

MARCELO GOMES FERNANDES

**“MODELO ECONÔMICO-OPERACIONAL PARA
ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE TERMINAIS DE
CONTÊINERES E VEÍCULOS”**

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

São Paulo
2001

MARCELO GOMES FERNANDES

**“MODELO ECONÔMICO-OPERACIONAL PARA
ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE TERMINAIS DE
CONTÊINERES E VEÍCULOS”**

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

Área de Concentração
Engenharia Naval e Oceânica

Orientador
Prof.Dr. Rui Carlos Botter

São Paulo
2001

Aos meus pais,
ao meu irmão e
aos meus amigos.

*“As únicas pessoas que
nunca fracassam,
são as que
nunca tentam.”*

(Albert Einstein)

AGRADECIMENTOS

Aos meus colegas de trabalho e amigos, Prof. André Bergsten Mendes, Eng. Rogério Aversa, Eng. Ricardo Ono, Nelson Kenji Idehara e Paulo Nunes pela ajuda e apoio na conclusão deste trabalho.

À FAPESP, pelo suporte financeiro para a realização desta pesquisa.

Ao Departamento de Engenharia Naval e Oceânica que ofereceu condições para o andamento deste trabalho.

Ao orientador e amigo, Prof. Dr. Rui Carlos Botter pela orientação, pelo incentivo e pela importante experiência que me passou durante o tempo que trabalhamos e convivemos juntos.

FERNANDES, Marcelo Gomes

Modelo Econômico-Operacional para Análise e Dimensionamento de Terminais de Contêineres e Veículos. São Paulo, 2001.

128p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica.

1. Terminais 2. Contêiner 3. Simulação

I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica II. t

ÍNDICE

ÍNDICE.....	1
RESUMO	3
ABSTRACT	5
LISTA DE TABELAS.....	6
LISTA DE FIGURAS.....	7
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	8
2. CARACTERIZAÇÃO DO TERMINAL DE CONTÊINERES E VEÍCULOS.....	10
2.1. Atracação e Desatracação	11
2.2. Descarregamento de Navios	12
2.2.1. Contêineres.....	12
2.2.2. Veículos.....	13
2.3. Carregamento de Navios	14
2.3.1. Contêineres.....	14
2.3.2. Veículos.....	15
2.4. Caminhões que deixam carga no terminal ou retiram carga do terminal	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
3.1. Simulação em Sistemas Portuários	19
3.2. Conclusões sobre a Revisão Bibliográfica	30
4. DESCRIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO PARA UM TERMINAL DE CONTÊINERES E VEÍCULOS.....	32
4.1. O Modelo de Simulação.....	32
4.2. A operação dos Navios.....	32
4.2.1. A operação de Descarga dos Navios.....	34
4.2.2. A Operação de Carga dos Navios	35
4.3. A Operação do Pátio	41
4.4. A operação dos Caminhões.....	42
4.4.1. Os caminhões de Contêineres.....	42
4.4.2. Os Caminhões de Veículos.....	43
5. APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO - ESTUDO DE CASO	45
5.1. O Terminal de Contêineres e Veículos de Paranaguá.....	45
5.1.1. Características da Área do Terminal	46
5.2. Conjunto de dados utilizados	48
5.2.1. Demanda do Terminal.....	48
5.2.2. Contêineres de 20 e 40 pés	50
5.2.3. Dados e Informações sobre a Operação Portuária	52
5.3. Simulação dos Cenários.....	55
5.3.1. Cenário 1 – Tempo em fila até de 8 horas e pilhas de 3 alturas	56
5.3.2. Cenário 2 – Tempo em fila até de 8 horas e pilhas de 5 alturas	58
5.3.3. Cenário 3 – Tempo em fila até de 16 horas e pilhas de 3 alturas.....	60
5.3.4. Cenário 4 – Tempo em fila até de 16 horas e pilhas de 5 alturas.....	62
5.4. Modelo Econômico.....	64
5.4.1. Mão de Obra	64
5.4.2. Remuneração à Autoridade Portuária	65
5.4.3. Remuneração do Terminal.....	66
5.4.4. Valor Residual dos Equipamentos.....	66
5.5. Determinação da Taxa interna de Retorno	68
5.6. Análises dos Cenários.....	70
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	73
7. BIBLIOGRAFIA	75
8. ANEXO A - MODELO DE SIMULAÇÃO	79
8.1. Descrição.....	79
8.2. O Modelo Lógico.....	79

8.3. A Lógica dos Navios.....	82
8.3.1. Chegada de Navios.....	82
8.3.2. Escolha dos berços.....	83
8.4. A Lógica dos Berços.....	84
8.4.1. Utilização dos Berços por Navios Porta-Contêineres.....	84
8.4.2. Escolha do número de portêineres.....	85
8.4.3. O Descarregamento usando 1 Portêiner.....	87
8.4.4. O Carregamento usando 1 Portêiner.....	89
8.4.5. O Descarregamento usando 2 Portêineres.....	91
8.4.6. O Carregamento usando 2 Portêineres.....	93
8.4.7. Utilização do Berço 2 por Navios Ro-Ro.....	94
8.4.8. O Descarregamento do Navio Ro-Ro.....	95
8.4.9. O Carregamento do Navio Ro-Ro.....	97
8.5. A Lógica dos Pátios.....	98
8.5.1. O pedido de Descarga.....	98
8.5.2. O pedido de Carga.....	99
8.6. A Lógica dos Caminhões.....	102
8.6.1. Carga dos Caminhões.....	104
8.6.2. Descarga dos Caminhões.....	106
8.7. A Lógica dos Caminhões de Veículos.....	108
8.7.1. Carregamento dos Caminhões de Veículos.....	110
8.7.2. Descarregamento dos Caminhões de Veículos.....	112
8.8. A Animação do Modelo de Simulação.....	114
9. ANEXO B – TABELAS DO CÁLCULO FINANCEIRO.....	117

RESUMO

Com a crescente demanda do transporte multimodal containerizado verificado no Brasil, o gerenciamento dos processos logísticos associados ao transporte e às operações portuárias tornou-se uma atividade complexa, envolvendo uma vasta quantidade de variáveis que interferem no desempenho das operações. Na atual conjuntura, a busca pela eficiência nos processos logísticos constitui um fator primordial nesta área. A utilização da simulação como ferramenta permite a visualização minuciosa no desempenho dos recursos utilizados demonstrando ser uma ferramenta poderosa e muito eficiente nas tomadas de decisões e solução de problemas.

O modelo computacional desenvolvido permite avaliar as configurações criadas e os arranjos dos equipamentos utilizados, bem como uma variação do número de equipamentos, isto é, uma completa simulação do sistema portuário. Essa simulação, baseada numa movimentação estimada, permitirá o cálculo dos tempos de espera em fila, tempo de atendimento, taxa de ocupação dos equipamentos. Pode-se também variar os arranjos internos do terminal, alterando os tempos das operações envolvidas, podendo assim melhorar o terminal reduzindo tempos de espera e os custos por contêiner movimentado.

Em resumo, o trabalho propõe uma metodologia que permite criar arranjos de um terminal de contêineres e veículos, melhorá-los através do modelo de simulação e calcular qual os custos desse terminal, baseando-se na previsão de movimentação de cargas. As melhorias propostas nos arranjos têm como

objetivo melhorar a eficiência do terminal, de forma que os custos por unidade de carga movimentada sejam reduzidos, melhorando assim a taxa interna de retorno do investimento.

ABSTRACT

With the growing demand of the containerized multi-modal transport verified in Brazil, the logistics management processes in associating with the transport and the port operations became a complex activity, involving a great number of variables that interfere in the operation performance. In the current conjuncture, the search for the efficiency in the logistical processes constitutes a primordial factor in this area. The use of the simulation allows to model complex systems, being a very powerful and efficient tool as a decision-making in working out problems.

In this context a simulation model associated with a spreadsheet cost was elaborated to allow the design of the port system in which will operate containers and vehicles, permitting to test a set of resources levels, for example: the number of reach stackers, trucks and ship-to-shore cranes. The model allows to choose the demand of containers (TEU per year) and vehicles (units per year), number of berths, ship-to-shore cranes, reach stackers, also the other parameters like as the operational average times for each equipment. After the simulation of the port system for a defined period of time, we are able to analyse the design of the port equipments and the operational cost and investments. It may realize with a sensibility analyses on the system parameters and verify those influences in the final cost.

LISTA DE TABELAS

Tabela 5.1 – Previsão da Demanda de Contêineres (TEUS)	49
Tabela 5.2 – Previsão da Demanda de Veículos (Unidades)	49
Tabela 5.3 - Participação de Contêineres de 20 ft e 40 ft	51
Tabela 5.4 – Dados para o Modelo (variáveis - Contêiner).....	53
Tabela 5.5 - Obtenção das Informações (Contêiner).....	53
Tabela 5.6 – Dados para o Modelo (variáveis - Veículos).....	54
Tabela 5.7 – Obtenção das Informações (Veículos)	54
Tabela 5.8 – Ocupação dos Equipamentos (cenário 1)	57
Tabela 5.9 – Quantidade de Equipamentos (cenário 1)	57
Tabela 5.10 – Ocupação dos Equipamentos (cenário 2)	59
Tabela 5.11 – Quantidade de Equipamentos (cenário 2)	59
Tabela 5.12 – Ocupação dos Equipamentos (cenário 3)	61
Tabela 5.13 – Quantidade de Equipamentos (cenário 3)	61
Tabela 5.14 – Ocupação dos Equipamentos (cenário 4)	63
Tabela 5.15 – Quantidade de Equipamentos (cenário 4)	63
Tabela 5.16 – Custos com Mão de Obra	64
Tabela 5.17 – Remuneração à Autoridade Portuária	65
Tabela 5.18 – Remuneração do Terminal.....	66
Tabela 5.19 – Cronograma de Compras (cenário 1).....	67
Tabela 5.20 – Cálculo do Valor Residual (cenário 1).....	68
Tabela 5.21 – Resumo dos resultados obtidos.....	70
Tabela 9.1 – Cronograma de Compra de Equipamentos	117
Tabela 9.2 – Cálculo do Valor Residual	117
Tabela 9.3 – Fluxo de Caixa	118
Tabela 9.4 – Fluxo de Caixa com Financiamento	119
Tabela 9.5 – Cronograma de Compra de Equipamentos	120
Tabela 9.6 – Cálculo do Valor Residual	120
Tabela 9.7 – Fluxo de Caixa	121
Tabela 9.8 – Fluxo de Caixa com Financiamento	122
Tabela 9.9 – Cronograma de Compra de Equipamentos	123
Tabela 9.10 – Cálculo do Valor Residual	123
Tabela 9.11 – Fluxo de Caixa.....	124
Tabela 9.12 – Fluxo de Caixa com Financiamento.....	125
Tabela 9.13 – Cronograma de Compra de Equipamentos	126
Tabela 9.14 – Cálculo do Valor Residual	126
Tabela 9.15 – Fluxo de Caixa.....	127
Tabela 9.16 – Fluxo de Caixa com Financiamento.....	128

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Descarregamento de Caminhões.....	13
Figura 2.2 - Carregamento dos Caminhões	15
Figura 4.1 - Fluxograma do processo de simulação da criação dos navios.....	33
Figura 4.2 - Fluxograma do descarregamento de navios porta contêineres	37
Figura 4.3 - Fluxograma do carregamento dos navios porta contêineres.....	38
Figura 4.4 - Fluxograma do descarregamento dos navios RO-RO	39
Figura 4.5 - Fluxograma do carregamento dos navios RO-RO	40
Figura 4.6 - Fluxograma do processo de simulação dos caminhões	44
Figura 5.1 – Diagrama do Terminal	47
Figura 8.1- O Sistema (Terminal).....	81
Figura 8.2 - Criação dos Navios	83
Figura 8.3 - Escolha do Berço de Atracação	83
Figura 8.4 - Determinação do número de portêineres	86
Figura 8.5 - Descarga dos Navios.....	87
Figura 8.6 - Carregamento dos Caminhões	88
Figura 8.7 - Carregamento do Navio.....	89
Figura 8.8 - Descarregamento do Navio (1 portêineres)	91
Figura 8.9 - Descarregamento do Navio (2 portêineres)	92
Figura 8.10 - Carregamento do Navio (2 portêineres)	93
Figura 8.11 - Descarregamento do Navio (Roll On/Roll Off).....	94
Figura 8.12 - Descarregamento dos Veículos.....	95
Figura 8.13 - Final do descarregamento de veículos.....	96
Figura 8.14 - Carregamento do Navio Ro-Ro	97
Figura 8.15 - Liberação do Navio Ro-Ro.....	98
Figura 8.16 - Chegada dos Caminhões no Pátio.....	99
Figura 8.17 - Carregamento do Caminhão no Pátio.....	100
Figura 8.18 - Volta dos Caminhões Cheios ao Berço.....	100
Figura 8.19 - Liberação dos Caminhões	101
Figura 8.20 - Criação dos Caminhões (continente - porto).....	103
Figura 8.21 - Escolha de Operação (caminhão cheio ou vazio).....	104
Figura 8.22 - Carga do Caminhão.....	104
Figura 8.23 - Liberação do Caminhão Cheio	105
Figura 8.24 - Liberação do Stacker.....	105
Figura 8.25 - Descarga dos Caminhões.....	106
Figura 8.26 - Lógica do Descarregamento de Caminhões	106
Figura 8.27 - Liberação da Área de Descarga	107
Figura 8.28 - Criação de Caminhões Cegonha	109
Figura 8.29 - Escolha da Atividade (carga ou descarga)	110
Figura 8.30 - Lógica de Carregamento de Cegonhas (1).....	111
Figura 8.31 - Lógica do Carregamento de Cegonhas (2).....	112
Figura 8.32 - Lógica de Descarregamento de Cegonhas	113
Figura 8.33 - Liberação de Motoristas no Carregamento.....	114
Figura 8.34 - Animação do Modelo - Visão Geral	115
Figura 8.35 - Animação - Pátio de Contêineres.....	116
Figura 8.36 - Animação - Pátio de Veículos	116

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O fenômeno da containerização de cargas, segundo Stopford (1988) começou na década de 60 e segundo Lloyds (1998) ainda está em franca expansão. Isto se deve a queda dos fretes de transportes devido a globalização das companhias de navegação, a competição que foi induzida no setor, a especialização dos serviços portuários e a logística integrada de transportes com a utilização de contêineres, conforme mencionado em UNCTAD (1994).

