

CAIO MARCELO TONDO

SIMULAÇÃO E ANÁLISE OPERACIONAL DO
TERMINAL DE CONTÊINERES DO PORTO
DE SANTOS

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

SÃO PAULO, 1984

FD-553

CAIO MARCELO TONDO

Engenheiro Naval, Escola Politécnica da USP, 1979

SIMULAÇÃO E ANÁLISE OPERACIONAL DO
TERMINAL DE CONTÊINERES DO PORTO
DE SANTOS

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da Universidade de
São Paulo para a obtenção do Tí-
tulo de Mestre em Engenharia.

tondo
Orientador: Prof. Dr. Nicolau D. Fares Gualda
Professor Assistente-Doutor do
Departamento de Engenharia de
Transportes e do Departamento de
Engenharia Naval.

SÃO PAULO, 1984

AOS MEUS PAIS.

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo - FAPESP pelo apoio financeiro que permitiu a execução deste trabalho em regime de dedicação exclusiva.

Aos Profs. Marco Antonio Brinati e Nicolau Dionísio Fares Gualda pela valiosa orientação recebida.

Aos Engos. Renato Ferreira Barco e Randolpho de Mello Alonso, administradores de operações e manutenção, respectivamente, no Terminal de Contêineres do Porto de Santos, pelo fornecimento de informações e apoio durante as pesquisas de campo.

À Administração do Porto de Santos, notadamente à Diretoria de Operações por permitir o acesso a diversas informações importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

À Sra. Marisa Anbruste Marton pela qualidade da datilografia.

SUMÁRIO

Este trabalho aborda o desenvolvimento de um modelo de simulação estocástica do Terminal de Contêineres do Porto de Santos.

O modelo, convertido num programa de computador na linguagem G.P.S.S. - "General Purpose Simulation System", é aplicado a uma análise operacional do referido terminal de contêineres, através de simulações de sua operação.

Os resultados desta análise operacional permitem, entre outras conclusões, verificar quais os tipos e números adequados dos equipamentos para estiva e movimentação de contêineres, o número de berços de atracação necessários e a adequabilidade da integração do terminal com o sistema de transporte terrestre complementar.

A potencialidade da simulação estocástica, uma ferramenta raramente empregada no Brasil, é mostrada neste trabalho.

ABSTRACT

This study concerns the development of a model for stochastic simulation of the Port of Santos Container Terminal.

This model, converted to a computer program using the G.P.S.S. - General Purpose Simulation System language, is then applied to operational analyses of the above container terminal.

Several conclusions can be obtained from this kind of operational analysis, as the adequate number and types of container stowage and handling equipments, the necessary number of berths for ships and the adequability of the integration of the terminal with the inland transportation system.

The potentiality of the stochastic simulation, a tool scarcely used in Brazil, is shown in this study.

Í N D I C E

SUMÁRIO	III
ABSTRACT	IV
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	VIII
LISTA DE TABELAS	IX
I - INTRODUÇÃO	1
1.1- MOTIVAÇÃO PARA A PESQUISA	1
1.2- OBJETIVO	3
1.3- DELINEAMENTO DO TRABALHO	5
II - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	7
2.1- BIBLIOGRAFIA RELATIVA A TRANSPORTE POR CON- TÊINERES E TERMINAIS ESPECIALIZADOS	7
2.2- BIBLIOGRAFIA APLICÁVEL À MODELAGEM DE TERMI- NAIS DE CONTÊINERES	11
III - DESCRIÇÃO FÍSICA E OPERACIONAL DO TERMINAL DE CON- TÊINERES DE SANTOS	14
3.1- DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DO TERMINAL	14
3.2- DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES NO TERMINAL	17
3.2.1- HORÁRIO DE OPERAÇÃO	17
3.2.2- CHEGADAS E ATRACAÇÕES DE NAVIOS	17
3.2.3- OPERAÇÕES DE ESTIVA	18
3.2.4- OPERAÇÕES DE MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINE- RES ENTRE OS BERÇOS E O PÁTIO DE ESTOCA- GEM	19
3.2.5- ESTOCAGEM DOS CONTÊINERES NO PÁTIO	19
3.2.6- OPERAÇÕES DE MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINE- RES ENTRE O PÁTIO DE ESTOCAGEM E CAMI- NHÕES OU VAGÕES.....	19

3.2.7-	OPERAÇÕES NA PONTE DE CONTROLE	20
3.2.8-	OPERAÇÕES NO SENTIDO DA EXPORTAÇÃO	21
3.2.9-	OUTROS ASPECTOS RELATIVOS À OPERAÇÃO DO TERMINAL	21
3.2.10-	ESTATÍSTICAS	24
3.2.11-	COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS OPERACIONAIS DE TERMINAIS DE CONTÊINERES	31
IV	- MODELAGEM DO SISTEMA	34
4.1-	USO DOS MODELOS ANALÍTICOS E DE SIMULAÇÃO DI GITAL	34
4.2-	MODELAGEM DO TERMINAL	35
4.2.1-	CHEGADAS E ATENDIMENTO DE NAVIOS	36
4.2.2-	OPERAÇÕES DE ESTIVA	38
4.2.3-	ESTOCAGEM DE CONTÊINERES E TRÂNSITO DE VEÍCULOS	39
4.2.4-	OPERAÇÕES NA PONTE DE CONTROLE	41
4.2.5-	OUTRAS CARACTERÍSTICAS DO MODELO	42
4.3-	PROGRAMAÇÃO DO MODELO	45
4.4-	VALIDAÇÃO DO MODELO	46
4.4.1-	VERIFICAÇÃO DO PROGRAMA DE COMPUTADOR .	55
4.4.2-	TESTES DO MODELO	56
4.4.3-	CALIBRAÇÃO DO MODELO	57
V	- APLICAÇÕES DO MODELO À ANÁLISE OPERACIONAL DO TER MINAL DE CONTÊINERES DE SANTOS	63
5.1-	ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL DO TERMINAL DE CON TÊINERES DE SANTOS	63
5.2-	ANÁLISE DE AUMENTOS DE DEMANDA DE MOVIMENTA ÇÃO DE CONTÊINERES	67

VI	- CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
6.1-	CONCLUSÕES GERAIS SOBRE O TRABALHO	77
6.2-	CONSIDERAÇÕES FINAIS	79
APÊNDICE A-1	- LISTA DE SÍMBOLOS UTILIZADOS NO PROGRAMA DE COMPUTADOR BÁSICO	81
APÊNDICE A-2	- LISTAGEM DO PROGRAMA DE COMPUTADOR BÁSICO	85
APÊNDICE A-3	- EXEMPLO DE RELATÓRIO - PADRÃO IMPRIMIDO PELO SISTEMA GPSS, AO FINAL DE UMA SIMULAÇÃO	92

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

	pag.
FIGURA 1.1.- Evolução da movimentação de contêineres no Brasil e no Porto de Santos	02
FIGURA 3.1.- "Lay-out" do terminal de contêineres de Santos	15
FIGURA 3.2.- Esquema geral de operações no terminal de contêineres de Santos	22
FIGURA 3.3.- Número de navios no terminal e número de contêineres movimentados, por mês (janeiro a agosto de 1983)	30
FIGURA 4.1.- Esquema geral do sistema modelado	37
FIGURA 4.2.- Fluxograma do programa de computador ..	47
FIGURA 4.3.- Esquema do processo de validação do modelo	54
FIGURA 4.4.- Algumas estatísticas acumuladas na simulação nº1; determinação do período de regime transitório	59
FIGURA A-3.1.- Relatório padrão do sistema GPSS ao final de uma simulação	93

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1.- Tempos de ciclos de equipamentos e outros processos.....	26
TABELA 3.2.- Distribuição do número de contêineres estivados por navio no terminal de Santos (período de janeiro a agosto de 1983)....	27
TABELA 3.3.- Composição, em porcentagem, de algumas características dos contêineres movimentados no terminal de Santos (janeiro a agosto de 1983).....	28
TABELA 3.4.- Distribuição da produtividade bruta de estiva no terminal de contêineres de Santos.	29
TABELA 4.1.- Estatísticas utilizadas para a validação do modelo (simulação nº 2).....	61
TABELA 5.1.- Resultados das simulações para análise de aumentos de movimentação de contêineres.	70
TABELA 5.2.- Análise de aumento de movimentação de contêineres: operações na ponte de controle.	74
TABELA 5.3.- Estatísticas referentes às simulações correspondentes à análise de aumento de movimentação de contêineres.....	75

1. - INTRODUÇÃO

1.1.- MOTIVAÇÃO PARA A PESQUISA

A movimentação de contêineres (1) no Brasil vem experimentando crescimento importante e contínuo, nos últimos anos. O porto de Santos, em particular, representa bem este crescimento, conforme se observa na Figura 1.1.

Para suportar esses níveis de movimentação foi implantado o terminal de contêineres de Santos, sobre a margem esquerda do estuário.

O bom desempenho das operações no terminal assume importância no contexto da redução dos custos totais de transporte, condicionando a competitividade das exportações brasileiras.

A eficiência do sistema de transporte por contêineres depende de um grande número de fatores, nos diversos estágios do processo, desde a expedição até o destino final. No estágio correspondente à interface marítimo terrestre, bem representada pelo terminal de contêineres, percebe-se a necessidade do desenvolvimento de pesquisas abrangendo alguns fatores importantes que condicionam a expansão da demanda por este tipo de transporte, tais como:

- i) seleção de cargas mais adequadas para contêineres;

(1) Eventualmente será empregado, neste texto, o sinônimo COFRE DE CARGA ou, simplesmente, COFRE.

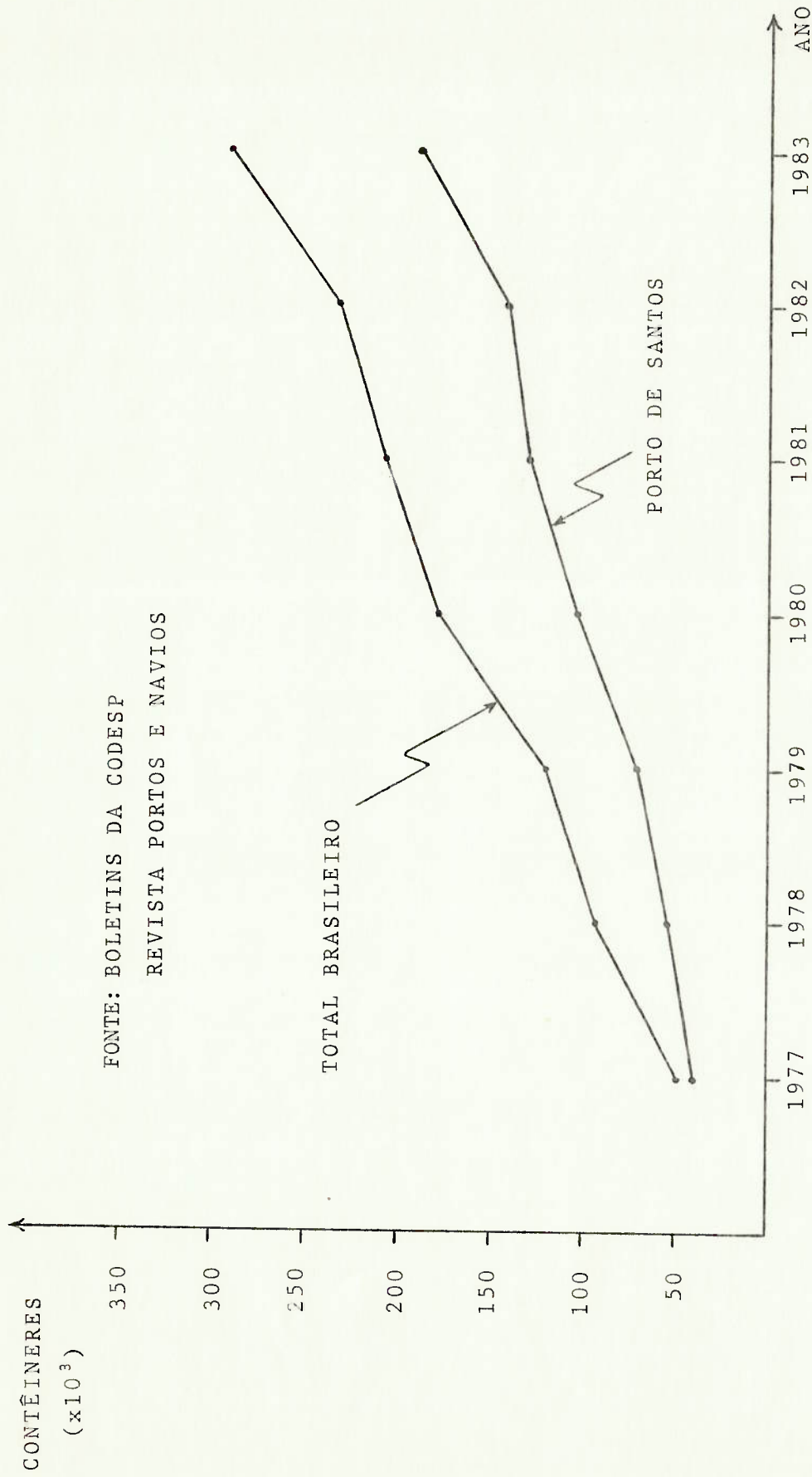


FIGURA 1.1. - Evolução da Movimentação de Contêineres no Brasil e no Porto de Santos

- ii) seleção de rotas mais favoráveis;
- iii) equilíbrio entre os fluxos de cargas containerizadas, na importação e exportação;
- iv) eficiência na operação portuária e integração com o sistema de transporte terrestre.

Cada um desses fatores oferece um campo vasto para estudos e pesquisas. No caso particular do porto de Santos, existe uma motivação especial voltada para o estudo da eficiência da operação portuária e sua integração com o sistema de transporte terrestre, já que o terminal de contêineres recentemente implantado (TECON) incorpora o uso de tecnologias avançadas e sobre as quais não se tem experiência e tradição no Brasil. É o caso do uso conjunto de "portainers", aranhas (ou "straddle-carriers"), empilhadeiras especiais e pórticos sobre pneus, o que exige uma eficiente organização de operações de modo a se poder aproveitar bem a capacidade destes equipamentos em movimentar contêineres com bastante rapidez.

Optou-se assim por executar um estudo operacional do terminal de contêineres do porto de Santos.

Este tipo de estudo enquadra-se numa linha mais ampla de pesquisas sobre planejamento portuário, em desenvolvimento no Departamento de Engenharia Naval da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1.2.- OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é construir um modelo para simulação digital das operações no terminal de contêineres do porto de Santos e aplicá-lo a uma análise operacional deste terminal.

A expressão simulação digital foi empregada, nes

te texto, significando simulação em computador digital com eventos estocásticos gerados pelo método de Monte Carlo, conforme Naylor²⁷ e Shimizu²⁹.

Optou-se por simulação digital, já que verificou-se não existir nenhum modelo analítico aplicável ao processo de movimentação de contêineres, nas operações de estiva, sendo o desenvolvimento de tal modelo uma tarefa muito complexa, excedendo o escopo deste trabalho.

A abrangência do modelo para simulação limitou-se às operações de atendimento aos navios, estiva (1), movimentação (2) e enchimentos e esvaziamentos de contêineres.

A preocupação foi de acompanhar as sucessivas operações de equipamentos desencadeadas pelo trânsito de cada contêiner pelas diversas fases de sua estadia no terminal.

Pode-se assim verificar como o arranjo de equipamentos em uso no terminal comporta-se frente à demanda por operações provocada pelos fluxos de contêineres.

Como será visto no capítulo 2, foram encontrados na bibliografia pesquisada dois trabalhos semelhantes. No primeiro, Granados⁹ apresenta uma metodologia para seleção de equipamentos baseada em simulação digital sem, no

(1) O termo estiva significa desembarque e embarque de cofres.

(2) O termo movimentação significa transferências de contêineres entre as carretas ou caminhões e o pátio de estocagem, através de equipamentos apropriados, chamados de equipamentos de movimentação.

entanto, aplicá-la à problemática de um terminal já implantado, como o do porto de Santos. No segundo, Creton⁶ construiu um modelo para simulação digital destinado ao projeto de terminais de contêineres, mas de tipo diferente do terminal de Santos.

1.3.- DELINEAMENTO DO TRABALHO

Uma pesquisa bibliográfica, útil para o desenvolvimento deste trabalho, é apresentada no capítulo 2.

No capítulo 3 é feita a análise do sistema em estudo, com a descrição física do terminal e das operações com contêineres. A descrição física mostra um esquema do "lay-out" do terminal, os equipamentos existentes e como são efetuadas as operações de recepção aos navios, estiva e movimentação de contêineres, além de estatísticas dos tempos necessários para a execução destas operações. São descritos também outros tipos de terminais de contêineres para efeito de comparação com o de Santos.

A modelagem do terminal é objeto do capítulo 4, com a delimitação do sistema a modelar. Como foi mencionado na seção 1.2, será modelado apenas um sub-sistema constituído das instalações, equipamentos e operações envolvidas com recepção aos navios, estiva e movimentação de contêineres e enchimento e esvaziamento de cofres.

Também são tratados neste capítulo aspectos relativos à programação do modelo em linguagem de computador e sua validação, o que envolve a escolha desta linguagem e a maneira de verificar se a simulação recria todas as operações previstas no modelo.

O capítulo 5 inicia mostrando como analisar os resultados da simulação e tirar conclusões sobre as operações simuladas no terminal.

São feitas aplicações do programa de simulação envolvendo modificações relativas a equipamentos e variações no número de contêineres a ser movimentado num certo período de tempo.

Finalmente as conclusões obtidas são objeto do capítulo 6, sendo também dadas sugestões para melhorar as operações no terminal, assim como são propostos temas para futuras pesquisas.

2. - PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A bibliografia específica na área de transporte por contêineres encontra-se, no Brasil, dispersa e de difícil localização. Isto deve-se, em parte, ao fato de que são recentemente o transporte de carga containerizada tornou-se significativo frente à movimentação de carga geral convencional. Como a maioria dos portos brasileiros apenas se adaptou a esta modalidade de transporte, já que os níveis de movimentação de contêineres não justificavam investimentos específicos para apoiá-la, há falta de informação nesta área. Além disso, a maior parte dos trabalhos existentes no Brasil sobre planejamento de transportes por contêineres é de origem estrangeira.

A pesquisa bibliográfica foi dividida em duas partes. Na primeira, são apresentados trabalhos na área de transporte por contêineres, abordando aspectos de especificações, legislação, utilização, etc. de cofres e planejamento de facilidades portuárias específicas. Na segunda parte aparecem publicações no campo da pesquisa operacional, que fornece ferramenta para a execução de estudos sobre planejamento portuário.

2.1.- BIBLIOGRAFIA RELATIVA A TRANSPORTE POR CONTÊINERES E TERMINAIS.

Os anuários da SUNAMAM¹ e os boletins estatísticos mensais da CODESP¹² fornecem informações úteis sobre número, tipos e peso de contêineres movimentados no Brasil e no porto de Santos, respectivamente.

Bruun² dedica um capítulo de seu livro sobre en

genharia de portos a aspectos relacionados aos terminais de contêineres, tais como exemplos de "lay-out", métodos e equipamentos de estiva e movimentação, tipos de cofres, dimensões, capacidades, etc.. Num apêndice é apresentado um modelo de otimização para projeto de navios porta-contêineres vinculado a hipóteses econômico-operacionais, com aplicação de programação geométrica. Também são a bordados aspectos relativos à otimização de terminais de contêineres.

Caracostas³ aplicou princípios da Teoria da Produção à otimização de uma frota de navios porta-contêineres face a um determinado nível de demanda por transporte.

A revista Comércio e Mercados⁴ apresenta um apanhado sobre formação de fretes para cargas containerizadas, legislação brasileira e estrangeira neste assunto, aluguel de contêineres, etc...

A Secretaria de Tecnologia Industrial do Ministério da Indústria e Comércio publicou um guia para o exportador⁵, que trata de um conjunto de informações sobre contêineres, tais como especificações, emprego, limitações, condições a que fica sujeita a carga, legislação e aspectos econômicos e institucionais.

Creton⁶ apresentou um modelo para simulação digital destinado à otimização de projetos de terminais para contêineres. O modelo foi desenvolvido baseado no sistema de movimentação de contêineres sobre carretas tracionadas por tratores ou cavalos-mecânicos, sendo que os contêineres permanecem sobre as próprias carretas durante o período em que ficam estocados no terminal. O programa de computador foi construído numa linguagem de alto nível, o G.P.S.S.

Edmond e Maggs⁷ publicaram um artigo contendo uma descrição das operações com contêineres, indicando fatores que afetam os modelos de filas aplicados a terminais, para dimensionamento de berços. Também são abordadas as implicações por decisões de investimentos e exemplos de modelos de filas aplicáveis a terminais. Discute-se sobre a influência de fatores geralmente omitidos nos modelos, tais como produtividade dos equipamentos de estiva, problemas trabalhistas, etc..

Goss⁸ apresenta diversos tópicos em economia marítima, incluindo uma análise de custos diários e de oportunidade relativos a navios porta-contêineres.

Grandados⁹ desenvolveu um modelo para simulação digital, com vistas a auxiliar na decisão pela seleção de número e tipos de equipamentos de movimentação de contêineres nas operações de apoio à estiva em terminais de contêineres. A linguagem utilizada no programa de computador foi o FORTRAN.

Na revista HITACHI REVIEW¹⁰ foi publicado um artigo que descreve o terminal de contêineres automatizado da empresa HITACHI, no Japão, mostrando o esquema do sistema de armazenagem dos cofres, que é controlado por computador.

Howard¹¹ analisou a concorrência que o transporte por contêineres sofreu por parte do sistema RO-RO, na Europa, até que a escalada dos preços dos combustíveis estimulou a volta do uso dos navios porta-contêineres nas rotas inter-européias. Por volta de 1978, no entanto, as ferrovias é que passaram a competir com os navios no transporte de contêineres, segundo o autor.

