	Ocupação média de convés p/ frota
L	Total de diesel pedido pelas U.M. (kg)	Y	Ocupação média de diesel p/ frota
M	Total de diesel recebido pelas U.M. (kg)		

Analisando a tabela 6.18 verifica-se que a frota ideal continua sendo composta por embarcações de grande porte que, para este estudo, o aumento na probabilidade de esperar condições adequadas e o tempo médio de espera para atracação junto às unidades marítimas não influenciou o número de embarcações empregadas. O sistema se mostrou mais sensível à operação com embarcações de pequeno porte devido, basicamente, aos valores mais desfavoráveis assumidos pelas três variáveis envolvidas na análise para este tipo de embarcação. Isto é bastante razoável uma vez que, na imensa maioria das vezes o que se verifica, na prática, é uma melhor "performance" das embarcações de grande porte operando junto às unidades marítimas.

As análises de sensibilidade realizadas nestas seções são de suma importância para o dimensionamento da frota no que tange a comparação entre embarcações de diferentes tipos. Assim, pode-se testar como o sistema se comportaria para diferentes configurações de frota e qual o impacto destas modificações nos custos totais da atividade de transporte de suprimentos.

6.7 – Análise de sensibilidade do modelo sem roteirização

Esta seção visa a comparação entre o modelo dotado com e sem a rotina de roteirização.

O tempo máximo para entrega foi fixado em 3.5 dias e, para a comparação, foram rodados os modelos no ponto de dimensionamento para este tempo máximo para entrega, isto é, uma frota composta de 8 embarcações de grande porte.

A tabela 6.20 mostra a comparação dos principais parâmetros de custo.

Tabela 6.20 – Análise de sensibilidade dos modelos com e sem a rotina de roteirização.

Modelo	Custo de Atraso	Custo da Ociosidade	Custo Total
Sem Rotinas	56,802,417	1,957,077	91,842,417
Com Rotinas	4,038,694	7,410,371	39,078,694

Obs: - Valores expressos em US\$

- Custo Total equivale ao somatório do Custo de Atraso e Custo de Afretamento

Pela tabela 6.20 nota-se a enorme redução no custo total alcançado pelo modelo dotado das rotinas de escolha da embarcação e roteirização. Quando se analisa a tabela 6.19 observa-se que o número médio de unidades marítimas atendidas fica em torno de nove. Assim, para este número elevado, o fato de se criar um roteiro mais racional torna o tempo médio de atendimento muito menor. Isto pode ser observado pelo tempo médio de viagem redonda, francamente favorável ao modelo dotado da rotina. Outro ponto interessante a ser observado é o tempo médio de embarcações em fila no terminal (coluna B da tabela 6.19), muitíssimo maior no caso do modelo com a rotina de roteirização, que é reflexo direto do tempo de viagem redonda ser menor para este modelo.

Cabe ressaltar que a rotina de escolha da embarcação mais apropriada para ser alocada a uma nova viagem, descrita na seção 5.4, nos teste realizados não apresentou uma melhora significativa com relação a escolha pelo critério FIFO (First in, First out) das embarcações disponíveis em fila no terminal no momento da alocação das cargas.

Tabela 6.19 - Estudo de sensibilidade com e sem a utilização da rotina de roteirização para o tempo máximo para entrega de 3.5 dias

Frota: 8 Grandes	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
sem roteirizador	8261	268	0	268	877	0	877	7.0E+08	6.9E+08	9.0E+07	9.0E+07	8.8E+07	8.7E+07	4499	0	4499	32.5	0.0	32.5	9.5	0.0	9.5	61.2	30.6	9.6
com roteirizador	8278	968	0	968	919	0	919	6.9E+08	6.9E+08	9.0E+07	8.9E+07	8.7E+07	8.6E+07	3580	0	3580	30.7	0.0	30.7	9.0	0.0	9.0	57.6	29.1	9.1

LEGENDA:

A	Número de pedidos formulados pelas U.M. e particionados pelo modelo	N	Tempo médio de Viagem redonda de todas as embarcações (minutos)
B	Tempo médio de todas as embarcações a espera de nova missão (minutos)	O	Tempo médio de Viagem redonda das embarcações menores (minutos)
C	Tempo médio das embarcações menores a espera de nova missão (minutos)	P	Tempo médio de Viagem redonda das embarcações menores (minutos)
D	Tempo médio das embarcações maiores a espera de nova missão (minutos)	Q	Ocupação média de todas as embarcações
E	Número total de embarcações que foram ao porto	R	Ocupação média das as embarcações menores
F	Número de embarcações menores que foram ao porto	S	Ocupação média das as embarcações maiores
G	Número de embarcações maiores que foram ao porto	T	Número médio de plataformas atendidas por viagem para todas as embarcações
H	Total de água pedido pelas U.M. (kg)	U	Número médio de plataformas atendidas por viagem para as embarcações menores
I	Total de água recebido pelas U.M. (kg)	V	Número médio de plataformas atendidas por viagem para as embarcações maiores
J	Total de convés pedido pelas U.M. (kg)	W	Ocupação média de água p/ frota
K	Total de convés recebido pelas U.M. (kg)	X	Ocupação média de convés p/ frota
L	Total de diesel pedido pelas U.M. (kg)	Y	Ocupação média de diesel p/ frota
M	Total de diesel recebido pelas U.M. (kg)		

7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa tratou da modelagem de um sistema de transportes marítimo de suprimentos para unidades “offshore”, utilizando para aplicação do modelo de simulação proposto, um conjunto de informações da operação da Petrobras na Bacia de Campos.

As atividades de suprimentos são realizadas por embarcações especiais denominadas de “Supply Vessel” ou “Platform Supply Vessel”, a depender da capacidade da embarcação, sendo que atualmente todas são afretadas pela empresa por um período determinado de tempo. O custo de afretamento é responsável por uma parcela significativa dos custos de transporte marítimo da Petrobras, o que justificou a realização deste trabalho, cujo objetivo principal foi obter um modelo que representasse o sistema real de transporte e possibilitasse o dimensionamento da frota necessária de embarcações.

Com a modelagem da formulação dos pedidos das unidades marítimas, divididos em cargas de água, convés, diesel e granel e da roteirização das embarcações para cumprirem uma sequência de entregas, da viagem e do atendimento das embarcações no terminal e junto às unidades marítimas, foi possível construir um modelo de simulação que representasse com boa precisão o sistema real de transporte de suprimentos para as unidades marítimas utilizado pela Petrobras.

A escolha de utilizar técnicas de simulação, entre as outras formas possíveis de modelagem e resolução, justifica-se pela inexistência de trabalhos que utilizaram simulação nesse tipo de sistema e pela necessidade de incorporar fatores aleatórios e detalhar mais determinados subsistemas que são específicos desse sistema de transporte.

O modelo de simulação, concebido segundo uma metodologia consagrada, é bastante complexo e consumiu muito tempo na sua verificação e validação, mas apresentou resultados muito bons ao caso da Petrobras, sendo uma ferramenta poderosa para dimensionar a frota de embarcações e testar cenários para diversos padrões de demanda.

A introdução de uma rotina de melhoria no roteiro estipulado pelo modelo para cada embarcação, foi um avanço no sentido de aliar as técnicas de simulação com outras ferramentas de pesquisa operacional.

Outra contribuição deste trabalho foi a introdução de um procedimento estatístico para o tratamento dos dados de entrada que incorpora, ao tradicional teste de aderência, um tratamento preliminar dos dados visando a eliminação de elementos ("outliers") que podem ter sido digitados ou coletados de forma errada ou não representam o comportamento padrão do sistema de transporte.

No entanto, algumas simplificações foram feitas e recomenda-se que sejam estudadas em desenvolvimentos de pesquisas futuras. São elas:

1. Introduzir uma rotina de roteirização mais abrangente, que considere todos os pontos de demanda, por exemplo, criando um roteiro gigante e roteirizando as atividades de cada embarcação de acordo com as restrições de capacidade das embarcações e tempo máximo de viagem (ou número máximo de pontos de demanda atendidos por viagem). Dessa forma, o conceito de zonas de proximidade, que devem ser fixadas inicialmente pelo usuário ao classificar a localização de cada unidade marítima, pode ser eliminado;
2. Efetuar mais testes com frotas de embarcações mistas utilizando outros critérios de escolha de embarcações que estão em fila junto ao terminal a espera de serem alocadas a uma nova viagem;
3. Introduzir um tratamento mais detalhado às janelas de tempo que podem existir com o pedido de cargas formulado pelas unidades marítimas, que no modelo proposto é tratado como um tempo máximo para entrega da carga, que se for superado, penaliza o sistema com um custo de atraso associado;
4. Expandir o alcance do modelo, incorporando as atividades logísticas em terra, compostas pelo processamento do pedido, localização das cargas (se estas estiverem disponíveis) e transporte destas até os piers, entre outras atividades, que podem contribuir para o atraso na entrega às unidades marítimas;
5. Devido ao fato da demanda de água a ser transportada pelas embarcações ser muito superior à demanda dos outros tipos de carga, parece razoável que se destine uma frota específica para atender esta demanda. Isto reduziria, em muito, o tamanho da frota que atenderia as demais cargas. Por isso seria

interessante testar cenários onde dimensiona-se uma frota de embarcações somente para o transporte de água;

6. Testar o modelo com um limite máximo de unidades marítimas que podem ser atendidas por viagem por cada um dos tipos de embarcações, pois os cenários que foram processados só limitam cada viagem em função da capacidade de cada tipo de carga e da capacidade total do veículo. Um número muito grande de unidades marítimas a serem visitadas pode impactar, tremendamente, no tempo total de atendimento e, conseqüentemente, no custo total de atraso do sistema.

8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABEAM (1989) - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS DE APOIO MARÍTIMO, A Navegação de Apoio Marítimo no Brasil - 1º Edição.
- ARENA (1996), User's Guide, Systems Modelling Corporation, USA.
- BOTTER, D.A.; PAULA, G.A.; LEITE, J.G.; CORDANI, L.K. (1996), Noções de Estatística com Apoio Computacional – Publicação do IME/USP.
- BOTTER, R.C.; BRINATI, M.A.; ROQUE, J.R.; GOUVÊA, M.T.; SOUZA, C.L.S.P., (1988), Dimensionamento de um Sistema Integrado de Transporte de Álcool e Óleo Diesel na Região de Influência da Hidrovia Tietê-Paraná, . XII Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, Rio de Janeiro, pag. 13 a 44 dos anais.
- BREJON, S. C.(1997) Algoritmo para Resolução do Problema de Dimensionamento e Programação do Transporte para Unidades Marítimas de Exploração de Petróleo, Material de Qualificação para Obtenção do Título de Mestre em Engenharia, PNV-EPUSP.
- BRINATI, M.A.; BOTTER, R.C.; ROQUE, J.R.; CONTI, M.B.; GOUVÊA, M.T.; CARNEIRO, P.R.B.; SOUZA, R.L. (1988), Dimensionamento de um Sistema de Transporte Marítimo de Passageiros para as Plataformas da Bacia de Campos, XII Congresso Nacional de Transportes Marítimos e Construção Naval, Rio de Janeiro, pag. 45 a 74 dos anais
- BRINATI, M.A.; MESQUITA, M.A.; BECKER, R. (1993), Dimensionamento e programação do transporte de suprimentos para unidades marítimas de exploração de petróleo. XIII Congresso Pan-Americano de Ingeniería Naval, Transporte Marítimo Y Ingeniería Portuária, Caracas.
- BRINATI, M.A. (1995), Logística e Estratégia do Transporte Marítimo "Offshore", Apostila de curso de especialização ministrado na Petrobras.
- BUSSAB, W.O. (1988), Análise de Variância e de Regressão - Atual Editora.
- DESROCHERS, M.; LENSTRA, J. K.; SAVELSBERG, M. W. P.; SOUMIS, F. (1988). Vehicle Routing with Time Window: Optimization and Approximation. In GOLDEN, B.; ASSAD, A.(1988), Vehicle Routing : Methods and Studies. North Holland, Amsterdam, pg. 65-84.

- FAYAD, C.R. (1996), Apoio Marítimo - Classificação das Embarcações por Tipo e Funções Principais – Documento Interno da Petrobras - 2º Revisão.
- GOLDEN, B.; ASSAD, A. (1988), Vehicle Routing : Methods and Studies. North Holland, Amsterdam.
- GOUVEA, M.T. (1992), Algoritmos para a Resolução de um Problema Geral de Roteamento de Múltiplos Veículos – Dissertação de Mestrado, PNV/EPUSP.
- IGREJA, H.J.S. (1997), Aplicação de Cartas de Controle no Sistema de Transporte Marítimo de Suprimentos Offshore – Dissertação de Mestrado, PNV/EPUSP, 1997.
- LARSON, R.C.; MINKOFF, A.; GREGORY, P. (1988), Fleet Sizing and Dispatching for the Marine Division of the New York City Department of Sanitation - European Journal of Operational Research, in: B.L. GOLDEN and A.A. ASSAD (eds), Vehicle Routing: Methods and Studies - North-Holland, Amsterdam, 395-423.
- MAROUM, P. (1992), Modelos de Pesquisa Operacional e Sistemas Logísticos de Otimização de Recursos do Detran – Documento Interno da Petrobras.
- PEGDEN, C.D.; SHANNON, R.E.; SADOWSKI, R.P. (1995), Introduction to Simulation Using SIMAN – Ed. McGraw-Hill.
- RONEN, D. (1993), Ship Scheduling: The Last Decade - European Journal of Operational Research 71, 325-333.
- SCHEFFÉ, H. (1959), The Analysis of Variance, New York, John Wiley & Sons.

ANEXO A - Descrição dos Comandos do Modelos de Simulação

As tabelas A.1 a A.6 definem os parâmetros dos arquivos de dados de entrada e a descrição das variáveis, atributos, recursos, filas, estações, tabelas, conjuntos e expressões utilizados no modelo e nas figuras A.1 a A.22 estão as visualizações das telas do modelo codificado em ARENA(1996) com os respectivos comandos de programação.

Tabela A.1 - Dados de entrada do modelo de simulação

DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL /PARÂMETRO	NOME DA VARIÁVEL/PARÂMETRO	UNIDADE
primeira parte - dados gerais do modelo de simulação		
número total de unidades marítimas consideradas no modelo	num_um	
número de diferentes tipos de unidades marítimas consideradas	num_tipo_um	
número de diferentes tipos de embarcações consideradas	num_tipo_psv	
número de regiões onde se localizam as u.m. próximas entre si	num_prox	
coordenada x da base	coord_x_base	metros
coordenada y da base	coord_y_base	metros
número de berços de atracação na base	num_pier	
taxa média de movimentação de carga de convés na base	taxa_pier_convés	quilos/minutos
taxa média de movimentação de carga de água na base	taxa_pier_água	quilos/minutos
taxa média de movimentação de carga de granel na base	taxa_pier_granel	quilos/minutos
taxa média de movimentação de carga de diesel na base	taxa_pier_diesel	quilos/minutos
tempo médio para a embarcação atracar na base	tempo_atrac_pier	minutos
porcentagem da carga de convés que retorna à base	carga_retorno	em decimais
probabilidade de haver carga de retorno em cada unidade marítima	prob_carga_retorno	
coeficiente de variação das médias envolvidas no modelo de simulação	coef_variação	
fator de estiva da carga de convés	estiva_convés	quilos/metro quadrado
média do intervalo entre abastecimento das embarcações	int_abastecimento	minutos
média de tempo para realizar o abastecimento	tempo_abastecimento	minutos
número máximo de unidades marítimas visitada por uma embarcação numa viagem	max_viagem	
tempo total de processamento de uma simulação	tempo_simul.	minutos

Tabela A.1 - Continuação

segunda parte - dados sobre as unidades marítimas		
número da unidade marítima	num_plat	
tipo da unidade marítima	tipo_um	
coordenada x da unidade marítima	coord_x(num_plat)	metros
coordenada y da unidade marítima	coord_y(num_plat)	metros
grupo de proximidade a que pertence a unidade marítima	proximidade	
os dados acima devem ser repetidos para cada unidade marítima considerada no processamento da simulação		
Terceira parte - dados sobre os tipos de unidades marítimas		
número do tipo de unidade marítima (em seqüência até num_um)	num_tipo	
taxa média de movimentação de carga de convés de cada tipo de unidade marítima	taxa_cv(num_tipo)	quilos/minuto
os dados acima devem ser repetidos para cada tipo de unidade marítima considerada no processamento da simulação		
quarta parte - dados sobre as embarcações		
número do tipo de psv em seqüência até num_tipo_psv	num_psv	
número de embarcações do tipo num_psv	num_emb(num_psv)	
velocidade das embarcações do tipo num_psv	veloc_emb(num_psv)	
tpb das embarcações do tipo num_psv	capac_emb(num_psv)	
área de convés das embarcações do tipo num_psv	área_emb(num_psv),	metros quadrados
capacidade de embarque de água das embarcações do tipo num_psv	capac_emb_água(num_psv)	quilos
capacidade de embarque de granel das embarcações do tipo num_psv	capac_emb_granel(num_psv)	quilos
capacidade de embarque de diesel das embarcações do tipo num_psv	capac_emb_diesel(num_psv)	quilos
taxa de descarga de água das embarcações do tipo num_psv	taxa_água(num_psv),	quilos/minuto
taxa de descarga de granel das embarcações do tipo num_psv	taxa_granel(num_psv)	quilos/minuto
taxa de descarga de diesel das embarcações do tipo num_psv	taxa_diesel(num_psv)	quilos/minuto
probabilidade de aguardar para atracar na u.m. devido a condição de mar das embarcações do tipo num_psv	prob_aguarda_atrac(num_psv)	em decimal
tempo médio de espera para atracar na u.m. devido a condição de mar das embarcações do tipo num_psv	tempo_espera_atrac(num_psv),	minutos
tempo médio para atracar na u.m. das embarcações do tipo num_psv	tempo_atrac_um(num_psv)	minutos
probabilidade da embarcação ao retornar para a base ser alocada para uma operação de dtm, ficando por "tempo_dtm" sem fazer suprimentos	prob_dtm	em decimal
tempo médio operando um dtm, se a embarcação for designada para essa tarefa	tempo_dtm	minutos
intervalo médio entre docagens das embarcações do tipo num_psv	int_docag(num_psv)	minutos
tempo médio de docagem das embarcações do tipo num_psv	tempo_docagem(num_psv)	minutos

Tabela A.2 - Descrição das variáveis

VARIÁVEIS	DESCRIÇÃO
num_um	número total de unidades marítimas consideradas no modelo
num_tipo_um	número de diferentes tipos de unidades marítimas consideradas
num_tipo_psv	número de diferentes tipos de embarcações consideradas
num_prox	número de regiões onde se localizam as u.m. próximas entre si
coord_x_base	coordenada x da base
coord_y_base	coordenada y da base
num_pier	número de berços de atracação na base
taxa_pier_convés	taxa média de movimentação de carga de convés na base
taxa_pier_água	taxa média de movimentação de carga de água na base
taxa_pier_granel	taxa média de movimentação de carga de granel na base
taxa_pier_diesel	taxa média de movimentação de carga de diesel na base
tempo_atrac_pier	tempo médio para a embarcação atracar na base
carga_retorno	porcentagem da carga de convés que retorna à base
prob_carga_retorno	probabilidade de haver carga de retorno em cada unidade marítima
coef_variação	coeficiente de variação das médias envolvidas no modelo de simulação
estiva_convés	fator de estiva da carga de convés
int_abastecimento	média do intervalo entre abastecimento das embarcações
tempo_abastecimento	média de tempo para realizar o abastecimento
max_viagem	número máximo de unidades marítimas visitada por uma embarcação numa viagem
tempo_simul	tempo total de processamento de uma simulação
coord_x(61)	coordenada x da unidade marítima - 61=base
coord_y(61)	coordenada y da unidade marítima - 61=base
num_tipo	número do tipo de unidade marítima (em seqüência até num_um)
taxa_cv(60)	taxa média de movimentação de carga de convés de cada tipo de unidade marítima
med_ped_convés(60)	intervalo médio entre pedidos de carga de convés
med_ped_água(60)	intervalo médio entre pedidos de água
med_ped_granel(60)	intervalo médio entre pedidos de granel
med_ped_diesel(60)	intervalo médio entre pedidos de diesel
media_qte_convés(num_tipo)	quantidade média de carga de convés por pedido de suprimento
media_qte_água(num_tipo)	quantidade média de água por pedido de suprimento
media_qte_granel(num_tipo)	quantidade média de granel pedido de suprimento
media_qte_diesel(num_tipo)	quantidade média de diesel por pedido de suprimento
num_psv	número do tipo de psv em seqüência até num_tipo_psv
num_emb(50)	número de embarcações do tipo num_psv
veloc_emb(50)	velocidade das embarcações do tipo num_psv
capac_emb(50)	tpb das embarcações do tipo num_psv
área_emb(50)	área de convés das embarcações do tipo num_psv
capac_emb_água(50)	capacidade de embarque de água das embarcações do tipo num_psv
capac_emb_granel(50)	capacidade de embarque de granel das embarcações do tipo num_psv
capac_emb_diesel(50)	capacidade de embarque de diesel das embarcações do tipo num_psv
taxa_água(50)	taxa de descarga de água das embarcações do tipo num_psv
taxa_granel(50)	taxa de descarga de granel das embarcações do tipo num_psv
taxa_diesel(50)	taxa de descarga de diesel das embarcações do tipo num_psv