No Brasil, a containerização de cargas na exportação e na importação também é crescente e devido à Lei Federal no. 8630/93, chamada "Lei de Modernização dos Portos" e segundo Botter (1995), já existem terminais portuários que foram concedidos mediante licitação ao setor privado, com o objetivo de movimentarem contêineres e veículos, como é o caso do Porto de Paranaguá APPA (1997), como analisado por Botter (1997).

O tema foi escolhido em face de grande importância dos terminais de contêiner no contexto do Brasil, já que será através dos portos, mais precisamente pelos terminais de contêiner, que boa parte das cargas importadas e exportadas pelo país será movimentada. Assim, a eficiência dos terminais será de extrema importância, pois os terminais de contêineres ou de veículos devem ser altamente especializados para prover um serviço de alta produtividade, em termos de unidades movimentadas por hora, pois o transporte marítimo assim o requer. Deve também ser um serviço de alta qualidade por manusear cargas de alto valor agregado. Tal operação requer,

portanto, uma análise do sistema portuário integrado, desde o acesso aquaviário até o acesso terrestre.

Diversos estudos e modelos são encontrados na literatura técnica relacionados ao dimensionamento e análise operacional de sistemas portuários.

No entanto, esses estudos estão, em princípio, voltados para o dimensionamento do número de berços de atracação compatível com uma demanda esperada de embarcações, isto é preocupando-se primordialmente com a interação porto-navio, buscando compatibilizar o número de berços com o volume de tráfego de embarcações de maneira a se conseguir um balanceamento entre o custo operacional dos berços e o custo de espera dos navios, como em Edmond (1975) e em White (1972).

Pode-se verificar a existência de uma lacuna no que se refere a pesquisas e modelos voltados para a análise operacional do porto como um sistema integrado, considerando-se também a viabilidade econômica, pois a ênfase tem sido dada apenas ao problema da interface porto/navio, o que, apesar de importante e necessário, constitui apenas um sub-problema do complexo problema do dimensionamento portuário.

Pretende-se desenvolver uma sistemática para o dimensionamento econômico-operacional de terminais portuários especializados em contêineres e veículos. Esta sistemática será consubstanciada em um modelo de simulação associado a planilhas de custo, onde serão determinadas as tarifas para cada tipo de carga baseando-se nos custos operacionais, investimentos e encargos.

2. CARACTERIZAÇÃO DO TERMINAL DE CONTÊINERES E VEÍCULOS

Fundamentalmente, o objetivo de um terminal portuário é realizar carregamentos e descarregamentos de navios. Num terminal marítimo de contêineres e veículos, como o próprio nome diz, são movimentadas tipicamente cargas unitizadas em contêineres e também veículos.

A interface marítima do terminal pode ser resumida em berços de atracação e equipamentos de carga/descarga de navios. O navio para operar num terminal, precisa fundamentalmente de um berço de atracação. Assim um navio de contêineres irá ocupar algum dos berços livres. O navio Roll-on/Roll-off irá geralmente aguardar um berço específico para ele, berço este que poderá ser usado para navios porta contêiner caso seja necessário.

Para as operações de carga e descarga acontecerem com eficiência, existe uma série de equipamentos que precisam estar disponíveis e condições que precisam ser cumpridas, dependendo do lay-out utilizado. Por exemplo, no lay-out onde são utilizados caminhões e empilhadeiras, são necessários caminhões para transportar os contêineres entre as áreas de cais e armazenagem, equipamentos para carregar e descarregar os caminhões, espaços disponíveis nas áreas de armazenagem, pessoal para retirada de veículos dos navios, além de outras condições e recursos que precisam estar disponíveis. Outro lay-out é aquele que utiliza transtêineres para realizar o carregamento e o descarregamento de caminhões. Portanto, podemos notar uma grande quantidade de fatores que compõem o sistema portuário, de forma que

dimensionar e avaliar cada um dos sub-sistemas de forma integrada, torna-se uma tarefa bastante complexa. A seguir será feita uma descrição mais conceitual dos processos de cada um dos sub-sistemas do terminal, processos esses que serão modelados e irão compor o modelo de simulação de um terminal de veículos e contêineres.

2.1. Atracação e Desatracação

Os navios que chegam no porto, irão atracar no berço mais conveniente, ou num berço livre que possam recebê-los. Caso não haja berços livres, ou pelo menos berços livres adequados à operação do navio em questão, este navio irá para uma fila de navios aguardando atracação. Deste modo, o tempo que o navio fica aguardando um berço de atracação em fila é o parâmetro que se utiliza como principal nível de serviço na área portuária.

Caso a movimentação do terminal esteja num patamar elevado, isto é, a quantidade de contêineres movimentados neste terminal é de tal ordem que os recursos do terminal operam continuamente em seus limites, teremos por consequência atrasos na operação dos navios, fazendo com que os navios permaneçam em fila mais tempo e o tempo total de permanência aumente. O terminal será dimensionado de forma que os recursos existentes consigam atender toda a demanda de navios, e que os tempos médios em fila desses navios sejam tempos aceitáveis. Se o terminal for dimensionado de tal forma que o tempo médio em fila for maior que um valor estipulado, considerar-se-á este terminal sub-dimensionado. Os armadores não desejam que seus navios

fiquem retidos em filas, pois tais tempos diminuem o número de viagens que seus navios podem fazer, reduzindo sua rentabilidade. Os operadores de terminais ou agenciadores de cargas também não tem interesse em longas esperas em fila, já que os navios propiciam retorno financeiro se estiverem transportando cargas e não parados esperando sua vez de ser atendido. Dessa forma, para um dado terminal poderemos pré determinar qual será o tempo limite de fila para os navios que irão operar, sabendo então quando o terminal está sobrecarregado devido a “gargalos” operacionais nos processos que compõem suas atividades.

2.2. Descarregamento de Navios

Os navios que atracam possuem uma certa quantidade de carga para ser descarregada, seja ela de contêineres ou de veículos. Nesse momento, são gerados pedidos ou requisições de descarregamento.

Eles formam uma fila de pedidos que serão atendidos conforme disponibilidade dos recursos portuários.

2.2.1. Contêineres

No caso dos contêineres, a requisição de descarregamento gera uma solicitação de veículo de transporte junto ao cais. Caso exista um disponível, ele é chamado e então é feita uma solicitação de movimento pelo portêiner. Quando o caminhão chega junto ao portêiner, ele faz o descarregamento desse

contêiner, que segue no caminhão em direção as pilhas de importação. Chegando lá é feito um pedido de empilhadeira ou outro equipamento de movimentação como um transtêiner, que irá descarregar o caminhão. O caminhão será liberado caso o descarregamento seja realizado, sendo que para tal é necessário haver espaço no pátio.

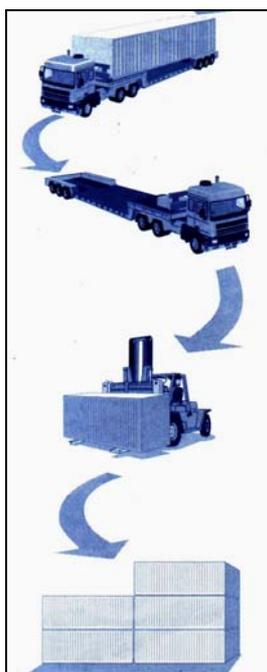


Figura 2.1 - Descarregamento de Caminhões

2.2.2. Veículos

No caso da descarga de veículos, é feita uma verificação se há espaço disponível no pátio. Se não há tal espaço, as requisições de descarregamento ficam em aguardo até a condição ser verdadeira. Quando há espaço no pátio, um motorista da estiva conduz o veículo até o pátio da montadora. Lá um outro motorista, dessa vez particular é solicitado para manobrar e estacionar o veículo. Os motoristas que devem voltar ao navio para retirar o restante da

carga, são levados de volta ao costado através de um veículo de transporte de passageiros, que será chamado daqui por diante de **van**. Caso ela esteja ocupada, os motoristas ficarão aguardando até que ela seja capaz de realizar tal tarefa.

2.3. Carregamento de Navios

Após a finalização do descarregamento, o navio irá iniciar sua operação de carga. Neste momento, ele lançará no terminal uma série de ordens, uma para cada unidade de contêiner ou veículo que ele precisa carregar. Esses pedidos de carga formam uma fila que será atendida de acordo com a disponibilidade do terminal.

2.3.1. Contêineres

Para esse tipo de carga, o pedido de carregamento irá solicitar um contêiner que está no pátio. Para ele chegar ao costado do navio, será necessário solicitar um veículo, como por exemplo um caminhão, em seguida solicitar uma empilhadeira para realizar o carregamento do caminhão e finalmente ele poderá dirigir-se ao costado do navio.

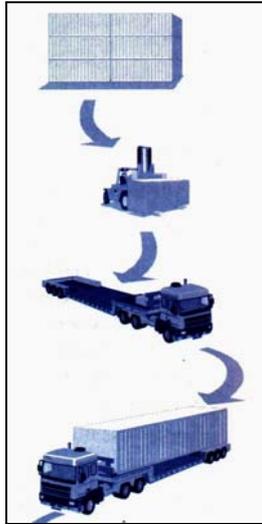


Figura 2.2 - Carregamento dos Caminhões

Lá ele poderá eventualmente aguardar numa fila, onde todos os caminhões estarão aguardando que o portêiner faça o carregamento do navio, liberando em seguida os caminhões.

2.3.2. Veículos

Para o carregamento de veículos, são feitas solicitações de carga. Tais solicitações alocam motoristas para retirar os veículos do pátio e deixá-los prontos para motoristas da estiva realizar o carregamento dos navios. Assim os motoristas da estiva, levam os carros até os navios e aguardam uma van para levá-los de volta ao pátio, de onde irão retirar mais unidades.

2.4. Caminhões que deixam carga no terminal ou retiram carga do terminal

Simultaneamente à operação dos navios, caminhões provenientes do continente chegam ao porto para deixar ou retirar cargas. Tais caminhões chegam ao porto em sua portaria, se identificam, são pesados e, em seguida vão para uma fila onde irão esperar uma ordem para entrar no terminal realizar suas atividades.

Os caminhões podem chegar ao porto com carga, para deixá-la no porto e seguir viagem vazio. Neste caso ao entrar no terminal ele irá solicitar um equipamento que realizará seu descarregamento. No caso de caminhões que chegam vazios, eles entram no terminal, aguardam liberação da carga a ele destinada e solicitam uma empilhadeira para proceder com o carregamento do caminhão. Caminhões podem deixar um contêiner e em seguida carregar outro para seguir viagem. Neste caso, após realizar o descarregamento, ele voltará à fila de caminhões aguardando carga.

O conceito de consolidação de cargas não será abordado neste trabalho, de forma que todo contêiner que será movimentado no terminal modelado, será considerado cheio ou vazio.

Uma característica importante no terminal é que existe uma quantidade limitada de veículos operando simultaneamente dentro do terminal. Caso o limite seja atingido, os outros caminhões irão aguardar em filas fora do terminal até que possam entrar para realizar suas tarefas.

Podemos perceber que as operações de pátio são totalmente conhecidas e condicionadas à chegada de navios porta contêineres, navios contendo veículos e caminhões que retiram ou deixam carga no porto.

Em alguns terminais brasileiros começam a surgir operações que envolvem a ferrovia no escoamento de cargas containerizadas. No entanto tal, modal só é utilizado em portos que possuem grandes demandas de carga enviadas para um só local que pode ser atendido por uma malha ferroviária. Neste trabalho não será modelado o sistema ferroviário que poderia operar dentro do terminal.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica realizada está focada em publicações cujo tema é modelagem de sistemas portuários, no que tange a parte operacional, como por exemplo, determinação de gargalos operacionais e dimensionamento e arranjo de terminais de contêineres. Para tanto são usadas técnicas como simulação computacional e teoria de filas, aplicadas tanto em partes dos sistemas, como por exemplo, somente no processo de chegada de navios, quanto no sistema por completo. Existem muitos trabalhos realizados quando recursos computacionais eram escassos, obrigando os autores a simplificarem seus modelos, já que não seria possível implementá-los de forma ideal.

Nota-se que o tema possui muita relevância devido a quantidade de publicações do gênero, e que a técnica de simulação computacional é bastante utilizada, para dimensionamento, determinação de gargalos operacionais e obtenção de valores utilizados em modelos de custos, principalmente em trabalhos mais recentes em que facilidades computacionais permitiram que, cada vez mais, os autores detalhem seus modelos com o objetivo de melhorar seus resultados.