Krause¹³ analisa o problema de saturação nas operações dos terminais de contêineres, quando é atingida a condição de máxima capacidade de armazenamento de co

fres. Dentro das possíveis soluções para contornar esta saturação é abordada a busca por maior capacidade de estocagem nos terminais através da utilização de equipamentos de movimentação que permitam maior empilhamento de contêineres, ou seja, maior aproveitamento da área disponível.

Lui¹⁴ executou um estudo com vistas a otimizar as operações nos armazéns de enchimento e esvaziamento de contêineres, que podem constituir "gargalos" nas operações de um terminal.

Mahendran¹⁵ apresentou um modelo para simulação de um terminal de contêineres, com vistas à minimização dos tempos de permanência dos navios e dos contêineres estocados no terminal.

Novaes¹⁶ descreve as várias modalidades do transporte marítimo apresentando, para cada uma delas, um apanhado sobre sua evolução e as características técnicas e operacionais das embarcações. Também são abordados aspectos econômicos, como fretes.

Na revista SIDERURGIA¹⁷ foram publicadas informações sobre fabricação de contêineres, com detalhes sobre materiais e especificações, manuseio dos cofres e tipos de navios porta-contêineres.

Rath¹⁸ aborda todos os aspectos relativos a sistemas de transporte por contêineres, iniciando com sua regulamentação e implantação. Trata-se do contêiner em si, aquisição, manutenção, custos, aspectos construtivos, cuidados na movimentação, acomodação no navio, etc.. Num capítulo dedicado à integração intermodal são analisados os sistemas de ferrovia, navios, rodovia e transporte aéreo. Parte do livro é dedicada aos serviços de interface em portos e estações de transferência, analisando diversos sistemas de equipamentos de movimentação. Também são a

bordados aspectos econômicos e legais, proteção e conservação da carga. Finalmente, são analisados aspectos de controle de operações nos portos e esquemas para cálculo de custos, a interface homem-contêiner, novas tecnologias e tendências.

Salawu¹⁹ desenvolveu um procedimento para dimensionamento de um terminal de contêineres com base num modelo que utiliza a técnica de rede de filas em série, aplicando-o através de um programa chamado PORT-Q.

Tabak²⁰ apresenta um histórico sobre o transporte por contêineres, incluindo detalhes sobre tipos, construção, materiais empregados, documentação, estiva, manuseio, movimentação, regulamentação dos cofres, etc..

O GEIPOT apresentou uma publicação contendo informações práticas sobre cargas unitizadas, contêineres e "trailers"²¹, que consiste em métodos e recomendações para estiva, amarração, manuseio de contêineres e outras informações.

O GEIPOT também publicou em 1979 um relatório referente a estudos básicos sobre unitização de cargas²² que apresenta uma visão da evolução histórica da unitização de cargas, suas características, tecnologias, os produtos adequados à unitização, os sistemas utilizados, suas vantagens e desvantagens e suas tendências. É feita uma análise da situação brasileira, suas perspectivas, aspectos econômicos e institucionais.

2.2.- BIBLIOGRAFIA APLICÁVEL À MODELAGEM DE TERMINAIS DE CONTÊINERES

Gordon²³ e Schriber³⁰ elaboraram cursos detalhados de GPSS, apresentando os recursos, técnicas e recomen

dações em simulação com esta linguagem de computador, de forma bastante didática.

Gross e Harris²⁴ publicaram uma obra bastante completa e detalhada sobre Teoria de Filas, abrangendo um grande número de tipos de filas incluindo prioridades, limitação do número de elementos no sistema, simulação de filas pelo método de Monte Carlo, discussões sobre como escolher os modelos de filas adequados para cada caso, etc. Também são apresentados os fundamentos da teoria de processos estocásticos, abordando a derivação das equações gerais dos processos de nascimento e morte, processos semi-Markovianos, etc..

Os manuais do usuário de GPSS da Burroughs²⁵ e da IBM²⁶ permitem o conhecimento detalhado dos recursos desta linguagem e sua utilização. O manual da Burroughs, embora de uma versão recente de GPSS que inclui vários recursos adicionais, não apresenta o mesmo cuidado que o da IBM na descrição mais detalhada da lógica interna da linguagem.

Naylor²⁷ e Shimizu²⁹ abordaram as técnicas de simulação em computador digital, analisando vários aspectos como eficiência, validação dos modelos e dos resultados, as várias linguagens de computador para simulação, suas aplicações, particularidades, etc..

Novaes²⁸ apresenta conceitos de Teoria de Filas, as principais distribuições de probabilidades e sua ajustagem, processos de chegada e atendimento, noções sobre cadeias e processos de Markov, análise de filas especiais, armazenagem e diversos exemplos de aplicação prática.

A bibliografia levantada e documentada acima fornece os elementos básicos necessários para a elaboração do modelo pretendido faltando, para tanto, o conheci-

mento mais detalhado da operação do terminal de contêine-
res de Santos, que será objeto do próximo capítulo.

3. - DESCRIÇÃO FÍSICA E OPERACIONAL DO TERMINAL DE CONTÊINERES DE SANTOS

Neste capítulo é feita a descrição do sistema em estudo, abrangendo as instalações do terminal, as operações de recepção aos navios, os equipamentos e as operações de estiva e movimentação de contêineres, a integração com rodovia e ferrovia.

São apresentados alguns resultados de observações dos tempos necessários para a execução de cada uma das diversas operações que ocorrem no terminal e são feitos comentários sobre sua situação (correspondente ao ano de 1983). Também é apresentada uma breve descrição de outros sistemas de operação usados em terminais de contêineres.

3.1.- DESCRIÇÃO DAS INSTALAÇÕES DO TERMINAL

O terminal de contêineres de Santos foi construído sobre a margem esquerda do estuário, próximo ao terminal de fertilizantes de Conceiçãozinha. Na Figura 3.1 observa-se o "lay-out". O pátio de estocagem possui uma área de 180.000m², podendo armazenar até 9.000 T.E.U.(1).

Há dois armazéns de 3100m² cada para esvaziamento de contêineres e um de 9000m² para enchimento. O cais

(1) A unidade T.E.U. corresponde ao contêiner padronizado de 20 pés (aprox. 6 metros) de comprimento; existe também o contêiner padronizado de 40 pés (aprox. 12 metros) de comprimento. Estes dois contêineres medem 6 pés (aprox. 1,8 metros) de altura e de largura.

LEGENDA

1. PÁTIO PARA DEPÓSITO DE CONTÊINERES
2. PÁTIO RODO-FERROVIÁRIO
3. ARMAZÉM DE CONSOLIDAÇÃO
4. ARMAZÉM DE INSPEÇÃO
5. PRÉDIO DE ESCRITÓRIOS
6. OFICINA DE REPARAÇÃO
7. SUBESTAÇÃO
8. PONTE DE INSPEÇÃO RODOVIÁRIA
9. PONTE DE INSPEÇÃO FERROVIÁRIA
10. CONTROLE E INFORMAÇÃO
11. RESERVATÓRIOS DE ÁGUA
12. TRATAMENTO DE ESGOTOS
13. PRONTO-SOCORRO, BOMBEIROS E POLÍCIA
14. ESTACIONAMENTO
15. "PORTAINER"

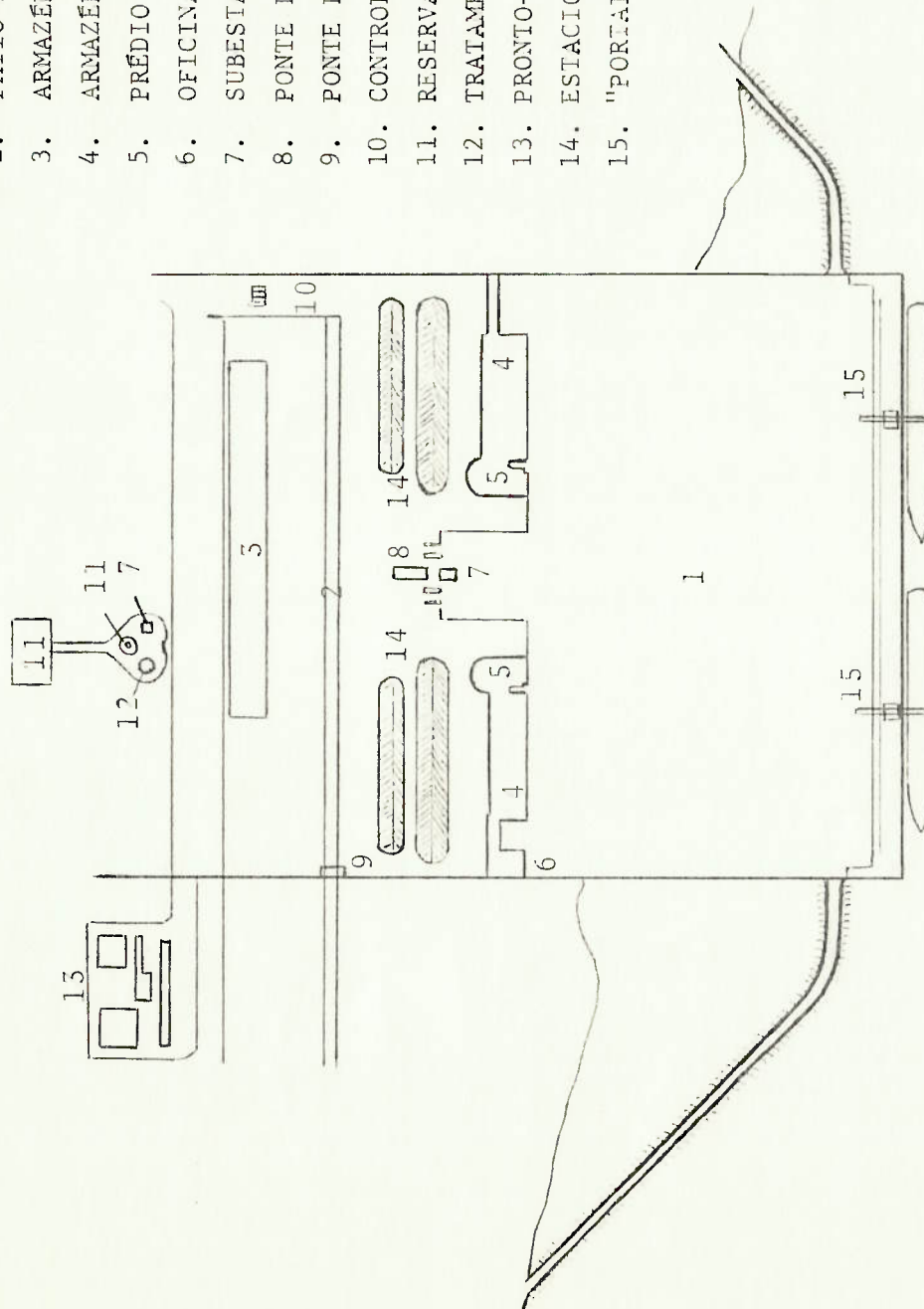


FIGURA 3.1. - "Lay-Out" do Terminal de Contêineres do Porto de Santos

possui um comprimento de 510m e a profundidade no local atinge 13m, o que permite a atracação de navios porta-contêineres de aproximadamente 3.000 T.E.U. ou 50.000 tpb.

No acesso ao pátio de estocagem do terminal passa-se por uma ponte de controle para inspeção, verificação de documentação e pesagem dos contêineres, para o que existe atualmente uma balança rodoviária.

Os equipamentos disponíveis para estiva e movimentação de contêineres, em dezembro de 1983, consistiam de:

- a) 2 "portainers" (guindastes especiais para estiva) com capacidade de içamento de 35 ton.;
- b) 1 empilhadeira para 32 ton., com dispositivo para engate de contêineres de 40 pés (aprox.12 metros) de comprimento;
- c) 2 empilhadeiras para 30 ton., e uma para 23,6 ton.;
- d) 8 empilhadeiras para contêineres vazios;
- e) 2 aranhas ("straddle-carrier") para 30 ton.;
- f) 2 "transtainers" (pórticos rolantes) sobre pneus, para 35 ton. (1);
- g) 1 "transtainer" sobre trilhos, para atendimento a vagões, podendo içar até 35 ton.;
- h) 2 guindastes sobre-pneus;
- i) 18 conjuntos carreta e cavalo-mecânico.

(1) Em dezembro de 1983 estes equipamentos, recém-montados, ainda não estavam operacionais.

3.2.- DESCRIÇÃO DAS OPERAÇÕES NO TERMINAL

3.2.1.- HORÁRIO DE OPERAÇÃO

O horário de operação do terminal inicia-se às 7 horas e consiste de 4 turnos diários de 4 horas, com intervalos de 2 horas, exceto aos domingos, quando o expediente se encerra às 17h. Devido ao fato do terminal localizar-se sobre a margem esquerda do estuário ocorre, entre cada dois turnos, a travessia do canal pelos funcionários do porto e das agências de navegação, nos dois sentidos, o que reduz a duração real dos turnos para uma média aproximada de 3 horas. No entanto por solicitação das agências de navegação, ocorrem freqüentemente operações de estiva e movimentação de contêineres também entre os turnos, mas cessam as operações de enchimento e esvaziamento, recepção aos caminhões, etc..

A seguir é feita a descrição das operações no sentido da importação.

3.2.2.- CHEGADAS E ATRACAÇÕES DE NAVIOS

Os navios que operam no terminal de Santos são normalmente embarcações para 500 a 700 T.E. U., mas a média de contêineres movimentados por navio situava-se, em 1983, em torno de 210 unidades, entre embarque e desembarque, conforme foi observado.

A análise de dados estatísticos sobre chegadas mostrou que os intervalos entre chegadas são aleatórios e ajustam-se bem a uma distribuição exponencial de média 1,42 dias por navio, para o período de janeiro a agosto de 1983.

As operações de atracação ou desatracação consomem geralmente entre 15 a 30 minutos.

Como o terminal dispõe de 2 "portainers", podem atracar 2 navios por vez no cais, embora já tenha ocorrido a atracação de 3 navios simultaneamente.

3.2.3.- OPERAÇÕES DE ESTIVA

Os "portainers" são utilizados na estiva, caso sejam solicitados pelas agências de navegação.

Conforme foi observado em várias visitas ao terminal, a situação mais comum é a estiva através de um "portainer", juntamente com um pau-de-carga ou guindaste de bordo ou, exclusivamente, com dois equipamentos de bordo.

Os contêineres são retirados dos navios e depositados sobre carretas, para serem levados ao pátio de estocagem. Devido à capacidade de içamento de 35 ton., os "portainers" podem estivar quaisquer contêineres com carga máxima. Já os equipamentos de bordo são muito variados em tipos e capacidades e os tempos de ciclo de operação (1) dependem das dimensões e pesos dos cofres.

(1) Intervalo de tempo entre duas operações consecutivas; passar-se-á a utilizar o termo Tempo de Ciclo.

Enquanto o tempo de ciclo dos "portainers" varia entre 3 e 5 minutos por contêiner, os tempos de ciclo dos equipamentos de bordo, devido às consi derações anteriores, variam na faixa de 4 a 10 minutos, em geral, conforme observado no terminal.

3.2.4.- OPERAÇÕES DE MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINERES ENTRE OS BERÇOS E O PÁTIO DE ESTOCAGEM

As carretas carregadas com contêineres de importação estivados dirigem-se ao pátio de estocagem, onde um equipamento de movimentação retira o cofre e o deposita num local especificado.

Existe uma gama variada destes equipamentos, conforme já visto. As aranhas, uma empilhadeira e os "transtainers" podem içar contêineres de 40 pés cheios, outras 3 empilhadeiras podem manobrar cofres de 20 pés cheios, enquanto que os outros e equi pamentos são utilizados principalmente para contêineres vazios.

3.2.5.- ESTOCAGEM DOS CONTÊINERES NO PÁTIO

Os contêineres depositados no pátio são empilhados em até 2 alturas. Os cofres podem permanecer no pátio até a chegada de caminhões que os vêm recolher ou, como ocorre com parte significativa, são esvaziados no terminal. A carga retirada destes contêineres é colocada nos armazéns e os co fres vazios voltam ao pátio, de onde são reembarcados ou recolhidos por caminhões. O tempo médio de permanência dos contêineres no pátio chega a 14 dias, conforme informações obtidas no terminal.

3.2.6.- OPERAÇÕES DE MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINERES ENTRE O PÁTIO DE ESTOCAGEM E CAMINHÕES OU VAGÕES

Nestas operações, os equipamentos de reta guarda retiram os contêineres do local de estocagem e os colocam sobre os caminhões que os vêm recolher. Nas operações de esvaziamento, os cofres são coloca dos sobre carretas para serem levados até o armazém de esvaziamento. Outros contêineres são colocados sobre carretas que os levam ao ramal ferroviário pa ra embarque em vagões. A movimentação de contêine res entre os vagões e as carretas é efetuada de pre ferência pelo "transtainer" sobre trilhos, podendo ser alocadas até 4 carretas para estas operações.

Normalmente os cofres devem estar no terminal até 24 horas antes da chegada do navio que os embarcará.

3.2.7.- OPERAÇÕES NA PONTE DE CONTROLE

Na ponte de controle, os caminhões passam por operações de pesagem e verificação de documentos (guias de importação, exportação, etc..) relati vos aos contêineres que trazem ou vêm recolher.

A pesagem destina-se ao controle da tonelagem de carga movimentada pelo terminal, cobrança de taxas portuárias e para execução de planos de carregamento dos navios.

Conforme a situação presente no final de 1983, a pesagem era executada normalmente em:

- a) caminhões entrando no terminal com cofres cheios;
- b) caminhões saindo com contêineres cheios;
- c) caminhões entrando sem contêineres.

Os cofres transportados por ferrovia são

transferidos para carretas do terminal que passam pela ponte de controle sem serem pesadas. Também não são pesados os caminhões que saem vazios do terminal ou entram trazendo contêineres vazios, sendo apenas aferida a documentação.

3.2.8.- OPERAÇÕES NO SENTIDO DA EXPORTAÇÃO

As operações no sentido de exportação são análogas, apenas se desenvolvendo em sentido contrário. No entanto, quando os "transtainers" sobre pneus estiverem operando normalmente, eles deverão ser empregados no embarque de contêineres, que é considerado prioritário sobre o desembarque.

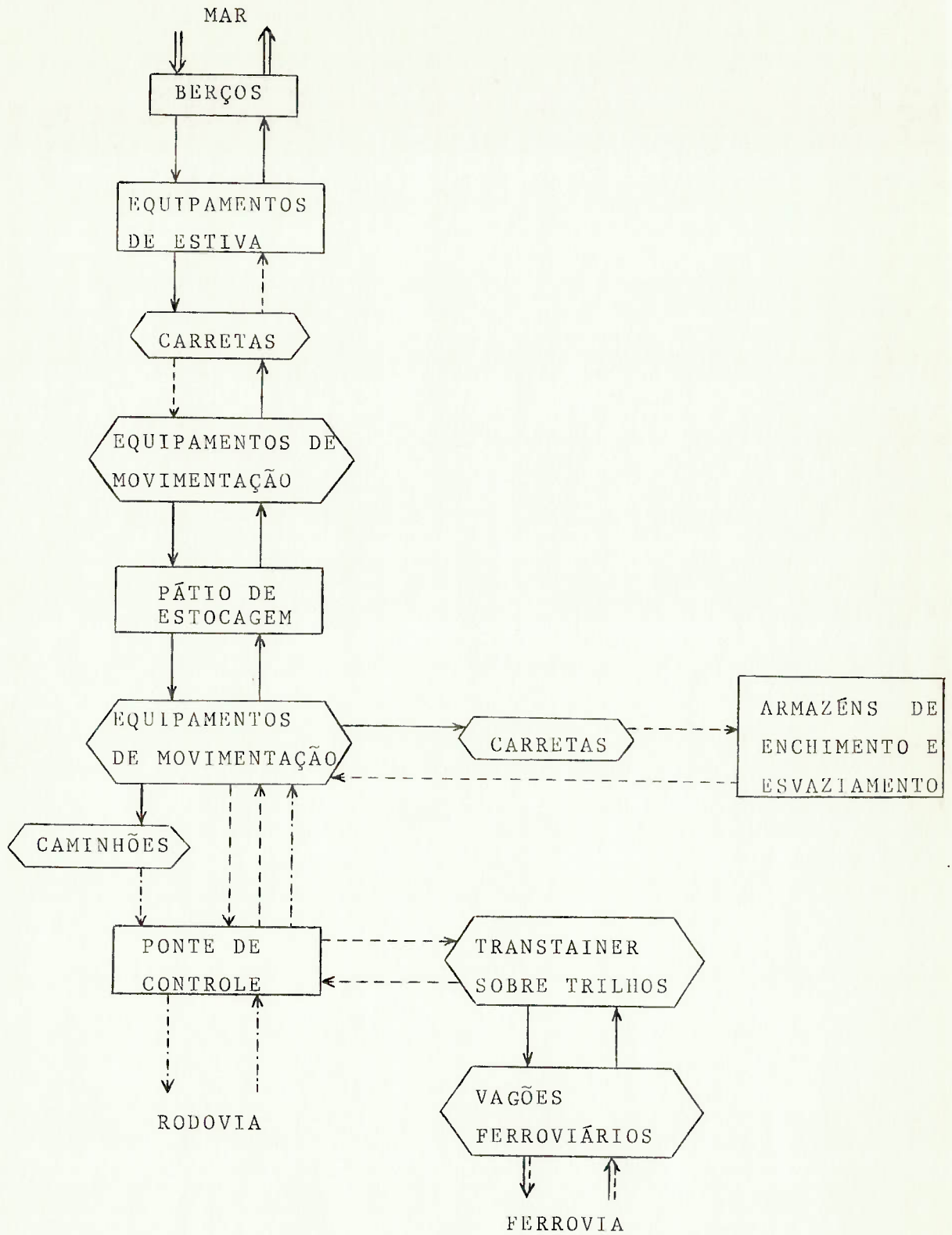
A Figura 3.2 mostra o esquema geral de operações no terminal.