Tabela A.2 - Descrição das variáveis (continuação)

prob_aguarda_atrac(num_psv)	probabilidade de aguardar para atracar na u.m. devido a condição de mar das embarcações do tipo num_psv
tempo_espera_atrac(num_psv)	tempo médio de espera para atracar na u.m. devido a condição de mar das embarcações do tipo num_psv
tempo_atrac_um(num_psv)	tempo médio para atracar na u.m. das embarcações do tipo num_psv
int_docag(50)	intervalo médio entre docagens das embarcações do tipo num_psv
tempo_docag(50)	tempo médio de docagem das embarcações do tipo num_psv
total(30)	vetor que seqüência o atendimento de u.m.
navio(30)	vetor que indica o número do navio
roteiro(30,30)	guarda o número da u.m. a ser atendida, em função de "NAVIO" e da seqüência indicada por "TOTAL"
lote	acumula o número de pedidos a serem atendidos
capacidade(30)	guarda a capacidade total de cada embarcação
num_tot_emb	tamanho total da frota
j_prox,4	indica o número da zona de proximidade
prox(10)	guarda o número da zona de proximidade a ser atendida
j_pier,10	guarda o número o píer ocupado pela embarcação
coord_ant_x	guarda a coord x da plataforma ou base anterior para cálculo da distância a ser percorrida
coord_ant_y	guarda a coord y da plataforma ou base anterior para cálculo da distância a ser percorrida
plat_anterior	guarda o número da u.m. anterior que foi atendida
distancia(20,20)	guarda as distâncias a serem percorridas no roteiro de atendimento
time_time	tempo de viagem entre plataforma ou base
tipo_um_var(61)	guarda em forma de variável o tipo de unidade marítima entre os "num_tipo_um" considerados
cap_água(30)	guarda a capacidade de água da embarcação que atraca no píer
cap_granel(30)	guarda a capacidade de granel da embarcação que atraca no píer
cap_diesel(30)	guarda a capacidade de diesel da embarcação que atraca no píer
cap_convés(30)	guarda a capacidade de carga de convés da embarcação que atraca no píer
água_roteiro(20,20)	guarda o peso de água que cada u.m. vai receber de cada embarcação no roteiro formado
granel_roteiro(20,20)	guarda o peso de granel que cada u.m. vai receber de cada embarcação no roteiro formado
diesel_roteiro(20,20)	guarda o peso de diesel que cada u.m. vai receber de cada embarcação no roteiro formado
convés_roteiro(20,20)	guarda o peso de carga de convés que cada u.m. vai receber de cada embarcação no roteiro formado
pedido_per(60)	acumula o número de pedidos parciais que uma u.m. faz no período de um dia
pedido_tipo(60)	guarda a composição de pedidos parciais que uma u.m. faz no período de um dia. Ex. granel + água ou convés + diesel + água
carga_período_convés(60)	acumula o total solicitado de carga de convés que a u.m. faz no período de processamento do modelo
carga_período_água(60)	idem para água
carga_período_granel(60)	idem para granel
carga_período_diesel(60)	idem para diesel

Tabela A.2 - Descrição das variáveis (continuação)

carga_receb_convés(60)	acumula o total de carga de convés que a u.m. recebeu no período de processamento do modelo
carga_receb_água(60)	idem para água
carga_receb_granel(60)	idem para granel
carga_receb_diesel(60)	idem para diesel
prob_dtm(50)	probabilidade de cada embarcação executar outras tarefas
tempo_dtm(50)	tempo que a embarcação fica indisponível executando outras tarefas
carga_total_convés(10)	carga total recebida por cada um dos tipos de U.M.
carga_total_diesel(10)	idem para diesel
carga_total_água(10)	idem para água
carga_total_granel(10)	idem para granel
tpb_emb(50)	quantidade do tpb ocupado de cada embarcação
ocupação	taxa de ocupação da embarcação
ocupação_água	idem para água
ocupação_diesel	idem para diesel
ocupação_granel	idem para granel
ocupação_convés	idem para convés
carga_parcial	carga restante no pedido que foi parcelado
capacidade_água(50)	quantidade de água recebida pela embarcação
capacidade_diesel(50)	idem para diesel
capacidade_granel(50)	idem para granel
capacidade_convés(50)	idem para convés
tpr((50,4)	tempo acumulado de carregamento no porto de cada tipo de suprimento na embarcação

Tabela A.3 - Descrição do atributos

ATRIBUTOS	DESCRIÇÃO
num_plat	número seqüencial que identifica e individualiza cada u.m.
tipo_um	tipo de cada unidade marítima entre os "num_tipo_um" considerados
proximidade	zona de proximidade da u.m. entre as "num_prox" zonas consideradas
tempo_espera	para o pedido de uma u.m. ser atendido (da formulação a entrega)
carga_total	peso total de um pedido de u.m. (soma: convés, água, granel e diesel)
tipo_embarcação	tipo da embarcação entre os "num_tipo_psv" considerados
número_navio	número seqüencial que identifica e individualiza cada embarcação
seqüência	indicador seqüencial de quantas u.m. a embarcação atende por viagem
local	nome da station ou base para onde a embarcação se desloca
plataforma	nome da u.m. ou base (resource) para onde a embarcação se desloca
pier_ocup	número do pier ocupado pela embarcação
jj_pier	número do pier ocupado pela embarcação (em outro módulo do modelo)
time_trip	tempo de viagem de uma u.m. para a seguinte ou para a base
tempo_tally	tempo inicial de um tipo de operação de uma embarcação
tempo_atracação	tempo gasto para atracação junto a base
um_roteiro	número da plataforma em que a embarcação esta atracada
tempo_descarga_um	tempo gasto para atracação junto a u.m.
time_docagem	tempo gasto para docagem da embarcação
tipo_pedido	identificador do pedido da u.m. - convés, água, granel e/ou diesel
granel_descarga	tempo de descarga de granel para a u.m. onde a embarcação está atrac.
diesel_descarga	idem para diesel
água_descarga	idem para água
convés_descarga	idem para carga de convés
gran_água_diesel	soma dos tempos para descarga na u.m. de água, granel e diesel
contador	conta o número de pedidos parciais de cada u.m. (varia de 1 a 4 pois cada u.m. pode pedir somente água, por exemplo, até os 4 itens)
carga_convés	peso de carga de convés solicitado pelo u.m. naquele pedido
carga_água	idem para água
carga_granel	idem para granel
carga_diesel	idem para diesel
tempo_tv	tempo de viagem redonda para cada embarcação da frota
carga_total	carga total carrega em cada uma embarcação

Tabela A.4 - Descrição dos arquivos, filas, recursos, estações e tabelas"

ARQUIVOS	DESCRIÇÃO
"c:\areno\petrobra\psv_um16.txt"	Diretório e nome do arquivo de entrada
"c:\areno\petrobra\psv_sa16.txt"	Diretório e nome do arquivo de saída
FILAS	DESCRIÇÃO
próximo_1 a próximo_10	fila de pedidos por zona de proximidade
fila_base	fila de barcos disponíveis junto a base
RECURSOS	DESCRIÇÃO
um_1 a um_60, Capacity(1)	representam as unidades marítimas
requer, Capacity(1000,)	é um "buffer" que pode acumular até 1000 pedidos
atende, Capacity(3,)	representa os 3 piers da base
requer_1 a requer_10, Capacity(100,)	são 10 "buffers", uma para cada zona de proximidade, podendo acumular até 100 pedidos cada
atende_1 a atende_10	representam os piers de atracação individuais
cada_vez	permite que se faça a alocação de cargas para uma embarcação de cada vez
área_docagem, Capacity(100,)	representa a área de docagem com capacidade 100
ESTAÇÕES	DESCRIÇÃO
st_1 a st_60	representam as estações junto às u.m. para fins de animação
Base	representa a estação junto a base
Docagem	representa a estação junto a área de docagem
TABELAS:	DESCRIÇÃO DAS TABELAS
espera_atende_pedido	tempo de espera global pelo atendimento de pedidos (da requisição a entrega)
ta_um_1 a ta_um_60	tempo de espera para atendimento de pedidos por u.m.
ta_umm_1 a ta_umm_60	tempo de espera para atendimento de pedidos por tipo de u.m.
ta_fila_porto	tempo de espera global das embarcações disponíveis junto a base
ta_porto	tempo de permanência global das embarcações no píer
ta_viagem	tempo de viagem global das embarcações que compõem a frota
ta_plat	tempo de permanência global das embarcações junto as u.m.
ta_espera	tempo de espera global das embarcações para atracarem junto às u.m.
ta_docagem	tempo de docagem global das embarcações
ta_dsv_1 a ta_dsv_50	tempo de docagem por embarcação
ta_dtv_1 a ta_dtv_50	tempo de docagem por tipo de embarcação
ta_fsv_1 a ta_fsv_50	tempo de espera em fila junto a base por embarcação
ta_ftv_1 a ta_ftv_50	tempo de espera em fila junto a base por tipo de embarcação
ta_osv_1 a ta_osv_50	tempo de permanência no píer por embarcação
ta_otv_1 a ta_otv_50	tempo de permanência no píer por tipo de embarcação
ta_vsv_1 a ta_vsv_50	tempo de viagem por embarcação
ta_vtv_1 a ta_vtv_50	tempo de viagem por tipo de embarcação
ta_esv_1 a ta_esv_50	tempo de espera para atracar na u.m. por embarcação
ta_etv_1 a ta_etv_50	tempo de espera para atracar na u.m. por tipo de embarcação
ta_lsv_1 a ta_lsv_50	tempo de permanência na u.m. por embarcação
ta_ltv_1 a ta_ltv_50	tempo de permanência na u.m. por tipo de embarcação

Tabela A.5 - Descrição das expressões

EXPRESSÕES	DESCRIÇÃO
tempo_de_porto - norm(carrega_porto,coef_variação*carrega_porto)	distribuição normal para cálculo do tempo de carregamento no porto
nome_um(61) de um_1 a ,um_60 + atende	lista com o nome dos recursos que representam as u.m.
nome_st_um(61), de st_1 a ,st_60 + base	lista com o nome das estações junto as u.m. para efeito de animação
intervalo_pedidos(4)	distribuição para o intervalo entre pedidos para cada tipo de u.m. de :
norm(med_ped_convés(tipo_um),coef_variação*med_ped_convés(tipo_um))	carga de convés
norm(med_ped_água(tipo_um),coef_variação*med_ped_água(tipo_um))	carga de água
norm(med_ped_granel(tipo_um),coef_variação*med_ped_granel(tipo_um))	carga de granel
norm(med_ped_diesel(tipo_um),coef_variação*med_ped_diesel(tipo_um))carga de diesel
dist_carga_convés,norm(media_qte_convés(tipo_um),coef_variação*media_qte_convés(tipo_um))	distribuição para a quantidade requisitada de carga de convés para cada tipo de u.m.
dist_carga_água,norm(media_qte_água(tipo_um),coef_variação*media_qte_água(tipo_um))	idem para água
dist_carga_granel,norm(media_qte_granel(tipo_um),coef_variação*media_qte_granel(tipo_um))	idem para granel
dist_carga_diesel,norm(media_qte_diesel(tipo_um),coef_variação*media_qte_diesel(tipo_um))	idem para diesel
fim_pedido(60) de 1 a 60	sinal para indicar fim do pedido da u.m.
espera_atende_pedido_tipo_um(60) de ta_um_1 a ta_um_60	lista de tabelas para cálculo do tempo de espera para atendimento dos pedidos por tipo de u.m.
espera_atende_pedido_um(60) de ta_umm_1 a ta_umm_60	lista de tabelas para cálculo do tempo de espera para atendimento dos pedidos de cada u.m.
libera_pedidos,2000	sinal para indicar a liberação de pedidos após 24 horas
libera_barco(10),1001,1002,1003,1004,1005,1006,1007,1008,1009,1010	sinal para liberar a embarcação após a alocação de cargas, por zona de proximidade
requerer(10), de requer_1 a requer_10	lista de recursos por zona de proximidade
atender(10), de atende_1 a atende_10	lista de recursos que representam os piers de atracação
fila_prox(10), de proximo_1 a próximo_10	lista das filas por zona de proximidade
libera_atendimento,3000	sinal para liberar o atendimento das embarcações
dist_percorrida,sqrt((coord_x(num_plat)-coord_ant_x)**2.0+(coord_y(num_plat)-coord_ant_y)**2.0)	expressão para o cálculo da distância linear entre plataformas ou base
time_viagem,norm(time_time,coef_variação*time_time)	distribuição normal do tempo de viagem
dist_carga_retorno,disc(prob_carga_retorno,1,1.0,0)	distribuição discreta para apurar se há carga de retorno para a base a partir de cada u.m.

Tabela A.6 - Descrição dos conjuntos

CONJUNTOS:	DESCRIÇÃO
grupo_um, de um_1 a um_60	recursos que representam as u.m.
estações_um de st_1 a st_60	recursos que representam as estações junto as u.m.
tempo_plat de ta_um_1 a ta_um_60	tabelas para cálculo do tempo de espera para atendimento de pedidos por u.m.
tempo_tipo, de ta_umm_1 a ta_umm_60	tabelas para cálculo do tempo de espera para atendimento de pedidos por tipo de u.m.
próximo: de requer_1 a requer_10	"buffers" de pedidos por zona de proximidade
berço: de atende_1 a atende_10	berços de atracação
fila_próximo: de proximo_1 a proximo_10	fila de pedidos por zona de proximidade
fila_geral, fila_base	fila de embarcações junto a base
tempo_fila_psv: de ta_fsv_1 a ta_fsv_50	tabelas para cálculo do tempo de espera em fila junto a base por embarcação
tempo_fila_tipo_psv: de ta_ftv_1 a ta_ftv_50	tabelas para cálculo do tempo de espera em fila junto a base por tipo de embarcação
tempo_porto_psv: de ta_osv_1 a ta_osv_50	tabelas para cálculo do tempo de permanência no pier por embarcação
tempo_porto_tipo_psv: de ta_otv_1 a ta_otv_50	tabelas para cálculo do tempo de permanência no pier por tipo de embarcação
tempo_viagem_psv: de ta_vsv_1 a ta_vsv_50	tabelas para cálculo do tempo de viagem por embarcação
tempo_viagem_tipo_psv: de ta_vtv_1 a ta_vtv_50	tabelas para cálculo do tempo de viagem por tipo de embarcação
tempo_esp_psv: de ta_esv_1 a ta_esv_50	tabelas para cálculo do tempo de espera para atracar na u.m. por tipo de embarcação
tempo_esp_tipo_psv: de ta_etv_1 a ta_etv_50	tabelas para cálculo do tempo de espera para atracar na u.m. por embarcação
tempo_docagem_psv: de ta_dsv_1 a ta_dsv_50	tabelas para cálculo do tempo de docagem por embarcação
tempo_docagem_tipo_psv: de ta_dtv_1 a ta_dtv_50	tabelas para cálculo do tempo de docagem por tipo de embarcação
tempo_plat_psv: de ta_lsv_1 a ta_lsv_50	tabelas para cálculo do tempo de permanência na u.m. por embarcação
tempo_plat_tipo_psv: de ta_ltv_1 a ta_ltv_50	tabelas para cálculo do tempo de permanência na u.m por tipo de embarcação

Na figura A.1 estão mostradas, nas colunas (A) e (B), os comandos de definição das variáveis, expressões, conjuntos e recursos indicados nas tabelas A.1 a A.6. O comando "simulate" define o número de replicações que são executadas, o tempo de "warm-up" e o tempo de simulação para cada replicação. O comando estatísticas permite gravar as estatísticas consideradas pertinentes, geradas pelo modelo, em um arquivo de dados de saída.

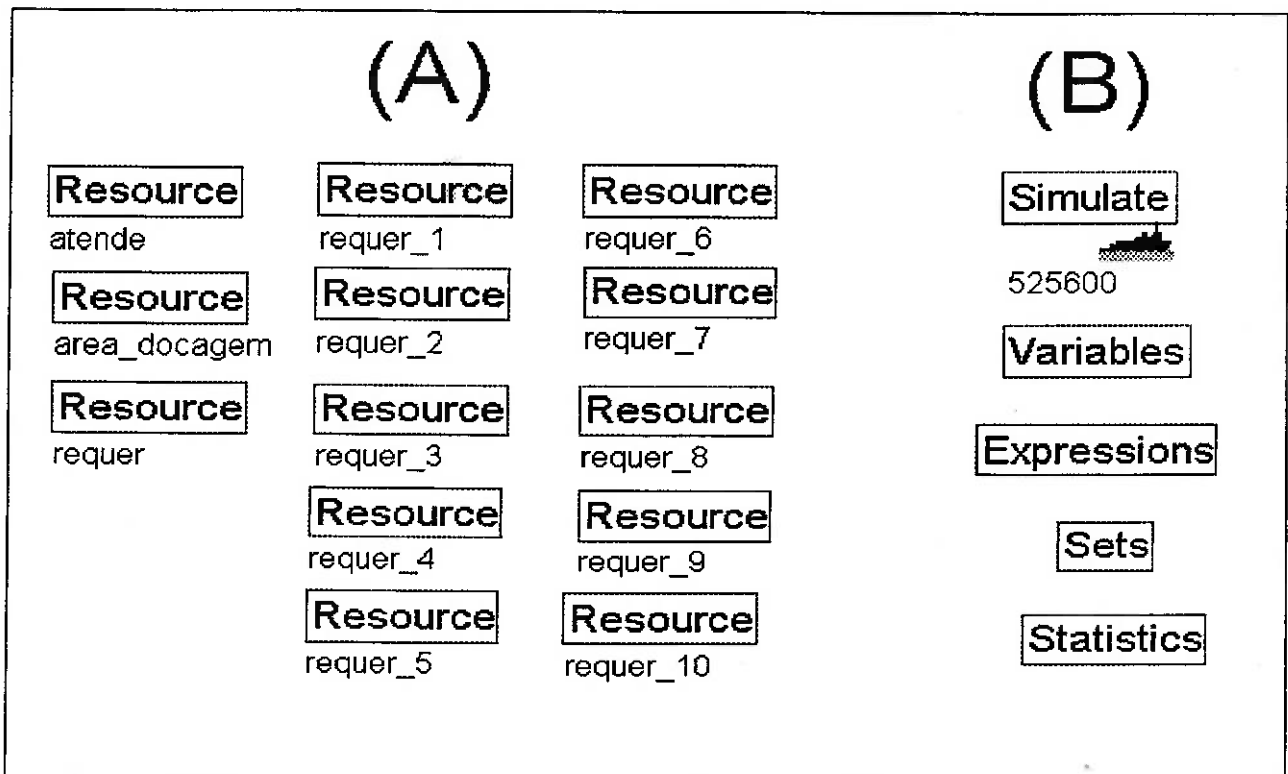


Figura A.1 – Comandos de variáveis, expressões, conjuntos, estatísticas, recursos e "Simulate".

Na figura A.2 estão mostradas as colunas (C), (D) e (E). A coluna (C) controla a liberação diária dos pedidos. Na coluna (D), alguns dados são lidos pelo modelo e após o período de simulação grava-se, em um arquivo de saída, estatísticas coletadas durante a simulação e que serão utilizadas na fase de análise dos resultados. Na coluna (E), o bloco “vba” gera a matriz de distâncias que será utilizada pela rotina de roteirização; neste ponto o modelo “lê” dados relativos aos tipos de unidades marítimas consideradas no experimento..