Desse modo, previamente escolheu-se a técnica de simulação como a ferramenta para o desenvolvimento do modelo. Outros sistemas em engenharia e logística podem ser modelados por meio de outras técnicas, tais como programação linear. Mendes (**1999**), em sua dissertação mostra através de vários autores uma análise comparativa entre técnicas de solução de problemas. Eom (**1998**), conceitua sistemas de apoio à decisão, Pidd (**1996**)

mostra o uso de heurísticas, modelos otimizantes e modelos de simulação, Darzentas e Spyrou (**1996**) mostram o uso de simulação como técnica adequada a solução de problemas de tráfego e Pedgen (**1995**), que mostra que modelos de simulação são usados para conduzir experimentos e obter resultados otimizados para dimensionamento de sistemas portuários. Assim, a técnica de simulação mostra-se mais adequada para o trabalho proposto.

3.1. Simulação em Sistemas Portuários

No trabalho tem-se a elaboração de um modelo de simulação que permita dimensionar um sistema portuário, possibilitando avaliar diferentes arranjos de áreas, configurações de equipamentos e tipos de equipamentos, além de permitir a avaliação da tarifa cobrada pela movimentação e pelo armazenamento.

O modelo que será criado irá representar a lógica de funcionamento do terminal e para tanto foi pesquisado na bibliografia listada as melhores formas ou maneiras mais usuais de se conseguir bons resultados através destes modelos.

Como referência de escolha da simulação como metodologia pode-se citar, em primeiro lugar, o trabalho desenvolvido por Chowdhury (**1989**) o qual propõe a simulação como sendo ferramenta ideal para estudar sistemas grandes, complexos, em que ocorrem interações entre atividades (ou entre modais) que dificultam a modelagem analítica.

Além disso, este autor mostra que usar valores médios (que designou de “estáticos”), isto é, não usar distribuições estatísticas para análise de sistemas de transportes marítimos pode induzir a conclusões errôneas, uma vez que o sistema real possui variações aleatórias. Além disso, argumenta a importância de testar a influência da interação de diversos fenômenos de caráter aleatório.

Com relação à simulação como ferramenta utilizada para estudo de terminais portuários, tem-se os autores a seguir mencionados:

Em Tondo (**1984**), o modelo de simulação criado desenvolvido pelo autor tem como objetivo testar configurações e avaliar a eficiência de um terminal de contêineres, podendo inclusive dimensionar os recursos que este terminal necessitará com a evolução da quantidade de contêineres movimentados pelo terminal.

O modelo, criado em GPSS (General Purpose Simulation System), tem como sub-sistemas a atracação de navios, o descarregamento de contêineres dos navios, o carregamento dos navios, o atendimento de veículos que deixam ou retiram carga do terminal e o pátio de contêineres com suas limitações de espaço. São definidas taxas de chegada e taxas de atendimento para cada tarefa envolvida na operação portuária, de forma a poder simular uma evolução na demanda de movimentações num certo período de tempo.

O objetivo final do trabalho é de avaliar as eficiências e ociosidades envolvidas na operação do terminal, para cada um dos recursos como portêineres, empilhadeiras, carretas, etc. Assim, é possível, através de

determinados níveis de serviço pré determinados, avaliar a operação e determinar pontos de dimensionamento.

Devido a falta de perspectiva na aquisição de equipamentos não foram considerados mais de um portêiner por navio e nem a utilização de transtêineres na operação de pátio.

Um fator limitante muito importante do modelo é o fato de que, devido a falta de capacidade de processamento, os recursos que poderiam ser compartilhados entre diferentes sub-sistemas do terminal, como por exemplo carretas ou empilhadeiras, são na verdade recursos definidos para uma única operação, isto é, são dedicados ao pátio ou dedicados às operações de cais. O próprio autor cita em seu texto que ociosidades de certos recursos poderiam ser aproveitadas em outros setores do terminal, mas para isso necessitaria modelar os deslocamentos dos equipamentos, causando uma maior necessidades de dados e maior demora em simular os cenários devido ao aumento do número de rotinas lógicas e variáveis.

Não existe também um modelo econômico que determine o custo das operações e que possa avaliar se ampliações devido ao aumento da movimentação são ou não economicamente viáveis.

No trabalho de Mello, Cruz, Botter e Brinati (**1986**), foi proposto um modelo de simulação com objetivo de melhorar os tempos de carga e descarga de navios, de forma a reduzir os custos operacionais nas operações com contêineres. Foi criado um modelo de simulação, na linguagem GPSS (General Purpose Simulation System), que tinha por finalidade testar regras para definir

alocação de equipamentos e verificar os gargalos operacionais do terminal de contêineres. Neste trabalho fica bastante evidente a importância das operações de retaguarda na melhoria das operações de cais. A alocação racional de equipamentos, isto é, criar grupos de máquinas que estarão disponíveis quando necessárias, ao invés de criar vários grupos de máquinas iguais e dedicá-las em locais específicos, melhoram o aproveitamento de recursos, pois em certas situações, eventuais ociosidades que seriam geradas numa dada operação, como por exemplo no pátio, podem ser aproveitadas em operações que estejam causando atrasos.

Botter (**1985**) e Gualda (**1978**) também ilustram o emprego da técnica da simulação probabilística para o dimensionamento de um sistema portuário e aeroportuário. Os subsistemas foram modelados de maneira independente, sendo que ocorre uma interação deles junto aos estoques de carga e pontos de atendimento e não uma interação provocada por uso de áreas comuns ou solicitações de equipamentos comuns. Além disso, novos cenários para o atendimento de clientes mencionados são testados buscando a aderência de cada cenário à realidade. Para tanto os tempos de atendimento são oriundos de distribuições probabilísticas e a demanda é alterada de forma a representar o crescimento anual do mercado de transporte marítimo de cargas containerizadas. Em Botter (**1985**) nota-se que o objetivo do trabalho era focado na integração dos navios com o sistema portuário, visando melhorar o atendimento dos navios. Não havia a preocupação de dimensionar todo o sistema, garantindo não só níveis de serviço adequados aos navios mas

também níveis de serviço a todos aqueles que utilizam a infra-estrutura portuária, como veículos que entregam carga, veículos que retiram carga, importação e exportação de automóveis, etc.

Bruzzone e Signorile (**1998**) utilizaram o algoritmo genético para criar um modelo otimizador para terminais portuários. São propostos arranjos físicos diferentes variando-se o número de equipamentos, a posição desses equipamentos, variando o tamanho e a posição das pilhas de contêineres, etc. Assim, baseando-se em configurações já existentes para validar o modelo são feitas estimativas do tempo que um navio ficará retido do porto para sua carga e descarga. A simulação foi uma ferramenta usada para obter-se as distribuições de intervalos de chegada de navios e da quantidade de carga nestes navios. Nota-se que ferramentas de simulação foram pouco exploradas, sendo que sua utilização pode ser substituída por uma análise detalhada dos históricos de chegadas de navios, obtendo-se assim o intervalo de chegada entre navios e a distribuição da quantidade de carga por navio. O algoritmo criado, baseado em algoritmos genéticos, é a principal estratégia de solução, que foi programado em linguagem C e foi testado comparando-se suas respostas com os tempos reais obtidos na prática. Os autores enfatizam a importância da animação como ferramenta de validação e verificação do funcionamento do modelo de simulação.

Merkuryev, Tolujew e Blumel (**1998**) criaram vários módulos, que são modelos de cada uma das partes do terminal. Foi dada muita importância para as etapas de coleta de dados. Os tempos de cada operação foram levantados

junto ao pessoal do porto, sendo que alguns foram obtidos através do uso de GPS, instalado nos equipamentos e contêineres. Esses dados foram analisados e separados de acordo com condições climáticas, mês do ano e dia da semana. Foram obtidas distribuições para cada variável sendo que um fator multiplicativo foi usado para poder reproduzir essas várias condições que afetam a produtividade. Foram medidas distâncias, quantidades de equipamentos e velocidades de operação para poderem ser usadas no modelo. Cada um dos modelos gera resultados, que são dados de entrada do modelo seguinte. Devido a essa característica do desenvolvimento, a parametrização e a padronização são pontos fortes do modelo. Todas as informações que configuram o modelo são lidas de um arquivo que é criado em uma interface gráfica. As condições de funcionamento (produtividade, clima) também são dados de entrada. Os pátios foram considerados independentes, isto é, a importação por navios é um pátio isolado do utilizado para exportação, assim como o pátio usado por caminhões para exportação de carga é isolado do pátio que armazena carga importada, que será retirada por caminhões. O tráfego de contêineres entre os pátios é um problema a parte que deve ser tratado com mais detalhamento. Este trabalho considera uma média bem definida para esse transporte interno, mas, os autores citam que a otimização desse "pré-stackeamento" pode alterar muito a eficiência do terminal, algo contudo que não foi muito explorado. Foi dado um tratamento separado para operações de carga e de descarga. Os tempos de fila é que definirão se o arranjo é ou não viável, pois se este tempo for muito alto, será necessário redimensionar o

sistema. Nota-se também que os tempos para movimentar contêineres de 20 ou 40 são similares, e que o tratamento separado para esses dois tipos de contêineres foi feito no modelo devido a legislação europeia que trata de forma diferente contêineres de 20 pés (principalmente diferenças fiscais). Neste caso, os tempos de fila de navios são da ordem de 4 horas mostrando que critérios mais rigorosos, forçando filas inferiores a 4 horas, acarretam aumento dos custos operacionais, pois serão necessários mais equipamentos de movimentação.

NEVINS, MACAL e LOVE (1998) fizeram um trabalho que consiste num simulador de eventos discretos, cujo objetivo é simular operações portuárias de contêineres (LOLO) e veículos (RORO).

As operações são divididas basicamente em carregamentos e descarregamentos.

Com este modelo pode ser visualizada a infra-estrutura de rodovias, ferrovias, equipamentos de carga/descarga, veículos de transporte interno, etc.

Com uma excelente interface gráfica, o modelo permite verificar a operação em nível de grande detalhamento, com gráficos e tempos médios, bem como verificar a operação através de uma animação 3D. Dessa forma tanto especialistas quanto pessoas não acostumadas com um porto ou sem conhecer o porto sendo simulado podem acompanhar a simulação, já que a animação extremamente realista permite um fácil acompanhamento.

Existe a possibilidade de realizar a simulação primeiro e somente após os resultados gerados, cria-se a animação utilizando tais resultados. A outra

possibilidade é interagir a animação com a simulação, de forma a verificar gargalos de vias, arranjos de equipamentos, condições de tráfego, etc.

Em resumo, apesar de não ser dada ênfase a resultados obtidos ou pelo menos resultados de uma validação realizada simulando-se um porto conhecido, a ferramenta parece muito poderosa. Conclui-se que é muito importante o modelo possuir uma boa animação, com objetivo de poder explicar melhor o modelo, bem como seu funcionamento, bem como verificar durante o próprio desenvolvimento, o bom funcionamento do mesmo, avaliando o fluxo das entidades, evitando “desvios” indesejáveis na lógica.

GAMBARDELLA, RIZZOLI e ZAFFALON (**1998**) abordaram o tema de otimização das operações de um terminal portuário. Foi utilizada a simulação como ferramenta de verificação, após dimensionar e otimizar o sistema utilizando outras técnicas como programação linear, análise estatística de dados históricos, etc. Após uma prévia análise do sistema, pode-se verificar com ferramentas estatísticas se o sistema é adequado. No entanto, um maior detalhamento do sistema, da interação dos diversos sub-sistemas, como o fluxo de contêineres e a interação entre os diversos equipamentos de transporte interno, é realizado através de teoria de filas e modelos de simulação, podendo assim verificar se o número de equipamentos é correto, se uma política de decisão está adequada, etc.

Mostra-se a importância da simulação integrada com outras técnicas e teorias para o processo de tomada de decisão. Os autores comentam que é difícil avaliar um modelo quando vários parâmetros estão sendo alterados

simultaneamente. É necessária uma análise criteriosa para avaliar quais parâmetros do modelo são mais importantes para um certo subsistema ou para um dado nível de serviço que está se querendo obter. Assim, são utilizadas ferramentas específicas de planejamento, e seus resultados são avaliados num modelo de simulação, isto é, o modelo de simulação foi usado para se realizar testes de cenários e análises de sensibilidade, pois o dimensionamento foi realizado previamente.

THIERS e JANSSENS (**1998**) objetivaram criar uma ferramenta capaz de auxiliar o processo de tomada de decisão com relação a operação e planejamento do porto de Antwerp, Bélgica. Este porto tem a característica de ser localizado numa bacia hidrográfica tendo, portanto parte de suas instalações localizadas em rios. O modelo deste trabalho objetivou avaliar muito mais o fluxo de embarcações e as políticas com relação as preferências de certas embarcações no tráfego do que simular a operação de carregamento e descarregamento.

Neste porto, existe uma série de regras de navegação para manter a segurança das embarcações. Existem também preferências de tráfego, com relação a via em que se está e com relação ao tipo de navio. O modelo testa estes fatores, tentando otimizar o fluxo das embarcações, mantendo níveis ideais de segurança.

O modelo permite avaliar também o impacto nos tempos de atracação e desatracação, que são sensíveis a alterações de marés, mudanças em condições do tempo e variação na quantidade de empurradores.

Um outro objetivo do modelo foi verificar o impacto no sistema se fosse instalado um novo berço para atender navios porta contêiner e navios Ro-Ro.