3.2.9.- OUTROS ASPECTOS RELATIVOS À OPERAÇÃO DO TERMINAL

A descrição operacional do terminal, nos itens anteriores refere-se, em geral, a condições ideais.

Existe uma série de situações que fogem às condições ideais de operação e que dificultam a modelagem do sistema.

Já foi mencionado o fato das agências de navegação poderem requisitar ou não os "portainers" para estiva. Mesmo com o uso dos "portainers", normalmente não é atingida a taxa de estiva nominal destes equipamentos, que é da ordem de 15 a 20 contêineres por hora, em operação ininterrupta. Algumas causas para esta redução na taxa de estiva são apontadas a seguir.



LEGENDA:

- | | | | |
|----|---------------------|------------|-------------------------|
| ⇒ | NAVIOS | -----> | MOVIMENTOS DE CAMINHÕES |
| ⇒⇒ | VAGÕES FERROVIÁRIOS | - - - - -> | MOVIMENTOS DE CARRETAS |
| → | CONTÊINERES | ▭ | ELEMENTOS FIXOS |
| | | ▭ | ELEMENTOS MÓVEIS |

FIGURA 3.2 - Esquema Geral das Operações no Terminal de Contêineres do Porto de Santos

O terminal é muito utilizado por navios não especializados, muitas vezes apenas adaptados ao transporte de contêineres, exigindo freqüentes o perações de abertura e fechamento de escotilhas de porões, movimentação dos cofres no sentido horizontal após a colocação no porão, além de ocorrerem in terrupções na estiva para rearranjos de contêineres a bordo.

Fica também a critério das agências de na vegação interromper a estiva entre os turnos normais de operação do terminal. Assim, alguns navios têm a estiva praticamente ininterrupta, enquanto ou tros param durante alguns ou muitos intermédios de turnos.

Para ter-se uma idéia deste problema, con sidere-se a atracação de nº 1549, ocorrida em 15 de junho de 1983, quando foram estivados 251 cofres, tendo o navio permanecido atracado 50 horas, o que dá uma média de 5,02 unidades por hora. Caso a estiva fosse ininterrupta, feita por um "portainer" apenas, este navio teria terminado a estiva em menos de 25 horas.

Devido a estas e várias outras razões, al gumas decorrentes de deficiências em equipamentos de movimentação por parte do terminal, outras por falta de acertos entre os interesses das agências de navegação e da autoridade portuária, ocorrem a trasos tais que as taxas de estiva podem oscilar en tre 3 e 10 contêineres por hora.

Outro problema enfrentado pelo terminal são os poucos equipamentos para movimentar contêine res cheios, principalmente os de 40 pés, as aranhas estando no fim de sua vida útil.

Também pode-se citar o "lay-out" do pátio de estocagem, que é problemático, em parte devido à variedade de equipamentos de movimentação. Por exemplo, o posicionamento de contêineres para utilização de aranhas é incompatível para a utilização de empilhadeiras, que necessitam de maior espaço para manobras.

Além disso, não há estatísticas disponíveis para que se possa modelar paralisações por quebras ou manutenção dos equipamentos.

Os tempos de ciclo dos equipamentos de movimentação também não correspondem ao desempenho esperado devido ao problema do "lay-out" do pátio de estocagem e ao fato dos operadores não serem mantidos permanentemente num mesmo tipo de equipamento.

Ocorre também freqüentemente a estocagem transitória de contêineres na região do cais, atrás do "portainer", devido à falta de carretas. Isto ocorre quando as carretas ficam aguardando serem atendidas por equipamentos de retaguarda que estejam momentaneamente fora de ação para abastecimento de combustível, ou devido a quebras.

Este estoque transitório é removido após a desatracação do navio, quando diminui a demanda por equipamentos de movimentação.

3.2.10 - ESTATÍSTICAS

Uma série de estatísticas úteis à modelagem do terminal foram coletadas, sendo aqui apresentadas.

Os tempos de ciclo dos diversos equipamen

tos constam na Tabela 3.1 (pag. 26), conforme observado na operação do terminal, tendo sido utilizados na modelagem; também constam na tabela os tempos necessários para diversas outras operações que serão modeladas.

Com relação aos intervalos entre chegadas de navios, não se pode rejeitar a hipótese de serem aleatórios, regidos por uma distribuição exponencial, a um nível de significância de 5%, por meio do teste de qui-quadrado efetuado sobre dados do período de janeiro a agosto de 1983.

O tempo médio de permanência dos navios nos berços, para o período de janeiro a agosto de 1983, foi de 1,81 dias por embarcação.

A Tabela 3.2 mostra a distribuição do número de contêineres estivados por navio, no terminal.

Embora os navios que utilizaram o terminal de janeiro a agosto de 1983 fossem embarcações com capacidade para transportar em torno de 500 T. E.U., os dados da Tabela 3.2 indicam uma média de aproximadamente 210 contêineres por navio.

As composições de contêineres cheios, vazios, de 20 e 40 pés de comprimento são objeto da Tabela 3.3. Observa-se que as exportações de cargas containerizadas superam as importações (84,5 % de contêineres cheios na exportação contra 50% cheios na importação). A Tabela 3.3 também permite verificar a predominância do uso dos contêineres de 20 pés (6m) de comprimento.

A figura 3.3 mostra o número de navios

EQUIPAMENTO OU PROCESSO	TEMPOS DE CICLO OU DE PROCESSO (MINUTOS), CONFORME OBSERVAÇÕES NO TERMINAL DE CONTÊI NERES DE SANTOS
"PORTAINER"	3,0 a 5,0
EMPILHADEIRAS	3,3 a 5,3
ARANHAS ("STRADDLE-CARRIERS")	4,0 a 6,0
"TRANSTAINER" SOBRE PNEUS	—
"TRANSTAINER" SOBRE TRI LHOS	—
EQUIPAMENTOS DE BORDO DOS NAVIOS, NA ESTIVA	4,0 a 10,0
TRAJETOS DE CARRETAS EN TRE OS BERÇOS E O PÁTIO	0,8 a 1,8
TRAJETOS DE CAMINHÕES EN TRE A PONTE DE CONTROLE E O PÁTIO	1,0 a 3,0
OPERAÇÕES NA PONTE DE CONTROLE (COM PESAGEM)	2,0 a 5,0
OPERAÇÕES NA PONTE DE CONTROLE (SEM PESAGEM)	2,0 a 4,0
ATRACAÇÃO OU DESATRACA ÇÃO DE NAVIOS	15,0 a 30,0

TABELA 3.1. - Tempos de Ciclo de Equipamentos e
Outros Processos.

NÚMERO DE CONTÊINERES	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS	FREQÜÊNCIA RELATIVA	FREQÜÊNCIA RELATIVA ACUMULADA
20 a 40	10	0,0581	0,0581
41 a 60	6	0,0349	0,0930
61 a 80	4	0,0233	0,1163
81 a 100	8	0,0465	0,1628
101 a 120	8	0,0465	0,2093
121 a 140	6	0,0349	0,2442
141 a 160	18	0,1047	0,3489
161 a 180	7	0,0407	0,3896
181 a 200	9	0,0523	0,4419
201 a 220	16	0,0930	0,5349
221 a 240	13	0,0756	0,6105
241 a 260	12	0,0698	0,6803
261 a 280	5	0,0291	0,7094
281 a 300	8	0,0465	0,7557
301 a 320	4	0,0233	0,7790
321 a 340	6	0,0349	0,8139
341 a 360	4	0,0233	0,8372
361 a 380	10	0,0581	0,8953
381 a 400	7	0,0407	0,9361
401 a 420	4	0,0233	0,9594
421 a 440	2	0,0116	0,9710
441 a 460	1	0,0058	0,9768
461 a 480	1	0,0058	0,9826
481 a 500	0	0	0,9827
501 ou mais	3	0,0174	1,0000

TOTAL

172

FONTE: CODESP

TABELA 3.2. - Distribuição do Número de Contêineres Estivados por Navio no Terminal de Contêineres de Santos (período de janeiro a agosto de 1983).

CARACTERÍSTICAS DOS CONTÊINERES	COMPOSIÇÃO (%)		
	NA IMPORTAÇÃO	NA EXPORTAÇÃO	NO TOTAL
CHEIOS	50,0	84,5	68,1
VAZIOS	50,0	15,5	31,9
20 PÉS DE COMPRIMENTO	87,2	87,5	87,4
40 PÉS DE COMPRIMENTO	12,8	12,5	12,6

FONTE: CODESP

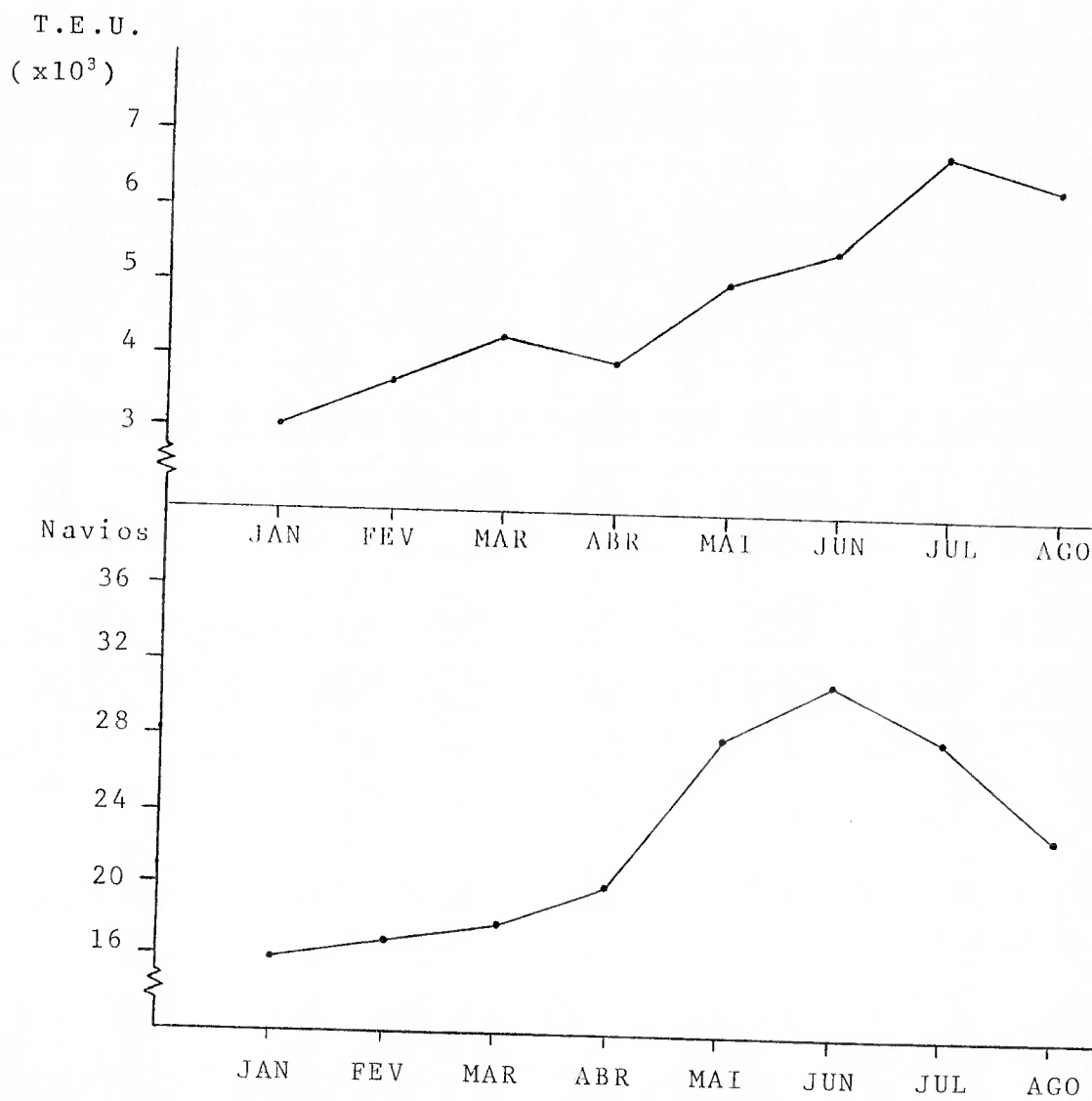
TABELA 3.3. - Composição, em Porcentagem, de Algumas Características dos Contêineres Movimentados no Terminal de Santos.

PRODUTIVIDADE BRUTA (CONTÊINERES POR HORA)	NÚMERO DE OCORRÊNCIAS	FREQÜÊNCIA RELATIVA	FREQÜÊNCIA RELATIVA ACUMULADA
Menos de 3	9	0,09	0,09
3 a 4	7	0,07	0,16
4 a 5	29	0,29	0,45
5 a 6	16	0,16	0,61
6 a 7	12	0,12	0,73
7 a 8	5	0,05	0,78
8 a 9	11	0,11	0,89
9 a 10	7	0,07	0,96
10 ou mais	4	0,04	1,00
TOTAL	100	1,00	—

FONTE: CODESP

OBS.: Obtido de uma amostra de 100 navios (período 01/01/83 a 31/08/1983).

TABELA 3.4. - Distribuição da Produtividade Bruta de Estiva no Terminal de Contêineres de Santos



Fonte: CODESP

FIGURA 3.3 - Número de navios no terminal e número de contêineres movimentados, por mês (janeiro a agosto de 1983).

que utilizaram o terminal de Santos e o número de contêineres estivados, por mês. Percebe-se, pela figura 3.3, que o número de contêineres estivados aumentou junto com o aumento do número de navios que freqüentaram o terminal.

Na Tabela 3.4, tem-se a distribuição dos níveis de produtividade bruta nas operações de estiva (ou taxa bruta de estiva, no terminal); observa-se uma concentração grande de casos na faixa de 4 a 7 contêineres por hora, que é considerado, no terminal, um nível baixo de produtividade bruta de estiva.

3.2.11. - COMPARAÇÃO ENTRE SISTEMAS OPERACIONAIS DE TERMINAIS DE CONTÊINERES

Alguns terminais operam o sistema de "transtainers" sobre trilhos, sendo bem maiores que os montados sobre pneus. Os contêineres são desembarcados e colocados sobre carretas. No pátio, os cofres são colocados no local de estocagem pelos "transtainers". Este sistema proporciona excelente aproveitamento da área de pátio mas requer grande organização e planejamento de operações, prestando-se muito à automação.

Há sistemas que utilizam "transtainers" sobre pneus. O aproveitamento do espaço é um pouco inferior ao sistema anterior, para permitir a movimentação dos "transtainers" entre as filas de contêineres estocados, sendo também necessário um bom planejamento nas operações. Este sistema, no entanto, é mais flexível, já que os equipamentos não estão fixos a trilhos.

Um sistema muito em uso é o que emprega apenas aranhas. Os "portainers" colocam os contêineres desembarcados no chão para que sejam recolhidos pelas aranhas e levados ao local de estocagem. Alguns terminais utilizam carretas para levarem os cofres dos "portainers" aos locais onde as aranhas os manobram. Este sistema exige uma área bem maior para a estocagem, comparado aos sistemas de "transainers", mas apresenta maior flexibilidade pela melhor mobilidade das aranhas.

Por fim, entre os sistemas mais utilizados está o que emprega carretas e tratores. Após o desembarque, os contêineres são colocados sobre carretas, que são estacionadas no pátio de estocagem. As carretas são recolhidas por cavalos-mecânicos para serem levadas ao destino final. Este é o sistema mais adequado a um serviço porta-a-porta. As desvantagens principais deste sistema são a grande área de pátio necessária (praticamente o dobro da necessária para o uso de "transtainers") e o elevado investimento em carretas. Um modelo para simulação digital destinado à otimização de projetos de terminais deste tipo foi desenvolvido por Creton⁶.

Cada um destes sistemas apresenta vantagens e desvantagens e sua implantação depende de muitas características do país e região onde será localizado.

O sistema de operação escolhido para o terminal de Santos, embora ainda não totalmente implantado, com muitos equipamentos pequenos e de grande mobilidade, é adequado a um terminal pioneiro, num País onde são recentemente o contêiner está tendo uso em grande expansão.

Até que se tenha bastante experiência em operações com contêineres em grande escala, o terminal deve operar com equipamentos que permitam improviso e criatividade, de modo que assim se possa distinguir o sistema ideal.

Em resumo, neste capítulo buscou-se caracterizar o terminal de contêineres de Santos do ponto de vista físico-operacional, de forma a obter-se o conhecimento do sistema necessário à sua modelagem, que será objeto do capítulo a seguir.

4. - MODELAGEM DO SISTEMA

Este capítulo inicia com alguns comentários abordando o uso de modelos analíticos e de simulação digital para aplicação em análises operacionais de terminais de contêineres.

Em seguida, é apresentada a modelagem do terminal de contêineres de Santos, indicando-se quais as características e operações incluídas e justificando-se as simplificações adotadas.

Também é abordada a programação do modelo em linguagem de computador, justificando-se a escolha desta linguagem.

Por fim é apresentado o processo de validação(1) do modelo, que foi feito através da análise dos resultados de uma simulação inicial, comparando-se alguns deles com estatísticas obtidas de observações no terminal de contêineres de Santos.

4.1.- USO DOS MODELOS ANALÍTICOS E DE SIMULAÇÃO DIGITAL

Nos problemas de análises operacionais em planejamento portuário, as modelagens analíticas e de simulação digital aparecem como ferramentas básicas. No Brasil, onde existem poucos trabalhos de maior profundidade na área de planejamento portuário, ocorre o uso quase que exclusivo de modelos analíticos. A simulação digital ainda é tratada com uma "caixa-preta", mesmo após a escalada do uso do computador no País.

(1) Entende-se por validação do modelo um processo no qual são feitos vários testes destinados a verificar se o modelo representa corretamente o sistema real em estudo.

O uso de modelos analíticos é indicado como primeira opção para análises operacionais por serem de mais fácil manipulação e universais. No entanto, alguns sistemas portuários mostram-se bastante complexos, levando a um tratamento analítico complicado, demorado, ou mesmo impossível.

Assim, muitas vezes estes sistemas não são modelados de forma mais abrangente, a título de simplificações para possibilitar a aplicação de modelos analíticos, de modo que não se pode tirar conclusões seguras sobre sua operação global.

No caso do terminal de contêineres do porto de Santos, o tratamento puramente analítico revelou-se difícil, já que se trata de um sistema que opera segundo filas em série, não havendo modelos analíticos específicos, exceto no caso de regime de chegadas conforme distribuição de Poisson e atendimentos regidos por distribuição exponencial de probabilidades, o que não é o caso do terminal de Santos.

Desta forma, optou-se pela simulação digital na modelagem aqui desenvolvida. Embora seja uma ferramenta cara, principalmente devido ao gasto de muito tempo de processamento em computador, a simulação digital permite uma modelagem mais fácil do terminal e a inclusão de várias particularidades deste sistema que não seriam possíveis no caso de modelagem analítica.

4.2.- MODELAGEM DO TERMINAL

Conforme foi mencionado na introdução do trabalho, a preocupação será de acompanhar as operações de equipamentos decorrentes do trânsito de cada contêiner pelas diversas fases de sua passagem pelo terminal.

O modelo incluiu as seguintes operações principais:

- a) chegadas, atracações e desatracações de navios;
- b) carregamento e descarregamento de contêineres pelos "portainers" e equipamentos de bordo;
- c) trânsitos de carretas entre os berços e o pátio de estocagem, vazias ou levando contêineres;
- d) transbordo de contêineres entre as carretas e o pátio de estocagem pelos equipamentos de movimentação, o mesmo ocorrendo com os caminhões que levam ou trazem cofres ao terminal. Também será feito o controle dos níveis de estoque;
- e) trânsitos de caminhões entre o pátio e a ponte de controle, assim como as operações de verificações de documentação e pesagem dos contêineres nesta última;
- f) chegadas de caminhões trazendo ou vindo recolher contêineres;
- g) utilização dos equipamentos de movimentação nas operações de esvaziamento e enchimento de contêineres.

A Figura 4.1 mostra o esquema geral do sistema modelado.

4.2.1.- CHEGADAS E ATENDIMENTOS DE NAVIOS

Como os intervalos entre chegadas de navios são aleatórios e ajustam-se a uma distribuição exponencial de probabilidade, as chegadas de navios foram incluídas no modelo através de uma geração regida por uma distribuição de Poisson, sendo que o corre uma chegada a cada 1,42 dias, em média, conforme foi visto na seção 3.2.