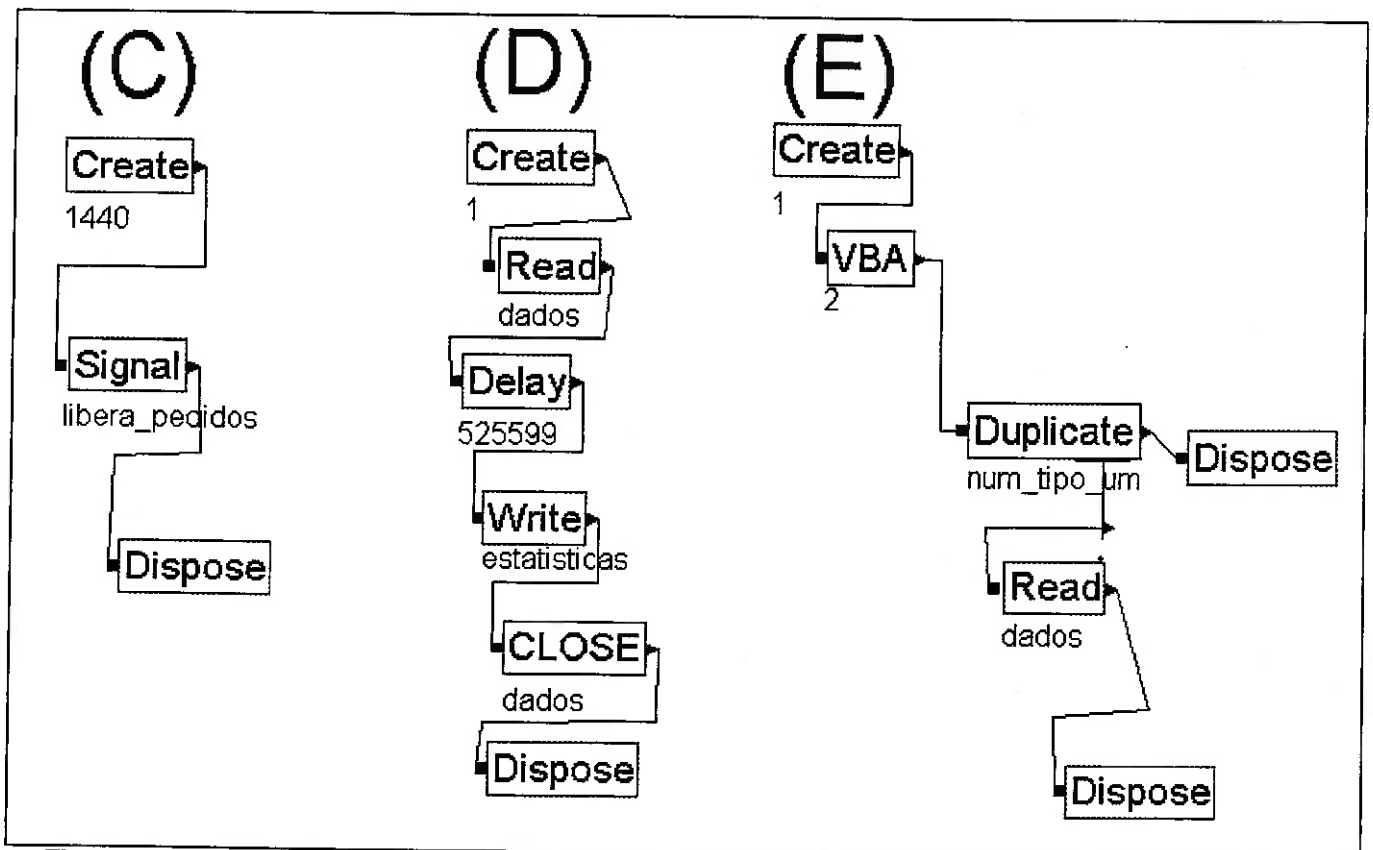


Figura A.2 – Lógica da liberação diária de pedidos, leitura de parâmetros e geração da matriz de distâncias.

Na figura A.4 estão comandos responsáveis pela ordenação dos pedidos das unidades marítimas segundo a zona de proximidade a que a unidade marítima pertence e por unidade marítima solicitante. Os pedidos ficam em filas de acordo com a zona de proximidade a que pertencem e a espera de embarcações disponíveis para o embarque. Tão logo exista embarcação para o transporte, os pedidos vão sendo liberados para alocação, de acordo com a disponibilidade de espaço na embarcação. Assim, o modelo testa se a carga em questão pode ser embarcada.

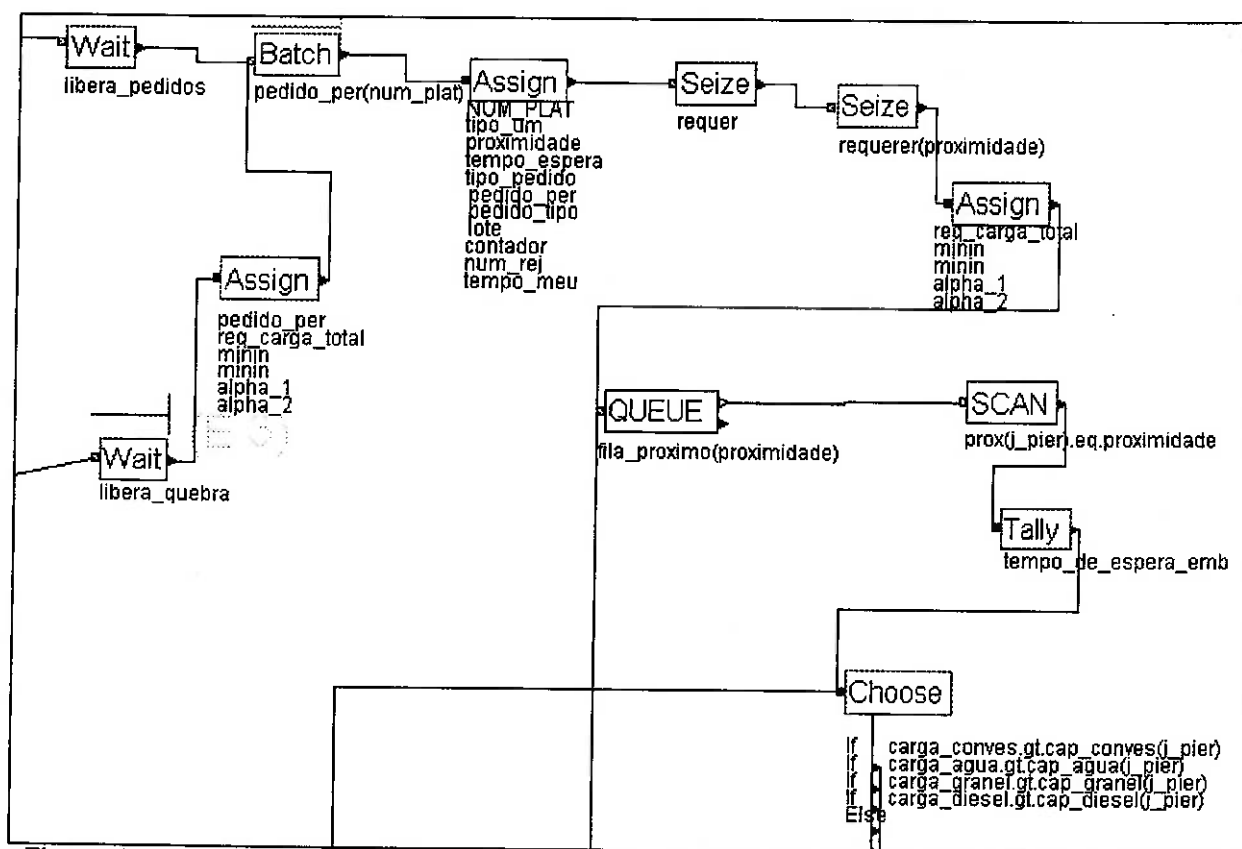


Figura A.4 – Lógica da ordenação dos pedidos de suprimento e liberação para alocação às embarcações.

Na figura A.5 estão os comandos relacionados com a parte do modelo que trata da carga que ultrapassa a capacidade daquele tipo na embarcação. Assim, se houver violação da capacidade, a “entidade” entra nos comandos “duplicate-assign” correspondente. A carga é particionada até o limite da capacidade de carga da embarcação. A carga excedente é novamente conduzida à fila mencionada anteriormente.

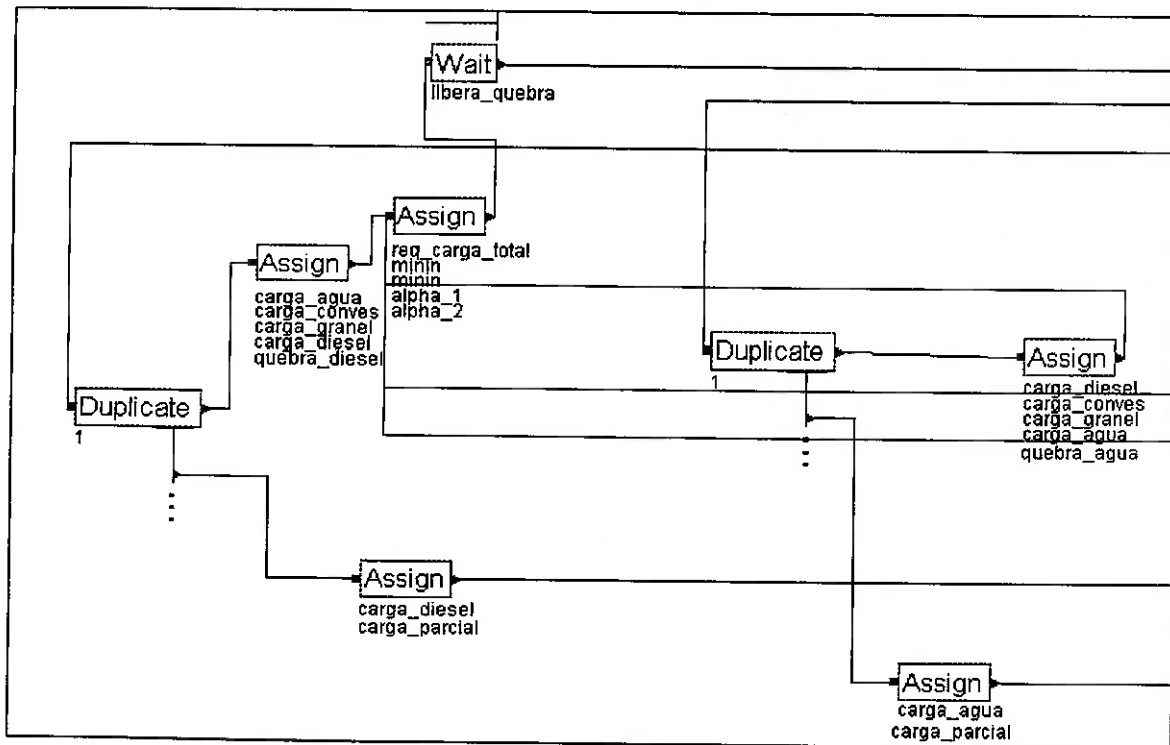


Figura A.5 – Lógica do particionamento das cargas

Na figura A.6 estão os comandos responsáveis pela alocação das cargas à embarcação. O comando "CHOOSE" verifica se o conjunto de cargas solicitado por determinada unidade marítima está acima da capacidade da embarcação. Em caso positivo, isto é, quando a capacidade remanescente da embarcação não comporta a inclusão da carga em questão, a embarcação deve ser liberada; o modelo coleta as estatísticas pertinentes; calcula o roteiro ótimo (através da rotina de roteirização) e libera a embarcação para os procedimentos de embarque das cargas junto ao pier.

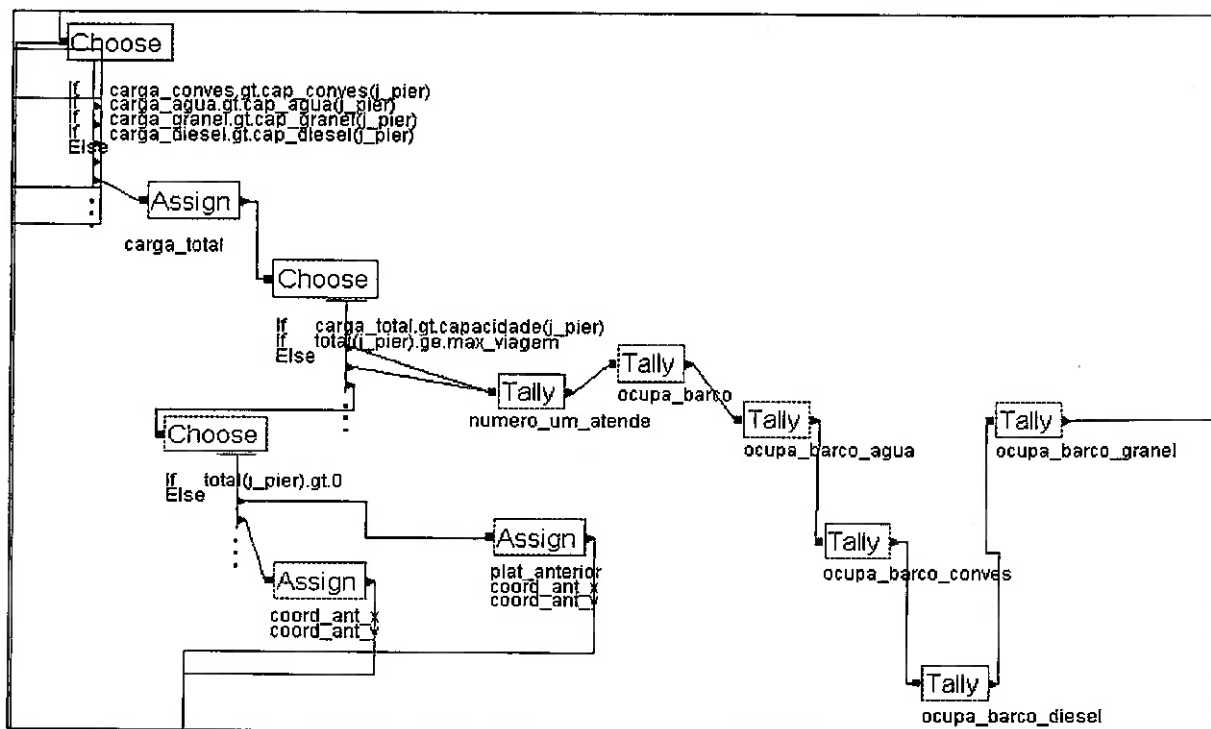


Figura A.6 – Lógica da montagem dos roteiros de viagem, finalização das alocações de cargas e coleta de algumas estatísticas

Na figura A.7 estão os comandos responsáveis pela coleta de estatísticas, que serão utilizadas na fase de análise de resultados e roteirização da embarcação, para o caso de não haver mais pedidos de suprimento para aquela zona de proximidade. Pelo comando "VBA" acessa-se a rotina de roteirização que traz, como produto, o roteiro otimizado que a embarcação cumprirá na sua missão. Como até este ponto o embarque efetivo não ocorreu (só se procedeu a alocação das cargas à embarcação), os últimos quatro comandos tratam da simulação do tempo de carregamento da embarcação com os pedidos e, após, sua liberação para a missão.

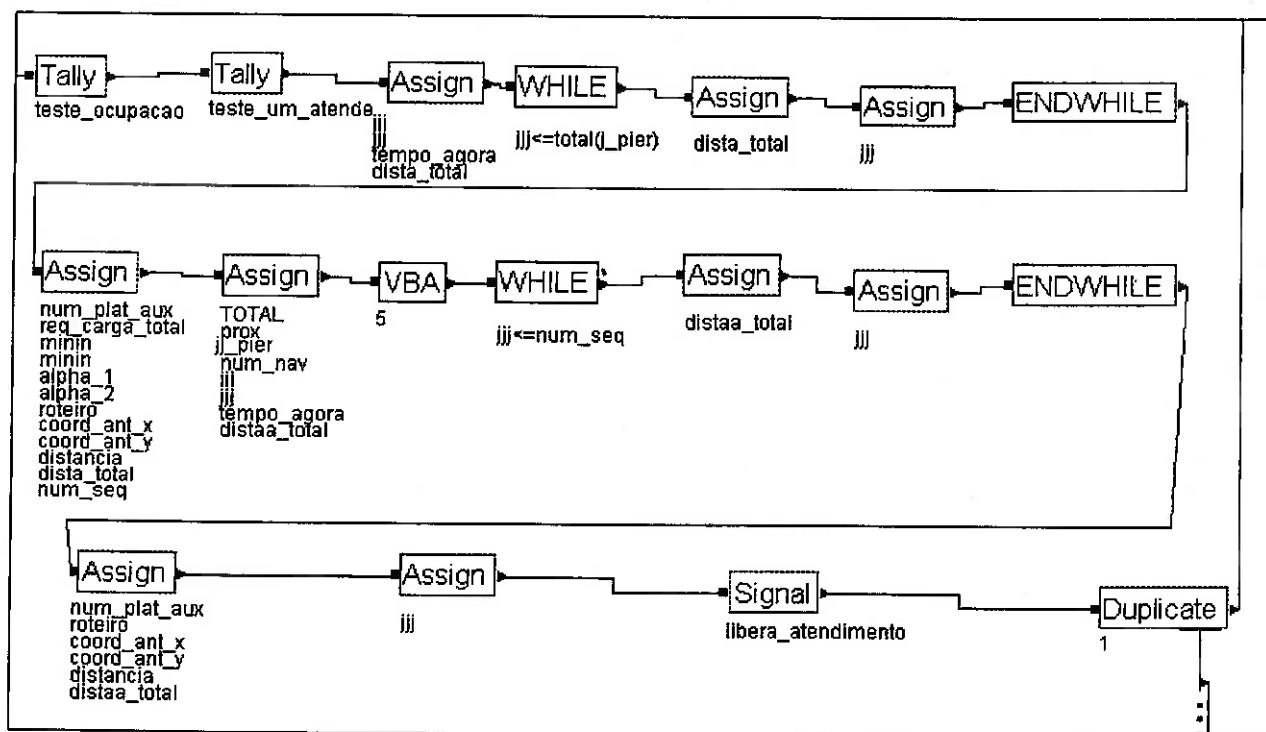


Figura A.7 – Lógica de roteirização das viagens das embarcações, coleta de algumas estatísticas e liberação para atracação das embarcações nos piers.

As figuras A.8 até A.12 complementam as vistas dos comandos acima. Caso contrário, isto é, a capacidade da embarcação não foi excedida, o modelo verifica se existe outra unidade marítima a ser atendida para aquela zona de proximidade. Se existir, o modelo continua tentando alocar as cargas solicitadas para a próxima unidade marítima. Caso contrário, o modelo entende que a embarcação deve ser liberada para os procedimentos de carregamento junto ao pier.