É um modelo de simulação determinístico, que não utiliza distribuições estatísticas como entradas de dados. Ele é alimentado com dados históricos e muitas vezes sua validação consiste em verificar se ele reproduz com exatidão o que ocorreu durante um certo dia. É possível implementar distribuições de chegadas e de atendimentos para simular demandas futuras, mas não foi feito até o momento.

É mais um trabalho onde resultados de um modelo de simulação, aliado à análise de custos operacionais, são usados para se determinar uma tarifa.

KONDRATOWICZ (**1990**) cria um modelo de simulação feito em Fortran e que por esse motivo não possui grandes recursos de animação mas possui uma grande qualidade, o fato de representar muitas tarefas existentes dentro de um porto ou terminal. Assim, comparando-se os resultados obtidos do modelo com valores obtidos diretamente do terminal existente, conclui-se que o modelo funciona corretamente e portanto está validado.

Pelo fato de não ter animação, torna-se muito difícil achar erros de programação simplesmente pelo acompanhamento visual da execução do modelo. Resta, dessa forma, uma única maneira de achar erros existentes. Rodar o modelo com dados históricos de um porto ou terminal, aguardar uma execução completa do modelo, analisar os resultados obtidos e por fim, comparar os desempenhos e resultados obtidos do modelo com os obtidos diretamente dos dados históricos do terminal em questão.

No texto é explicada a obtenção de alguns dos tempos operacionais. No caso do carregamento e descarregamento de contêineres, é utilizada uma taxa de até 150 contêineres por hora por navio, já que cada navio é atendido por dois portêineres. Assim notamos que o valor fornecido por fabricantes, de 75 contêineres por hora no máximo, foi o valor utilizado como média de movimentação.

Uma outra característica do modelo é que ele não funciona com distribuições de tempos mas, sim com distribuições de taxas ou vazões, isto é, teremos valores de contêineres por hora, navios por dia, caminhões por dia, etc.. Essa característica é um ponto negativo do modelo, pois ele fornece resultados satisfatórios se for utilizado para simular grandes períodos de tempo. Assim, ele é muito adequado para se testar, por exemplo, a instalação de um novo equipamento, ou um novo berço. Para se testar pequenas mudanças como dias de chuva, greves de curta duração ou o incremento de uma única empilhadeira, é utilizado o artifício de simular isso por um grande período de tempo e depois, converter o resultado. Isso foi feito dessa forma pela falta de capacidade da linguagem utilizada.

Uma outra desvantagem do simulador é o fato de não levar em conta restrições de área com relação a armazenagem de carga. Apesar de ser de simples implementação, essa alteração não foi feita.

3.2. Conclusões sobre a Revisão Bibliográfica

Nos trabalhos produzidos na área de simulação portuária, podemos notar que o foco principal está no objetivo de determinar ou estudar tempo em fila dos navios, a ocupação dos berços de atracação, a ociosidade e o dimensionamento dos equipamentos de atracação e de cais, diretamente envolvidos nas operações de manobra de atracação, manobras de desatracação, operações de descarga e operações de carga. Poucos trabalhos avaliam terminais portuários de uma forma mais abrangente, considerando-se os espaços físicos operacionais, dimensionamento de equipamentos de movimentação, determinação de gargalos operacionais nas áreas de recepção de veículos, áreas de carga e descarga, operações de transporte de carga interna ao porto.

Nota-se também que nos trabalhos em que a simulação foi utilizada como principal ferramenta, ela foi explorada com a finalidade de se avaliar os sub-sistemas portuários e foi utilizada para obtenção de alguns parâmetros operacionais não existentes nas estatísticas, como tempo médio em fila ou número médio de elementos na fila.

Este trabalho propõe criar um modelo integrado de todos sub-sistemas que compõem um terminal portuário, dimensionando equipamentos e avaliando gargalos operacionais, de forma a obter um completo entendimento do sistema. Para tanto, será usado um modelo de simulação de um sistema portuário, testando suas características atuais e criando cenários alternativos, objetivando

atingir níveis de serviço adequados, calculando-se os custos associados aos níveis de serviço propostos.

Os níveis de serviço que serão considerados serão os tempos médios em fila dos navios. Será realizado um estudo de caso, que consistirá em avaliar um terminal específico utilizando o modelo criado, de forma a dimensionar todo sistema para atender navios de contêineres e de veículos, respeitando os tempos máximos sugeridos de espera em fila. Serão calculados os custos de operação e, como consequência, a taxa interna de retorno de capital do terminal estudado. Assim, com o custo da operação e com os tempos médios de espera em fila, os cenários criados serão avaliados de forma a termos níveis de serviço mínimos exigidos e tarifas portuárias economicamente viáveis.

4. DESCRIÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO PARA UM TERMINAL DE CONTÊINERES E VEÍCULOS

Este capítulo é dedicado a descrever o modelo de simulação proposto. Uma descrição detalhada do modelo codificado em linguagem ARENA pode ser encontrada no anexo A.

4.1. O Modelo de Simulação

O modelo de simulação pode ser dividido em três grandes blocos: a operação dos navios, a operação dos caminhões e a operação do pátio de armazenagem.

4.2. A operação dos Navios

No bloco relativo a operação dos navios, tem-se a criação dos navios, em função das distribuições de tempos médios entre chegadas de navios, obtidas dos dados do terminal. Tem-se após a criação do navio, a determinação do tipo desse navio, isto é, será sorteado o tipo entre porta contêineres e RO-RO, baseando-se na proporção desses navios que atracaram em dado período de tempo no terminal. Caso o navio seja do tipo porta contêiner, são sorteadas as quantidades de contêineres que serão descarregados e carregados, sendo que de forma análoga, caso o navio seja do tipo RO-RO, serão sorteadas as quantidades de veículos que serão descarregados e logo após carregados.

O navio criado no sistema irá chegar ao porto e verificará se existe um berço livre para sua atracação. Caso não haja berços livres, ele entrará em fila, aguardando sua vez de atracar. Quando houver um berço livre, ele sairá da fila e assim seu processo de descarga e carga será iniciado.

O navio ficará aguardando no berço de atracação até que o último contêiner seja embarcado. Nesse momento, o modelo gera um comando que libera o navio, iniciando assim suas manobras de desatracação.

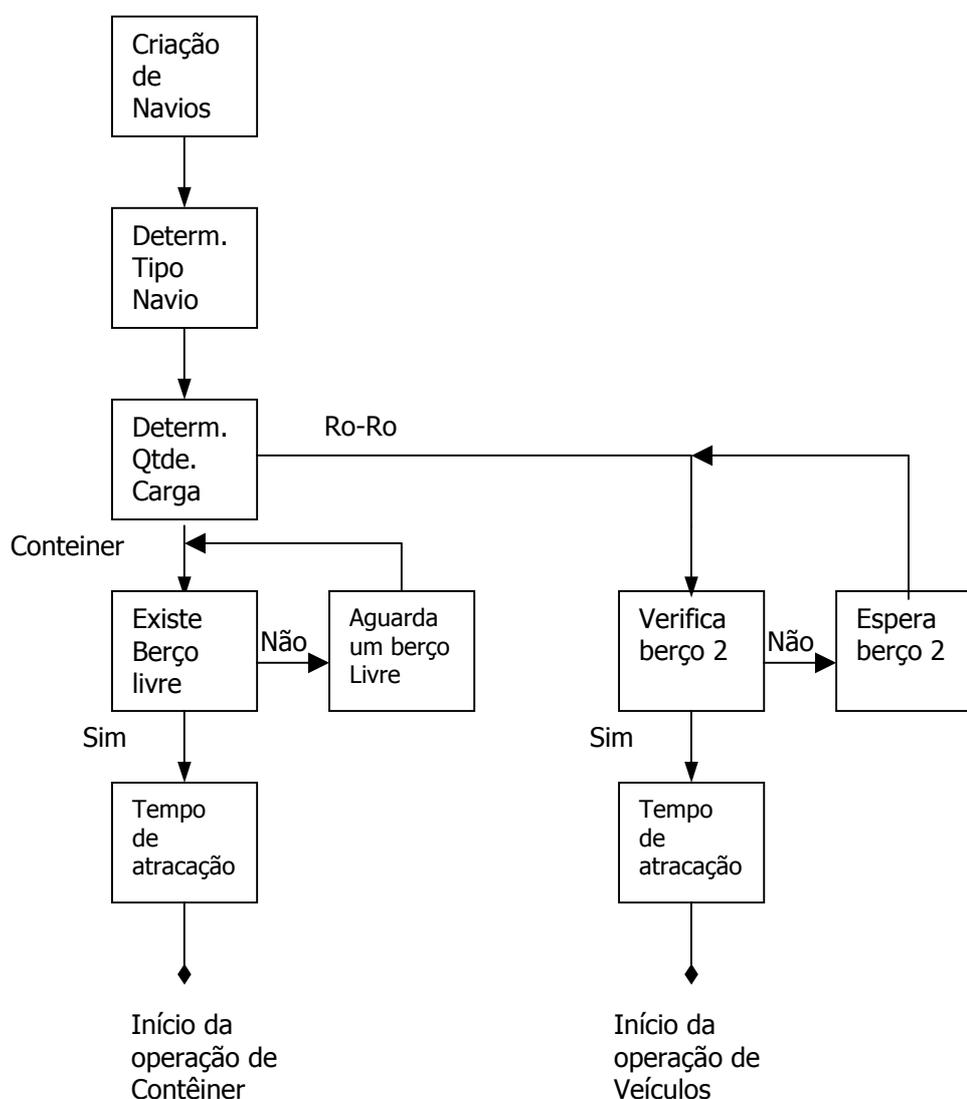


Figura 4.1 - Fluxograma do processo de simulação da criação dos navios

4.2.1. A operação de Descarga dos Navios

O modelo verifica a quantidade de carga que deverá ser descarregada, que foi previamente sorteada e irá gerar pedidos ou requisições de descarregamento. Cada requisição corresponde a um contêiner que está embarcado e que precisa ser descarregado. Cria-se então uma fila de pedidos, que serão atendidos conforme será explicado a seguir.

O pedido de descarga de um contêiner solicita um portêiner para retirá-lo do navio. A fila de pedidos é formada justamente por não haver recursos disponíveis para todos os contêineres, além de não ser possível alocar mais que uma certa quantidade de portêineres num navio devido a limitação de espaço. Quando o portêiner está livre e, portanto, tem-se o início do processo de descarga, o modelo cria um pedido de carreta para levar o contêiner do cais até o pátio. Caso não haja carretas disponíveis, o portêiner ficará aguardando que ela chegue. Quando a carreta chegar ao cais, o portêiner irá carregá-la e só nesse momento ele será liberado para atender um outro pedido de descarga. A carreta segue para o pátio e realiza uma série de atividades que serão descritas no item 4.3 .

No caso dos navios que transportam veículos (RO-RO), o modelo verifica a quantidade de veículos que devem ser descarregados e para cada um, gera uma solicitação de descarga. Essas solicitações geram requisições de motoristas, que irão retirar os veículos do navio e levá-los até o pátio da montadora a que pertencem esses veículos. Pelo fato de haver uma quantidade

limitada de motoristas, tem-se uma fila de pedidos de descarga que serão atendidas conforme haja recursos suficientes.

Os motoristas ao chegarem no pátio, deixam o veículo e passam a estar disponibilizados para outro ciclo de descarga. No momento que o veículo é deixado, um motorista da própria montadora o recebe e o leva até sua posição definitiva no pátio. Os motoristas que realizam a operação navio pátio aguardam no pátio até o momento que exista pelo menos oito motoristas, para que uma van os leve de volta ao navio. Este recurso chamado van também deve ser corretamente dimensionado, pois, sua falta irá acarretar excesso de motoristas ociosos e conseqüentemente, maior tempo de operação do navio.

4.2.2. A Operação de Carga dos Navios

Após a operação de descarregamento ser completada, inicia-se a operação de carregamento dos navios. A quantidade de carga a ser carregada foi sorteada na criação do navio, seguindo distribuições estatísticas de quantidade média de carga por navio.

O modelo verifica a quantidade que precisa ser carregada e gera pedido de contêineres que devem ser retirados do pátio e embarcados no navio. Esses pedidos entram em fila de atendimento e cada um deles solicita uma carreta que irá retirar o contêiner do pátio. Após alocar uma carreta disponível, ela será carregada e irá para o cais, onde será solicitado um portêiner para proceder com o processo de carga. O portêiner retira o contêiner da carreta, liberando-a para uma nova tarefa, e o embarca no navio disponibilizando o portêiner para

outros trabalhos. Nesse momento, variáveis são atualizadas de forma que a quantidade restante que precisa ser embarcada seja decrementada em uma unidade, até que atinja o valor zero e estabeleça o fim do processo de carregamento.

No caso dos navios que transportam veículos, para cada unidade a ser embarcada cria-se um pedido que é modelado da seguinte forma:

Esse pedido é enviado ao pátio entrando numa fila, sendo que conforme disponibilidade de motoristas, ele será atendido. Tais motoristas são contratados pelas montadoras e sua atividade se resume a localizar o veículo no pátio, manobrá-lo até o portão de saída. Neste momento o veículo é deixado a disposição de outro motorista, este vinculado ao órgão gestor de mão-de-obra, que irá leva-lo até o navio, concluindo o carregamento. Esses motoristas aguardam no cais uma van que os levarão de volta ao pátio. O modelo deve nestes casos, verificar quantos veículos já estão fora do pátio aguardando para serem levados ao navio, de forma a interromper o processo quando um certo número de veículos estacionados do lado de fora é atingido.