Admitiu-se que o cais possa acomodar dois

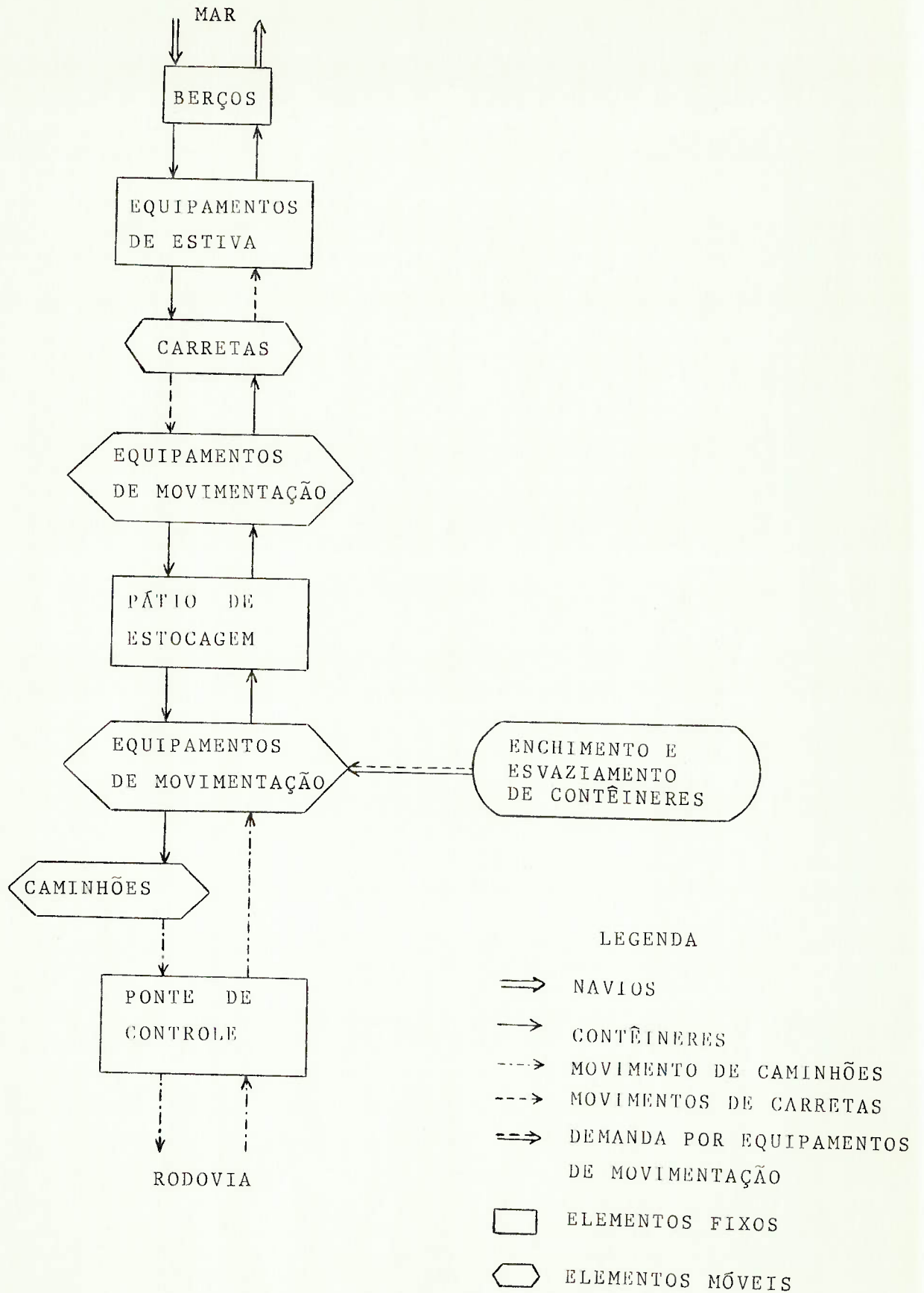


FIGURA 4.1. - Esquema Geral do Sistema Modelado

navios de cada vez, incluindo-se uma fila de espera para os navios que não encontrem berço livre.

As operações de atracação ou desatracação foram modeladas através do tempo que consomem. Foi considerado que cada operação destas tenha duração aleatória, entre 15 e 30 minutos, com distribuição uniforme. Não foram modeladas operações com rebocadores já que não há problemas de falta destes, em geral.

4.2.2.- OPERAÇÕES DE ESTIVA

Admitiu-se que tão logo o navio tenha a tracado, inicie-se o descarregamento.

O número de contêineres a estivar foi a admitido aleatório, através de uma função de repartição obtida dos dados da Tabela 3.2. (pag. 27). Os números de contêineres a desembarcar e embarcar fo ram modelados através da multiplicação do número a movimentar por um fator aleatório, de distribuição uniforme, no intervalo $[0,1]$.

A estiva foi admitida como sendo efetuada por um "portainer" e um equipamento de bordo do na vio, em 75% dos casos, ou por dois equipamentos de bordo, em 25% dos casos.

O tempo de ciclo dos "portainers" e dos e quipamentos de bordo foram considerados aleatórios, com distribuições uniformes (1), nos intervalos 3 a 5 e 4 a 10 minutos, respectivamente.

(1) Exceto no caso de chegadas de navios, admitiu-se distribuição uniforme para os outros tempos de ciclos, para efeito de economia de tempo de processamento nas simulações.

Admitiu-se que a cada navio seja alocado um número pré-fixado (em torno de 6) carretas com cavalo-mecânico, para o trânsito de contêineres entre o berço e o pátio. Dos 18 conjuntos carreta e cavalo-mecânico disponíveis no terminal, 6 a 8 são alocados às operações com o ramal ferroviário e para enchimento e esvaziamento de contêineres.

Considerou-se que o embarque se inicie depois que a última carreta com contêiner de importação tenha sido descarregada por um equipamento de movimentação, sendo utilizados os mesmos equipamentos. Não há estatísticas disponíveis sobre o tempo gasto para preparação da operação de embarque, após o término do desembarque, de modo que ele foi ignorado neste modelo, sendo incluído indiretamente através de um acréscimo no tempo de permanência dos navios no terminal, como será visto na seção 4.6. Eventuais faltas de carretas durante a estiva são detectadas pelo modelo.

4.2.3.- ESTOCAGEM DE CONTÊINERES E TRÂNSITO DE VEÍCULOS

O tempo para o trajeto das carretas carregadas com contêineres de importação do berço ao local de estocagem e vice-versa foi considerado aleatório, com distribuição uniforme, no intervalo 0,8 a 1,8 minutos. Admitiu-se que cada carreta dirija-se ao pátio, onde um equipamento de movimentação retira o contêiner e o deposita no local de estocagem.

Não foi feita distinção entre contêineres cheios ou vazios, de modo que, dos equipamentos de retaguarda, serão considerados apenas os que têm capacidade para içar cofres cheios. Pela Tabela 3.3. (pag. 28) observa-se que a maior parte dos contêineres movimentados são cheios.

Foi adotado o mesmo esquema em relação à estocagem de contêineres trazidos ao terminal por caminhões.

Foram previstas filas de carretas ou caminhões em espera por equipamento de movimentação disponível.

Os tempos de ciclo dos equipamentos de movimentação de contêineres são os que constam na Tabela 3.1. (pag. 26), sendo que correspondem a observações efetuadas no terminal de Santos.

Cada equipamento de movimentação, no entanto, não está permanentemente alocado ao apoio à estiva de um mesmo berço ou à recepção de caminhões. A tentativa de modelar cada tipo de equipamento isoladamente, alocado a uma dada função, mostrou ser pouco prática por não haver um critério fixo no terminal para a combinação de equipamentos com tarefas e locais. Percebeu-se que o modelo deveria incluir recursos que permitissem acompanhar a localização de cada equipamento, o que resultaria num programa de computador bem mais extenso e de processamento mais caro. Isto levou à procura de uma solução mais simples sem prejuízo de uma modelagem adequada das operações no terminal. Desta forma, foi considerado no modelo apenas um tipo de equipamento padronizado, cujo tempo de ciclo foi obtido da média ponderada dos tempos de ciclo das 2 aranhas e 4 empilhadeiras, que são os equipamentos disponíveis para contêineres cheios, sendo de 3,5 a 5,5 minutos.

Não foram incluídos os "transtainers"

sobre pneus para a definição do equipamento padronizado pois eles ainda não estavam operando por ocasião desta modelagem.

O modelo prevê a limitação de até 9000 contêineres de 20 pés de comprimento no pátio de estocagem. Serão simulados apenas os cofres de 20 pés, sendo que o controle de estoque é efetuado sobre o número de contêineres de exportação e de importação.

No sentido de exportação, considerou-se que cada carreta dirija-se ao local correto, onde um dos equipamentos de movimentação a carrega com um contêiner.

Também os caminhões que vêm recolher contêineres de importação são atendidos de forma análoga. O tempo de trânsito dos caminhões entre a ponte de controle e o local de estocagem, ou vice-versa, foi admitido aleatório, com distribuição uniforme, na faixa de 1 a 3 minutos.

4.2.4.- OPERAÇÕES NA PONTE DE CONTROLE

Já foi mencionado na descrição do terminal que nem todos os caminhões que passam pela ponte de controle são pesados. Nesta modelagem foi admitido que as carretas que transportam contêineres entre a ferrovia e o terminal passem pelos mesmos processos de controle de documentação que os caminhões, apenas não sendo pesadas. Estatísticas da CODESP (período de janeiro a agosto de 1983) indicam que cerca de 20% dos contêineres movimentados utilizaram o ramal ferroviário, a maioria no fluxo de exportação e que 15% dos cofres chegados de caminhão ao terminal eram vazios.

Assim, adotou-se na modelagem que 35% dos caminhões que trazem contêineres para exportação não sejam pesados, de modo que as carretas do terminal foram tratadas como caminhões comuns.

Os dados do mesmo período acima mencionado indicam que cerca de 21% dos caminhões que saem do terminal levam contêineres vazios, que não são pesados.

Os tempos necessários para as operações de pesagem e/ou controle de documentos foram admitidos aleatórios, com distribuição uniforme sendo, de acordo com o acima exposto:

- a) 2 a 5 minutos para os caminhões que entram vazios, para 65% dos que entram carregados e para 79% dos que saem carregados do terminal;
- b) 2 a 4 minutos para 35% dos caminhões que entram carregados no terminal;
- c) 1 minuto para os que saem vazios do terminal.

Admitiu-se um acesso ao terminal para os caminhões que são pesados e outro para os caminhões que não são pesados. O modelo prevê a ocorrência de filas de caminhões em espera por atendimento na ponte de controle.

4.2.5.- OUTRAS CARACTERÍSTICAS DO MODELO

O modelo foi construído de maneira a simular os 4 turnos diários de 3 horas de operação.

No período sem operação não são processadas as chegadas de caminhões mas as chegadas e atrações (ou desatracações) de navios ocorrem normal-

mente. Como em geral a estiva prossegue normalmente entre os turnos de operação do terminal, decidiu-se que, neste modelo, estas operações, assim como as movimentações dos contêineres estivados, no pátio, não sejam interrompidas.

Em relação às chegadas de caminhões, através dos números de contêineres embarcados ou desembarcados no período de janeiro a agosto de 1983, deduziu-se quais deveriam ser os intervalos médios de tempo entre chegadas de caminhões vazios e de caminhões carregados: 9,6 minutos.

Considerou-se que as chegadas ocorram a cada intervalo de tempo assim obtido, de forma determinística, por simplificação.

As operações de esvaziamento e enchimento de contêineres foram incluídas no modelo através da utilização dos mesmos equipamentos de movimentação destinados à operação com os caminhões.

Conforme dados de janeiro a agosto de 1983, em média 15% da movimentação total de contêineres correspondeu a unidades esvaziadas ou enchidas, o que significa uma operação de equipamentos de movimentação a cada 16,4 minutos, o que foi adotado no modelo.

Não foram incluídas as operações de transbordo de contêineres entre vagões ferroviários e carretas. As carretas envolvidas com a operação foram tratadas como fazendo parte dos fluxos de caminhões que entram ou saem do terminal, tendo-se apenas descontado o número destas carretas (em geral quatro) do número total disponível.

A taxa média resultante de estiva para um "portainer" mais um equipamento de bordo, com os tempos de ciclo admitidos neste modelo, seria da ordem de 23 contêineres por hora; para o caso de dois equipamentos de bordo, a taxa média de estiva seria de 17 cofres por hora. Já foi a pontado na sub-seção anterior que as produtividades brutas de estiva no terminal raramente chegam a 10 contêineres por hora. Assim, após o término do a tendimento de cada navio será calculado um acrêscimo de tempo de permanência e o navio so desatraca a pós escoado este tempo. O acrêscimo é obtido sorteando-se um valor de produtividade bruta de estiva, com base na distribuição que consta na Tabela 3.4 - (pag. 29) e calculando-se quanto tempo a mais seria necessário para estivar este navio. A expressão do acrêscimo é:

$$T.A. = NCONT \times \left[\frac{1}{PBS} - \frac{1}{PB} \right] \quad \text{onde}$$

T.A. = tempo de acrêscimo de permanência.
 NCONT = número total de contêineres estivados.
 PBS = produtividade bruta de estiva sorteada.
 PB = produtividade bruta média de estiva para 1 "portainer" e 1 equipamento de bordo, ou dois equipamentos de bordo.

Não foram modeladas as operações de estocagem transitória, mencionadas no item 3.2.9., pois não há estatísticas sobre manutenções e quebras dos equipamentos de movimentação, além disso aumentar bastante a complexidade do modelo de simulação.

As carretas e alguns caminhões podem transportar dois contêineres de cada vez, desde que sejam cofres vazios. Neste modelo, admitiu-se que cada veículo transporte apenas um contêiner, já que não será feita distinção entre cofres cheios e va

zios.

A Figura 4.1 mostra o esquema geral do sistema modelado (vide pag. 37).

4.3.- PROGRAMAÇÃO DO MODELO

Existem dois tipos principais de linguagens de computador para uso em simulação digital: as linguagens básicas, como FORTRAN ou ALGOL e as de alto nível, como GASP, GPSS, etc.. As linguagens de alto nível, cujos comandos são formados por programas em uma outra linguagem básica, permitem uma mais fácil construção do programa de simulação, que se torna mais compacto e fácil de ser entendido.

Para a programação do modelo aqui desenvolvido escolheu-se o GPSS - "General Purpose Simulation System". Esta linguagem é adequada à simulação de sistemas onde elementos sucessivos e distintos passam por diversos processos como, por exemplo, vários artigos em linhas de montagem diferentes de uma fábrica, sendo processados ao mesmo tempo. O GPSS também armazena automaticamente estatísticas diversas sobre vários processos simulados e as imprime em relatórios padronizados. Esta linguagem foi bastante útil no desenvolvimento deste trabalho, pela economia de tempo que proporcionou na construção do programa e no processo de validação.

A desvantagem maior do GPSS está na própria simulação digital, que é cara, principalmente por consumir muito tempo de processamento.

Sistemas relativamente complexos do ponto de vista de modelagem requerem razoável experiência do programador na linguagem que vai ser utilizada, para que o projeto não se torne excessivamente caro devido à fase de

validação do programa. Nesta fase, processamentos iniciais são destinados a verificar se o programa simula corretamente o sistema em estudo, sendo normalmente necessárias modificações para correção de erros de lógica.

O programa aqui desenvolvido foi construído em GPSS da versão 2.40 da BURROUGHS, utilizando-se o computador modelo B6900. O fluxograma do programa consta na Figura 4.2. Os símbolos usados estão descritos no apêndice A-1.

No apêndice A-2 está apresentada a listagem do programa.

A unidade de tempo utilizada para as simulações foi o décimo de minuto.

No apêndice A-3 aparece um exemplo do relatório padrão imprimido pelo sistema GPSS, ao final de cada simulação.

A partir da próxima seção, o termo modelo poderá confundir-se com o próprio programa de computador já que, a partir deste último, foram tiradas conclusões sobre a operação do terminal modelado neste capítulo.

4.4.- VALIDAÇÃO DO MODELO

A validação do modelo foi dividida em 3 fases:

- i) Verificação do programa de computador;
- ii) testes do modelo;
- iii) calibração do modelo.

A Figura 4.3 esquematiza o processo de validação do modelo, sendo que cada uma das 3 fases é abordada