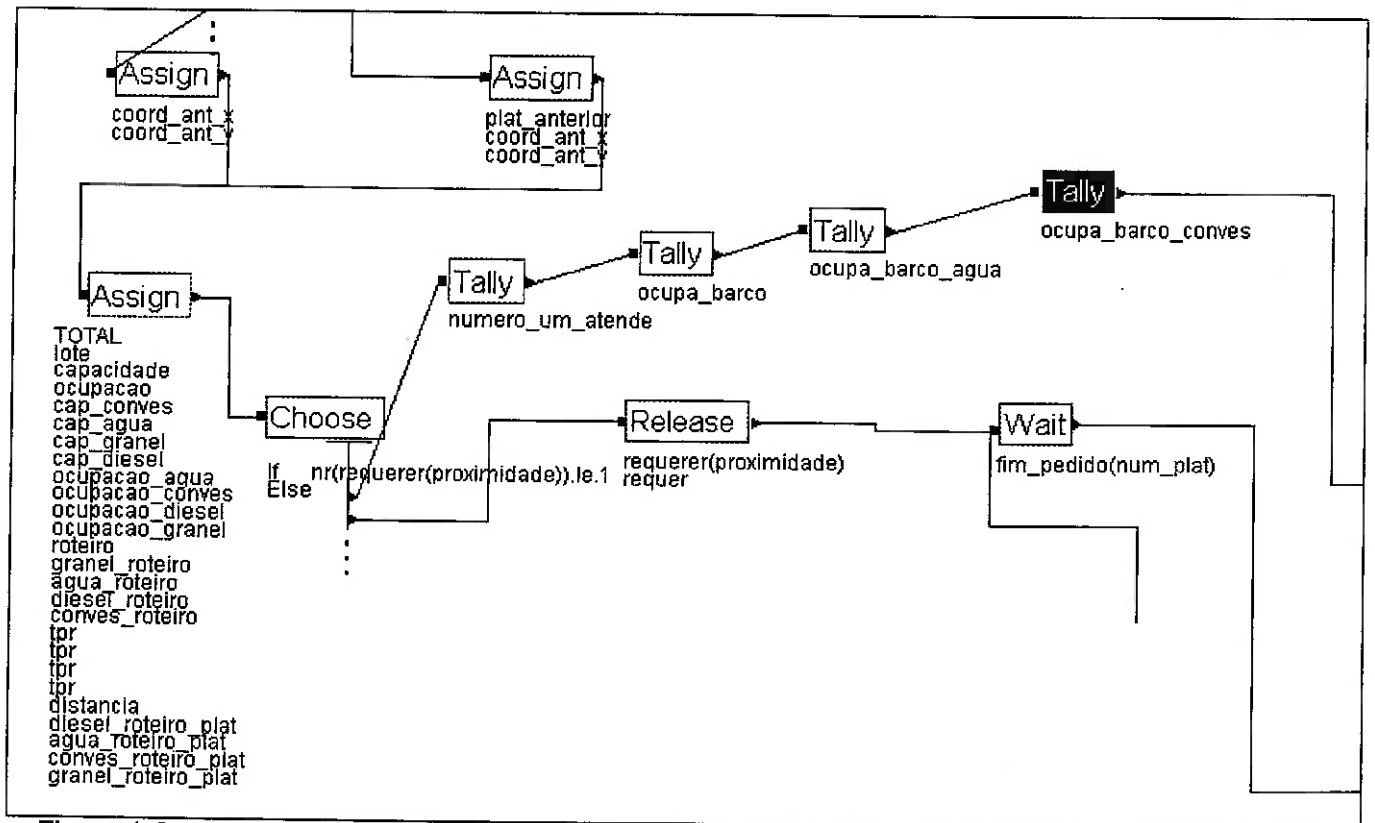


Figura A.8 -- Complementação da lógica da montagem dos roteiros das viagens indicadas na figura A.6.

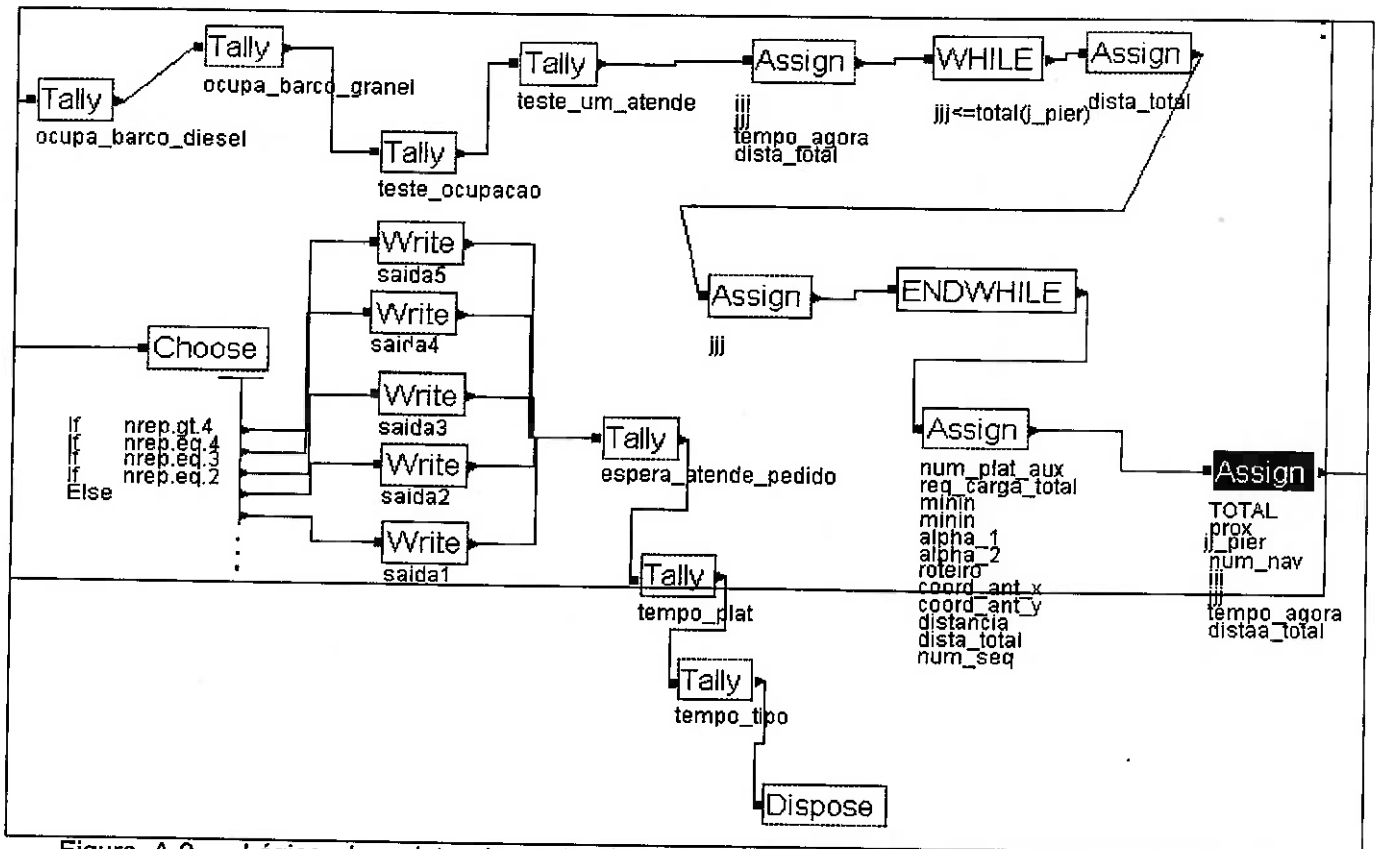


Figura A.9 – Lógica da coleta de parte das estatísticas, gravação de arquivos e variáveis auxiliares.

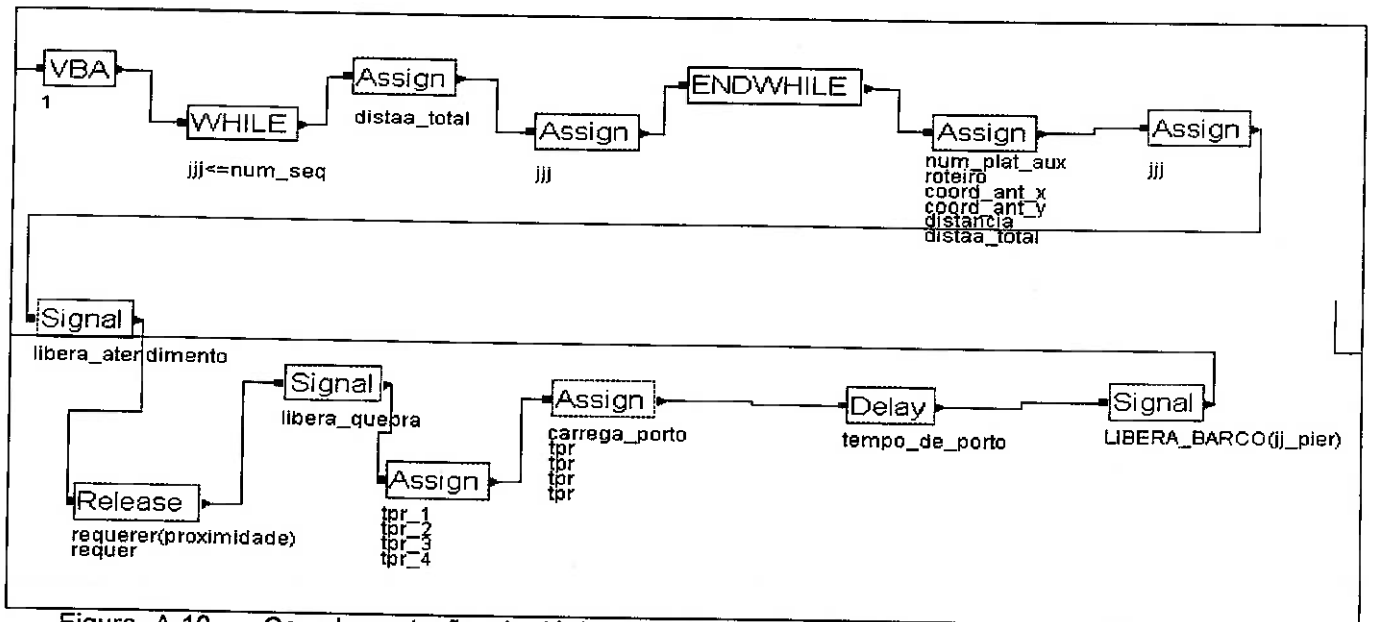


Figura A.10 – Complementação da lógica de liberação para atracação, carregamento das embarcações nos piers e liberação para iniciar viagens.

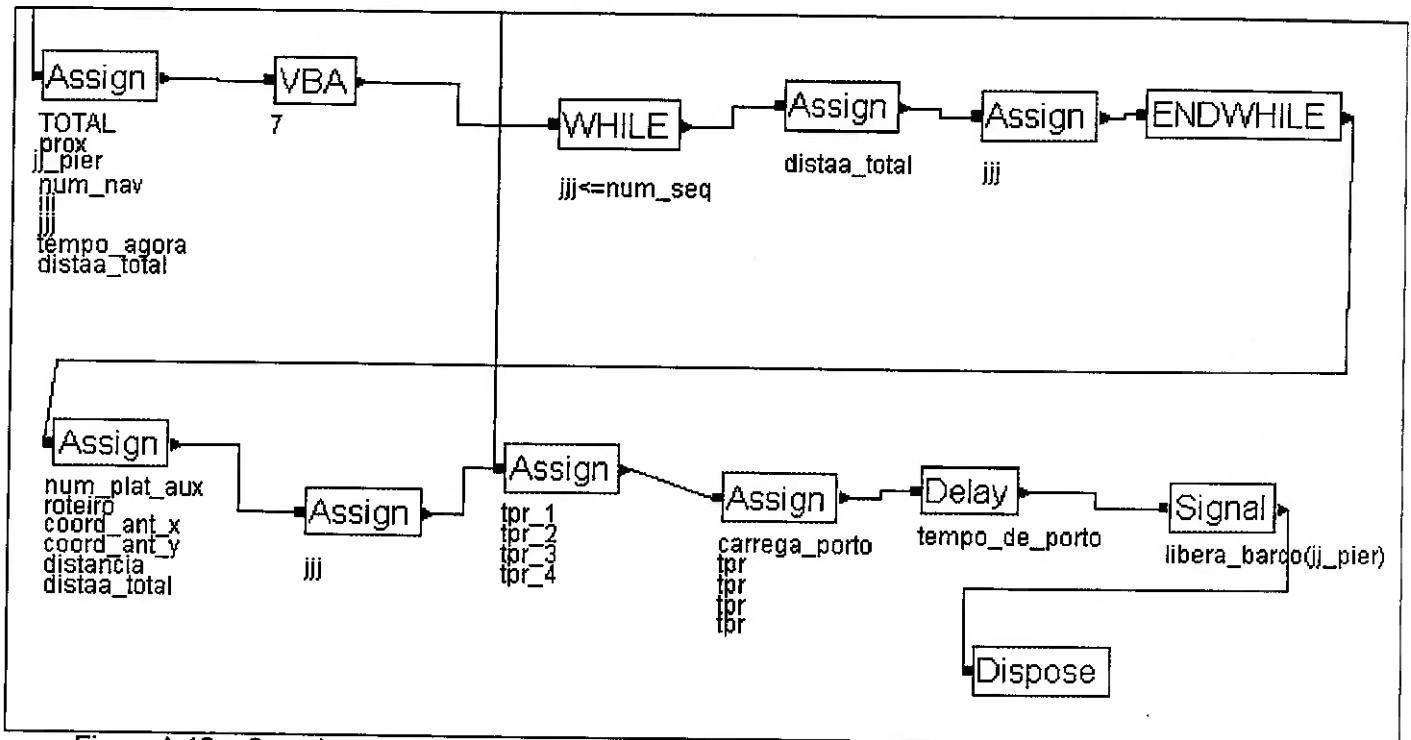


Figura A.12 – Complementação da lógica de carregamento das embarcações nos piers e liberação para iniciar viagens.

As figuras A.13 até A.17 mostram os comandos pertinentes à escolha da embarcação mais adequada para uma determinada missão. No começo de cada replicação, o modelo "lê" o número e as características de cada tipo de embarcação. Após, envia as mesmas para a base onde são coletadas estatísticas para futuras análises.

É importante mencionar que a base é o destino final de toda e qualquer missão. O modelo testa se o tempo para docagem foi alcançado e se também a embarcação deve realizar outras tarefas que não suprimentos. Em ambos os casos, o modelo simula o tempo ao qual a embarcação estará "inoperante" para as tarefas de suprimento. As embarcações aguardam em fila à espera das missões. Desta forma, existindo pedidos a serem atendidos, o modelo "escolhe", na fila de embarcações, a embarcação mais adequada para a realização da missão, tomando como parâmetro a melhor de taxa de ocupação.

Assim, a embarcação que apresentar a maior taxa de ocupação, levando-se em conta aqueles pedidos a serem atendidos, será a embarcação escolhida para a faina.

Após, o modelo verifica a disponibilidade de um pier para que haja o processo de carregamento. Caso haja um pier disponível, a embarcação escolhida fica aguardando um dado tempo que simula o tempo gasto no porto para o carregamento das cargas, que foram alocadas a ela pela parte do modelo já visto anteriormente.

Tão logo o carregamento se encerre, algumas estatísticas são colhidas e a embarcação é liberada para que cumpra a sua missão.

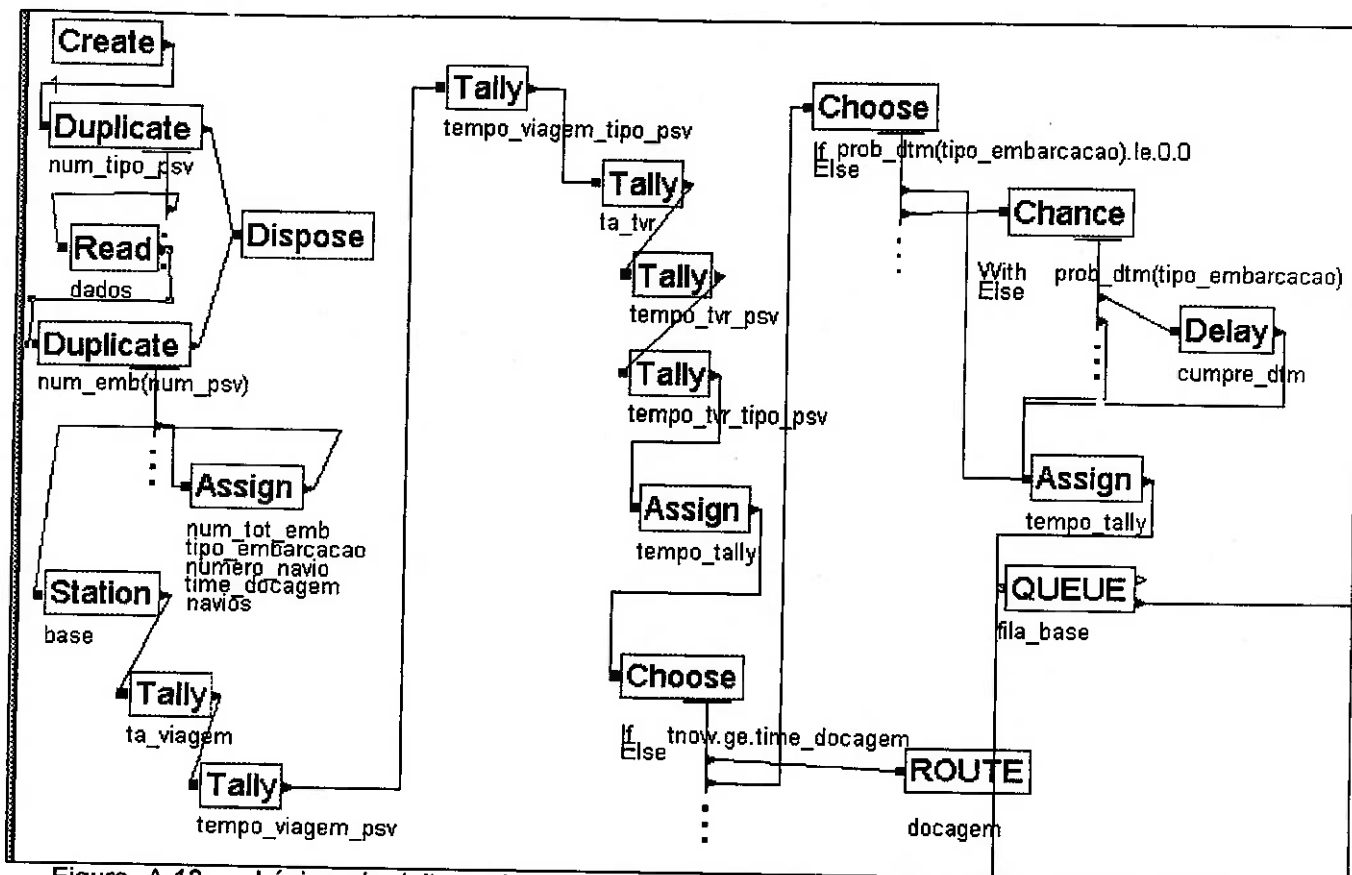


Figura A.13 – Lógica de leitura dos parâmetros das embarcações, coleta de estatísticas, checagem de atividades extra-suprimentos e posicionamento na fila de embarcações.