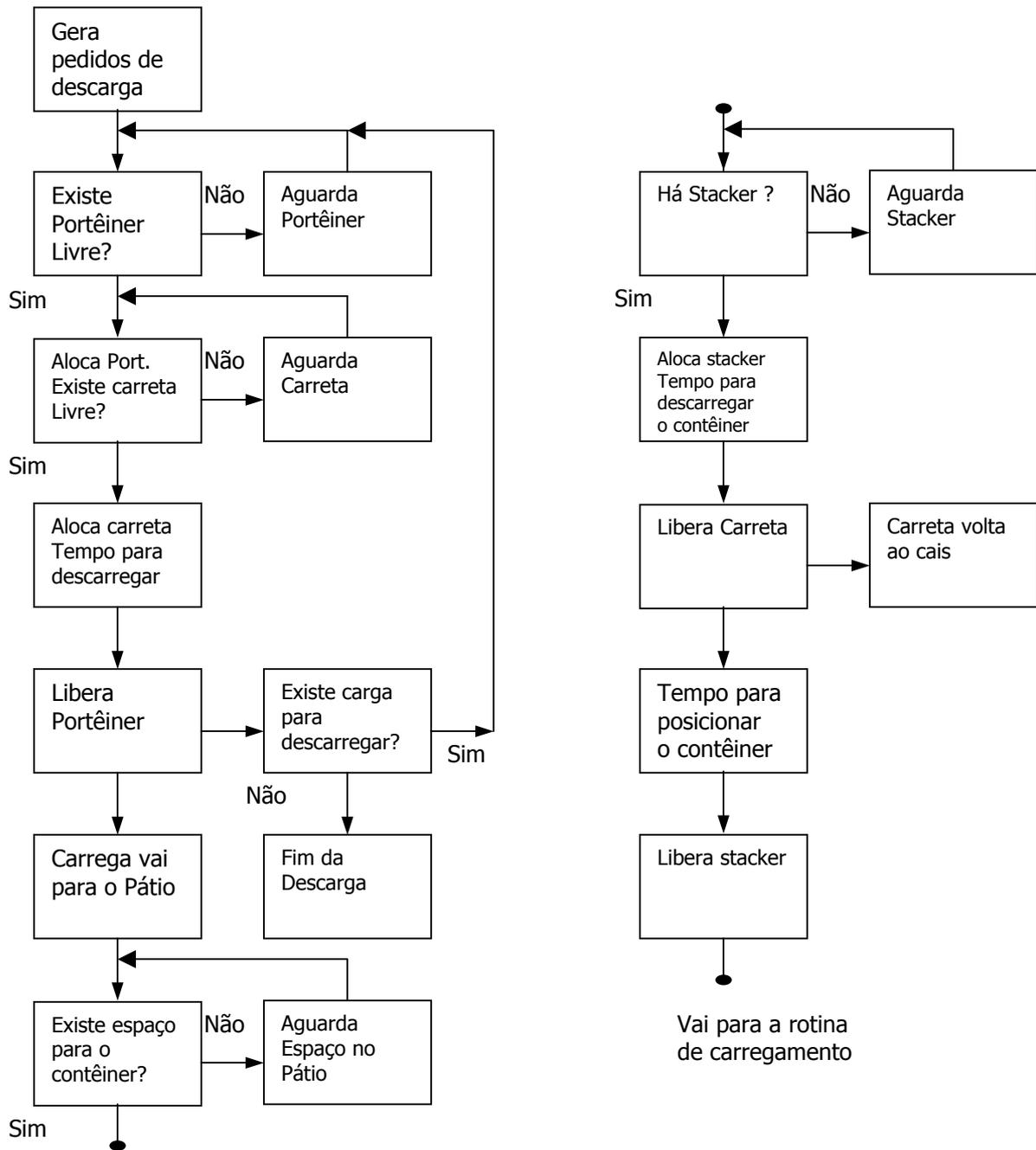


Figura 4.2 - Fluxograma do descarregamento de navios porta contêineres

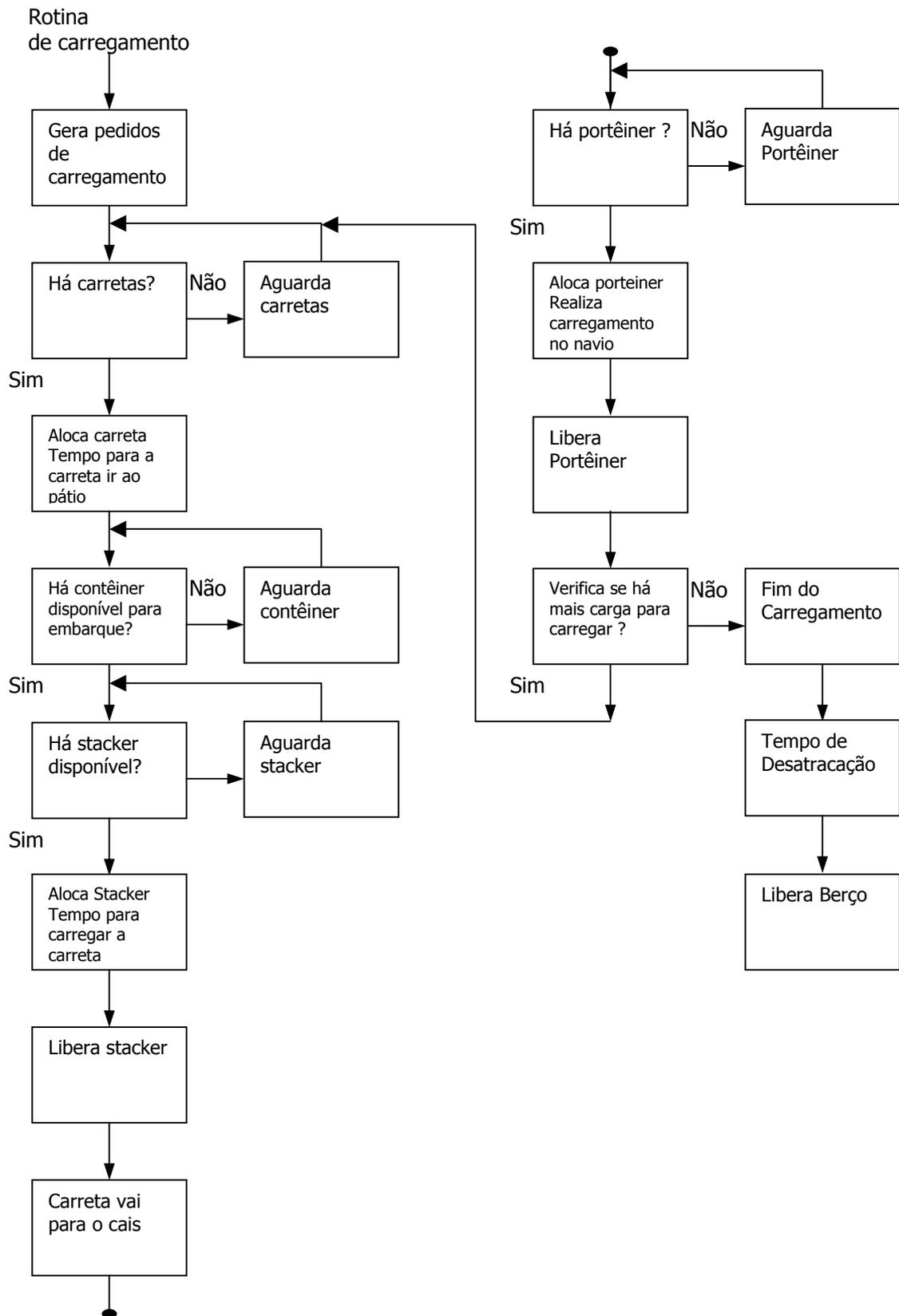


Figura 4.3 - Fluxograma do carregamento dos navios porta contêineres

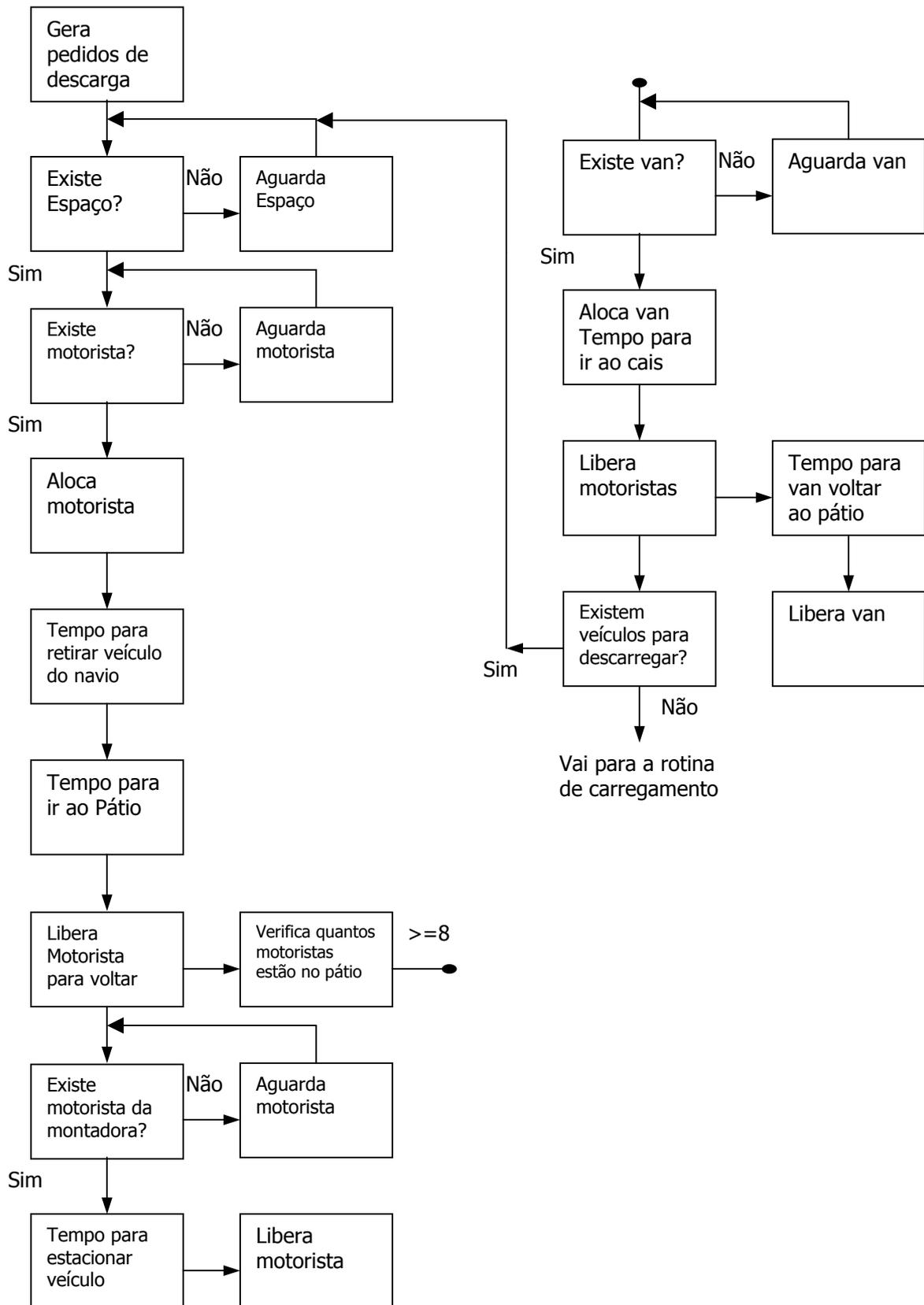


Figura 4.4 - Fluxograma do descarregamento dos navios RO-RO

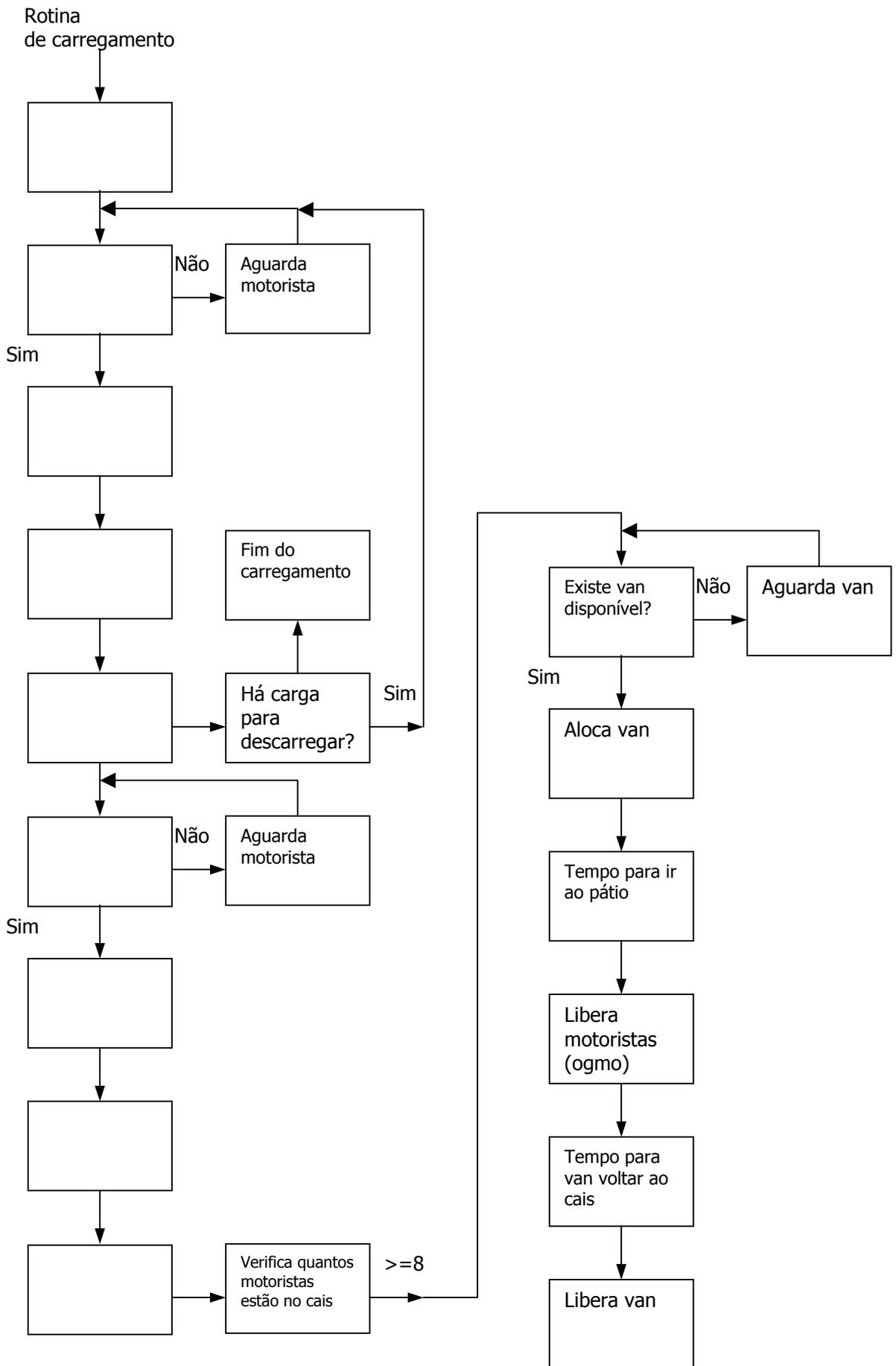


Figura 4.5 - Fluxograma do carregamento dos navios RO-RO

4.3. A Operação do Pátio

As carretas que chegam do cais com contêineres para descarregar solicitam uma empilhadeira para realizar seu descarregamento. Assim formam uma fila e vão sendo descarregadas. A empilhadeira vai até o local onde está a carreta, manobra, retira o contêiner da carreta e posiciona o contêiner na pilha. A carreta foi liberada assim que o contêiner foi levantado pela empilhadeira.

As carretas vazias que levam contêineres para os navios, chegam no pátio próximo ao contêiner que vai carregar e solicita uma empilhadeira. Assim que ela estiver disponível, ela vai até o local, retira o contêiner da pilha, sendo que eventualmente ela precisa remover contêineres que estão acima do contêiner necessário, coloca o contêiner na carreta e fica disponível para outras tarefas. Os caminhões que chegam pela portaria sofrem processo análogo.

Os tempos de deslocamento, manobra e posicionamento das empilhadeiras foram agregados de forma que o tempo médio utilizado é resultado de medições em campo do tempo total gasto para atender um carregamento ou um descarregamento de contêiner.

4.4. A operação dos Caminhões

No bloco relativo a lógica dos caminhões, tem-se a criação de caminhões que levam contêineres do porto ou deixam contêineres no porto.

Os veículos são criados baseando-se no total de contêineres e veículos movimentados no terminal. Temos então uma distribuição dos tempos médios de intervalo entre chegadas de caminhões, tanto os de importação (que retiram carga do porto) bem como os de exportação (que deixam carga no porto).

4.4.1. Os caminhões de Contêineres

Após criar-se o caminhão ele se encaminha para uma portaria, com o objetivo de entrar no terminal e realizar sua operação, que pode ser de carga ou descarga, conforme seu tipo. Existe um tempo de conferência de documentos e vistoria visual no qual a portaria está ocupada. Portanto, dependendo da movimentação temos o aparecimento de uma fila de veículos que aguardam entrar no terminal.

Outro fator que leva ao surgimento de filas externas, é o fato do terminal não permitir mais que um certo número de caminhões dentro do terminal. Assim o caminhão ao chegar, entra em fila (caso ela exista) e em seguida, havendo espaço dentro do terminal, ele irá se dirigir à portaria, realizar sua vistoria e entrar no terminal. No caso do caminhões que chegam vazios, o procedimento é o mesmo, sendo que o tempo gasto na vistoria é muito menor do que aqueles que chegam com contêineres. Eles chegam, entram em fila e

somente entram no terminal caso haja espaço. Após realizar seu carregamento, aí sim ao chegar na portaria sofrerá uma vistoria mais rigorosa.

Nesta parte do modelo será possível verificar se a quantidade de portarias é adequada com relação à movimentação anual, bem como se a política de limitar a quantidade de veículos dentro do terminal causa prejuízos ao nível de serviço. Essa limitação é imposta para evitar excesso de caminhões dentro do terminal. Talvez seja necessário criar uma área interna, na qual o caminhão com a documentação em ordem e com sua vistoria realizada, aguarde sua vez de ser atendido, de forma a agilizar o processo evitando ociosidade dos equipamentos de pátio e elevado número de caminhões em fila fora do terminal.

4.4.2. Os Caminhões de Veículos

Os caminhões que carregam veículos (chamados caminhões cegonha), dirigem-se diretamente às áreas das montadoras, tem sua documentação checada e carga vistoriada (caso cheguem com veículos) e entram para operação. No processo de carga e de descarga dos veículos, são usados motoristas contratados pelas montadoras, que se encarregam de retirar do caminhão e posicionar no pátio no caso do descarregamento, ou então localizam o veículo e o carregam no caminhão no caso do carregamento.

Durante a operação de navios RO-RO, que transportam veículos, a operação de carregamento e descarregamento é interrompida para evitar excesso de movimentações no pátio, aumentando o risco de avarias nos veículos.

5. APLICAÇÃO DO MODELO DE SIMULAÇÃO - ESTUDO DE CASO

Este capítulo é dedicado a aplicação do modelo de simulação em um estudo de caso real. O escolhido foi o do terminal de contêineres e veículos do Porto de Paranaguá, buscando-se o dimensionamento de todos os recursos do terminal, avaliando-se sua viabilidade econômica.

5.1. O Terminal de Contêineres e Veículos de Paranaguá