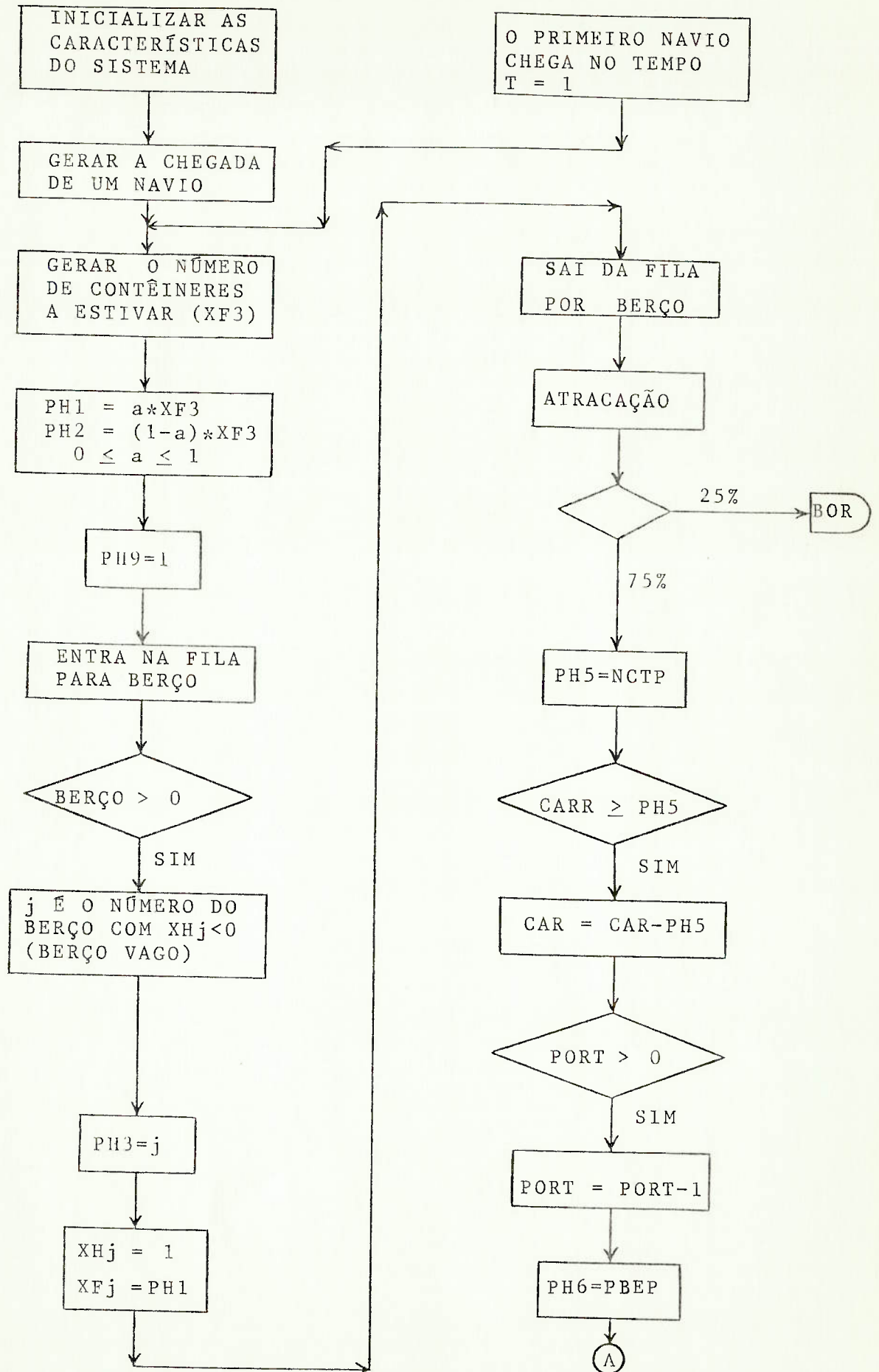


FIGURA 4.2. - Fluxograma do Programa de Computador

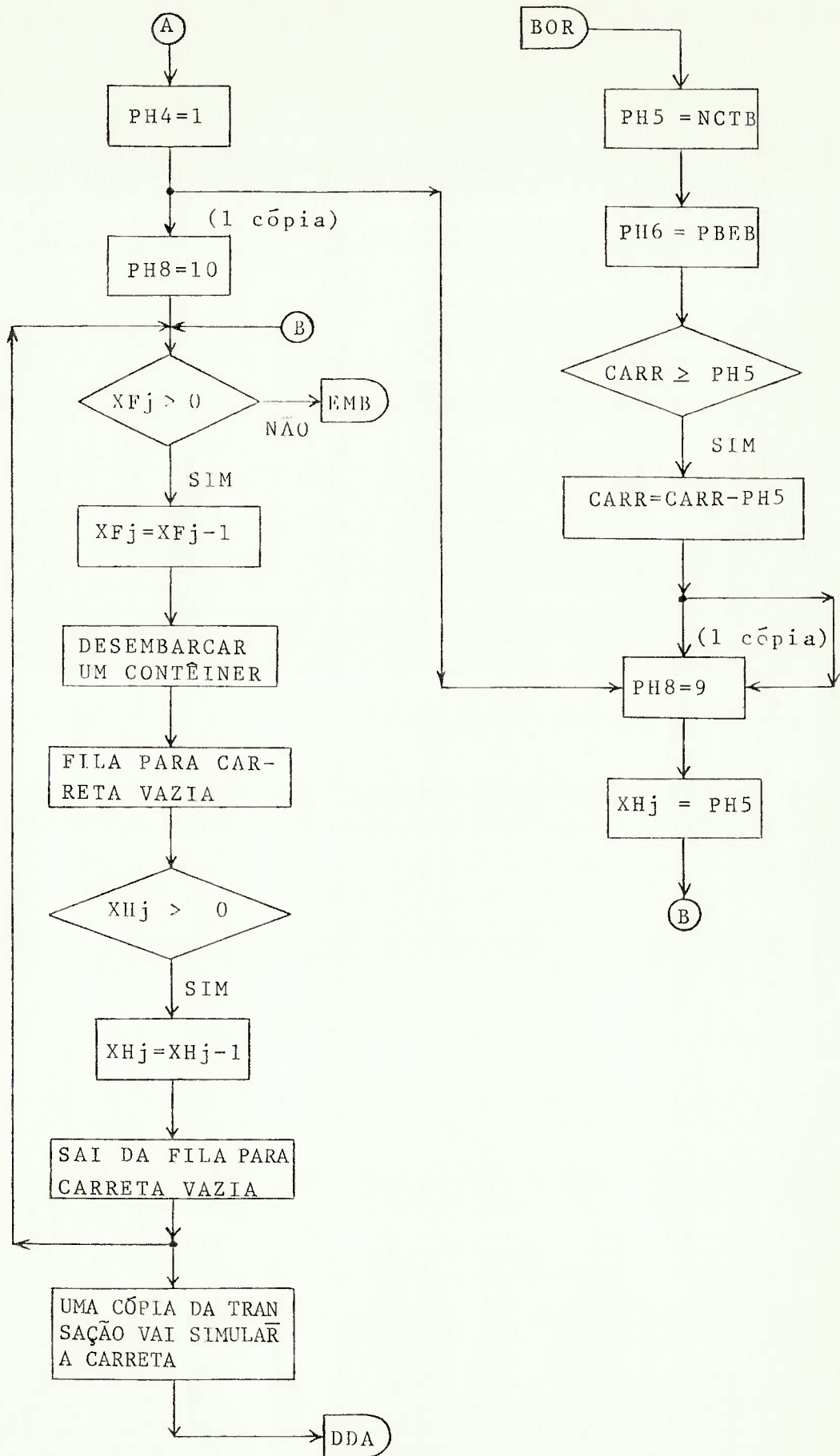


FIGURA 4.2. - Continuação

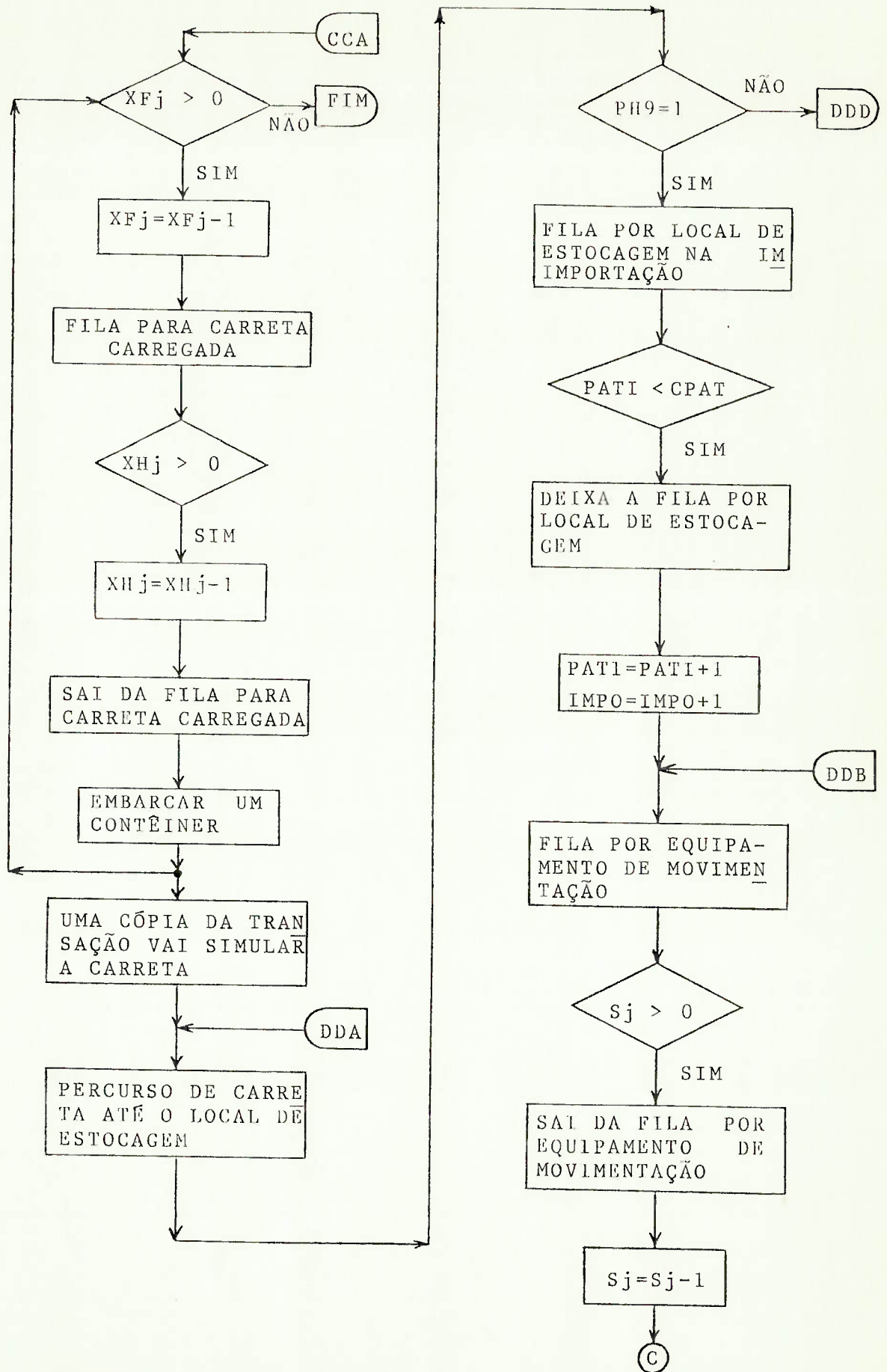


FIGURA 4.2. - Continuação

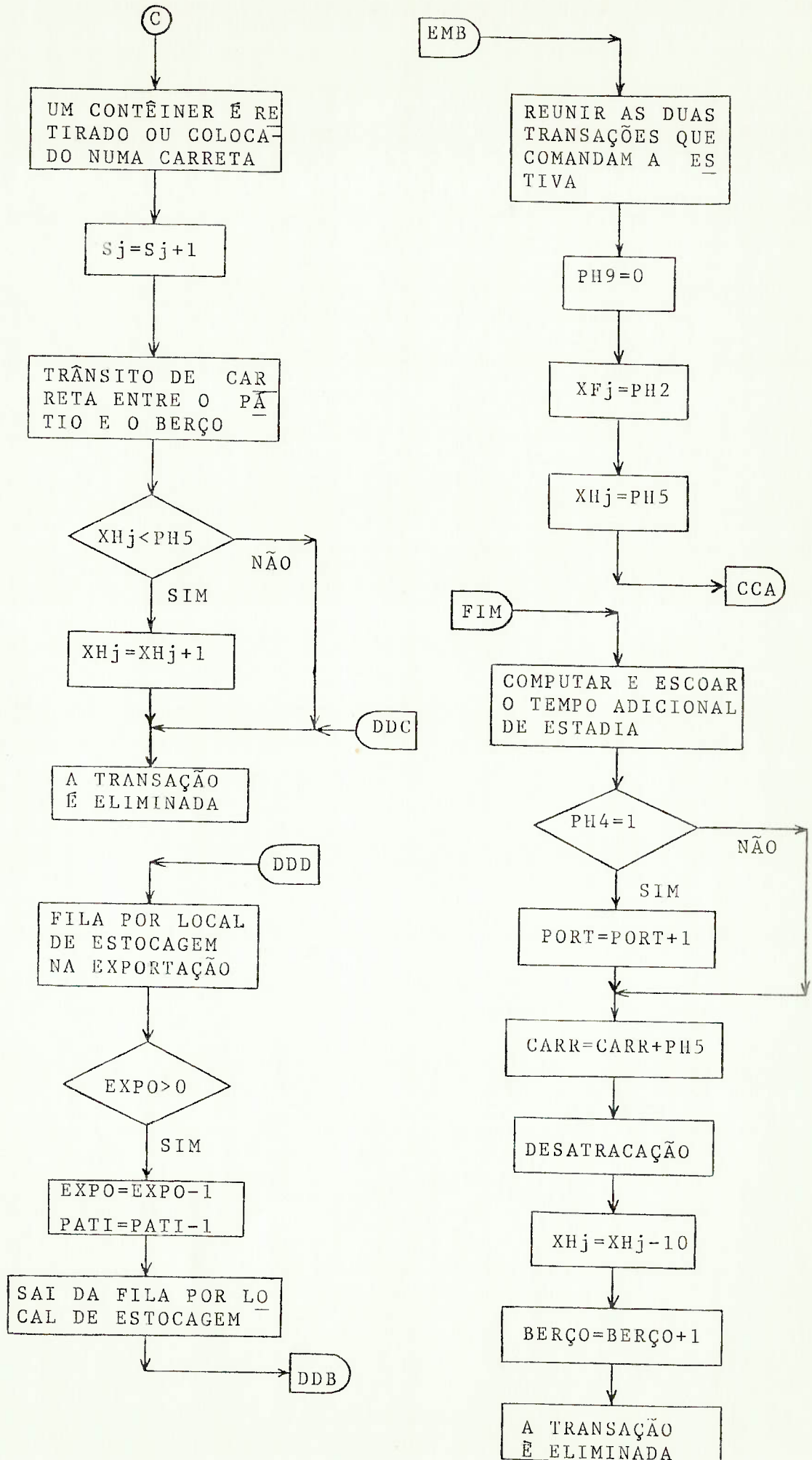


FIGURA 4.2. - Continuação

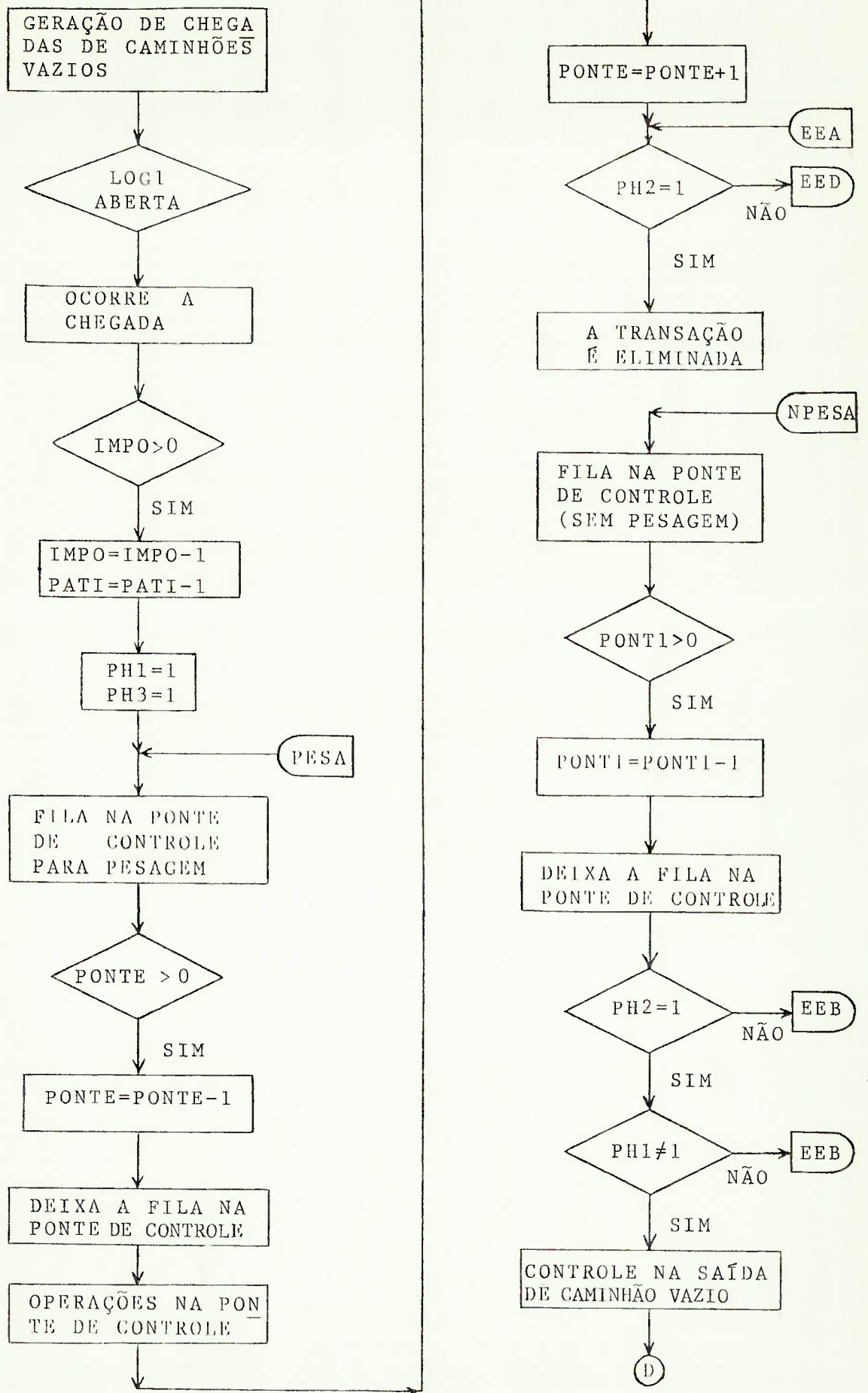


FIGURA 4.2. - Continuação

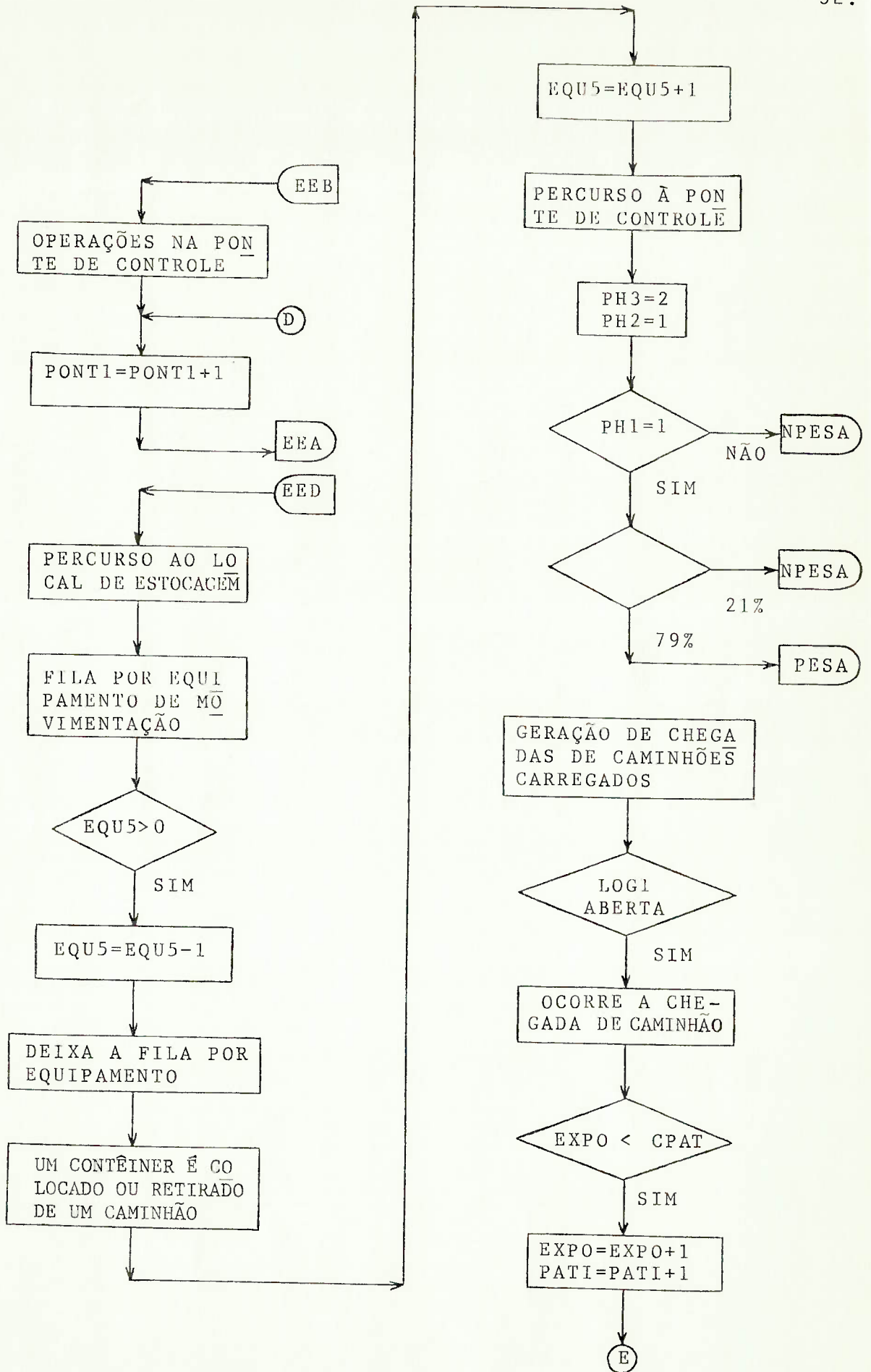


FIGURA 4.2. - Continuação

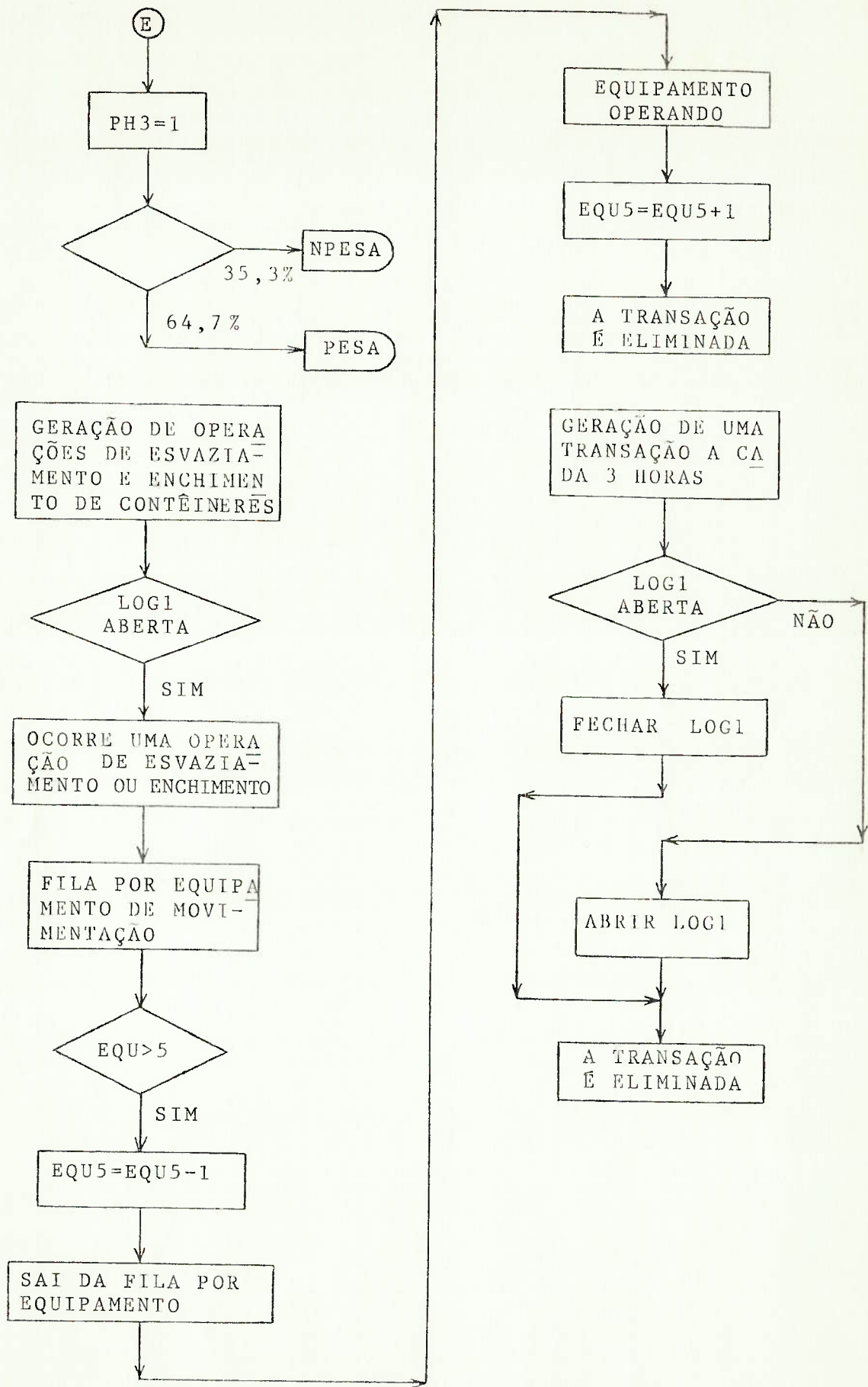


FIGURA 4.2. - Continuação

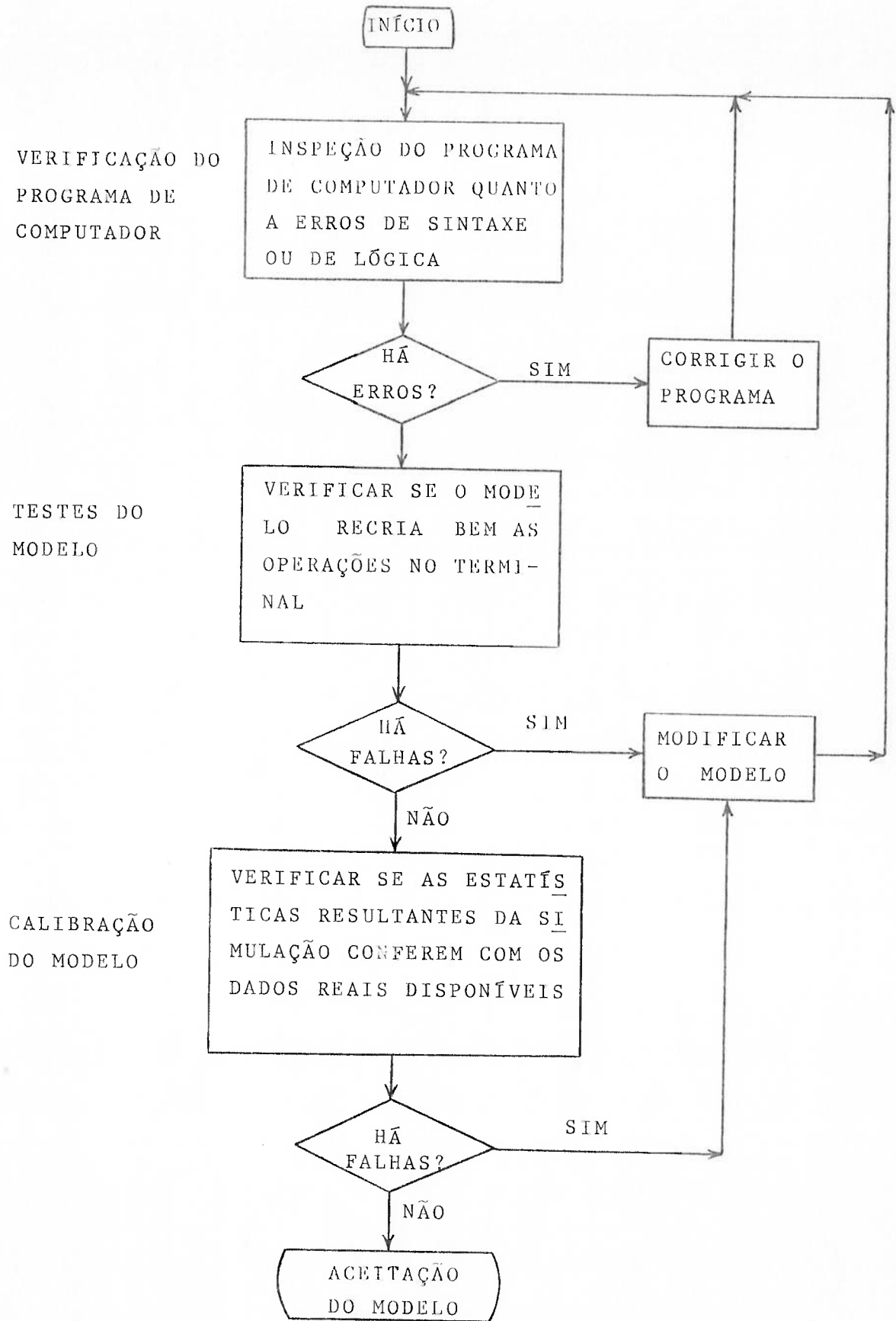


FIGURA 4.3. - Esquema do Processo de Validação do Modelo

nas sub-seções seguintes.