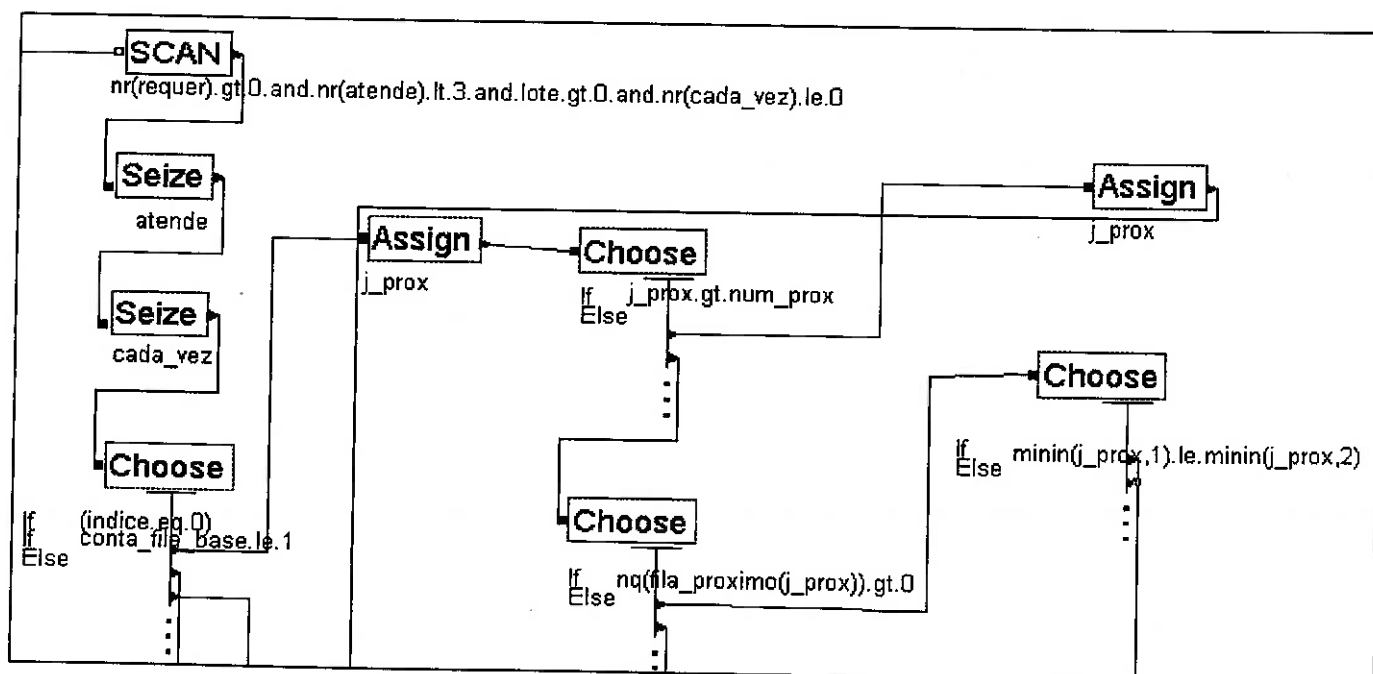


Figura A.14 – Parte da lógica destinada à escolha da embarcação adequada

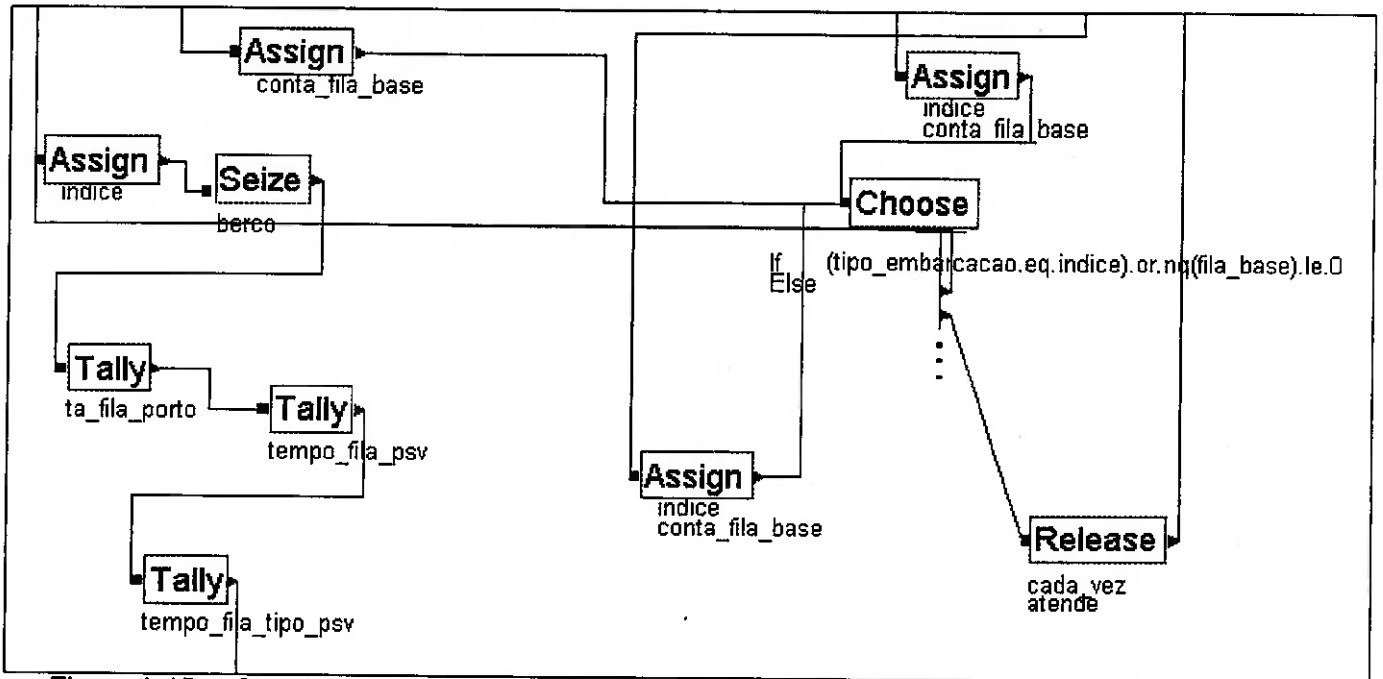


Figura A.15 – Complementação da lógica de escolha de embarcações, coleta de estatísticas e posicionamento junto ao pier de atracação.

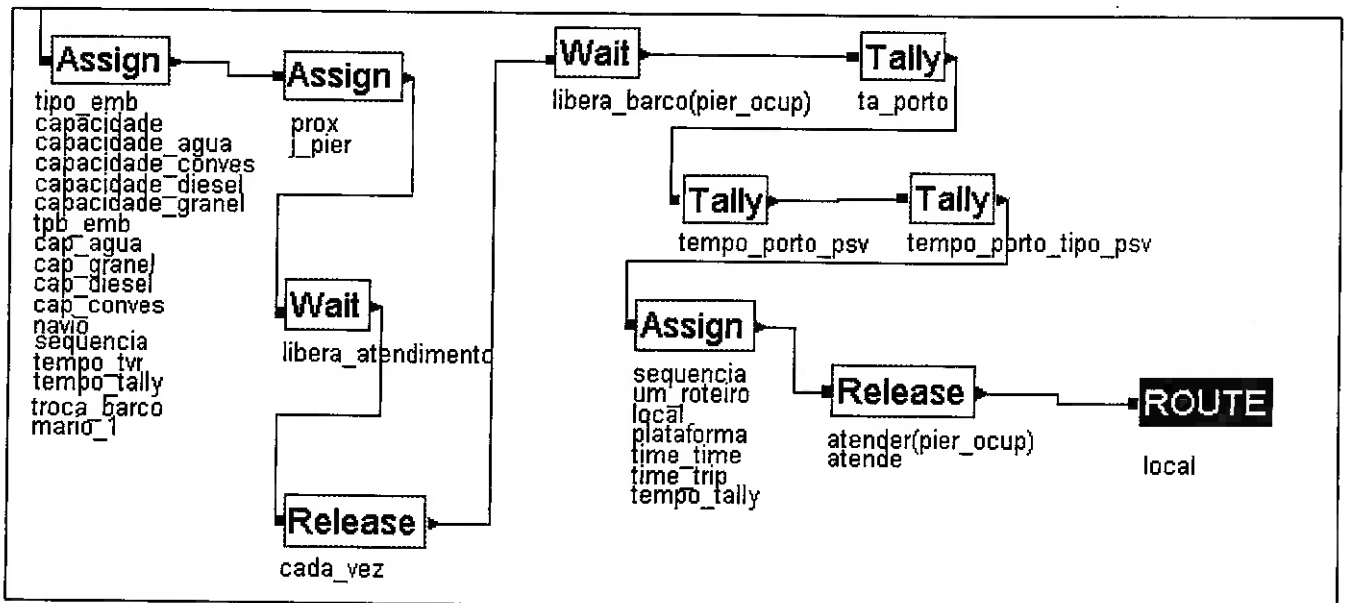


Figura A.16 – Lógica de caracterização das embarcações escolhidas, coleta de estatísticas e liberação para iniciar viagens.

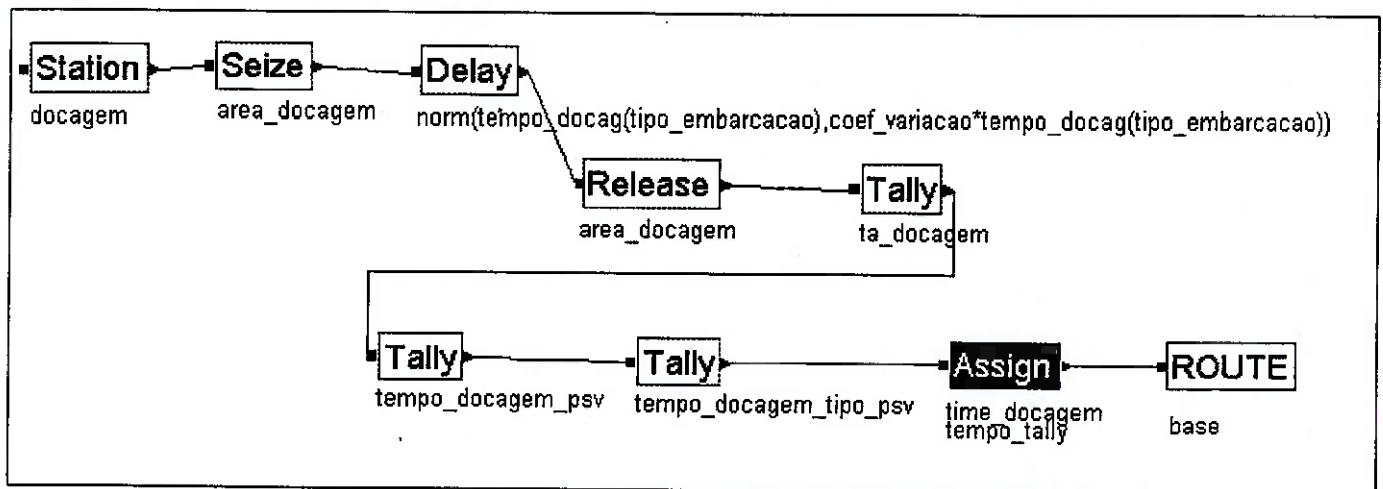


Figura A.17 – Lógica da atividade de docagem e coleta de estatísticas pertinentes.

As figuras A.18 e A.19 mostram a lógica completa do processo de entrega dos pedidos de suprimento às unidades marítimas. Logo que a embarcação fica liberada para começar sua missão é enviada à primeira unidade marítima de seu roteiro. Um tempo é calculado, simulando o tempo gasto pela embarcação para alcançar seu destino. Após, são coletadas estatísticas do tempo de viagem. O modelo "sorteia" a probabilidade de ter que esperar condições propícias para a atracação, um tempo de espera e um tempo de atracação, simulando, desta maneira, condições ambientais que afetam, sobremaneira, a performance das embarcações. Neste ponto a embarcação se encontra junto à unidade marítima pronta para operar. Assim, o modelo calcula o tempo de descarregamento dos suprimentos, que depende das quantidades dos suprimentos envolvidos e das taxas de transbordo relativos a estas. O modelo retém a embarcação por este tempo. Após, coleta-se algumas estatísticas e a embarcação segue para o próximo destino de seu roteiro, reiniciando este processo.

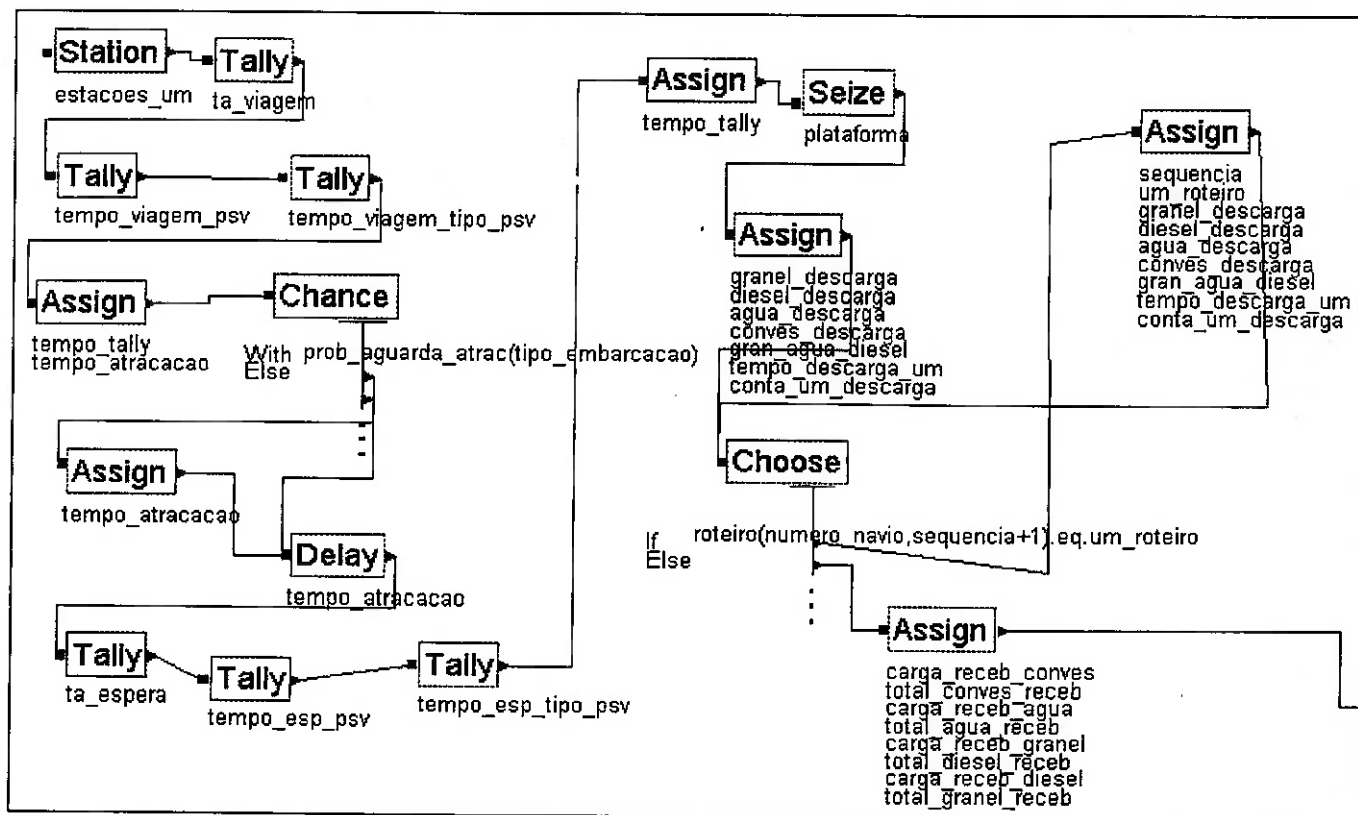


Figura A.18 – Lógica do processo de entrega dos pedidos nas U.M. e coleta de estatísticas pertinentes.

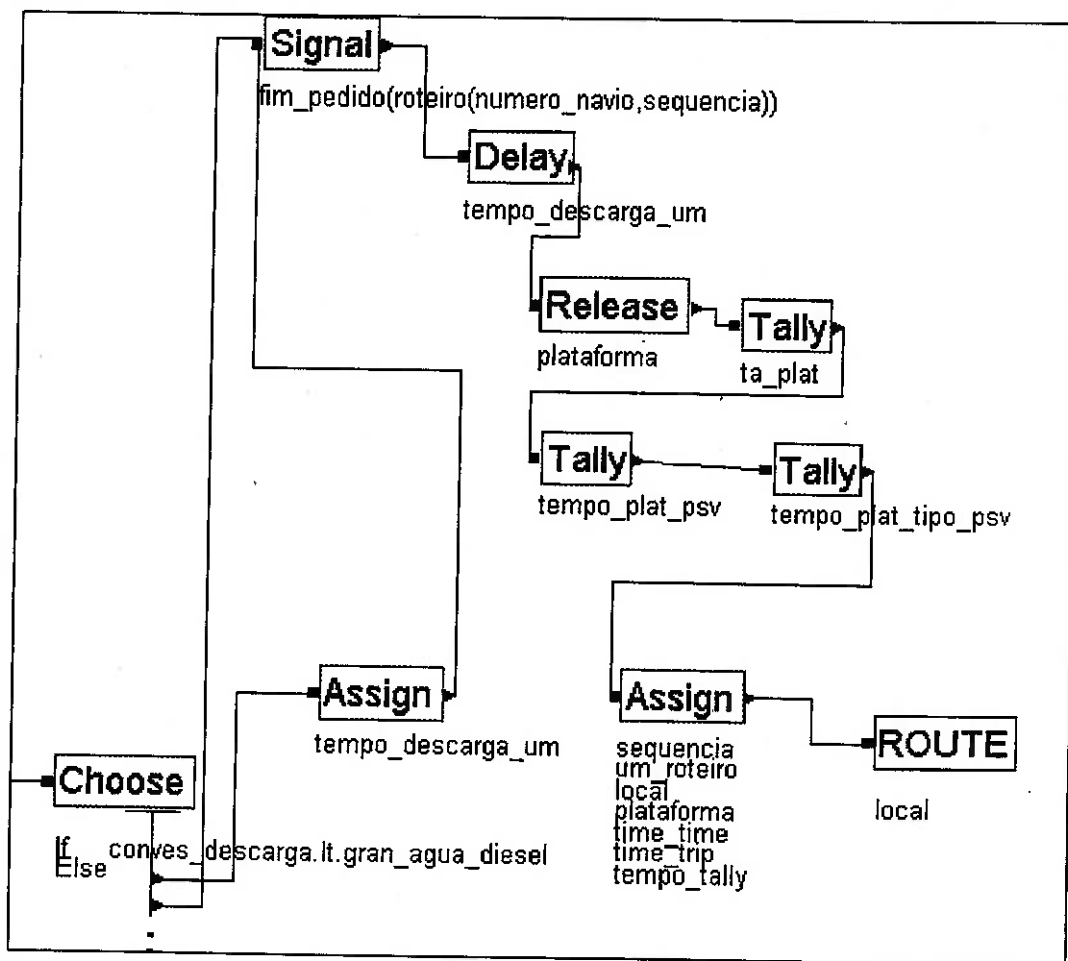


Figura A.19 – Complementação da lógica de entrega dos pedidos nas U.M. e coleta de estatísticas pertinentes

A figura A.20 mostra um conjunto de estatísticas consideradas importantes e que são atualizadas, a cada instante, ao longo de cada replicação.

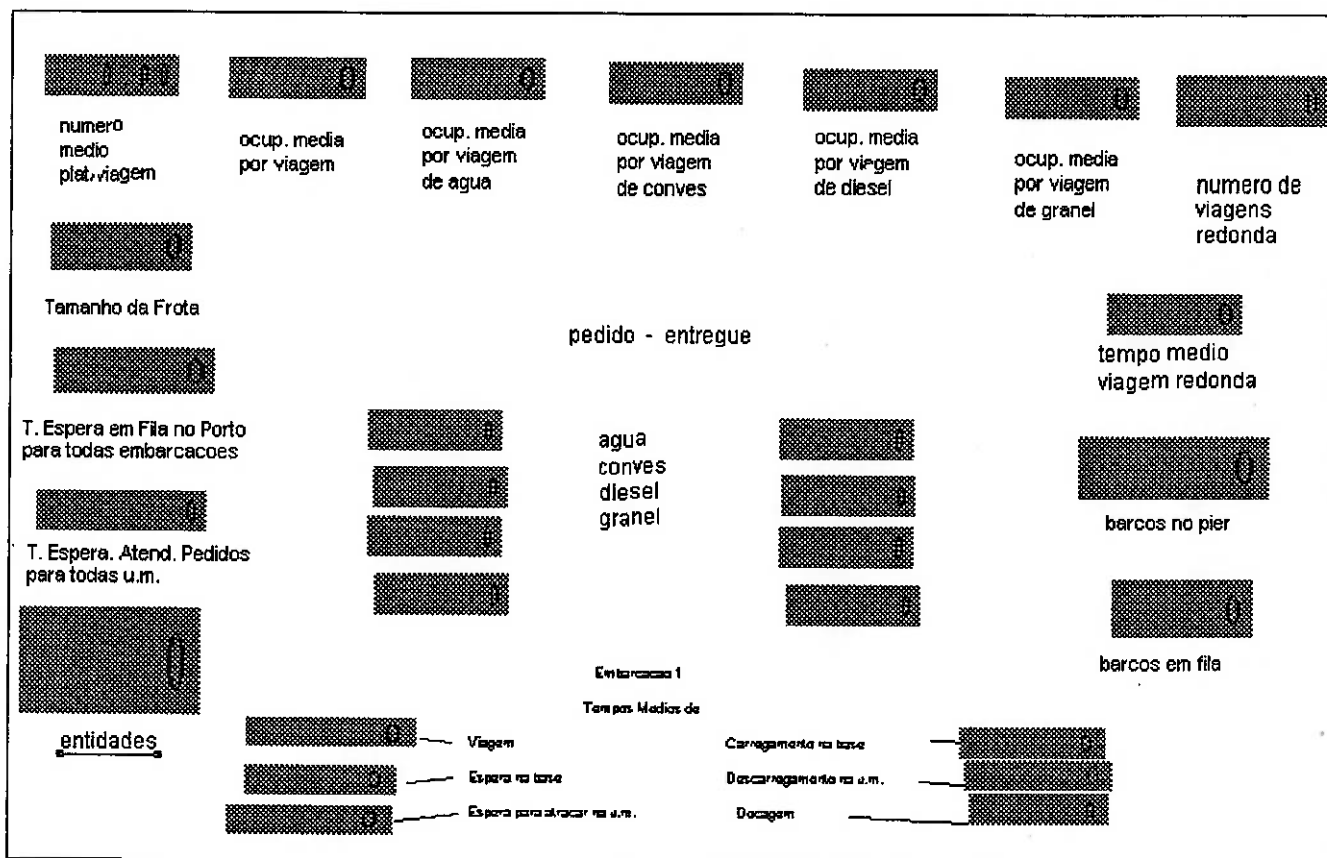


Figura A.20 – Vista de um conjunto de estatísticas retiradas do modelo.