O Porto de Paranaguá está localizado no litoral paranaense, na cidade de Paranaguá, a 210 quilômetros de Curitiba, a capital do estado, a 210 quilômetros de Joinville, maior cidade de Santa Catarina e a 500 quilômetros de São Paulo.

É uma autarquia do governo do estado do Paraná, que tem a concessão do governo federal.

O acesso marítimo ao porto de Paranaguá é feito pelo canal da Galheta, com 12 milhas (21,6 km) de extensão e largura máxima de 200 m. Seu trecho inicial de 3 milhas (5,4 km) foi dragado a 13 m e o restante dragado a 12,7 m. As profundidades localizadas fora de sua margem estão abaixo de 5 m. O calado normal admitido nas preamares é de 39 pés (11,8 m) podendo chegar a 41 pés (12,4 m) em condições especiais. Ao longo de todo o cais público existe uma área para manobras de navios, a bacia de evolução, com 700 m de largura e que está dragada com profundidades variando de 11 m a 12 m.

O acesso rodoviário é feito através da BR-277, que liga Paranaguá a Curitiba, sendo a rodovia asfaltada e com pista dupla. Em Curitiba a BR-277 conecta-se com a BR-116, BR-376, BR476 e a partir destas com todo o resto do país.

Existe na entrada da cidade, a 7 km do porto, um amplo pátio de estacionamento para caminhões, onde é feita a triagem dos mesmos a fim de permitir o acesso aos diversos terminais portuários, particularmente no período de safra de exportação de grãos.

5.1.1. Características da Área do Terminal

Para atendimento ao terminal de contêineres, serão destinados, à princípio, os berços 15 e 16 do atual cais do Porto de Paranaguá, num total de 324 m. De acordo com o edital de licitação, quando a movimentação do terminal atingir 160.000 TEU/ano, a APPA (Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina) construirá 150 m adicionais de cais, totalizando 524m de cais.

A plataforma de alívio do cais tem 14,55 m de largura e ainda uma viga lançada (para suporte do trilho, de retaguarda do portêiner, com 18,0 m de bitola) a 6,35 m da plataforma, resultando numa largura total de 20,90 m .

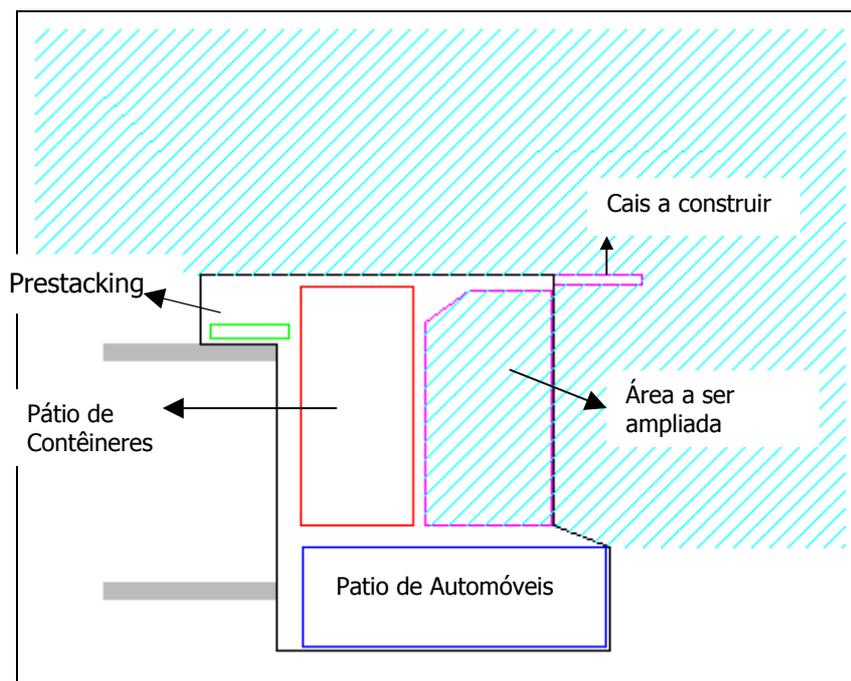


Figura 5.1 – Diagrama do Terminal

Pátio de Automóveis – 147.000 m²

Pátio de Contêineres – 90.000 m²

Pre-stacking – 22.500m²

Área a ser Ampliada – 100.000m²

5.2. Conjunto de dados utilizados

5.2.1. Demanda do Terminal

Uma informação extremamente importante para o trabalho é a movimentação do terminal, pois ela é que irá dizer qual a receita e portanto determinará a viabilidade ou não do terminal a ser implantado/privatizado.

No entanto, o presente trabalho não visa prever a demanda do terminal, já que ela depende de uma série de fatores, como, por exemplo, crescimento industrial na região, taxas cambiais, impostos de importação, criação de novos portos ou expansão dos já existentes, etc.. Assim, o objetivo do trabalho é dimensionar e calcular a viabilidade do terminal, com base numa demanda pré-fixada, além de poder também estipular qual deveria ser a remuneração mínima por contêiner ou por veículo movimentado, para que o negócio fosse viável.

De acordo com editais de licitação de alguns terminais, muitos investimentos devem ser realizados durante a concessão de uso do terminal, investimentos esses em infra-estrutura e equipamentos. Tais recursos e instalações possuem custos de aquisição, custos fixos e custos variáveis muito diferentes, de forma que a quantidade de carga movimentada influirá sensivelmente nos cálculos de viabilidade do terminal.

Assim, foi feita uma pesquisa em publicações do ramo, e organizações que publicam estatísticas portuárias e autoridades portuárias de alguns portos, para obtenção de previsões de demanda. Para futura utilização no modelo, isto é, para o estudo de caso proposto neste trabalho, os dados escolhidos são os do

Porto de Paranaguá. Entre os anos 2000 e 2022, será assumido um crescimento linear dos valores de movimentação atuais até os valores previstos.

Tabela 5.1 – Previsão da Demanda de Contêineres (TEUS)

ANO	Importação	Exportação	Total
1994	44.148	36.388	80.536
1995	46.949	44.511	91.460
1996	40.574	36.513	77.087
1997	45.474	42.974	88.448
1998	51.980	47.821	99.801
1999	53.638	72.511	126.149
Até Set/2000	62.573	95.553	158.126
Projeção 2000	93.860	143.329	237.189
Projeção 2022	-----	-----	1.222.000

Fonte : Administração do Porto de Paranaguá e Antonina(APPA) – 2000
 GEIPOT - 2000
 DATAMAR - 2000

Tabela 5.2 – Previsão da Demanda de Veículos (Unidades)

ANO	Importação	Exportação	Total
1997	12.898	0	12.898
1998	21.300	1.212	22.512
1999	33.636	5.447	39.083
Até Set/2000	20.131	24.806	44.937
Projeção 2000	30.144	37.107	67.251
Projeção 2022	75.200	112.800	188.000

Fonte : Administração do Porto de Paranaguá e Antonina(APPA)– 2000
 Global - 2000

5.2.2. Contêineres de 20 e 40 pés

Além da previsão de demanda, é necessário saber a porcentagem dos contêineres movimentados, pois além das tarifas serem diferenciadas, os contêineres de 20 pés e 40 pés necessitam de áreas diferentes para serem armazenados.