4.4.1.- VERIFICAÇÃO DE PROGRAMA DE COMPUTADOR

Nesta fase, que segue à construção do modelo em linguagem de computador foram realizados processamentos de curta duração de tempo destinados a verificar o funcionamento do programa como um todo, para detectar erros de sintaxe e emprego de recursos da linguagem, estes últimos podendo gerar incompatibilidades entre diferentes segmentos do programa.

Um dos recursos mais úteis do GPSS é a impressão de um relatório onde constam os números de transações (do inglês "TRANSACTION") que passaram ou que estão em cada bloco (comando) do programa no instante de término da simulação e que se chama "BLOCK COUNTS".

As transações são entes dinâmicos que se movem pelos blocos, os quais representam as diversas partes e processos do sistema modelado.

No modelo do terminal, estas transações são os contêineres ou carretas e caminhões e os blocos recriam os vários processos, como operações diversas, os equipamentos e instalações, etc.. O relatório de "BLOCK COUNTS" ajudou a localizar erros de programação pois permitiu acompanhar os fluxos de transações.

Cabe aqui mencionar qual a configuração inicial do sistema modelado, para se iniciar cada simulação:

- a) berços inicialmente vazios;
- b) primeira chegada de navio no primeiro minuto

- do primeiro dia simulado;
- c) chegadas de caminhões desde o início do primeiro dia simulado;
 - d) 1500 contêineres de exportação e 1500 de importação no pátio de estocagem;
 - e) 4 equipamentos de movimentação para apoio às operações de estiva e 3 para as operações de atendimento a caminhões, esvaziamento e enchimento de contêineres.

Esta inicialização pode ser alterada para qualquer outra configuração, como se fossem dados de entrada.

4.4.2.- TESTES DO MODELO

Os testes destinados a verificar se o modelo simula corretamente o terminal de contêineres são objeto desta sub-seção.

O relatório de "BLOCK COUNTS" tem, nesta fase, grande utilidade. Através das "BLOCK COUNTS" pode-se verificar se os contêineres, carretas e caminhões (transações) passaram pelos diversos procesos e pontos (blocos) do sistema modelado, simulando corretamente as operações no terminal. Os erros de lógica cometidos durante a construção do modelo de simulação podem ser assim localizados e corrigidos.

Verificou-se, por exemplo, que o número de contêineres a estivar correspondia ao número de operações de equipamentos de movimentação e que o nível de estoque no pátio do terminal variava de forma correspondente ao total de cofres retirados ou colocados ali.

Foi possível seguir os diversos fluxos de contêineres, caminhões, carretas e navios e constatar que passavam pelos processos previstos.

4.4.3.- CALIBRAÇÃO DO MODELO

Tendo-se conferido que o modelo recriava o sistema em operação, foi necessário verificar se os resultados da simulação correspondiam às observações levantadas no terminal real operando. Isto foi feito comparando-se estatísticas acumuladas durante a simulação com estatísticas coletadas no próprio terminal de contêineres. Em alguns casos, divergências entre as estatísticas levaram a modificações no modelo.

Dentro do processo de calibração deve-se analisar a ocorrência de transitoriedades no comportamento do modelo, o que se entende por flutuações não típicas das estatísticas acumuladas durante um certo período de tempo.

Sucedem que a simulação se inicia com um modelo no qual os berços de atracação estão vazios, todos os equipamentos estão disponíveis, nenhum caminhão está sendo atendido na ponte de controle, etc. A partir desta configuração inicial, o sistema modelado vai entrando em regime de plena operação, mas as estatísticas coletadas ficarão viciadas por aquela situação inicial não típica. É de praxe, em simulação digital, determinar quanto tempo simulado é necessário para que as estatísticas entrem em regime, isto é, quando passam a apresentar um comportamento uniforme, sem tendências a crescimentos ou quedas contínuas ou grandes flutuações. As estatísticas correspondentes a este período de tempo, dito período transitório, são então eliminadas, após o

que o modelo continua a acumular estatísticas que se se rão usadas em análises posteriores. Este procedimento é facilitado na linguagem GPSS por recursos dirigidos exatamente para este fim.

A simulação nº1 foi destinada à determinação da duração do período transitório. Foram simulados 15 dias de operação do terminal para determinação do período transitório, considerando-se uma chegada de navio no primeiro minuto do primeiro dia. O modelo utilizado corresponde ao descrito na seção 4.2. A figura 4.4 apresenta algumas estatísticas a cumuladas durante esta simulação nº1. Observa-se que a taxa de utilização dos berços inicia com o va lor 0,5 (um navio atracado, para 2 berços) mas, já após o primeiro dia, passa a oscilar em torno de 0,6. Também as taxas de utilização dos equipamentos de mo vimentação de contêineres, nas operações de estiva, apresentam comportamento relativamente uniforme após o primeiro dia de simulação. Já o número de cofres no pátio de estocagem oscila em torno das 3000 unidades durante todo o período simulado.

Observa-se claramente que o período transiti tório corresponde quase que totalmente ao primeiro dia simulado. As oscilações posteriores devem-se às aleatoriedades nas ocorrências dos diversos eventos modelados. De forma geral, o período transitório de uma simulação será tão menor em duração quanto mais próximo da realidade se puder configurar ou inicializar o sistema modelado.

Com base nestas informações, decidiu-se fixi zar a duração do regime transitório em 1 dia, de mo do que, nas simulações posteriores, foram sempre elimi nadas as estatísticas correspondentes ao primeiro dia simulado. Também fixou-se a duração de cada si

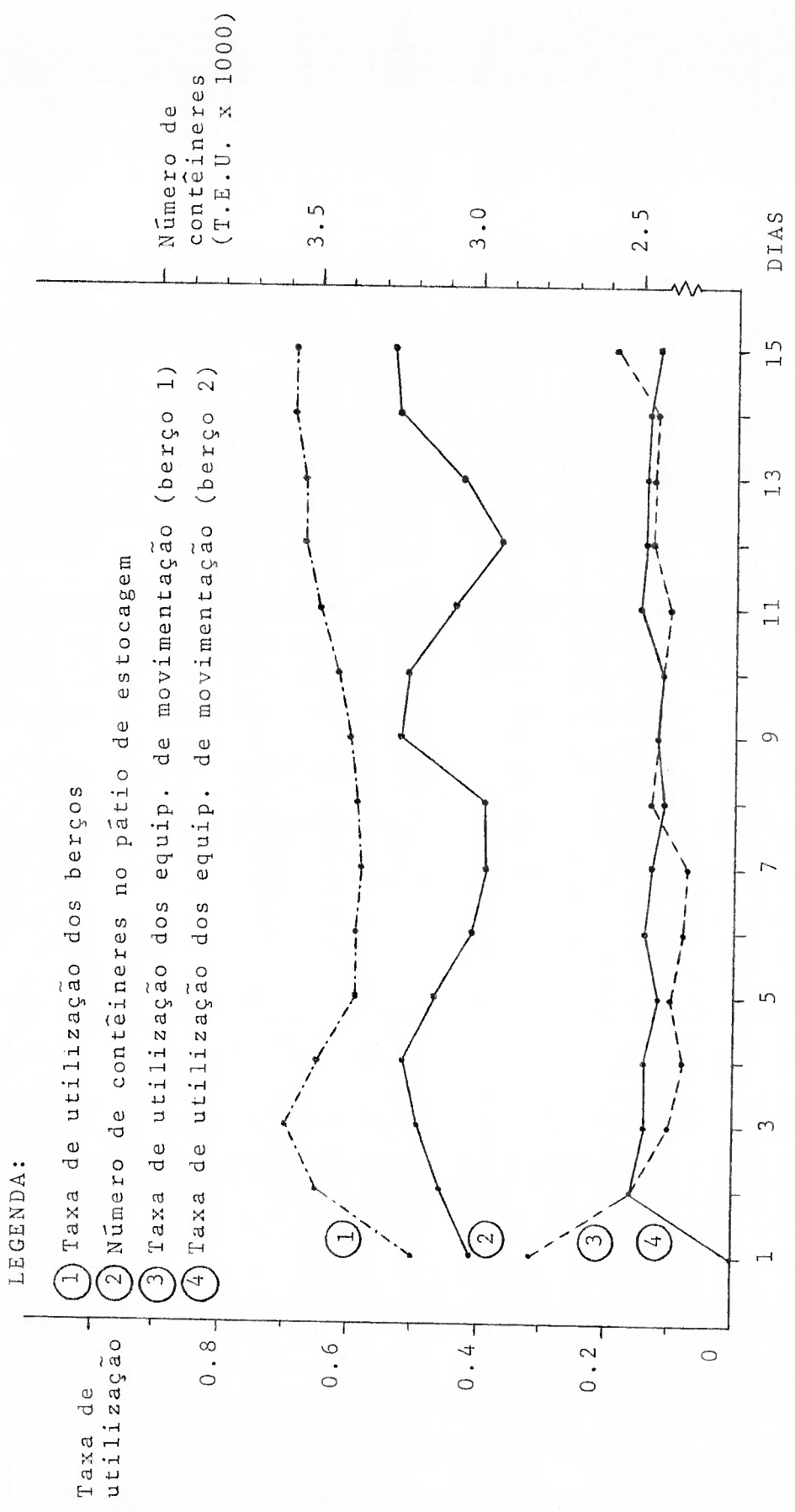


FIGURA 4.4 - Algumas estatísticas acumuladas na simulação nº1; determinação do período de regime transitório.

mulação posterior em aproximadamente 10 dias, no total, tempo que se verificou ser suficiente para uma avaliação confiável da operação do terminal modelado a um custo razoável de processamento em computador.

Na calibração final do modelo, executou-se a simulação nº 2, com 15 dias de duração. A comparação de algumas estatísticas resultantes da simulação com as correspondentes do terminal real (para o período de janeiro a agosto de 1983) resultou na Tabela 4.1. Observa-se que o comportamento do modelo simulado aproximou-se bastante do terminal real. No caso do tempo médio de permanência dos navios e da taxa de utilização os equipamentos de retaguarda na estiva, o desvio destas estatísticas entre o modelo e o terminal real foi de cerca de 1% apenas.

A rigor, os resultados apresentados na Tabela 4.1 correspondem a um processamento do modelo para o qual foram geradas séries de números pseudo-aleatórios, através dos quais foram sorteados valores diversos de tempos de ciclos de equipamentos e processos e ordens cronológicas de vários eventos. Alterando as sementes dos geradores aleatórios próprios do sistema GPSS, alteram-se as seqüências de números pseudo-aleatórios gerados e, por conseqüência, as estatísticas acumuladas, embora que ligeiramente.

De qualquer modo, dispondo-se de tempo disponível de computador, poder-se-ia alterar as sementes dos geradores aleatórios e/ou aumentar-se a duração da simulação, de modo a chegar-se a uma avaliação mais rigorosa do modelo.

Também seria adequado simular para outras

ESTATÍSTICA	NA SIMULAÇÃO (15 dias)	NO TERMINAL REAL (1)
Intervalo Médio entre Chegadas de Navios (dias)	1,30	1,42
Índice de Congestionamen to do Terminal	0,69	0,64
Tempo Médio de Permanên cia por Navio (dias)	1,81	1,82
Número Médio de Cofres Estivados por Navio	214	210
Taxa de Utilização dos Equipamentos de Movimen tação, na Estiva	0,13	0,12

(1) - Dados Relativos ao período de 01/01/1983 a 31/08/1983

TABELA 4.1. - Estatísticas Utilizadas para a Validação do Modelo (Simulação nº 2).

condições usuais de operação do terminal, mas para o que seriam necessárias as estatísticas correspondentes, para comparação. No entanto, a resposta a apresentada pelo modelo foi tão boa que permitiu a aplicação imediata deste à análise operacional do terminal de contêineres de Santos.

5. - APLICAÇÕES DO MODELO À ANÁLISE OPERACIONAL DO TERMINAL DE CONTÊINERES DE SANTOS

Neste capítulo o modelo obtido foi empregado para analisar alguns aspectos referentes às operações no terminal de contêineres, tomando-se por base o ano de 1983. A configuração de facilidades e equipamentos do terminal corresponde à descrita no capítulo 3.

Também foram pesquisados efeitos de incrementos na demanda por movimentação de contêineres e as medidas necessárias para que o terminal absorva estes incrementos de forma eficiente, ou seja, sem provocar atrasos nos fluxos de cofres ou aumentos demasiados nos tempos de estadia dos navios.

5.1.- ANÁLISE DA SITUAÇÃO ATUAL DO TERMINAL DE CONTÊINERES DE SANTOS

A análise da situação atual refere-se às operações no terminal no período de janeiro a agosto de 1983, já que se dispunha de dados diversos correspondentes a este período. Foram utilizados os resultados obtidos na simulação nº 2 (vide pag. 60) para esta análise. Também foram estudados os efeitos de alterações em algumas características do sistema, mantendo-se a maior parte dele inalterada.

Consultando a Tabela 4.1 (pag. 61) pode-se inicialmente estranhar a baixa taxa média de utilização dos equipamentos de retaguarda (equipamentos de movimentação, no pátio de estocagem) envolvidos com as operações de estiva. Isto é devido aos atrasos e paralisações nas operações de estiva, conforme já mencionado na sub-seção 3.2.9. Como a utilização dos equipamentos é medida pelo tempo em que eles efetivamente estiveram movimentando contêineres, resultam taxas baixas de utilização. Além das paralisações, a utilização dos berços não é de 100%, o que ajuda

a forçar para baixo a utilização destes equipamentos.

Também concorre para estas baixas taxas o fato deste modelo não levar em conta paralisações dos próprios equipamentos de movimentação, devido a quebras e manutenção, o que diminuiria sua disponibilidade.

Nas operações de recebimento, entrega, esvaziamento e enchimento de contêineres, a taxa de utilização média dos 3 equipamentos de movimentação foi de 21%. Neste caso, como foi admitido que o terminal opere 12 horas diárias, no total, a utilização máxima destes equipamentos seria de 50% de média diária. Também neste caso, a utilização é calculada pelo tempo durante o qual os equipamentos manobram os cofres, não tendo sido levados em conta os tempos de circulação dos equipamentos pelo pátio, até o local onde se encontra o contêiner a ser movimentado, nem paradas por quebras e manutenção.

De qualquer forma, a taxa de utilização assim calculada está a favor da segurança para uso em dimensionamento de arranjos de equipamentos pois em certos períodos de tempo eles operaram nestas condições, em serviço ininterrupto. A prova disto é que, apesar das baixas taxas de utilização dos equipamentos, tanto os envolvidos com a estiva quanto os envolvidos com recebimento e entrega de cofres tiveram uma operação tal, na simulação nº 2, que o modelo detectou espera média da ordem de 1 minuto para alguns caminhões e carretas que solicitaram o uso dos equipamentos de movimentação, devido às aleatoriedades nos seus tempos de ciclo e nos tempos de circulação dos veículos pelo pátio de estocagem.

Em relação às operações na ponte de controle, a simulação resultou num tempo médio de espera, em fila, de cerca de 2,5 minutos para os caminhões que entram no terminal e 1,7 minutos para os que saem. Deve-se ressaltar

o fato de que foram modelados intervalos entre chegadas de caminhões determinísticos. Na operação real da ponte de controle, as esperas podem ser bem maiores devido a chegadas e saídas simultâneas de vários caminhões.

A utilização conjunta dos berços foi de 76% e o tempo médio de espera de navios, na fila para atracação, de 27 minutos.

Estes são os principais aspectos relativos à operação atual do terminal de contêineres de Santos, para efeito deste trabalho. A situação atual, conforme o exposto na seção 3.2.9, caracteriza-se por excessivo tempo de permanência dos navios no terminal, com taxas médias de estiva da ordem de 7,5 contêineres por hora, enquanto que em terminais europeus estas taxas podem atingir facilmente 15 cofres por hora.

Ainda dentro desta aplicação à situação atual do terminal foram feitas simulações com vistas a estudar como se comportaria o sistema reduzindo-se o número de equipamentos de movimentação e carretas, já que as taxas de utilização resultaram baixas.

Assim, as simulações nºs 3 e 4 foram utilizadas para estudar-se o efeito do emprego de 4 e 5 carretas, respectivamente, por berço, nas operações de estiva. No caso de 6 carretas para cada berço, conforme a simulação nº 2, não se observaram atrasos na estiva. Somente no caso do emprego de 4 carretas por berço observaram-se pequenos atrasos na estiva do berço no qual estava sendo usado um "portainer". No berço onde a estiva era executada por equipamento de bordo do navio, não foram detectados atrasos nas operações. Desta forma, as simulações nºs 3 e 4 permitiram verificar que, teoricamente, bastam 4 carretas para transporte de contêineres de ou para um berço ("portainer" em uso) e 3 carretas para o caso de uso de equipa-

mentos de bordo, já que estes têm um tempo de ciclo bem maior que os dos "portainers", criando uma demanda menor por carretas, durante um mesmo intervalo de tempo.

É evidente que estes resultados só valem para as hipóteses admitidas na modelagem, principalmente no que diz respeito aos tempos de ciclo dos equipamentos de movimentação .

Também foi pesquisada a influência da diminuição do número de equipamentos de movimentação de contêineres no pátio de estocagem. Assim, foi executada a simulação nº5, na qual se manteve apenas 1 equipamento de movimentação para apoiar a estiva em um dos berços. Isto resultou num tempo médio de espera da ordem de 18 minutos por carreta aguardando atendimento pelo único equipamento de movimentação existente. Em consequência disso, houve um atraso médio de cerca de 1,7 minutos na estiva de cada contêiner, que só não foi maior pelo fato de haver 6 carretas operando no transporte dos cofres. No caso da estiva de 210 contêineres, haveria um tempo adicional de permanência do navio de aproximadamente 6 horas.

Na mesma simulação nº 5 pesquisou-se o efeito de diminuir-se de 3 para 2 o número de equipamentos de movimentação para operações de atendimento a caminhões, esvaziamento e enchimento de contêineres.

Observou-se um pequeno tempo médio de espera de veículos por atendimento pelos equipamentos de movimentação, inferior a 1 minuto. Poder-se-ia então sugerir o uso de apenas 2 equipamentos mas deve-se atentar para o fato de que os contêineres recebidos no terminal, os entregues aos caminhões, os que vão para esvaziamento, etc, estão em diferentes locais no pátio de estocagem, o que exigiria a mudança constante de posição dos equipamentos. Isto não foi modelado por aumentar bastante o tempo de

processamento do modelo, além de não haver dados sobre tais operações, de modo que não é possível o uso de apenas 2 equipamentos.

Outro aspecto estudado foi o efeito que teria sobre o tempo de estadia dos navios e o nível de utilização dos berços um incremento na produtividade bruta de estiva, passando de entre 3 e 10 cofres por hora para 7 a 15 contêineres por hora, mais próxima dos padrões europeus. Com esta finalidade foi executada então a simulação nº 6, na qual considerou-se que a produtividade bruta de estiva dos navios fosse aleatória, com distribuição uniforme, na faixa de 7 a 15 contêineres por hora. Foram simulados 9 dias de operação do terminal. O tempo médio de permanência dos navios nos berços baixou de 1,81 dias, conforme a simulação nº 2, para 1,02 dias. Além disso, a taxa de utilização dos berços caiu de 70% para 48%.

A diminuição no tempo de permanência dos navios foi próxima de 1 dia, o que é relevante quando se verifica que o custo médio de espera dos navios da faixa de porte e tipo dos que operam no terminal de Santos estar entre US\$ 15.000 e US\$ 20.000, por dia, conforme estimativa da Portobras, para 1983.

5.2.- ANÁLISE DE AUMENTOS DE DEMANDA DE MOVIMENTAÇÃO DE CONTÊINERES

Nesta seção, procurou-se analisar quais as medidas necessárias para que o terminal absorva demandas crescentes de movimentação de contêineres. O estudo foi organizado da seguinte forma:

- a) como ocorreram aumentos de movimentação de contêineres;
- b) como o terminal absorveria tais aumentos de demanda;
- c) apresentação de estatísticas sobre o funcionamento

do terminal naquelas condições.