A figura A.21 mostra uma ampliação de uma zona de proximidade com suas unidades marítimas associadas. Também estão indicados o número de pedidos de suprimento em fila, o número de berços ocupados pelas embarcações.

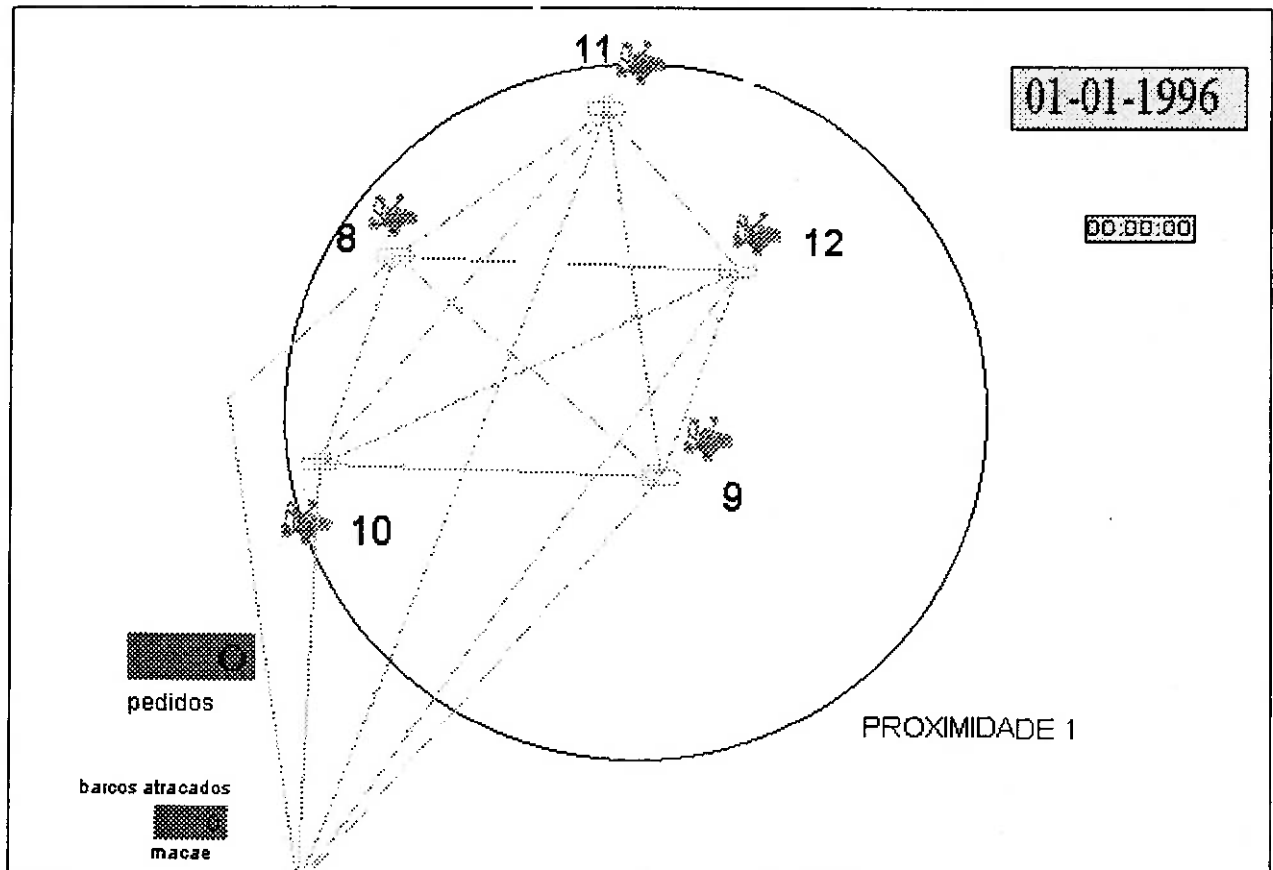


Figura A.21 – Vista de uma zona de proximidade e suas U.M.

A figura A.22 mostra a ampliação da base com três piers de atracação, a fila de embarcações a espera das missões de suprimento, a área de docagem e uma zona de proximidade com suas unidades marítimas associadas. Estão indicados, ainda, o número de embarcações em espera na fila e o número de embarcações na área de docagem. Estes números são atualizados a cada instante.

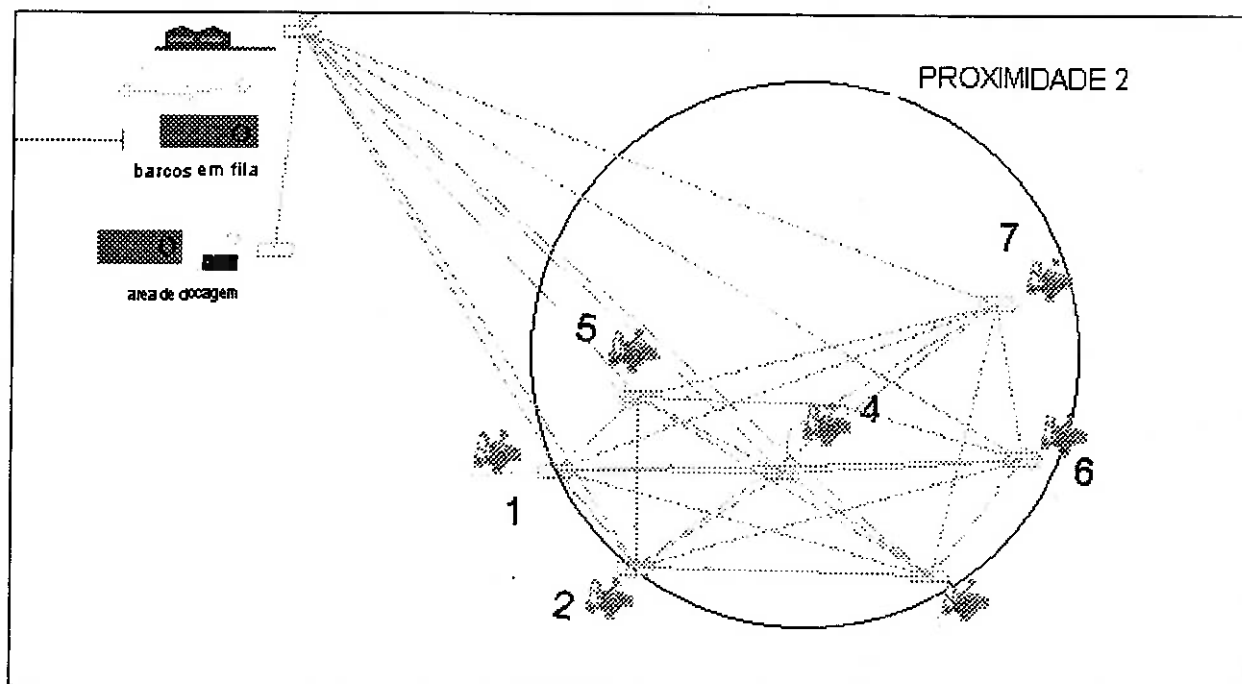


Figura A.22 – Vista de uma zona de proximidade com suas U.M. associadas , base com três piers de atracação e a fila de embarcações junto à base.

ANEXO B – MODELO DE SIMULAÇÃO CODIFICADO EM ARENA

```
263$ CREATE, 1,3:1,1
270$ TRACE, -1,"-Entity Created\n":
264$ ASSIGN: conta_i=1
267$ ASSIGN: Picture=Default:NEXT(5$)
5$ VBA: 2,vba:NEXT(0$)
0$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
271$ DUPLICATE: num_tipo_um,2$:NEXT(1$)
1$ TRACE, -1,"-Disposing entity\n":
272$ DISPOSE

2$ TRACE, -1,"-Reading from dados \n":
273$ READ, dados:
  num_tipo,
  taxa_cv(num_tipo):NEXT(3$)
3$ TRACE, -1,"-Disposing entity\n":
274$ DISPOSE

275$ CREATE, 1,2:1,1
282$ TRACE, -1,"-Entity Created\n":
279$ ASSIGN: Picture=Default:NEXT(13$)
13$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
283$ DUPLICATE: num_um,14$:NEXT(17$)
17$ TRACE, -1,"-Disposing entity\n":
284$ DISPOSE

14$ TRACE, -1,"-Reading from dados \n":
285$ READ, dados:
  NUM_PLAT,
  tipo_um,
  coord_x(num_plat),
  coord_y(num_plat),
  proximidade:NEXT(19$)
19$ TRACE, -1,"-Delaying for time 10\n":
286$ DELAY: 10:NEXT(67$)
67$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
287$ ASSIGN: tipo_um_var(num_plat)=tipo_um:NEXT(83$)
83$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
288$ DUPLICATE: 1,86$:NEXT(84$)
84$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
289$ DUPLICATE: 1,87$:NEXT(85$)
85$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
290$ DUPLICATE: 1,18$:NEXT(88$)
88$ TRACE, -1,"-Delaying for time inter_ped_granel(tipo_um)\n":
291$ DELAY: inter_ped_granel(tipo_um):NEXT(100$)
100$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
292$ DUPLICATE: 1,88$:NEXT(91$)
91$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
293$ ASSIGN: contador=1:
  tempo_espera=tnow:
  carga_granel=dist_carga_granel(tipo_um):
  carga_conves=0:
  carga_agua=0:
  carga_diesel=0:
  pedido_per(num_plat)=pedido_per(num_plat)+1:
  pedido_tipo(num_plat)=pedido_tipo(num_plat)+30:
  carga_periodo_granel(num_plat)=carga_periodo_granel(num_plat)+carga_granel:
```

```

carga_total_granel(tipo_um)=carga_total_granel(tipo_um)+carga_granel:
total_granel=total_granel+carga_granel:NEXT(25$)
25$ QUEUE, requisita:MARK(QueueTime)
294$ WAIT: libera_pedidos,100000
295$ TALLY: requisita Queue Time,INT(QueueTime),1:NEXT(93$)
93$ QUEUE, fila_batch:MARK(QueueTime)
298$ COMBINE, NUM_PLAT:pedido_per(num_plat),Sum
302$ TRACE, -1,"-Formed a permanent batch of size pedido_per(num_plat)\n":
300$ TALLY: fila_batch Queue Time,INT(QueueTime),1:NEXT(95$)
95$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
310$ ASSIGN: NUM_PLAT=num_plat/contador:
tipo_um=tipo_um/contador:
proximidade=proximidade/contador:
tempo_espera=tempo_espera/contador:
tipo_pedido=pedido_tipo(num_plat):
pedido_per(num_plat)=0:
pedido_tipo(num_plat)=0:
lote=lote+1:
contador=1:
num_rej=0:
tempo_meu=tnow:NEXT(44$)
44$ QUEUE, fila_requer
311$ SEIZE,requer,1
316$ ASSIGN: j=j
313$ DELAY: 0.000:NEXT(27$)
27$ QUEUE, requisita:MARK(QueueTime)
317$ SEIZE,requerer(proximidade),1
322$ ASSIGN: j=j
318$ TALLY: requisita Queue Time,INT(QueueTime),1:NEXT(157$)
157$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
323$ ASSIGN: req_carga_total(proximidade)=
req_carga_total(proximidade)+carga_diesel+carga_agua+
carga_conves+carga_granel:
minin(proximidade,1)=abs(1.0-req_carga_total(proximidade)/capac_emb(1)):
minin(proximidade,2)=abs(1.0-req_carga_total(proximidade)/capac_emb(2)):
alpha_1=req_carga_total(1):
alpha_2=req_carga_total(2):NEXT(43$)
43$ QUEUE, fila_proximo(proximidade)
29$ SCAN: prox(j_pier).eq.proximidade:NEXT(150$)
150$ TRACE, -1,"-Updating Tally Tempo_de_espera_emb \n":
324$ TALLY: Tempo_de_espera_emb,Interval(tempo_meu),1:NEXT(30$)
30$ TRACE, -1,"-Choosing from 5 options\n":
326$ BRANCH, 1:
If,carga_conves.gt.cap_conves(j_pier),109$,Yes:
If,carga_agua.gt.cap_agua(j_pier),112$,Yes:
If,carga_granel.gt.cap_granel(j_pier),106$,Yes:
If,carga_diesel.gt.cap_diesel(j_pier),103$,Yes:
Else,118$,Yes
109$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
327$ DUPLICATE: 1,110$:NEXT(111$)
111$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
328$ ASSIGN: carga_agua=0:
carga_diesel=0:
carga_granel=0:
carga_conves=carga_conves-cap_conves(j_pier):
quebra_conves=quebra_conves+1:NEXT(158$)
158$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
329$ ASSIGN: req_carga_total(proximidade)=
req_carga_total(proximidade)-carga_diesel-carga_agua-carga_conves-carga_granel:
minin(proximidade,1)=abs(1.0-req_carga_total(proximidade)/capac_emb(1)):

```



```

minin(proximidade,2)=abs(1.0-req_carga_total(proximidade)/capac_emb(2)):
alpha_1=req_carga_total(1):
alpha_2=req_carga_total(2):NEXT(259$)
259$ QUEUE, fila_libera_quebra:MARK(QueueTime)
330$ WAIT: libera_quebra,1000
331$ TALLY: fila_libera_quebra Queue Time,INT(QueueTime),1:NEXT(258$)
258$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
333$ ASSIGN: pedido_per(num_plat)=pedido_per(num_plat)+1:
req_carga_total(proximidade)=
req_carga_total(proximidade)-carga_diesel-carga_agua-carga_conves-carga_granel:
minin(proximidade,1)=abs(1.0-req_carga_total(proximidade)/capac_emb(1)):
minin(proximidade,2)=abs(1.0-req_carga_total(proximidade)/capac_emb(2)):
alpha_1=req_carga_total(1):
alpha_2=req_carga_total(2):NEXT(93$)

110$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
334$ ASSIGN: carga_conves=cap_conves(j_pier):
carga_parcial=carga_diesel+carga_agua+carga_granel+
carga_conves:NEXT(119$)
119$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":
335$ BRANCH, 1:
If,carga_parcial.eq.0,120$,Yes:
Else,30$,Yes
120$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
336$ ASSIGN: lote=lote-1:NEXT(123$)
123$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":
337$ BRANCH, 1:
If,nr(requerer(proximidade)).le.1,124$,Yes:
Else,121$,Yes
124$ TRACE, -1,"-Sending signal libera_atendimento\n":
338$ SIGNAL: libera_atendimento,1:NEXT(125$)
125$ TRACE, -1,"-Releasing resources\n":
339$ RELEASE: requerer(proximidade),1:
requer,1:NEXT(261$)
261$ TRACE, -1,"-Sending signal libera_quebra\n":
340$ SIGNAL: libera_quebra,1000:NEXT(126$)
126$ TRACE, -1,"-Updating Tally numero_um_atende \n":
341$ TALLY: numero_um_atende,total(j_pier),1:NEXT(127$)
Model statements for module: Tally 79
127$ TRACE, -1,"-Updating Tally ocupa_barco \n":
343$ TALLY: ocupa_barco,ocupacao,1:NEXT(130$)
130$ TRACE, -1,"-Updating Tally ocupa_barco_agua \n":
345$ TALLY: ocupa_barco_agua,ocupacao_agua,1:NEXT(131$)
131$ TRACE, -1,"-Updating Tally ocupa_barco_conves \n":
347$ TALLY: ocupa_barco_conves,ocupacao_conves,1:NEXT(132$)
132$ TRACE, -1,"-Updating Tally ocupa_barco_diesel \n":
349$ TALLY: ocupa_barco_diesel,ocupacao_diesel,1:NEXT(133$)
133$ TRACE, -1,"-Updating Tally ocupa_barco_granel \n":
351$ TALLY: ocupa_barco_granel,ocupacao_granel,1:NEXT(156$)
156$ TRACE, -1,"-Updating tally set teste_um_atende(mario_1) \n":
354$ TALLY: teste_um_atende(mario_1),total(j_pier),1:NEXT(11$)
11$ TRACE, -1,"-Updating tally set teste_ocupacao(mario_1) \n":
356$ TALLY: teste_ocupacao(mario_1),ocupacao,1:NEXT(219$)
219$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
357$ ASSIGN: iii=navio(j_pier):
jji=1:
tempo_agora=tnow:
dista_total=0:NEXT(217$)
217$ WHILE: jji<=total(j_pier):NEXT(218$)
218$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":

```

```

358$ ASSIGN: dista_total=dista_total+distancia(iii,jjj):NEXT(220$)
220$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
359$ ASSIGN: jjj=jjj+1:NEXT(216$)
216$ ENDWHILE:NEXT(215$)
215$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
360$ ASSIGN: num_plat_aux=roteiro(iii,jjj-1):
req_carga_total(prox(j_pier))=
req_carga_total(prox(j_pier))-(capac_emb(tipo_emb)-capacidade(j_pier)):
minin(prox(j_pier),1)=abs(1.0-req_carga_total(prox(j_pier))/capac_emb(1)):
minin(prox(j_pier),2)=abs(1.0-req_carga_total(prox(j_pier))/capac_emb(2)):
alpha_1=req_carga_total(1):
alpha_2=req_carga_t,otal(2):
roteiro(navio(j_pier),total(j_pier)+1)=61:
coord_ant_x=coord_x_base:
coord_ant_y=coord_y_base:
distancia(navio(j_pier),total(j_pier)+1)=dist_percorrida_aux:
dista_total=dista_total+distancia(iii,jjj):
num_seq=total(j_pier):NEXT(221$)
221$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
361$ ASSIGN: TOTAL(j_pier)=0:
prox(j_pier)=0:
jj_pier=j_pier:
num_nav=navio(j_pier):
iii=num_nav:
jjj=1:
tempo_agora=tnow:
distaa_total=0:NEXT(7$)
7$ VBA: 7,vba
223$ WHILE: jjj<=num_seq:NEXT(225$)
225$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
362$ ASSIGN: distaa_total=distaa_total+distancia(iii,jjj):NEXT(224$)
224$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
363$ ASSIGN: jjj=jjj+1:NEXT(222$)
222$ ENDWHILE:NEXT(226$)
226$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
364$ ASSIGN: num_plat_aux=roteiro(iii,jjj-1):
roteiro(iii,jjj)=61:
coord_ant_x=coord_x_base:
coord_ant_y=coord_y_base:
distancia(iii,jjj)=dist_percorrida_aux:
distaa_total=distaa_total+distancia(iii,jjj):NEXT(10$)
10$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
365$ ASSIGN: jjj=1:NEXT(145$)
145$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
366$ ASSIGN: tpr_1=tpr(navio(j_pier),1):
tpr_2=tpr(navio(j_pier),2):
tpr_3=tpr(navio(j_pier),3):
tpr_4=tpr(navio(j_pier),4):NEXT(143$)
143$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
367$ ASSIGN: carrega_porto=mx(tpr_1,tpr_2,tpr_3,tpr_4):
tpr(navio(j_pier),1)=0:
tpr(navio(j_pier),2)=0:
tpr(navio(j_pier),3)=0:
tpr(navio(j_pier),4)=0:NEXT(82$)
82$ TRACE, -1,"-Delaying for time tempo_de_porto\n":
368$ DELAY: tempo_de_porto:NEXT(31$)
31$ TRACE, -1,"-Sending signal libera_barco(jj_pier)\n":
369$ SIGNAL: libera_barco(jj_pier),1:NEXT(50$)
50$ TRACE, -1,"-Disposing entity\n":
370$ DISPOSE