O levantamento dos tempos operacionais no terminal mostrou que os tempos gastos com movimentação, carregamento, descarregamento, etc., são muito parecidos de forma que para o modelo operacional, os contêineres de 20 e 40 pés podem ser tratados como "unidades de contêiner". No entanto, para o cálculo de espaço disponível para empilhamento, devemos saber exatamente a quantidade de cada um dos tipos armazenados no terminal. Assim, junto as entidades administradoras do porto e a publicações específicas, foram levantados dados referentes a distribuição dos tipos de contêineres.

Tabela 5.3 - Participação de Contêineres de 20 ft e 40 ft

	20 Pés	40 Pés
Jan/98	48.52%	51.48%
Fev/98	39.82%	60.18%
Mar/98	44.03%	55.97%
Abr/98	43.84%	56.16%
Mai/98	44.72%	55.28%
Jun/98	40.01%	59.99%
Jul/98	37.30%	62.70%
Ago/98	42.71%	57.29%
Set/98	36.17%	63.83%
Out/98	39.06%	60.94%
Nov/98	30.31%	69.69%
Dez/98	33.61%	66.39%
Jan/99	30.86%	63.58%
Fev/99	31.44%	69.14%
Mar/99	29.72%	68.56%
Abr/99	29.72%	70.28%
Mai/99	25.28%	74.72%
Jun/99	24.00%	76.00%
Jul/99	22.37%	77.63%
Ago/99	24.43%	75.57%
Set/99	22.82%	77.18%
Out/99	27.55%	72.45%
Nov/99	25.44%	74.56%
Dez/99	23.96%	76.04%
Jan/00	22.19%	77.81%
Fev/00	24.74%	75.26%
Mar/00	21.20%	78.80%
Abr/00	20.36%	79.64%
Mai/00	18.80%	81.20%
Jun/00	17.13%	82.87%
Jul/00	15.89%	84.11%
Tendência (até 2005)	10%	90%
Tendência (após 2005)	4%	96%

Fonte: Centro Nacional de Navegação Transatlântica – CNNT

5.2.3. Dados e Informações sobre a Operação Portuária

Para o desenvolvimento do modelo de simulação, serão utilizados dados e informações relativas às operações do terminal de contêineres e veículos. Essas informações dizem respeito a, por exemplo, velocidade de deslocamento de equipamentos, tempos para carregamento de um contêiner no navio, tempo para descarregamento do contêiner do navio, tempo de carregamento do contêiner na carreta, etc..

Alguns dados foram obtidos mediante medições diretas, realizadas em campo. Tais medições foram necessárias pois as informações não são arquivadas e não possuem série histórica. Por exemplo, os tempos médios que as carretas levam para chegar ao portêiner, nas requisições de descarregamento ou, então, a distribuição de tempos que as empilhadeiras levam para atender um caminhão que pede para retirar ou colocar um contêiner em sua carreta, não são anotados e não tem como ser feita uma análise estatística destes tempos. Assim resta a alternativa de se utilizar distribuições estatísticas dos tempos obtidos de medições em campo.

No entanto, existem dados que podem ser obtidos a partir de informações de movimentação, como por exemplo, a produtividade de portêineres. Neste caso, temos o tempo que o navio ficou atracado e temos a quantidade de contêineres que ele descarregou e posteriormente carregou. Pode-se então calcular o tempo médio por contêiner.

A seguir serão mostradas com maiores detalhes as informações utilizadas para a caracterização do modelo.

Tabela 5.4 – Dados para o Modelo (variáveis - Contêiner)

Descrição
Tempo p/ Atendimento (chegada) da Carreta
Tempo p/ Retirar Cont. do Navio
Tempo p/ Carreta chegar cheia ao Pátio
Tempo p/ Atendimento (chegada) da Empilhadeira
Tempo p/ Retirar Cont. da Carreta (Empilhadeira)
Tempo p/ Carreta Retornar ao Berço
Tempo p/ Carregar Cont. na Carreta (Empilhadeira)
Tempo p/ Carreta chegar cheia ao Berço
Tempo p/ Retirar Cont. da Carreta (Portêiner)
Tempo p/ Carregar Cont. no Navio

Tabela 5.5 - Obtenção das Informações (Contêiner)

Descrição	Origem dos Dados
Tempo p/ Atendimento (chegada) da Carreta	medido
Tempo p/ Retirar Cont. do Navio	medido
Tempo p/ Carreta chegar cheia ao Pátio	medido
Tempo p/ Atendimento (chegada) da Empilhadeira	medido
Tempo p/ Retirar Cont. da Carreta (Empilhadeira)	medido
Tempo p/ Carreta Retornar ao Berço	medido
Tempo p/ Carregar Cont. na Carreta (Empilhadeira)	calculado
Tempo p/ Carreta chegar cheia ao Berço	medido
Tempo p/ Retirar Cont. da Carreta (Portêiner)	calculado
Tempo p/ Carregar Cont. no Navio	calculado

Tabela 5.6 – Dados para o Modelo (variáveis - Veículos)

Descrição
Tempo p/ Chegada de Motoristas ao Navio
Tempo p/ Retirar Veículo. do Navio
Tempo p/ Veículo chegar ao Pátio
Tempo p/ Motorista Particular Estacionar
Tempo p/ Chegada de Motoristas ao Pátio
Tempo p/ Veículo chegar ao Navio
Tempo p/ Posicionar Veículo no Navio
Tempo p/ Van levar Motoristas (cheia)
Tempo p/ Van Voltar (vazia)

Tabela 5.7 – Obtenção das Informações (Veículos)

Descrição	Origem dos Dados
Tempo p/ Chegada de Motoristas ao Navio	medição
Tempo p/ Retirar Veículo. do Navio	medição
Tempo p/ Veículo chegar ao Pátio	medição
Tempo p/ Motorista Particular Estacionar	medição
Tempo p/ Chegada de Motoristas ao Pátio	medição
Tempo p/ Veículo chegar ao Navio	medição
Tempo p/ Posicionar Veículo no Navio	medição
Tempo p/ Van levar Motoristas (cheia)	medição
Tempo p/ Van Voltar (vazia)	medição

5.3. Simulação dos Cenários

O modelo de simulação foi utilizado para determinar o dimensionamento do terminal em estudo, para cada ano de operação. Os dados relativos a movimentação do terminal são configurados no modelo, de forma a gerar uma demanda por movimentação de carga compatível com as previsões mostradas na tabela 5.1. Executa-se o modelo e ao final, verifica-se se com a quantidade de recursos o terminal foi capaz de atender àquela demanda programada, verificando-se também se o tempo em fila médio por navio está dentro de padrões estipulados. Caso ao final da simulação o terminal não tenha conseguido movimentar a quantidade correta, é proposto um aumento na quantidade de recursos, até que seja atingido o valor previsto. Desta forma a configuração do terminal poderá variar ano a ano.

Assim, foi possível testar configurações que tivessem diferenças técnicas, usando-se empilhadeiras que tivessem capacidade de empilhar contêineres de até 3 (três) alturas ou empilhadeiras de até 5 (cinco) alturas. Tais equipamentos possuem produtividades diferentes, de forma que o benefício em se necessitar de menos área de pátio (no caso de 5 alturas), tem sua penalização no número de equipamentos, pois, com pilhas maiores, aumenta-se o número médio de movimentos por tarefa. Além disso, são equipamentos maiores e conseqüentemente com menores velocidades de deslocamento.

Serão mostradas análises quanto a parâmetros relacionados a níveis de serviço. O parâmetro escolhido foi o tempo em fila dos navios, isto é, se admitirmos que o tempo em fila pode ser maior, teremos um certo impacto no dimensionamento do terminal, alterando sua viabilidade.

5.3.1. Cenário 1 – Tempo em fila até de 8 horas e pilhas de 3 alturas

Neste cenário, foi utilizado como critério de tempo médio em fila para os navios, o valor de 8 horas, isto é, o tempo médio em fila não pode ser maior que este valor. Foram utilizados equipamentos de movimentação de contêiner com capacidade máxima de empilhamento de 3 alturas.

Os resultados obtidos podem ser observados na tabela 5.8 e 5.9.

Na tabela 5.8 vemos a evolução dos índices de ocupação da cada equipamento para cada ano de operação. Na tabela 5.9 vemos a quantidades destes equipamentos.

Considerando-se uma movimentação diária de aproximadamente 1675 contêineres (ano de 2021), sendo 96% contêineres de 40 pés, com 07 dias de média de permanência, que um contêiner de 40 pés ocupa 31,6m² e um de 20 pés 15,8 m² e um empilhamento de 3 alturas, a necessidade de área de pátio será de aproximadamente 155.000 m². Como o terminal só possui 90.000 m², será realizada uma expansão, que de acordo com a movimentação deverá ser feita em 2014. Vale lembrar que o espaçamento entre pilhas deve ser de 46 pés, para permitir manobras dos reach stackers carregados.

Podemos notar que entre 1997 e 2002, temos um aumento gradual da ocupação dos recursos a medida que a movimentação do terminal aumenta. Nos anos onde tem-se compra de equipamentos, a ocupação relativa àquele equipamento diminui se comparado ao ano anterior, pois tem-se recursos em maior quantidade.

Tabela 5.8 – Ocupação dos Equipamentos (cenário 1)

Ano	Tempo Médio no Porto	Tempo Médio na Fila	Movimentações	Ocupação Terminal	Ocupação Portêiner	Ocupação Stacker	Ocupação Carreta	Ocupação Vans
	minutos	minutos	Unidades/Ano	%	%	%	%	%
1997	202,92	2,95	66.929	20,35	15,25	27,40	13,69	1,17
1998	193,12	3,24	68.662	20,60	15,66	28,42	14,03	2,41
1999	171,24	3,59	76.858	22,88	17,19	32,52	15,94	2,84
2000	215,79	10,11	98.689	38,82	22,77	40,07	21,62	2,03
2001	416,18	83,53	133.496	49,42	32,45	57,28	31,73	3,52
2002	517,59	131,69	158.944	64,29	40,97	68,71	40,58	3,24
2003	644,99	138,91	190.967	64,32	49,75	61,24	46,44	3,73
2004	509,41	154,12	205.132	59,53	34,77	55,19	33,59	3,83
2005	558,29	166,42	215.864	64,02	27,39	58,97	34,92	2,06
2006	543,27	177,77	232.873	63,49	30,25	64,90	38,95	2,04
2007	517,92	181,39	258.506	54,81	33,02	51,48	30,00	2,54
2008	564,94	185,44	294.804	69,52	37,16	56,54	34,33	3,12
2009	584,70	196,33	319.828	69,63	36,91	53,42	30,93	3,98
2010	537,14	221,06	338.088	71,86	37,81	55,28	38,66	4,01
2011	587,74	280,00	355.996	72,07	41,01	45,27	35,85	6,52
2012	586,89	342,10	392.087	72,77	46,19	46,83	36,99	7,85
2013	591,37	451,42	414.929	66,19	53,50	48,13	38,95	9,08
2014	590,79	269,73	437.116	67,75	29,39	50,02	42,50	10,35
2015	604,53	301,50	438.686	71,71	32,34	51,85	47,46	11,03
2016	495,13	313,26	460.123	72,70	33,81	54,17	49,05	12,48
2017	501,52	344,45	500.505	75,52	35,43	37,78	35,38	15,77
2018	522,77	391,11	530.491	77,49	37,02	39,45	36,25	17,15
2019	571,85	393,53	563.876	77,98	38,65	41,05	37,23	20,46
2020	627,16	414,56	590.003	80,99	40,15	42,61	38,33	22,86
2021	636,71	420,72	611.444	83,11	41,86	44,17	39,22	25,19

Tabela 5.9 – Quantidade de Equipamentos (cenário 1)

Ano	Movimentações Unidades/Ano	RECURSOS EXISTENTES			
		portêiner	carreta	stacker	van
1997	66.929	2	5	3	3
1998	68.662	2	5	3	3
1999	76.858	2	5	3	3
2000	98.689	2	5	3	3
2001	133.496	2	5	3	3
2002	158.944	2	5	3	3
2003	190.967	2	5	4	3
2004	205.132	3	7	5	3
2005	215.864	4	7	5	3
2006	232.873	4	7	5	3
2007	258.506	4	10	7	3
2008	294.804	4	10	7	3
2009	319.828	4	12	7	3
2010	338.088	4	12	7	3
2011	355.996	4	14	8	3
2012	392.087	4	14	8	3
2013	414.929	4	14	8	3
2014	437.116	6	14	8	3
2015	438.686	6	14	8	3
2016	460.123	6	14	8	3
2017	500.505	6	18	12	3
2018	530.491	6	18	12	3
2019	563.876	6	18	12	3
2020	590.003	6	18	12	3
2021	611.444	6	18	12	3

5.3.2. Cenário 2 – Tempo em fila até de 8 horas e pilhas de 5 alturas

Neste cenário foram utilizadas empilhadeiras com capacidade de empilhamento de 5 alturas.

O critério de tempo máximo em fila por navio foi mantido em 8 horas.

Considerando-se uma movimentação diária de aproximadamente 1650 contêineres (ano de 2021) e utilizando-se empilhamento de 5 alturas, a necessidade de área será de aproximadamente 72.000 m², sendo que não é necessário realizar expansão de pátio.