Na falta de indicações seguras de como ocorreriam aumentos de demanda por movimentação de contêineres no terminal o estudo baseou-se nas seguintes hipóteses:

- a) manteve-se a distribuição do número de contêineres movimentados por navio de acordo com a Tabela 3.2 (pag. 27);
- b) os aumentos de movimentação de contêineres foram representados por aumentos no número de navios que utilizam o terminal: isto está de acordo com o que se observa na Figura 3.3 (pag. 30) onde os aumentos de movimentação estão bem relacionados com o aumento do número de navios que freqüentaram o terminal;
- c) foram admitidos aumentos de produtividade bruta de estiva que seriam decorrentes de esforços conjuntos neste sentido por parte da autoridade portuária e das agências de navegação;
- d) as operações na ponte de controle seriam tais que não significariam um gargalo do sistema; conforme informações obtidas no terminal, no caso de filas grandes de caminhões em espera por atendimento na ponte de controle, passar-se-ia a não pesar parte deles, adotando-se os pesos que constam nos documentos emitidos pelas transportadoras.

Neste trabalho, em lugar de adotar tal simplificação, foram consideradas ampliações na capacidade de operação da ponte de controle. Também foi prevista a ampliação no número de equipamentos de movimentação para operação com os caminhões e esvaziamentos e enchimentos de contêineres, de modo a não criar-se um gargalo neste ponto do sistema;

- e) foi considerada a atracação de até 3 navios no cais atual, o que aliás já ocorreu diversas vezes nos

últimos meses de 1983. Desta forma, admitiu-se que houvesse mais 2 equipamentos de movimentação para operar no berço adicional, que podem ser representados pelos 2 "transtainers" sobre pneus recentemente incorporados; também incluiu-se 6 carretas adicionais;

f) foram admitidos 340 dias corridos operacionais, por ano.

A partir destas hipóteses, foram definidos vários regimes de chegadas de navios, considerando-se 2 e 3 berços, tais que os tempos médios de espera das embarcações na fila por berço não excedessem 12 horas, que é usualmente considerado o máximo admissível.

Além disso, foram admitidas duas faixas de produtividade bruta de estiva, além da que consta na Tabela 3.4 (pag. 29):

- 1) 6 a 9 contêineres por hora, desempenho não difícil de ser atingido pois está contido na faixa atual de 3 a 10 cofres por hora, bastando agilizar-se um pouco as operações de modo a não se trabalhar abaixo de 6 contêineres por hora.
- 2) 8 a 15 contêineres por hora, que pode ser encarado com um padrão de operação mais próximo dos europeus; para isto seriam necessários equipamentos adequados de movimentação, em número suficiente e em bom estado, operadores experientes, navios mais especializados, tipo "full-container" ou, pelo menos, com porões celulares, entre outras melhorias.

Foram feitas então várias simulações nas quais combinaram-se regimes de chegadas, produtividades brutas de estiva e número de berços. Os resultados destas simulações estão resumidos na Tabela 5.1.

COMBINAÇÃO	INTERVALO ENTRE CHEGADAS DE NAVIOS (DIAS)	PRODUTIVIDADE BRUTA DE ESTIVAGEM (COFRES/HORA)	NÚMERO DE BERÇOS	TEMPO MÉDIO DE ESPERA DOS NAVIOS NA FILA (HORAS)	PREVISÃO DE MOVIMENTAÇÃO ANUAL DE CONTÊINERES (T.E.U.)
1	1,02	3 A 10	2	8,45	72.000
2	0,67	6 A 9	2	3,00	101.000
3	0,76	3 A 10	3	2,21	94.000
4	0,58	8 A 15	2	2,93	130.000
5	0,51	6 A 9	3	2,52	142.000
6	0,38	8 A 15	3	4,11	188.000

TABELA 5.1.1.- Resultados das Simulações para Análise de Aumentos de Movimentação Anual de Contêineres

Deve-se ressaltar que as simulações foram executadas admitindo-se a distribuição do número de contêineres estivados por navio conforme visto na modelagem do sistema (Tabela 3.2, pag. 27) e que, exceto as alterações mencionadas, todas as outras características do modelo foram mantidas.

Pela Tabela 5.1 (pag. 70) levando-se em conta o nível de 140.000 cofres por ano, que é a movimentação para a qual foi projetado o terminal, operando com 2 berços, a opção mais fácil de ser atingida corresponde à combinação 5, já que não é difícil situar-se a produtividade bruta de estiva na faixa de 6 a 9 contêineres por hora, embora seja necessário manter 3 berços no mesmo cais.

A combinação 6 conduziu à maior movimentação anual que se poderia absorver, dentro das hipóteses assumidas. No entanto, mantido o tempo médio de permanência de cada contêiner no pátio, que era de 14 dias em meados de 1983, haveria um estoque médio de cerca de 7800 TEU no terminal.

A capacidade do pátio de estocagem, admitindo-se o sistema operacional de aranhas e "transtainers", é de 9.000 TEU. Como a tendência é de utilizar-se empilhadeiras, que necessitam de maior área para manobras, haveria uma queda na capacidade de estocagem, o que poderia inviabilizar a combinação 6. Também a tendência para o aumento do uso dos contêineres de 40 pés de comprimento contribui para a diminuição do espaço útil para estocagem, já que a movimentação de tais cofres por empilhadeiras requer ainda maior espaço para manobras.

Observa-se que os tempos médios de espera dos navios na fila para atracação não são altos, na maioria das combinações da Tabela 5.1. Assim, para cada combinação, pode-se admitir um regime de chegadas de navios mais intenso, obtendo-se maiores movimentações anuais de con

têineres mas às custas de maiores tempos de espera dos navios. Também é possível conceber-se maiores movimentações de contêineres, sem incorrer em aumentos substanciais nos tempos de espera dos navios em fila, no caso de outros níveis de produtividade bruta de estiva intermediários aos que constam na Tabela 5.1.

A rigor, vários processamentos deveriam ser feitos para cada combinação da Tabela 5.1, com diferentes sementes para os geradores aleatórios ou, alternativamente, aumentar-se o tempo simulado de cada combinação, de modo a obter-se indicações o mais seguras possível para os valores extrapolados de movimentação anual de contêineres. Isto não foi feito por economia de tempo de processamento e porque os valores de movimentação anual obtidos estão coerentes entre si, apresentando um comportamento crescente conforme cresce o ritmo de chegada de navios.

O uso de dois equipamentos de movimentação de contêineres para operações com a estiva de cada berço mostrou ser sempre suficiente, dentro dos tempos de ciclo admitidos na modelagem (vide Tabela 3.1, pag. 26). As simulações resultaram em pequenos atrasos, entre alguns segundos e 1 minuto, em média, na estiva de cada contêiner, o que é resultado das aleatoriedades nos diversos tempos de ciclo de operações envolvidos, sem serem devidos a insuficiência de equipamentos de movimentação.

A produtividade média teórica de 2 equipamentos de movimentação, conforme o tempo de ciclo médio admitido na modelagem (4,3 minutos) seria de 28 cofres por hora; como a maior taxa média de estiva ocorre para o caso do uso de 1 "portainer" e 1 equipamento de bordo de navio, sendo de 23 contêineres por hora, verifica-se que bastam 2 equipamentos de movimentação por berço. No caso do uso de 2 "portainers" por navio, a taxa média de estiva subiria para 30 contêineres por hora, quando então seriam necessá

rios 3 equipamentos de movimentação por berço.

Numa das hipóteses anteriormente mencionadas para este estudo, admitiu-se considerar a ampliação da capacidade de operação da ponte de controle. Para isto admitiu-se a existência de mais balanças e baias (1), conforme os níveis de movimentação de contêineres, de modo que as operações na ponte de controle não consistissem num gargalo do sistema. Assim, para cada combinação correspondente à Tabela 5.1, (pag. 70) a Tabela 5.2, (pag. 74) apresenta os resultados da operação da ponte de controle.

Também foi variado o número de equipamentos de movimentação nas operações com caminhões, esvaziamento e enchimento de contêineres de forma a suportar bem os aumentos de movimentações de cofres. Neste caso, admitiu-se a mesma proporção de contêineres esvaziados e enchidos, sobre a movimentação total de cofres, que ocorria entre janeiro e agosto de 1983, cerca de 15%.

Na Tabela 5.3. (pag. 75) estão apresentadas outras estatísticas resultantes das simulações. Já foi explicado na seção 5.1. (pag.63) a razão dos baixos valores de taxas de utilização dos equipamentos de movimentação. Os valores de taxa de utilização dos equipamentos de movimentação nas operações com caminhões, esvaziamento e enchimento de cofres e da ponte de controle foram corrigidos de modo a representarem as operações contínuas daquelas facilidades, sem incluir os períodos fora de funcionamento, entre os turnos de operação do terminal.

(1) Definiu-se baias como sendo locais de passagem de caminhões onde é feito apenas o controle de documentação dos cofres, sem incluir pesagem.

COMBINAÇÃO	NÚMERO DE BALANÇAS	NÚMERO DE BAIAS	TEMPO MÉDIO DE ESPERA DOS CA- MINHÕES POR ATENDIMENTO NA PONTE DE CONTROLE (MINUTOS)		Nº DE EQUIPAMEN- TOS DE MOV.PARA OPERAÇÕES COM CAMINHÕES, EN- CHIMENTOS E ES- VAZIAMENTOS	Nº MÁXIMO DE CAMINHÕES SI- MULTANEAMEN- TE NO PÁTIO.
			ENTRANDO NO TERMINAL	SAINDO DO TERMINAL		
1	2	1	~0	0,3	3	4
2	2	1	0,9	0,9	3	6
3	2	1	0,9	1,0	3	6
4	3	1	0,5	1,1	4	8
5	3	1	0,9	1,8	4	9
6	4	2	0,5	0,3	5	11

TABELA 5.2.- Análise de Aumento de Movimentação de Contêineres:
Operações na Ponte de Controle

COMBINAÇÃO	TAXA DE UTILIZAÇÃO GLOBAL DOS EQUIPAMENTOS DE MOVIMENTAÇÃO		TAXA DE UTILIZAÇÃO DA PONTE DE CONTROLE		TAXA DE UTILIZAÇÃO DOS BERÇOS	TEMPO MÉDIO DE PERMANÊNCIA DOS NAVIOS (DIAS)
	NAS OPERAÇÕES DE ESTIVA	NAS OPERAÇÕES COM CAMINHÕES, ENCHIMENTOS E ESVAZIAMENTOS.	BALANÇAS	BAIAS		
1	0,14	0,45	0,51	0,33	0,82	1,73
2	0,22	0,77	0,85	0,56	0,81	1,04
3	0,15	0,77	0,85	0,61	0,76	1,65
4	0,31	0,79	0,81	0,73	0,81	0,91
5	0,24	0,84	0,82	0,81	0,86	1,27
6	0,33	0,85	0,86	0,49	0,84	0,89

TABELA 5.3. - Estatísticas Referentes às Simulações Correspondentes à Análise de Aumento de Movimentação de Contêineres.

Para os equipamentos de movimentação que operam juntamente com a estiva, levando-se em conta a média de 210 contêineres estivados por navio, a taxa de utilização efetiva (sem levar em conta os períodos de paralização introduzidos através das distribuições de produtividades brutas de estiva adotadas) seria de cerca de 0,82 para 1 "portainer" e 1 equipamento de bordo e cerca de 0,61 para 2 equipamentos de bordo. Estes valores foram obtidos dividindo-se 210 contêineres pelo número médio de cofres que os 2 equipamentos de movimentação poderiam processar (a 100% de utilização) no mesmo período de tempo necessário para a estiva destes 210 contêineres.

Os valores de taxa de utilização das balanças rodoviárias e baias, que constam na Tabela 5.3, (pag. 75) correspondem aos períodos de operação contínua da ponte de controle, tendo-se descontado os períodos de 3 horas, entre os turnos de trabalho. Levando em conta estes períodos sem operação, os valores de taxa de utilização das balanças e baias seriam a metade do que consta na Tabela 5.3. (pag. 75).

O uso de menos balanças rodoviárias ou baias produziu, conforme processamentos adicionais executados, um aumento considerável nos tempos médios de espera dos caminhões na ponte de controle. Por exemplo, na combinação 6,0 uso de uma só baia levou a tempos médios de espera de aproximadamente 2,4 minutos para os caminhões que entram no terminal e 9 minutos para os que saem. Na combinação 1, o uso de uma só balança resultou numa espera média de aproximadamente 7,7 minutos para os caminhões que entram e 3,6 minutos para os que saem.

Como conclusão destas análises, pode-se verificar que o modelo é adequado e pode-se tirar conclusões com sua aplicação, prevendo-se o resultado de modificações na operação do terminal de contêineres.

6. - CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo serão apresentadas conclusões a respeito do modelo e suas aplicações à análises do aumento de movimentação de contêineres. Incluir-se-ão algumas recomendações para que o terminal possa criar condições que permitam a ocorrência destes aumentos de demanda por movimentação e bem absorvê-los.

Serão também comentados aspectos relativos a algumas dificuldades surgidas na elaboração da pesquisa e que novos estudos poderiam seguir-se a este trabalho.

6.1.- CONCLUSÕES GERAIS SOBRE O TRABALHO

Como foi apresentado na seção 4.3, o modelo representou bem a operação do terminal, conforme os dados estatísticos de que se dispunha para verificações.

As aplicações do modelo a casos de aumento de demanda por movimentação de contêineres permitiram verificar que a principal restrição à absorção destes incrementos é a baixa produtividade bruta de estiva que ocorre no terminal.

Com relação aos equipamentos de movimentação, verificou-se que são sempre suficientes dois deles para suportar, com folga, a estiva efetuada por até 1 "portainer" e um equipamento de bordo de navio.

No que diz respeito à ponte de controle, foi necessário ampliar o número de balanças (e baias, em alguns casos) para suportar os aumentos de fluxos de caminhões, na análise de aumento de movimentação de contêineres, o mesmo ocorrendo com o número de equipamentos de movimentação para operação com caminhões, esvaziamento e enchimento de cofres.

Algumas outras aplicações poderiam ser feitas caso as operações no terminal se desenvolvessem dentro de uma faixa de produtividade bruta de estiva menos ampla e mais próxima dos padrões de produtividade média dos "portainers". Neste caso, seria mais fácil e seguro tirar conclusões sobre o efeito de modificações sobre a capacidade de movimentação de contêineres do terminal.

Antes de se esperar a ocorrência de aumentos de movimentações de contêineres, deve haver um esforço conjunto e gradual por parte da autoridade portuária e das agências de navegação no sentido de aumentar-se os níveis resultantes de produtividade bruta de estiva. Exemplos para isto, entre outros, seriam:

- a) uso de navios mais especializados, tipo "full-container", ou navios com porões celulares e escotilhas amplas o suficiente para evitar movimentações horizontais dos cofres após sua colocação no porão;
- b) maior planejamento, por parte das agências de navegação, dos planos de carregamento e descarregamento dos navios de forma a evitar paralisações na estiva para rearranjos de contêineres a bordo;
- c) maior pressão sobre os usuários e transportadoras no sentido de que os contêineres para embarque estejam todos no terminal por ocasião da chegada do navio, para que não ocorram atrasos devido à necessidade de mudanças nos planos de embarque;
- d) maior incentivo, ou mesmo obrigatoriedade, do uso de 1 "portainer" por navio, nas operações de estiva;
- e) melhoria no arranjo de equipamentos de movimentação de contêineres no pátio do terminal; isto já pode ser obtido com a operação dos "transtainers" sobre pneus nas operações de desembarque e embarque.

Outro aspecto favorável relativo aos equipamen-

tos de movimentação seria optar definitivamente por poucos tipos e modelos de maneira a evitar problemas de demoras no recebimento de um número muito variado de peças de reposição.

6.2.- CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho permitiu verificar que a simulação digital é uma ferramenta bastante útil, sendo algumas vezes a maneira mais viável e rápida para se modelar sistemas complexos.

Uma desvantagem da simulação é que ela requer um criterioso planejamento dos experimentos e uma boa análise estatística dos resultados que proporciona. Outra desvantagem, que foi bastante sentida no desenvolvimento deste trabalho, é o custo alto das simulações devido ao tempo de processamento dos programas ser grande. Isto provocou muita demora na obtenção dos resultados já que, quanto maior a faixa de tempo de processamento, menor a prioridade de execução do programa, que entra em filas grandes de tarefas no sistema de computação utilizado.

Deve-se esclarecer, no entanto, que a simulação digital leva ao gasto de muito tempo de processamento a penas quando os modelos construídos representam sistemas onde uma quantidade muito grande de elementos passa por muitos processos, como foi o caso dos milhares de contêineres, caminhões e carretas, no terminal modelado, ao cabo de apenas 10 dias simulados.

De qualquer forma, o modelo aqui desenvolvido permite ter-se uma idéia do desempenho do terminal sob o efeito de quaisquer alterações nas partes modeladas. Este modelo consistiu num passo importante para o desenvolvimento de outros mais detalhados, por exemplo incluindo as distribuições reais de probabilidade dos tempos de ciclo

de todos os equipamentos e processos no terminal.

Como sugestões para novos trabalhos envolvendo o terminal de contêineres de Santos, pode-se citar:

- a) pesquisa sobre as causas da baixa produtividade bruta de estiva no terminal, de modo a se poder propor medidas corretivas, em alguns casos, de modo a aumentá-la;
- b) determinação do "lay-out" mais adequado para o pátio de estocagem do terminal, com base no arranjo atual de equipamentos de movimentação, já que há dúvidas quanto à disposição dos contêineres devido ao uso dos "transtainers" sobre pneus em conjunto com as empilhadeiras;
- c) estudos sobre as operações na ponte de controle do terminal com vistas à agilização das operações, inclusive envolvendo o uso de micro-computadores;
- d) estudos envolvendo a problemática de manutenção dos equipamentos de movimentação e estiva de contêineres, de modo a diminuir as paradas prolongadas, no caso de quebras, devido à demora entre os pedidos e as entregas de peças de reposição. Seria necessário um levantamento estatístico envolvendo os diversos tipos de quebras de peças destes equipamentos.

APÉNDICE A-1

LISTA DE SÍMBOLOS UTILIZADOS NO
PROGRAMA DE COMPUTADOR
BÁSICO.

1. - PARÂMETROS DAS TRANSAÇÕES (PH)

1.1.- PARÂMETROS DAS TRANSAÇÕES QUE REPRESENTAM NAVIOS E CARRETAS.

- PH1- número de contêineres a desembarcar.
- PH2- número de contêineres a embarcar.
- PH3- identifica cada berço (PH3=1 representa o berço nº1).
- PH4- indica uso de "portainer", no berço, se PH4=1.
- PH5- armazena o número de carretas para uso em conjunto com cada equipamento de estiva.
- PH6- armazena o valor da produtividade bruta de estiva teórica no berço (17 ou 23 contêineres por hora).
- PH8- indica se o contêiner está sendo estivado com "portainer" (PH8=10) ou com equipamento de bordo de na vio (PH8=9).
- PH9- indica se está ocorrendo o descarregamento do navio se PH9=1.

1.2.- PARÂMETROS DAS TRANSAÇÕES QUE REPRESENTAM CAMINHÕES.

- PH1- indica caminhão entrando vazio no terminal se PH1=1.
- PH2- indica que o caminhão já foi atendido pelos equipamentos de movimentação se PH2=1.
- PH3- indica caminhão entrando (PH3=1) ou saindo do termi nal (PH3=2).

2. - ESTAÇÕES DE SERVIÇO ("STORAGES"-S)

- S1 - número de equipamentos de movimentação disponíveis, dos alocados ao berço 1.
- S2 - idem, para o berço 2.
- BERÇO- número de berços disponíveis.
- CARR - número de carretas disponíveis.
- PORT - número de "portainers" disponíveis.
- PONTE- número de balanças rodoviárias disponíveis.
- PONT1- número de baias disponíveis na ponte de controle.

EQU 5 - número de equipamentos de movimentação disponíveis, alocados ao atendimento de caminhões e operações de esvaziamento e enchimento de contêineres.

3. - FILAS.

FILA - fila de navios para atracação.

CTVAZ - representa contêineres, recém retirados de navios, aguardando carretas vazias para nelas serem colocados pelo equipamento de estiva.

CTCHE - representa a espera dos equipamentos de estiva por carretas com contêineres que vão ser embarcados nos navios.

IMPO - representa a espera das carretas com contêineres recém desembarcados por um local de estocagem, no pátio.

EXPO - representa a espera das carretas vazias por contêineres de exportação, ainda não disponíveis no pátio, para embarque nos navios.

CTMOV - fila de carretas aguardando equipamento de movimentação disponível.

CAMOV - idem de CTMOV, mas para os caminhões.

ENTRA - fila de caminhões, para passagem pela ponte de controle, entrando no terminal.

SAIDA - idem, mas saindo do terminal.

4. - REGISTROS FIXOS DE ARMAZENAGEM (SAVEVALUES).

4.1.- REGISTROS TIPO "FULLWORD" (XF).

XF1 - número de contêineres a desembarcar ou embarcar no navio atracado no berço 1, num dado instante.

XF2 - idem, para o berço 2.

XF3 - registro que armazena o número total de cofres a estivar, num dado navio, durante a fase de cálculo do número a embarcar e desembarcar.

4.2.- REGISTRO TIPO "HALFWORD" (XH).