```

121\$ TRACE, -1,"-Releasing resources\n":
 371\$ RELEASE: requerer(proximidade),1:
 requer,1:NEXT(122\$)
 122\$ TRACE, -1,"-Disposing entity\n":
 372\$ DISPOSE

112\$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
 373\$ DUPLICATE: 1,113\$:NEXT(114\$)
 114\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
 374\$ ASSIGN: carga_diesel=0:
 carga_conves=0:
 carga_granel=0:
 carga_agua=carga_agua-cap_agua(j_pier):
 quebra_agua=quebra_agua+1:NEXT(158\$)

113\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
 375\$ ASSIGN: carga_agua=cap_agua(j_pier):
 carga_parcial=carga_diesel+carga_agua+carga_granel+
 carga_conves:NEXT(119\$)

106\$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
 376\$ DUPLICATE: 1,107\$:NEXT(108\$)
 108\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
 377\$ ASSIGN: carga_agua=0:
 carga_conves=0:
 carga_diesel=0:
 carga_granel=carga_granel-cap_granel(j_pier):
 quebra_granel=quebra_granel+1:NEXT(158\$)

107\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
 378\$ ASSIGN: carga_granel=cap_granel(j_pier):
 carga_parcial=carga_granel+carga_agua+carga_diesel+
 carga_conves:NEXT(119\$)

103\$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
 379\$ DUPLICATE: 1,104\$:NEXT(105\$)
 105\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
 380\$ ASSIGN: carga_agua=0:
 carga_conves=0:
 carga_granel=0:
 carga_diesel=carga_diesel-cap_diesel(j_pier):
 quebra_diesel=quebra_diesel+1:NEXT(158\$)

104\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
 381\$ ASSIGN: carga_diesel=cap_diesel(j_pier):
 carga_parcial=carga_diesel+carga_agua+carga_granel+
 carga_conves:NEXT(119\$)

118\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
 382\$ ASSIGN: carga_total=carga_granel+carga_conves+carga_agua+carga_diesel:NEXT(102\$)
 102\$ TRACE, -1,"-Choosing from 3 options\n":
 383\$ BRANCH, 1:
 If,carga_total.gt.capacidade(j_pier),115\$,Yes:
 If,total(j_pier).ge.max_viagem,115\$,Yes:
 Else,117\$,Yes
 115\$ TRACE, -1,"-Updating Tally numero_um_atende \n":
 384\$ TALLY: numero_um_atende,total(j_pier),1:NEXT(128\$)
 128\$ TRACE, -1,"-Updating Tally ocupa_barco \n":
 386\$ TALLY: ocupa_barco,ocupacao,1:NEXT(134\$)

```

134$ TRACE, -1, "-Updating Tally ocupa_barco_agua \n":
388$ TALLY: ocupa_barco_agua,ocupacao_agua,1:NEXT(135$)
135$ TRACE, -1, "-Updating Tally ocupa_barco_convés \n":
390$ TALLY: ocupa_barco_convés,ocupacao_convés,1:NEXT(136$)
136$ TRACE, -1, "-Updating Tally ocupa_barco_diesel \n":
392$ TALLY: ocupa_barco_diesel,ocupacao_diesel,1:NEXT(137$)
137$ TRACE, -1, "-Updating Tally ocupa_barco_granel \n":
394$ TALLY: ocupa_barco_granel,ocupacao_granel,1:NEXT(152$)
152$ TRACE, -1, "-Updating tally set teste_ocupacao(mario_1) \n":
397$ TALLY: teste_ocupacao(mario_1),ocupacao,1:NEXT(155$)
155$ TRACE, -1, "-Updating tally set teste_um_atende(mario_1) \n":
399$ TALLY: teste_um_atende(mario_1),total(j_pier),1:NEXT(243$)
243$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
400$ ASSIGN: iii=navio(j_pier):
    jjj=1:
    tempo_agora=tnow:
    dista_total=0:NEXT(241$)
241$ WHILE: jjj<=total(j_pier):NEXT(242$)
242$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
401$ ASSIGN: dista_total=dista_total+distancia(iii,jjj):NEXT(244$)
244$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
402$ ASSIGN: jjj=jjj+1:NEXT(240$)
240$ ENDWHILE:NEXT(239$)
239$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
403$ ASSIGN: num_plat_aux=roteiro(iii,jjj-1):
    req_carga_total(prox(j_pier))=
    req_carga_total(prox(j_pier))-(capac_emb(tipo_emb)-capacidade(j_pier)):
    minin(prox(j_pier),1)=abs(1.0-req_carga_total(prox(j_pier))/capac_emb(1)):
    minin(prox(j_pier),2)=abs(1.0-req_carga_total(prox(j_pier))/capac_emb(2)):
    alpha_1=req_carga_total(1):
    alpha_2=req_carga_total(2):
    roteiro(navio(j_pier),total(j_pier)+1)=61:
    coord_ant_x=coord_x_base:
    coord_ant_y=coord_y_base:
    distancia(navio(j_pier),total(j_pier)+1)=dist_percorrida_aux:
    dista_total=dista_total+distancia(iii,jjj):
    num_seq=total(j_pier):NEXT(245$)
245$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
404$ ASSIGN: TOTAL(j_pier)=0:
    prox(j_pier)=0:
    jj_pier=j_pier:
    num_nav=navio(j_pier):
    iii=num_nav:
    jjj=1:
    tempo_agora=tnow:
    distaa_total=0:NEXT(6$)
6$ VBA: 5,vba
247$ WHILE: jjj<=num_seq:NEXT(249$)
249$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
405$ ASSIGN: distaa_total=distaa_total+distancia(iii,jjj):NEXT(248$)
248$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
406$ ASSIGN: jjj=jjj+1:NEXT(246$)
246$ ENDWHILE:NEXT(250$)
250$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
407$ ASSIGN: num_plat_aux=roteiro(iii,jjj-1):
    roteiro(iii,jjj)=61:
    coord_ant_x=coord_x_base:
    coord_ant_y=coord_y_base:
    distancia(iii,jjj)=dist_percorrida_aux:
    distaa_total=distaa_total+distancia(iii,jjj):NEXT(9$)

```

9\$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
 408\$ ASSIGN: jjj=1:NEXT(47\$)
 47\$ TRACE, -1, "-Sending signal libera_atendimento\n":
 409\$ SIGNAL: libera_atendimento,1:NEXT(49\$)
 49\$ TRACE, -1, "-Duplicating entities\n":
 410\$ DUPLICATE: 1,145\$:NEXT(43\$)

117\$ TRACE, -1, "-Choosing from 2 options\n":
 411\$ BRANCH, 1:
 If,total(j_pier).gt.0,52\$,Yes:
 Else,51\$,Yes

52\$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
 412\$ ASSIGN: plat_anterior=roteiro(navio(j_pier),total(j_pier)):
 coord_ant_x=coord_x(plat_anterior):
 coord_ant_y=coord_y(plat_anterior):NEXT(214\$)
 214\$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
 413\$ ASSIGN: TOTAL(j_pier)=TOTAL(j_pier)+1:
 lote=LOTE-1:
 capacidade(j_pier)=capacidade(j_pier)-carga_total:
 ocupacao=(1.0-capacidade(j_pier)/tpb_emb(j_pier))*100.0:
 cap_convес(j_pier)=cap_convес(j_pier)-carga_convес:
 cap_agua(j_pier)=cap_agua(j_pier)-carga_agua:
 cap_granel(j_pier)=cap_granel(j_pier)-carga_granel:
 cap_diesel(j_pier)=cap_diesel(j_pier)-carga_diesel:
 ocupacao_agua=(1.0-cap_agua(j_pier)/capacidade_agua(j_pier))*100.0:
 ocupacao_convес=(1.0-cap_convес(j_pier)/capacidade_convес(j_pier))*100.0:
 ocupacao_diesel=(1.0-cap_diesel(j_pier)/capacidade_diesel(j_pier))*100.0:
 ocupacao_granel=(1.0-cap_granel(j_pier)/capacidade_granel(j_pier))*100.0:
 roteiro(navio(j_pier),total(j_pier))=num_plat:
 granel_roteiro(navio(j_pier),total(j_pier))=carga_granel:
 agua_roteiro(navio(j_pier),total(j_pier))=carga_agua:
 diesel_roteiro(navio(j_pier),total(j_pier))=carga_diesel:
 convес_roteiro(navio(j_pier),total(j_pier))=carga_convес:
 tpr(navio(j_pier),1)=tpr(navio(j_pier),1)+carga_granel/taxa_pier_granel:
 tpr(navio(j_pier),2)=tpr(navio(j_pier),2)+carga_agua/taxa_pier_agua:
 tpr(navio(j_pier),3)=tpr(navio(j_pier),3)+carga_diesel/taxa_pier_diesel:
 tpr(navio(j_pier),4)=tpr(navio(j_pier),4)+carga_convес/taxa_pier_convес:
 distancia(navio(j_pier),total(j_pier))=dist_percorrida:
 diesel_roteiro_plat(num_plat)=diesel_roteiro_plat(num_plat)+carga_diesel:
 agua_roteiro_plat(num_plat)=agua_roteiro_plat(num_plat)+carga_agua:
 convес_roteiro_plat(num_plat)=convес_roteiro_plat(num_plat)+carga_convес:
 granel_roteiro_plat(num_plat)=granel_roteiro_plat(num_plat)+
 carga_granel:NEXT(32\$)
 32\$ TRACE, -1, "-Choosing from 2 options\n":
 414\$ BRANCH, 1:
 If,nr(requerer(proximidade)).le.1,116\$,Yes:
 Else,48\$,Yes

116\$ TRACE, -1, "-Updating Tally numero_um_atende \n":
 415\$ TALLY: numero_um_atende,total(j_pier),1:NEXT(129\$)
 129\$ TRACE, -1, "-Updating Tally ocupa_barco \n":
 417\$ TALLY: ocupa_barco,ocupacao,1:NEXT(138\$)
 138\$ TRACE, -1, "-Updating Tally ocupa_barco_agua \n":
 419\$ TALLY: ocupa_barco_agua,ocupacao_agua,1:NEXT(139\$)
 139\$ TRACE, -1, "-Updating Tally ocupa_barco_convес \n":
 421\$ TALLY: ocupa_barco_convес,ocupacao_convес,1:NEXT(140\$)
 140\$ TRACE, -1, "-Updating Tally ocupa_barco_diesel \n":
 423\$ TALLY: ocupa_barco_diesel,ocupacao_diesel,1:NEXT(141\$)
 141\$ TRACE, -1, "-Updating Tally ocupa_barco_granel \n":
 425\$ TALLY: ocupa_barco_granel,ocupacao_granel,1:NEXT(151\$)
 151\$ TRACE, -1, "-Updating tally set teste_ocupacao(mario_1) \n":

```

428$ TALLY: teste_ocupacao(mario_1),ocupacao,1:NEXT(154$)
154$ TRACE, -1,"-Updating tally set teste_um_atende(mario_1) \n":
430$ TALLY: teste_um_atende(mario_1),total(j_pier),1:NEXT(236$)
236$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
431$ ASSIGN: iii=navio(j_pier):
    jjj=1:
    tempo_agora=tnow:
    dista_total=0:NEXT(234$)
234$ WHILE: jjj<=total(j_pier):NEXT(235$)
235$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
432$ ASSIGN: dista_total=dista_total+distancia(iii,jjj):NEXT(237$)
237$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
433$ ASSIGN: jjj=jjj+1:NEXT(233$)
233$ ENDWHILE:NEXT(232$)
232$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
434$ ASSIGN: num_plat_aux=roteiro(iii,jjj-1):
    req_carga_total(prox(j_pier))=
    req_carga_total(prox(j_pier))-(capac_emb(tipo_emb)-capacidade(j_pier)):
    minin(prox(j_pier),1)=abs(1.0-req_carga_total(prox(j_pier))/capac_emb(1)):
    minin(prox(j_pier),2)=abs(1.0-req_carga_total(prox(j_pier))/capac_emb(2)):
    alpha_1=req_carga_total(1):
    alpha_2=req_carga_total(2):
    roteiro(navio(j_pier),total(j_pier)+1)=61:
    coord_ant_x=coord_x_base:
    coord_ant_y=coord_y_base:
    distancia(navio(j_pier),total(j_pier)+1)=dist_percorrida_aux:
    dista_total=dista_total+distancia(iii,jjj):
    num_seq=total(j_pier):NEXT(238$)
238$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
435$ ASSIGN: TOTAL(j_pier)=0:
    prox(j_pier)=0:
    jj_pier=j_pier:
    num_nav=navio(j_pier):
    iii=num_nav:
    jjj=1:
    tempo_agora=tnow:
    distaa_total=0:NEXT(4$)
4$ VBA: 1,vba
228$ WHILE: jjj<=num_seq:NEXT(230$)
230$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
436$ ASSIGN: distaa_total=distaa_total+distancia(iii,jjj):NEXT(229$)
229$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
437$ ASSIGN: jjj=jjj+1:NEXT(227$)
227$ ENDWHILE:NEXT(231$)
231$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
438$ ASSIGN: num_plat_aux=roteiro(iii,jjj-1):
    roteiro(iii,jjj)=61:
    coord_ant_x=coord_x_base:
    coord_ant_y=coord_y_base:
    distancia(iii,jjj)=dist_percorrida_aux:
    distaa_total=distaa_total+distancia(iii,jjj):NEXT(8$)
8$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
439$ ASSIGN: jjj=1:NEXT(46$)
46$ TRACE, -1,"-Sending signal libera_atendimento\n":
440$ SIGNAL: libera_atendimento,1:NEXT(34$)
34$ TRACE, -1,"-Releasing resources\n":
441$ RELEASE: requerer(proximidade),1:
    requer,1:NEXT(262$)
262$ TRACE, -1,"-Sending signal libera_quebra\n":
442$ SIGNAL: libera_quebra,1000:NEXT(144$)

```

```

144$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
443$ ASSIGN: tpr_1=tpr(navio(j_pier),1):
tpr_2=tpr(navio(j_pier),2):
tpr_3=tpr(navio(j_pier),3):
tpr_4=tpr(navio(j_pier),4):NEXT(142$)
142$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
444$ ASSIGN: carrega_porto=mx(tpr_1,tpr_2,tpr_3,tpr_4):
tpr(navio(j_pier),1)=0:
tpr(navio(j_pier),2)=0:
tpr(navio(j_pier),3)=0:
tpr(navio(j_pier),4)=0:NEXT(81$)
81$ TRACE, -1, "-Delaying for time tempo_de_porto\n":
445$ DELAY: tempo_de_porto:NEXT(33$)
33$ TRACE, -1, "-Sending signal LIBERA_BARCO(j_pier)\n":
446$ SIGNAL: LIBERA_BARCO(j_pier),1:NEXT(21$)
21$ TRACE, -1, "-Waiting for signal fim_pedido(num_plat)\n":
447$ WAIT: fim_pedido(num_plat)
449$ DELAY: 0.000:NEXT(254$)
254$ TRACE, -1, "-Choosing from 5 options\n":
450$ BRANCH, 1:
If,nrep.gt.4,256$,Yes:
If,nrep.eq.4,252$,Yes:
If,nrep.eq.3,255$,Yes:
If,nrep.eq.2,257$,Yes:
Else,253$,Yes
256$ TRACE, -1, "-Writing to File saida5\n":
451$ WRITE, saida5,"(4F10.0)":
nrep,
NUM_PLAT,
tnow,
tempo_espera:NEXT(22$)
22$ TRACE, -1, "-Updating Tally espera_atende_pedido \n":
452$ TALLY: espera_atende_pedido,Interval(tempo_espera),1:NEXT(23$)
23$ TRACE, -1, "-Updating tally set tempo_plat(NUM_PLAT) \n":
455$ TALLY: tempo_plat(NUM_PLAT),Interval(tempo_espera),1:NEXT(24$)
24$ TRACE, -1, "-Updating tally set tempo_tipo(tipo_um) \n":
457$ TALLY: tempo_tipo(tipo_um),Interval(tempo_espera),1:NEXT(96$)
96$ TRACE, -1, "-Disposing entity\n":
458$ DISPOSE
252$ TRACE, -1, "-Writing to File saida4\n":
459$ WRITE, saida4,"(4F10.0)":
nrep,
NUM_PLAT,
tnow,
tempo_espera:NEXT(22$)
255$ TRACE, -1, "-Writing to File saida3\n":
460$ WRITE, saida3,"(4F10.0)":
nrep,
NUM_PLAT,
tnow,
tempo_espera:NEXT(22$)
257$ TRACE, -1, "-Writing to File saida2\n":
461$ WRITE, saida2,"(4F10.0)":
nrep,
NUM_PLAT,
tnow,
tempo_espera:NEXT(22$)

253$ TRACE, -1, "-Writing to File saida1\n":
462$ WRITE, saida1,"(4F10.0)":

```

nrep,
NUM_PLAT,
tnow,
tempo_espera:NEXT(22\$)

48\$ TRACE, -1, "-Releasing resources\n":
463\$ RELEASE: requerer(proximidade), 1:
requer, 1: NEXT(21\$)

51\$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
464\$ ASSIGN: coord_ant_x=coord_x_base:
coord_ant_y=coord_y_base: NEXT(214\$)

18\$ TRACE, -1, "-Delaying for time inter_ped_diesel(tipo_um)\n":
465\$ DELAY: inter_ped_diesel(tipo_um): NEXT(101\$)
101\$ TRACE, -1, "-Duplicating entities\n":
466\$ DUPLICATE: 1, 18\$: NEXT(92\$)
92\$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
467\$ ASSIGN: contador=1:
tempo_espera=tnow:
carga_diesel=dist_carga_diesel(tipo_um):
carga_conves=0:
carga_agua=0:
carga_granel=0:
pedido_per(num_plat)=pedido_per(num_plat)+1:
pedido_tipo(num_plat)=pedido_tipo(num_plat)+4:
carga_periodo_diesel(num_plat)=carga_periodo_diesel(num_plat)+carga_diesel:
carga_total_diesel(tipo_um)=carga_total_diesel(tipo_um)+carga_diesel:
total_diesel=total_diesel+Carga_diesel: NEXT(25\$)

87\$ TRACE, -1, "-Delaying for time inter_ped_agua(tipo_um)\n":
468\$ DELAY: inter_ped_agua(tipo_um): NEXT(99\$)
99\$ TRACE, -1, "-Duplicating entities\n":
469\$ DUPLICATE: 1, 87\$: NEXT(90\$)
90\$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
470\$ ASSIGN: contador=1:
tempo_espera=tnow:
carga_agua=dist_carga_agua(tipo_um):
carga_conves=0:
carga_granel=0:
carga_diesel=0:
pedido_per(num_plat)=pedido_per(num_plat)+1:
pedido_tipo(num_plat)=pedido_tipo(num_plat)+200:
carga_periodo_agua(num_plat)=carga_periodo_agua(num_plat)+carga_agua:
carga_total_agua(tipo_um)=carga_total_agua(tipo_um)+carga_agua:
total_agua=total_agua+carga_agua: NEXT(25\$)

86\$ TRACE, -1, "-Delaying for time inter_ped_conves(tipo_um)\n":
471\$ DELAY: inter_ped_conves(tipo_um): NEXT(98\$)
98\$ TRACE, -1, "-Duplicating entities\n":
472\$ DUPLICATE: 1, 86\$: NEXT(89\$)
89\$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
473\$ ASSIGN: contador=1:
tempo_espera=tnow:
carga_conves=dist_carga_conves(tipo_um):
carga_diesel=0:
carga_agua=0:
carga_granel=0:
pedido_per(num_plat)=pedido_per(num_plat)+1:
pedido_tipo(num_plat)=pedido_tipo(num_plat)+1000:

carga_perodo_conves(num_plat)=carga_perodo_conves(num_plat)+
carga_conves:
carga_total_conves(tipo_um)=carga_total_conves(tipo_um)+carga_conves:
total_conves=total_conves+carga_conves:NEXT(25\$)

474\$ CREATE, 1:1440
481\$ TRACE, -1,"-Entity Created\n":
478\$ ASSIGN: Picture=Default:NEXT(35\$)
35\$ TRACE, -1,"-Sending signal libera_pedidos\n":
482\$ SIGNAL: libera_pedidos,100000:NEXT(36\$)
36\$ TRACE, -1,"-Disposing entity\n":
483\$ DISPOSE