- XHj - indica que o berço j está vago quando $XHj < 0$; se o berço j está ocupado ($XHj > 0$), o valor de XHj, num dado instante, indica o número de carretas disponíveis, junto ao berço j, para continuidade das operações de estiva.
- BER1 - é o mesmo registro designado por XH1; foi necessário dar um nome alfanumérico para XH1 devido a certas peculiaridades do sistema GPSS.
- BER2 - idem para XH2.
- NCTP - número de carretas necessárias para operarem vinculadas à estiva com o uso de "portainer".
- NCTB - número de carretas necessárias para operarem vinculadas à estiva com o uso só de equipamentos de bordo.
- PBEP - produtividade bruta de estiva teórica para um "portainer" e um equipamento de bordo de navio.
- PBEB - produtividade bruta de estiva teórica para 2 equipamentos de bordo.
- IMPO - número de contêineres de importação no pátio de estocagem.
- EXPO - número de contêineres de exportação no pátio de estocagem.
- PATI - número total de cofres no pátio de estocagem.
- CPAT - capacidade do pátio de estocagem, em T.E.U.

5. - CHAVES LÓGICAS (LOG).

- LOG 1 - indica que o terminal está em horário normal de operação quando a chave estiver aberta ("RESET") e que o terminal não está operando quando a chave estiver fechada ("SET").

APÊNDICE A-2

LISTAGEM DO PROGRAMA DE COMPUTADOR BÁSICO.

BURROUGHS GPSS: VERSION 2.40 10/26/79
 USER'S PROGRAM IMAGE

BLOCK NUMBER	STATEMENT NUMBER	CODE	IMAGE
	1	SSINGLE	
	2	SSQUARE	
	3	REALLOCATE	FAC,0,ST0,12,ROE,12,LOG,1,TAB,0,FUN,15,VAR,3
	4	REALLOCATE	FSV,5,HSV,15,BSV,0,LSV,0,CHF,0,GYP,0
	5	REALLOCATE	BYP,0,FMS,0,HMS,0,BMS,0,LMS,0,XAC,200
	6	JNLIST	ABS
	7	SIMULATE	16
	8	RJULI	,1237717,3593707
	9	NUXREF	
	10	CHG FUNCTION	RN2,PCISSCN,20462
	11	NOINT FUNCTION	RN2,C26
	12		.0,207,06,477,09,607,12,507,16,1007,21,1207,24,1407,35,1607,30,190
	13		.44,207,53,2207,61,2407,68,2607,71,2807,76,3007,78,3207,81,3407,84,350
	14		.7,3607,94,4007,98,4207,97,4407,976,4607,982,4807,963,5007,1,620
	15	1 FUNCTION	RN2,C2
	16		.0,3371,53
	17	8 FUNCTION	RN3,C8
	18		.09,37,16,47,45,57,61,67,73,77,76,87,89,97,96,10
	19	7 FUNCTION	RN3,C2
	20		.0,4071,100
	21	10 FUNCTION	RN4,C2
	22		.0,3071,50
	23	DIV FUNCTION	RN7,C2
	24		.0,071,1
	25	EQ01 EQU	1,S
	26	EQ02 EQU	2,S
	27	EQ05 EQU	5,S

28			1,XH						
29			2,XH						
30			6,S						
31			7,S						
32			8,S						
33			9,S						
34			10,S						
35			1,B						
36			2,S						
37			6*(CPH1+PH2)*(1000/FS8-1000/PH5)/10						
38			XHSER1,-1/XHSER2,-1/XF1,C/XF2,D						
39			XHSIMP0,1500/XHFXPD,150/XHBPAT1,3000						
40			XHSOPAT,9000/XHFNCTP,6/XHFNCTB,6						
41			XHSPBCP,23/XHSPRIB,17						
42			S1,2/S2,2/S5,3/S6,2/S7,2/S8,12/S9,1/S10,1						
43			1,,1						
44			PRIM						
45			FNBSCHG						
46			3,FASSACDNT,XF						
47			2,YFS, DIV,PH						
48			1,(XF3-PH2),PH						
49			9,1,PH						
50			FILE						
51			BERCO						
52			3PH,1,2,0,XH						
53			PHS,1,XH						
54			PH3,PH1,XF						
55			1,S,XF,D						
56			FILE						
57			225,75						
58			250,PRT,BUR						
59			5,XHSNCTP,PH						
60			CAR,PHS						
1			1 VARIABLE						
2			INITIAL						
3			INITIAL						
4			INITIAL						
5			INITIAL						
6			STORAGE						
7			GENERATE						
8			TRANSFER						
9			GENERATE						
10			SAVEVALUE						
11			ASSIGN						
12			ASSIGN						
13			ASSIGN						
14			ASSIGN						
15			QUEUE						
16			ENTER						
17			SELECT L						
18			SAVEVALUE						
19			SAVEVALUE						
20			PRINT						
21			DELPHI						
22			ADVANCE						
23			TRANSFER						
24			ASSIGN						
25			ENTER						

19	ENTER		POST	61
20	ASSIGN		S>XHEPBP,PH	62
21	ASSIGN		4,1,PH	63
22	SPLIT		1,AAA	64
23	ASSIGN		8,10,PH	65
24	TRANSFER		,BBB	66
25	ASSIGN	BDR	5,XHREACTB,PH	67
26	ASSIGN		5,XHEPBE,PH	68
27	ENTER		CARR,PH5	69
28	SPLIT		1,AAA	70
29	ASSIGN	AAA	3,9,PH	71
30	SAVEVALUE		PH3,PH5,XH	72
31	TEST G	BUB	XF*PH3,0,FM9	73
32	SAVEVALUE		PH3,1,XF	74
33	ADVANCE		FN*PH8	75
34	QUEUE		CTVAZ	76
35	TEST G		XH*PH3,0	77
36	SAVEVALUE		PH3,1,YH	78
37	DEPART		CTVAL	79
38	SPLIT		1,DDA	80
39	TRANSFER		,BBB	81
40	TEST G	CCA	XF*PH5,0,FIM	82
41	SAVEVALUE		PH3,1,XF	83
42	QUEUE	CCJ	CTCHE	84
43	TEST G		XH*PH3,0	85
44	DEPART		CTCHE	86
45	SAVEVALUE		PH3,1,XH	87
46	ADVANCE		FN*PH8	88
47	SPLIT		1,DDA	89
48	TRANSFER		,CCA	90
49	ADVANCE	DDA	13,5	91
50	TEST E		PH9,1,DDD	92
51	QUEUE		IMPO	93

94				XHSPATI,XHSCPAT		
95				IMPC		
96				PATI,1,XH		
97				IMPC,1,XH		
98				CTMOV		
99				PH3		
100				CTMOV		
101				FNI		
102				PH3		
103				13,5		
104				XH,PH3,PH5,DDC		
105				PH3,1,XF		
106				EXPO		
107				XHSEXPC,Y		
108				EXPO		
109				EXPO,1,XH		
110				PATI,1,XH		
111				,DOB		
112				2		
113				9,0,PH		
114				PH3,PH2,XF		
115				1,2,XF,0		
116				PH3,PH5,XH		
117				,CCA		
118				2		
119				V1		
120				PH4,1,END		
121				PORT		
122				CARR,PH5		
123				225,75		
124				PH3,10,XH		
125				BERCO		
126						

92	TEST L					
93	DEPART					
94	SAVEVALUE					
95	SAVEVALUE					
96	DOB QUEUE					
97	EMIER					
98	DEPART					
99	ADVANCE					
100	LEAVL					
101	ADVANCE					
102	TEST L					
103	SAVEVALUE					
104	DDC TERMINATE					
105	DDC QUEUE					
106	TEST G					
107	DEPART					
108	SAVEVALUE					
109	SAVEVALUE					
110	TRANSFER					
111	GATHER					
112	ASSIGN					
113	SAVEVALUE					
114	PRINT					
115	SAVEVALUE					
116	TRANSFER					
117	ASSEMBLE					
118	ADVANCE					
119	TEST E					
120	LEAVE					
121	LEAVE					
122	ADVANCE					
123	SAVEVALUE					
124	LEAVC					

85	TERMINATE	96	127
86	CAVAZ GENERATE		128
87	GATE LR	XHBIMPO,0	129
88	TEST G	IMPO,1,XH	130
89	SAVEVALUE	PATI,1,XH	131
90	SAVEVALUE	1,1,PH	132
91	ASSIGN	3,1,PH	133
92	ASSIGN	PH3	134
93	QUEUE	PONTE	135
94	ENTER	PH3	136
95	DEPART	35,15	137
96	ADVANCE	PDNTE	138
97	LEAVE	PH2,1,EEG	139
98	EEA TEST E		140
99	TERMINATE		141
100	NPESA QUEUE	PH3	142
101	ENTER	PCNT1	143
102	DEPART	PH3	144
103	TEST E	PH2,1,EEB	145
104	TEST NE	PH1,1,EEB	146
105	ADVANCE	10	147
106	TRANSFER	EEC	148
107	ADVANCE	30,10	149
108	EEC LEAVE	PCNT1	150
109	TRANSFER	EEA	151
110	ADVANCE	20,10	152
111	QUEUE	CAMOV	153
112	ENTER	EGUS	154
113	DEPART	CAMOV	155
114	ADVANCE	FN1	156
115	LEAVE	EGUS	157
116	ADVANCE	20,10	158

159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184

117	ASSIGN	3,2,PH
118	ASSIGN	2,1,PH
119	TEST E	PH1,1,NPESA
120	TRANSFER	210,PESA,NPESA
121	GENERATE	96
122	DATE LR	1
123	TEST L	XHSEXP, XHSCPAT
124	SAVEVALUE	EXP,1,XH
125	SAVEVALUE	PAT,1,XH
126	ASSIGN	3,1,PH
127	TRANSFER	353,PESA,NPESA
128	GENERATE	164
129	DATE LR	1
130	QUEUE	CANDV
131	ENTER	EQUS
132	DEPART	CANDV
133	ADVANCE	FN1
134	LEAVE	EQUS
135	TERMINATE	1800
136	GENERATE	1
137	LOGIC I	
138	TERMINATE	14400
139	GENERATE	1
140	TERMINATE	1
141	START	
142	END	

APÊNDICE A-3

EXEMPLO DE RELATÓRIO-PADRÃO IMPRIMIDO PELO SISTEMA
GPSS AO FINAL DE UMA SIMULAÇÃO.

RELATIVE CLOCK 14400 ABSOLUTE CLOCK 14400

BLOCK COUNTS

BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL
1	0	11	1	21	0	31	111	41	101
2	0	12	1	22	0	32	109	42	101
3	0	13	1	23	0	33	109	43	101
4	0	14	1	24	0	34	109	44	101
5	0	15	1	25	0	35	109	45	101
6	0	16	1	26	0	36	109	46	101
7	0	17	1	27	0	37	109	47	101
8	0	18	1	28	0	38	218	48	101
9	0	19	1	29	0	39	109	49	101
10	0	20	1	30	0	40	103	50	210

BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL
51	0	61	210	71	0	81	0	91	75
52	0	62	210	72	0	82	0	92	0
53	0	63	210	73	0	83	0	93	0
54	0	64	210	74	0	84	0	94	0
55	0	65	101	75	0	85	0	95	0
56	0	66	101	76	0	86	0	96	0
57	0	67	101	77	0	87	0	97	0
58	0	68	101	78	1	88	0	98	0
59	0	69	101	79	0	89	0	99	0
60	0	70	101	80	0	90	0	100	0

BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL	BLOCK CURRENT	TOTAL
101	0	111	150	121	0	131	43	141	0
102	0	112	150	122	0	132	43	142	0
103	0	113	150	123	0	133	43	143	0
104	0	114	150	124	0	134	43	144	0
105	0	115	150	125	0	135	43	145	0
106	0	116	150	126	0	136	43	146	0
107	0	117	150	127	0	137	43	147	0
108	0	118	150	128	0	138	43	148	0
109	0	119	150	129	0	139	43	149	0
110	0	120	75	130	0	140	43	150	0

AS SHOWN IN THIS REPORT, 10934 BLOCKS WERE EXECUTED.

FIGURA A-3.1. - Relatório-Padrão do Sistema GPSS ao Final de uma Simulação

***** STORAGES *****

STORAGE	CAPACITY	AVERAGE CONTENTS	ENTRIES	AVERAGE TIME/UNIT	- AVERAGE UTILIZATION DURING -				CURRENT STATUS	PERCENT AVAILABLE	CURRENT CONTENTS	MAXIMUM CONTENTS
					TOTAL TIME	AVAILABLE TIME	UNAVAILABLE TIME	TABLE NUMBER				
EQUI	2	0.62	210	42.39	0.31	0.31	0.00		A	100.00	0	2
EQU5	3	0.58	193	43.02	0.19	0.19	0.00		A	100.00	0	3
BERCO	2	1.00	1	14392.00	0.50	0.50	0.00		A	100.00	1	1
CARRP	12	5.93	6	14234.00	0.49	0.49	0.00		A	100.00	6	6
PONTE	1	0.45	185	34.91	0.45	0.45	0.00		A	100.00	0	1
PONIL	1	0.13	115	16.77	0.13	0.13	0.00		A	100.00	0	1

***** QUEUES *****

QUEUE	MAXIMUM CONTENTS	AVERAGE CONTENTS	TOTAL ENTRIES	ZERO ENTRIES	PERCENT ZEROS	AVERAGE TIME/TRANS	SAVERAGE TIME/TRANS	TABLE NUMBER	CURRENT CONTENTS
ENTRA	4	0.26	150	61	40.57	25.19	42.46	0	0
SAIDA	2	0.17	150	80	53.33	16.73	35.84	0	0
FILA	1	0.00	1	100.00	100.00	0.00	0.00	0	0
CIVAZ	1	0.00	109	109	100.00	0.00	0.00	0	0
CICHE	1	0.00	101	101	100.00	0.00	0.00	0	0
IMPO	1	0.00	109	109	100.00	0.00	0.00	0	0
CIMOV	1	0.00	210	204	97.14	0.19	6.67	0	0
EXPO	1	0.00	101	101	100.00	0.00	0.00	0	0
CAMOV	1	0.00	193	193	100.00	0.00	0.00	0	0

***** LOGIC SWITCHES *****

LOGIC SWITCH	S/R	LOGIC SWITCH	S/R	LOGIC SWITCH	S/R	LOGIC SWITCH	S/R	LOGIC SWITCH	S/R	LOGIC SWITCH	S/R	LOGIC SWITCH	S/R
1	5												

***** SAVEVALUES *****

FULLWORD SAVEVALUES (NON-ZERO)

SAVEVALUE	CONTENTS	SAVEVALUE	CONTENTS	SAVEVALUE	CONTENTS	SAVEVALUE	CONTENTS	SAVEVALUE	CONTENTS	SAVEVALUE	CONTENTS
3	209										

HALFWORD SAVEVALUES (NON-ZERO)

SAVEVALUE	CONTENTS	SAVEVALUE	CONTENTS	SAVEVALUE	CONTENTS	SAVEVALUE	CONTENTS	SAVEVALUE	CONTENTS	SAVEVALUE	CONTENTS
BERL	6	BERZ	-1	IMPO	1534	EXPO	1474	PATI	3008	CPAT	9000
NCIP	6	ACTB	6	PBEP	23	FSEB	17				

TOTAL NUMBER OF TRANSACTIONS CREATED 419
 MAXIMUM NUMBER OF TRANSACTIONS IN SYSTEM 18
 (SINCE START OF RUN, CLEAR, OR JOB)

FIGURA A-3.1. - Continuação

Este exemplo de relatório (vide Figura A-3.1.) corresponde ao primeiro dia simulado de operações no terminal, conforme a configuração do modelo correspondente à listagem do Apêndice A-2.

O relatório inicia indicando o tempo simulado em que terminou a simulação, marcado pelo relógio simulado. O relógio absoluto (ABSOLUTE CLOCK) indica o tempo simulado total, enquanto que o relógio relativo (RELATIVE CLOCK) indica o tempo contado desde a última ocorrência de certas instruções de interrupção na sequência cronológica normal.

Em seguida, aparece o relatório de contas de blocos (BLOCK COUNTS), que indica quantas transações passaram ou estão em cada bloco (comando) do programa. No Apêndice A-2 consta a listagem do programa, com a numeração dos blocos. Por exemplo, no bloco 86, onde são geradas as chegadas de caminhões vazios, conclui-se que chegaram 75 veículos ao terminal. No bloco 57 passaram 210 transações, significando que 210 carretas utilizaram os equipamentos de movimentação, cujo uso é representado por este bloco. O bloco 78 representa a simulação do tempo adicional de estadia dos navios no terminal. Observa-se que neste bloco, uma transação (um navio) está aguardando o término do período de tempo adicional de estadia (CURRENT = 1) e que foi a primeira a fazer isso (TOTAL=1). Ao final do relatório de contas de blocos, está indicado quantas execuções de blocos ocorreram durante toda a simulação.

Após este relatório, vêm as estatísticas relativas às estações de serviço com vários postos em paralelo, chamadas "STORAGES". Os 2 berços de atracação, por exemplo, foram modelados por um "STORAGE" com 2 postos. Para cada "STORAGE", identificado por um número ou nome especificado pelo programador, são imprimidas as característi-

cas, número de transações que o usaram (ENTRIES) e o tempo médio de permanência de cada uma (AVERAGE TIME/UNIT), taxas de utilização (AVERAGE UTILIZATION), número máximo de postos usados (MAXIMUM CONTENTS), etc..

Em seguida estão as estatísticas relativas às diversas filas (QUEUES) modeladas, cada uma identificada por um número ou nome, mostrando os números máximo e médio de transações na fila (MAXIMUM CONTENTS e AVERAGE CONTENTS), número de transações que tiveram tempo de espera nulo (ZERO ENTRIES), tempo médio de espera (AVERAGE TIME/TRANS), etc..

O próximo item corresponde à impressão da situação das chaves lógicas utilizadas (LOGIC SWITCH), que são indicadores de estado tipo "aberto-fechado" (RESET-SET), para modelagem de desvios lógicos, no controle dos fluxos de transações.

Logo após, está imprimido o conteúdo (CONTENTS) dos registros fixos de armazenagem de valores (SAVEVALUES), que podem ser de duas dimensões, quanto à faixa de valores que podem armazenar: "FULLWORD" ou "HALFWORD". Cada um destes registros é identificado por um número ou nome, a critério de programador.

Finalmente, está indicado no relatório o número total de transações criadas na simulação e o número máximo delas que houve, simultaneamente, no modelo.

Existem vários outros recursos disponíveis no GPSS que são imprimidos no relatório-padrão, caso sejam utilizados no modelo de simulação, não constante, no entanto, neste exemplo.

BIBLIOGRAFIA

1. - ANUÁRIOS DA SUNAMAM. Ministério dos Transportes. Rio de Janeiro.
2. - BRUUN, Per.; "Port Engineering". Gulf Publishing Co., Texas, 1976.
3. - CARACOSTAS, N.; "Containership economics for effective decision-making analysis. Marine Technology, 16, nº 4, 1979.
4. - "Container no porta-a-porta internacional". Comércio e Mercados, nº 56, abril de 1972.
5. - "Container Guia do Exportador". Ministério da Indústria e Comércio. Secretaria de Tecnologia Industrial, Brasília, 1974.
6. - CRETON, J.M.P.; "An approach to the optimal design of a Container Terminal". Thesis. Massachusetts Institute of Technology, Massachusetts, 1973.
7. - EDMOND, E.D. and MAGGS, R.P.; "How useful are queue models in port investment decision for container berths?" The Journal of the Operational Research Society, 29, nº 8, agosto de 1978.
8. - GOSS, R.O.; "Advances in maritime economics". Cambridge University Press, Cambridge, 1977.
9. - GRANADOS, H.F.D.; "Seleção de equipamentos para operação de contêineres em terminais especializados". Dissertação de mestrado. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 1980.
10. - "Hitachi Container Terminal". Hitachi Review, 27, nº 6,

outubro de 1978.

11. - HOWARD, S.G.; "How container ports are facing up to the rail revival". The Dock and Harbour Authority, 61, nº 721, 1980.
12. - Informativo do porto de Santos. CODESP, Santos.
13. - KRAUSE, D.; "The saturation situation possible solutions". Terminal Operation Conference, Amsterdam, 1978.
14. - LUI, E.C.W.; "Modelling of a container freight station. Thesis. Massachussets Institute of Technology, Massachussets, 1980.
15. - MAHENDRAN, R.; "Capacity modelling of a container terminal". Thesis. Massachussets Institute of Technology, Massachussets, 1981.
16. - NOVAES, A.G.N.; "Economia e tecnologia do transporte marítimo". Almeida Neves Editores, Rio de Janeiro, 1976.
17. - "O aço no Transporte Internacional por Containers". Siderurgia. Revista do Instituto Brasileiro de Siderurgia, nº 5, dezembro de 1970.
18. - RATH, E.; "Container Systems". John Wiley & Sons. New York, 1973.
19. - SALAWU, K.O.; "A markovian queueing network approach to the optimal desing of handling operations at container ports. Thesis. Massachussets Institute of Technology, Massachussets, 1978.
20. - TABAK, H.D.; "Cargo containers: Their stowage, handling and movement". Cornell Maritime Press, Cambridge, Maryland, 1970.

21. - "Transporte intermodal". Informações práticas sobre cargas unitizadas, containers e trailers". GEIPOT, Rio de Janeiro, 1979.
22. - "Unitização de cargas no Brasil: estudos básicos, fase I", GEIPOT, Rio de Janeiro, 1979.
23. - GORDON, G.; "The application of GPSS V to discrete system simulation". Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1975.
24. - GROSS, D. and HARRIS, C.M.; "Fundamentals of queueing theory". John Wiley & Sons, New York, 1974.
25. - Manual do usuário de GPSS publicado pela Burroughs. Detroit, 1979.
26. - Manual do usuário de GPSS publicado pela IBM. New York , 1970.
27. - NAYLOR et al. "Computer simulation techniques". John Wiley & Sons, New York, 1966.
28. - NOVAES, A.G.N.; "Pesquisa operacional e transportes: modelos probabilísticos". McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, 1975.
29. - SHIMIZU, T.; "Simulação em computador digital. Edgar Blucher, São Paulo, 1975.
30. - SCHRIBER, T.J.; "Simulation using GPSS". John Wiley & Sons, New York, 1974.