37\$ STATION, estacoes_um
484\$ ASSIGN: SetIndex=MEMIDX(estacoes_um,M)
485\$ TRACE, -1,"-Arrived to station estacoes_um\n":NEXT(53\$)
53\$ TRACE, -1,"-Updating Tally ta_viagem \n":
487\$ TALLY: ta_viagem,Interval(tempo_tally),1:NEXT(58\$)
58\$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_viagem_psv(numero_navio) \n":
490\$ TALLY: tempo_viagem_psv(numero_navio),Interval(tempo_tally),1:NEXT(54\$)
54\$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_viagem_tipo_psv(tipo_embarcacao)\n":
492\$ TALLY: tempo_viagem_tipo_psv(tipo_embarcacao),Interval(tempo_tally),1:NEXT(59\$)
59\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
493\$ ASSIGN: tempo_tally=tnow:
tempo_atracacao=norm(tempo_atrac_um(tipo_embarcacao),coef_variacao*
tempo_atrac_um(tipo_embarcacao))
:NEXT(60\$)
60\$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":
494\$ BRANCH, 1:
With,prob_aguarda_atrac(tipo_embarcacao),61\$,Yes:
Else,62\$,Yes
61\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
495\$ ASSIGN: tempo_atracacao=
norm(tempo_espera_atrac(tipo_embarcacao),coef_variacao*tempo_espera_atrac(tipo_embarcaca
o))+tempo_atracacao
:NEXT(62\$)
62\$ TRACE, -1,"-Delaying for time tempo_atracacao\n":
496\$ DELAY: tempo_atracacao:NEXT(63\$)

Model statements for module: Tally 100
63\$ TRACE, -1,"-Updating Tally ta_espera \n":
497\$ TALLY: ta_espera,Interval(tempo_tally),1:NEXT(65\$)
65\$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_esp_psv(numero_navio) \n":
500\$ TALLY: tempo_esp_psv(numero_navio),Interval(tempo_tally),1:NEXT(64\$)
64\$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_esp_tipo_psv(tipo_embarcacao) \n":
502\$ TALLY:
tempo_esp_tipo_psv(tipo_embarcacao),Interval(tempo_tally),1:NEXT(66\$)
66\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
503\$ ASSIGN: tempo_tally=tnow:NEXT(39\$)
39\$ TRACE, -1,"-Waiting for resources\n":
504\$ SEIZE,: plataforma,1
509\$ ASSIGN: j=j
506\$ DELAY: 0.000:NEXT(147\$)
147\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
510\$ ASSIGN: granel_descarga=granel_roteiro(numero_navio,sequencia)/
taxa_granel(tipo_embarcacao)
diesel_descarga=diesel_roteiro(numero_navio,sequencia)/
taxa_diesel(tipo_embarcacao):
agua_descarga=agua_roteiro(numero_navio,sequencia)/
taxa_agua(tipo_embarcacao):

```

conves_descarga=convesroteiro(numero_navio,sequencia)*
(1.0+carga_retorno*dist_carga_retorno)/taxa_cv(tipo_um_var(umroteiro)):
gran_agua_diesel=granel_descarga+agua_descarga+diesel_descarga:
tempo_descarga_um=conves_descarga:
conta_um_descarga(umroteiro)=1:NEXT(146$)
146$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":
511$ BRANCH, 1:
If,roteiro(numero_navio,sequencia+1).eq.umroteiro,148$,Yes:
Else,149$,Yes
148$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
512$ ASSIGN: sequencia=sequencia+1:
umroteiro=roteiro(numero_navio,sequencia):
granel_descarga=granelroteiro(numero_navio,sequencia)/
taxa_granel(tipo_embarcacao)+granel_descarga:
diesel_descarga=dieselroteiro(numero_navio,sequencia)/
taxa_diesel(tipo_embarcacao)+diesel_descarga:
agua_descarga=aguarroteiro(numero_navio,sequencia)/
taxa_agua(tipo_embarcacao)+agua_descarga:
conves_descarga=
convesroteiro(numero_navio,sequencia)*(1.0+carga_retorno*dist_carga_retorno)/taxa_cv(tipo_u
m_var(umroteiro))+conves_descarga:
gran_agua_diesel=granel_descarga+agua_descarga+diesel_descarga+
gran_agua_diesel: tempo_descarga_um=conves_descarga+tempo_descarga_um:
conta_um_descarga(umroteiro)=conta_um_descarga(umroteiro)+1:NEXT(146$)

149$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
513$ ASSIGN: carga_receb_conves(umroteiro)=
carga_receb_conves(umroteiro)+convesroteiro(numero_navio,sequencia):
total_conves_receb=total_conves_receb+
convesroteiro(numero_navio,sequencia):
carga_receb_agua(umroteiro)=carga_receb_agua(umroteiro)+
aguarroteiro(numero_navio,sequencia):
total_agua_receb=total_agua_receb+aguarroteiro(numero_navio,sequencia):
carga_receb_granel(umroteiro)=
carga_receb_granel(umroteiro)+granelroteiro(numero_navio,sequencia):
total_diesel_receb=total_diesel_receb+dieselroteiro(numero_navio,sequencia):
carga_receb_diesel(umroteiro)=
carga_receb_diesel(umroteiro)+dieselroteiro(numero_navio,sequencia):
total_granel_receb=total_granel_receb+granelroteiro(numero_navio,sequencia)
:NEXT(68$)
68$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":
514$ BRANCH, 1:
If,conves_descarga.lt.gran_agua_diesel,69$,Yes:
Else,153$,Yes
69$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
515$ ASSIGN: tempo_descarga_um=gran_agua_diesel:NEXT(153$)
153$ TRACE, -1,"-Sending signal
fim_pedido(roteiro(numero_navio,sequencia))\n":
516$ SIGNAL:
fim_pedido(roteiro(numero_navio,sequencia)),conta_um_descarga(umroteiro):
NEXT(70$)
70$ TRACE, -1,"-Delaying for time tempo_descarga_um\n":
517$ DELAY: tempo_descarga_um:NEXT(40$)
40$ TRACE, -1,"-Releasing resources\n":
518$ RELEASE: plataforma,1:NEXT(57$)
57$ TRACE, -1,"-Updating Tally ta_plat\n":
519$ TALLY: ta_plat,Interval(tempo_tally),1:NEXT(55$)
55$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_plat_psv(numero_navio)\n":
522$ TALLY: tempo_plat_psv(numero_navio),Interval(tempo_tally),1:NEXT(56$)
56$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_plat_tipo_psv(tipo_embarcacao)\n":

```

```

524$ TALLY:
tempo_plat_tipo_psv(tipo_embarcacao),Interval(tempo_tally),1:NEXT(42$)
42$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
525$ ASSIGN: sequencia=sequencia+1:
um_roteiro=roteiro(numero_navio,sequencia):
local=nome_st_um(um_roteiro):
plataforma=name_um(um_roteiro):
time_time=distancia(numero_navio,sequencia)/(30.86*
veloc_emb(tipo_embarcacao)):
time_trip=time_viagem:
tempo_tally=tnow:NEXT(41$)
41$ ROUTE: time_trip,local

71$ STATION, docagem
611$ TRACE, -1,"-Arrived to station docagem\n":NEXT(79$)
79$ TRACE, -1,"-Waiting for resources\n":
613$ SEIZE,: area_docagem,1
618$ ASSIGN: j=j
615$ DELAY: 0.000:NEXT(72$)
72$ TRACE, -1,
"-Delaying for time nom(tempo_docag(tipo_embarcacao),
coef_variacao*tempo_docag(tipo_embarcacao))\n":
619$ DELAY: nom(tempo_docag(tipo_embarcacao),coef_variacao*
tempo_docag(tipo_embarcacao)):NEXT(80$)
80$ TRACE, -1,"-Releasing resources\n":
620$ RELEASE: area_docagem,1:NEXT(73$)
73$ TRACE, -1,"-Updating Tally ta_docagem \n":
621$ TALLY: ta_docagem,Interval(tempo_tally),1:NEXT(74$)
74$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_docagem_psv(numero_navio) \n":
624$ TALLY: tempo_docagem_psv(numero_navio),Interval(tempo_tally),1:NEXT(75$)
75$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_docagem_tipo_psv(tipo_embarcacao)\n":
626$ TALLY: tempo_docagem_tipo_psv(tipo_embarcacao),Interval(tempo_tally),
1:NEXT(77$)
77$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
627$
time_docagem=nom(int_docag(tipo_embarcacao),coef_variacao*int_docag(tipo_embarcacao))+tn
ow:
tempo_tally=tnow:NEXT(76$)
76$ ROUTE: 10.0,base

635$ CREATE, 1,1:1,1
642$ TRACE, -1,"-Entity Created\n":
639$ ASSIGN: Picture=Default:NEXT(12$)
12$ TRACE, -1,"-Reading from dados \n":
643$ READ, dados:
num_um, num_tipo_um, num_tipo_psv, num_prox, coord_x_base, coord_y_base,
num_pier, taxa_pier_conves, taxa_pier_agua, taxa_pier_granel, taxa_pier_diesel,
tempo_atrac_pier, carga_retorno, prob_carga_retorno, coef_variacao,
estiva_conves, int_abastecimento, tempo_abastecimento, max_viagem,
tempo_simul:NEXT(16$)
16$ TRACE, -1,"-Delaying for time 525599\n":
644$ DELAY: 525599:NEXT(251$)
251$ TRACE, -1,"-Writing to File estatisticas\n":
645$ WRITE, estatisticas:
nrep, TNUM(espera_atende_pedido), TAVG(ta_fila_porto),
TAVG(tempo_fila_tipo_psv(1)), TAVG(tempo_fila_tipo_psv(2)),
TNUM(ta_fila_porto), TNUM(tempo_fila_tipo_psv(1)),
TNUM(tempo_fila_tipo_psv(2)), total_agua,
total_agua_receb, total_conves, total_conves_receb, total_diesel,
total_diesel_receb, total_granel, total_granel_receb, tavg(ta_tvr),

```

tavg(ta_tv_1), tavg(ta_tv_2), tavg(ocupa_barco), tavg(teste_ocup_1),
 tavg(teste_ocup_2), tavg(numero_um_atende), tavg(teste_um_1),
 tavg(teste_um_2), tavg(ocupa_barco_agua), tavg(ocupa_barco_conves),
 tavg(ocupa_barco_diesel), tavg(ocupa_barco_granel):NEXT(97\$)
 97\$ CLOSE, dados:NEXT(15\$)
 15\$ TRACE, -1,"-Disposing entity\n":
 646\$ DISPOSE

 647\$ CREATE, 1,4:1,1
 654\$ TRACE, -1,"-Entity Created\n":
 651\$ ASSIGN: Picture=Default:NEXT(159\$)
 159\$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
 655\$ DUPLICATE: num_tipo_psv,161\$:NEXT(160\$)
 160\$ TRACE, -1,"-Disposing entity\n":
 656\$ DISPOSE

 161\$ TRACE, -1,"-Reading from dados \n":
 657\$ READ, dados:
 num_psv, num_emb(num_psv), veloc_emb(num_psv), capac_emb(num_psv),
 area_emb(num_psv), capac_emb_agua(num_psv),
 capac_emb_granel(num_psv), capac_emb_diesel(num_psv),
 taxa_agua(num_psv), taxa_granel(num_psv), taxa_diesel(num_psv),
 prob_aguarda_atrac(num_psv), tempo_espera_atrac(num_psv),
 tempo_atrac_um(num_psv), prob_dtm(num_psv),
 tempo_dtm(num_psv), int_docag(num_psv),
 tempo_docag(num_psv):NEXT(162\$)
 162\$ TRACE, -1,"-Duplicating entities\n":
 658\$ DUPLICATE: num_emb(num_psv),163\$:NEXT(160\$)

 163\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
 659\$ ASSIGN: num_tot_emb=num_tot_emb+1:
 tipo_embarcacao=num_psv:
 numero_navio=num_tot_emb:
 time_docagem=int_docag(num_psv):
 Picture=navios(tipo_embarcacao):NEXT(164\$)
 164\$ STATION, base
 661\$ TRACE, -1,"-Arrived to station base\n":NEXT(190\$)
 190\$ TRACE, -1,"-Updating Tally ta_viagem \n":
 663\$ TALLY: ta_viagem,Interval(tempo_tally),1:NEXT(192\$)
 192\$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_viagem_psv(numero_navio) \n":
 666\$ TALLY: tempo_viagem_psv(numero_navio),Interval(tempo_tally),1:NEXT(191\$)
 191\$ TRACE, -1,"-Updating tally set
 tempo_viagem_tipo_psv(tipo_embarcacao)/n":
 668\$ TALLY:
 tempo_viagem_tipo_psv(tipo_embarcacao),Interval(tempo_tally),1:NEXT(196\$)
 196\$ TRACE, -1,"-Updating Tally ta_tvr \n":
 669\$ TALLY: ta_tvr,Interval(tempo_tvr),1:NEXT(198\$)
 198\$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_tvr_psv(numero_navio) \n":
 672\$ TALLY: tempo_tvr_psv(numero_navio),Interval(tempo_tvr),1:NEXT(197\$)
 197\$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_tvr_tipo_psv(tipo_embarcacao) \n":
 674\$ TALLY:
 tempo_tvr_tipo_psv(tipo_embarcacao),Interval(tempo_tvr),1:NEXT(207\$)
 207\$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
 675\$ ASSIGN: tempo_tally=tnow:NEXT(208\$)
 208\$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":
 676\$ BRANCH, 1:
 If,tnow.ge.time_docagem,209\$,Yes:
 Else,211\$,Yes
 209\$ ROUTE: 10.0,docagem
 211\$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":

```

677$ BRANCH, 1:
  If,prob_dtm(tipo_embarcacao).le.0.0,213$,Yes:
  Else,210$,Yes
213$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
678$ ASSIGN: tempo_tally=tnow:NEXT(185$)
185$ QUEUE, fila_base,,179$
179$ SCAN:
nr(requer).gt.0.and.nr(atende).lt.3.and.lote.gt.0.and.nr(cada_vez).le.0:NEXT(173$)
173$ TRACE, -1,"-Waiting for resources\n":
679$ SEIZE,.: atende,1
684$ ASSIGN: j=j
681$ DELAY: 0.000:NEXT(181$)
181$ TRACE, -1,"-Waiting for resources\n":
685$ SEIZE,.: cada_vez,1
690$ ASSIGN: j=j
687$ DELAY: 0.000:NEXT(204$)
204$ TRACE, -1,"-Choosing from 3 options\n":
691$ BRANCH, 1:
  If,(indice.eq.0),174$,Yes:
  If,conta_fila_base.le.1,206$,Yes:
  Else,205$,Yes
174$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
692$ ASSIGN: j_prox=j_prox+1:NEXT(175$)
175$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":
693$ BRANCH, 1:
  If,j_prox.gt.num_prox,176$,Yes:
  Else,177$,Yes
176$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
694$ ASSIGN: j_prox=0:NEXT(174$)
177$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":
695$ BRANCH, 1:
  If,nq(fila_proximo(j_prox)).gt.0,199$,Yes:
  Else,174$,Yes
199$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":
696$ BRANCH, 1:
  If,minin(j_prox,1).le.minin(j_prox,2),200$,Yes:
  Else,202$,Yes
200$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
697$ ASSIGN: indice=1:
  conta_fila_base=nq(fila_base):NEXT(201$)
201$ TRACE, -1,"-Choosing from 2 options\n":
698$ BRANCH, 1:
  If,(tipo_embarcacao.eq.indice).or.nq(fila_base).le.0,206$,Yes:
  Else,203$,Yes
206$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
699$ ASSIGN: indice=0:NEXT(166$)
166$ TRACE, -1,"-Waiting for resources\n":
700$ SEIZE,.: SELECT(berco,LRC,pier_ocup),1
705$ ASSIGN: j=j
702$ DELAY: 0.000:NEXT(186$)
186$ TRACE, -1,"-Updating Tally ta_fila_porto \n":
706$ TALLY: ta_fila_porto,Interval(tempo_tally),1:NEXT(193$)
193$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_fila_psv(numero_navio) \n":
709$ TALLY: tempo_fila_psv(numero_navio),Interval(tempo_tally),1:NEXT(187$)
187$ TRACE, -1,"-Updating tally set tempo_fila_tipo_psv(tipo_embarcacao) \n":
711$ TALLY: tempo_fila_tipo_psv(tipo_embarcacao),Interval(tempo_tally),1:NEXT(195$)
195$ TRACE, -1,"-Making assignments\n":
712$ ASSIGN: tipo_emb=tipo_embarcacao:
  capacidade(pier_ocup)=capac_emb(tipo_embarcacao):
  capacidade_agua(pier_ocup)=capac_emb_agua(tipo_embarcacao):

```

```

capacidade_convés(pier_ocup)=estiva_convés*area_emb(tipo_embarcação):
capacidade_diesel(pier_ocup)=capac_emb_diesel(tipo_embarcação):
capacidade_granel(pier_ocup)=capac_emb_granel(tipo_embarcação):
tpb_emb(pier_ocup)=capacidade(pier_ocup):
cap_agua(pier_ocup)=capac_emb_agua(tipo_embarcação):
cap_granel(pier_ocup)=capac_emb_granel(tipo_embarcação):
cap_diesel(pier_ocup)=capac_emb_diesel(tipo_embarcação):
cap_convés(pier_ocup)=estiva_convés*area_emb(tipo_embarcação):
navio(pier_ocup)=numero_navio:
sequencia=0: tempo_tvr=tnow: tempo_tally=tnow:
troca_barco=0: mario_1=tipo_embarcação:NEXT(178$)
178$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
713$ ASSIGN: prox(pier_ocup)=i_prox:
i_pier=pier_ocup:NEXT(184$)
184$ TRACE, -1, "-Waiting for signal libera_atendimento\n":
714$ WAIT: libera_atendimento,1
716$ DELAY: 0.000:NEXT(182$)
182$ TRACE, -1, "-Releasing resources\n":
717$ RELEASE: cada_vez,1:NEXT(168$)
168$ TRACE, -1, "-Waiting for signal libera_barco(pier_ocup)\n":
718$ WAIT: libera_barco(pier_ocup),1
720$ DELAY: 0.000:NEXT(188$)
188$ TRACE, -1, "-Updating Tally ta_porto \n":
721$ TALLY: ta_porto,Interval(tempo_tally),1:NEXT(194$)
194$ TRACE, -1, "-Updating tally set tempo_porto_psv(numero_navio) \n":
724$ TALLY: tempo_porto_psv(numero_navio),Interval(tempo_tally),1:NEXT(189$)
189$ TRACE, -1, "-Updating tally set tempo_porto_tipo_psv(tipo_embarcação) \n":
726$ TALLY: tempo_porto_tipo_psv(tipo_embarcação),Interval(tempo_tally),1:NEXT(169$)
169$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
727$ ASSIGN: sequencia=sequencia+1:
um_rotreiro=rotreiro(numero_navio,sequencia):
local=nome_st_um(rotreiro(numero_navio,sequencia)):
plataforma=nome_um(rotreiro(numero_navio,sequencia)):
time_time=distancia(numero_navio,sequencia)/
(30.86*veloc_emb(tipo_embarcação)):
time_trip=time_viagem:
tempo_tally=tnow:NEXT(171$)
171$ TRACE, -1, "-Releasing resources\n":
728$ RELEASE: atender(pier_ocup),1:
atende,1:NEXT(170$)
170$ ROUTE: time_trip,local

203$ TRACE, -1, "-Releasing resources\n":
729$ RELEASE: cada_vez,1:
atende,1:NEXT(185$)

202$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
730$ ASSIGN: indice=2:
conta_fila_base=nq(filas_base):NEXT(201$)

205$ TRACE, -1, "-Making assignments\n":
731$ ASSIGN: conta_fila_base=conta_fila_base-1:NEXT(201$)

210$ TRACE, -1, "-Choosing from 2 options\n":
732$ BRANCH: 1:
With,prob,0.5(tipo_embarcação),212$,Yes:
Else,213$
212$ TRACE, -1, "-Delaying for time cumpre_dtm\n":
733$ DELAY: cumpre_dtm:NEXT(213$)

```