Tabela 5.10 – Ocupação dos Equipamentos (cenário 2)

Ano	Tempo Médio no Porto	Tempo Médio na Fila	Movimentações	Ocupação Terminal	Ocupação Portêiner	Ocupação Stacker	Ocupação Carreta	Ocupação Vans
	minutos	minutos	Unidades/Ano	%	%	%	%	%
1997	160,50	2,45	66.193	13,82	15,00	34,80	16,16	1,26
1998	200,09	3,04	67.906	19,20	15,40	36,09	16,57	2,60
1999	190,42	3,33	76.012	19,44	16,91	41,30	18,82	3,07
2000	168,85	3,69	97.604	21,59	22,40	50,89	25,53	2,19
2001	212,78	10,38	132.028	36,63	31,92	72,74	37,47	3,80
2002	410,38	85,82	157.195	46,63	40,29	87,26	47,92	3,50
2003	510,37	135,29	188.866	60,67	40,09	77,78	54,84	4,03
2004	635,99	142,71	202.875	60,69	34,19	70,09	39,67	4,13
2005	502,31	158,34	213.490	56,18	26,94	74,89	41,24	2,23
2006	550,50	170,98	230.312	60,41	29,75	82,43	46,00	2,21
2007	535,69	182,64	255.663	59,91	32,47	65,38	47,23	2,74
2008	510,70	186,36	291.561	51,72	36,55	46,41	34,63	3,37
2009	557,06	190,51	316.310	65,60	36,30	55,14	36,53	4,29
2010	724,45	201,70	334.369	65,70	37,19	57,50	35,51	4,33
2011	726,86	227,11	352.080	67,81	40,33	57,50	42,33	7,04
2012	776,75	287,66	387.774	68,01	45,43	59,48	43,68	8,47
2013	775,91	351,47	410.365	68,67	52,62	61,12	45,99	9,80
2014	780,33	463,78	432.308	70,12	60,87	63,52	50,19	11,17
2015	779,76	277,12	433.860	63,93	31,80	65,85	56,05	11,90
2016	793,30	309,75	455.062	67,67	33,25	68,80	57,93	13,47
2017	882,64	321,84	494.999	68,60	34,85	60,69	41,78	17,02
2018	888,95	353,88	524.656	71,26	36,41	62,80	42,81	18,52
2019	909,90	401,81	557.673	73,12	38,01	64,83	43,97	22,08
2020	958,29	404,31	583.513	73,58	39,49	66,81	45,26	24,67
2021	1012,83	425,91	604.718	76,42	41,17	68,80	46,32	27,19

Tabela 5.11 – Quantidade de Equipamentos (cenário 2)

Ano	Movimentações Unidades/Ano	RECURSOS EXISTENTES			
		portêiner	carreta	stacker	van
1997	66.193	2	5	3	3
1998	67.906	2	5	3	3
1999	76.012	2	5	3	3
2000	97.604	2	5	4	3
2001	132.028	2	5	4	3
2002	157.195	2	5	4	3
2003	188.866	3	5	4	3
2004	202.875	3	9	7	3
2005	213.490	4	9	7	3
2006	230.312	4	9	7	3
2007	255.663	4	9	7	3
2008	291.561	4	14	10	3
2009	316.310	4	14	10	3
2010	334.369	4	14	10	3
2011	352.080	4	14	10	3
2012	387.774	4	14	10	3
2013	410.365	4	14	10	3
2014	432.308	4	14	10	3
2015	433.860	6	14	10	3
2016	455.062	6	14	10	3
2017	494.999	6	18	15	3
2018	524.656	6	18	15	3
2019	557.673	6	18	15	3
2020	583.513	6	18	15	3
2021	604.718	6	18	15	3

5.3.3. Cenário 3 – Tempo em fila até de 16 horas e pilhas de 3 alturas

Neste cenário foram utilizadas empilhadeiras com capacidade de empilhamento de 3 alturas e conseqüentemente a necessidade de expansão de pátio seja igual a do cenário 1. No entanto, foi permitido que o navio pudesse aguardar em fila até 16 horas. Notamos assim, uma diminuição da quantidade de alguns equipamentos de pátio.

Tabela 5.12 – Ocupação dos Equipamentos (cenário 3)

Ano	Tempo Médio no Porto	Tempo Médio na Fila	Movimentações Unidades/Ano	Ocupação Terminal	Ocupação Portêiner	Ocupação Stacker	Ocupação Carreta	Ocupação Vans
	minutos	minutos		%	%	%	%	%
1997	165,61	2,35	65.548	14,49	15,21	27,09	13,41	1,06
1998	206,46	2,92	67.245	20,13	15,62	28,09	13,75	2,20
1999	196,49	3,20	75.272	20,38	17,14	32,14	15,62	2,59
2000	174,23	3,54	96.653	22,64	22,71	39,60	21,18	1,85
2001	284,30	23,53	131.355	27,54	15,44	66,79	37,09	0,16
2002	614,18	146,23	168.821	44,40	21,66	83,54	50,82	0,18
2003	731,36	266,09	186.218	48,39	23,90	94,31	56,26	0,17
2004	465,84	108,33	216.148	40,01	23,33	72,51	46,66	0,20
2005	537,27	156,95	217.841	44,94	23,99	76,49	47,91	0,20
2006	555,31	203,35	248.541	50,87	27,52	85,20	54,62	0,22
2007	908,37	334,57	259.427	66,64	31,12	94,20	62,11	0,23
2008	1012,08	474,00	286.639	49,32	26,49	60,43	38,73	0,11
2009	1114,08	578,41	313.228	52,95	36,81	52,80	40,11	3,64
2010	1134,42	688,51	328.667	58,00	32,34	72,06	47,70	0,12
2011	1177,34	712,40	348.650	71,10	40,90	44,75	54,72	5,96
2012	1256,47	778,74	385.664	77,57	32,83	74,68	58,42	0,25
2013	1309,36	831,99	406.367	81,89	53,36	87,10	58,74	8,30
2014	601,69	446,00	428.096	65,49	29,31	49,44	41,64	9,46
2015	601,11	464,09	429.634	67,03	32,25	51,24	46,51	10,07
2016	665,95	495,47	450.629	70,95	33,72	53,54	48,07	11,40
2017	1012,50	605,89	490.177	71,92	35,34	37,34	34,67	14,41
2018	1138,09	721,44	526.772	60,94	37,08	66,98	40,26	0,31
2019	735,39	386,41	552.241	76,66	38,55	40,57	36,48	18,69
2020	785,32	487,61	577.829	77,15	40,04	42,11	37,55	20,88
2021	739,85	508,38	598.827	80,12	41,75	43,66	38,43	23,01

Tabela 5.13 – Quantidade de Equipamentos (cenário 3)

Ano	Movimentações Unidades/Ano	RECURSOS EXISTENTES			
		portêiner	carreta	stacker	van
1997	65.548	2	4	2	3
1998	67.245	2	4	2	3
1999	75.272	2	4	2	3
2000	96.653	2	4	2	3
2001	131.355	2	4	2	3
2002	168.821	2	4	2	3
2003	186.218	2	4	2	3
2004	216.148	4	5	3	3
2005	217.841	4	5	3	3
2006	248.541	4	5	3	3
2007	259.427	4	5	3	3
2008	286.639	4	7	5	3
2009	313.228	4	7	5	3
2010	328.667	4	7	5	3
2011	348.650	4	7	5	3
2012	385.664	4	7	5	3
2013	406.367	4	7	5	3
2014	428.096	4	10	7	3
2015	429.634	4	10	7	3
2016	450.629	4	10	7	3
2017	490.177	4	10	7	3
2018	526.772	4	10	7	3
2019	552.241	6	14	9	3
2020	577.829	6	14	9	3
2021	598.827	6	14	9	3

5.3.4. Cenário 4 – Tempo em fila até de 16 horas e pilhas de 5 alturas

O cenário 4 foi criado para se poder comparar a utilização de equipamentos de empilhamento de 5 alturas com os equipamentos de 3 alturas, com o mesmo critério de tempo em fila usado no cenário anterior.

Tabela 5.14 – Ocupação dos Equipamentos (cenário 4)

Ano	Tempo Médio no Porto	Tempo Médio na Fila	Movimentações Unidades/Ano	Ocupação Terminal	Ocupação Portêiner	Ocupação Stacker	Ocupação Carreta	Ocupação Vans
	minutos	minutos		%	%	%	%	%
1997	167,88	2,67	67.819	21,31	16,68	30,99	13,40	1,44
1998	209,29	3,31	69.574	21,58	17,12	32,14	13,74	2,99
1999	199,18	3,63	77.879	23,96	18,80	36,78	15,61	3,52
2000	176,62	4,02	100.001	29,15	24,90	45,32	21,17	2,51
2001	288,19	26,67	135.906	47,00	16,93	36,43	17,07	0,22
2002	622,59	165,73	174.669	51,22	23,75	45,59	20,80	0,24
2003	741,38	301,57	192.669	42,35	26,20	67,91	26,23	0,23
2004	472,22	122,77	223.636	47,57	14,65	72,97	36,63	0,27
2005	544,63	177,88	225.388	53,84	15,37	87,53	47,89	0,27
2006	562,92	230,47	257.151	70,54	19,23	67,49	34,59	0,30
2007	920,81	379,19	268.414	52,20	23,18	77,80	42,08	0,31
2008	1025,95	537,22	296.570	56,04	29,04	79,15	48,71	0,15
2009	1129,34	655,54	324.080	61,39	40,36	80,42	50,09	4,93
2010	1149,96	780,33	340.054	75,25	46,40	72,45	57,68	0,17
2011	1193,47	807,40	360.729	82,10	49,22	81,20	64,69	8,09
2012	1273,68	882,59	399.025	86,68	57,86	85,45	78,39	0,34
2013	1327,30	942,94	420.445	69,31	58,51	89,67	88,71	11,26
2014	609,93	505,47	442.927	70,95	64,95	76,57	61,62	12,83
2015	609,34	525,98	444.518	75,10	68,17	78,64	66,49	13,67
2016	675,08	561,55	466.240	76,13	80,72	81,26	68,04	15,47
2017	1026,37	686,70	507.159	64,50	82,49	92,73	74,65	19,55
2018	1153,68	817,65	545.022	81,14	84,39	76,65	60,24	0,41
2019	745,47	437,94	571.372	81,66	42,27	76,42	66,46	25,36
2020	796,08	552,63	597.847	84,81	43,91	78,19	67,54	28,33
2021	749,99	576,18	619.573	87,52	45,78	79,96	68,41	31,23

Tabela 5.15 – Quantidade de Equipamentos (cenário 4)

Ano	Movimentações Unidades/Ano	RECURSOS EXISTENTES			
		portêiner	carreta	stacker	van
1997	67.819	2	4	2	3
1998	69.574	2	4	2	3
1999	77.879	2	4	2	3
2000	100.001	2	4	2	3
2001	135.906	2	5	3	3
2002	174.669	2	5	3	3
2003	192.669	2	5	3	3
2004	223.636	4	5	3	3
2005	225.388	4	5	3	3
2006	257.151	4	8	5	3
2007	268.414	4	8	5	3
2008	296.570	4	8	5	3
2009	324.080	4	8	5	3
2010	340.054	4	8	7	3
2011	360.729	4	8	7	3
2012	399.025	4	8	7	3
2013	420.445	4	8	7	3
2014	442.927	4	12	9	3
2015	444.518	4	12	9	3
2016	466.240	4	12	9	3
2017	507.159	4	12	9	3
2018	545.022	4	16	12	3
2019	571.372	6	16	12	3
2020	597.847	6	16	12	3
2021	619.573	6	16	12	3

5.4. Modelo Econômico

O modelo econômico proposto será utilizado para determinar a viabilidade do terminal em questão. Usando-se os dados obtidos do modelo de simulação, serão computados custos de mão-de-obra, aquisição e manutenção de equipamentos, custos operacionais e também as receitas obtidas da operação do terminal durante o tempo de concessão.

Serão mostradas primeiramente todas as considerações utilizadas no modelo econômico, isto é, valores adotados, metodologia de cálculo, etc.

A seguir serão mostrados os resultados do modelo financeiro para cada um dos 4 cenários, avaliando também o impacto que programas de financiamento podem acarretar na taxa interna de retorno do terminal.

5.4.1. Mão de Obra

Para o cálculo dos custos anuais com mão de obra, será considerada a tabela 5.16, que mostra a quantidade de funcionários por equipamento, para um sistema de 24 horas por dia de trabalho, isto é, 3 turnos diários.

Tabela 5.16 – Custos com Mão de Obra

Mão de Obra			
	Funcionários por Equip.	Piso + Gratificação + Encargos por Mês	Total por Equipamento por Ano
Porteiner	6	1.550,00	111.600,00
Stacker	6	1.380,00	99.360,00
carreta	2,3	900,00	24.840,00
vans	2,3	780,00	21.528,00

No caso do portêiner e do stacker são necessários 2 funcionários por turno de trabalho. Para os equipamentos que utilizam motoristas, é possível estender o turno de trabalho, ajustando o sistema de descanso semanal, de forma que teríamos 2,3 funcionários por dia de trabalho.

5.4.2. Remuneração à Autoridade Portuária

O arrendatário do terminal deverá remunerar a autoridade portuária, e para isso foi definido um valor fixo e um variável.

O valor fixo corresponde à área disponível para o terminal. Esse valor é mostrado na tabela 5.17, que representa o caso em que ocorre uma expansão de área devido ao aumento de movimentação (uso de equipamentos de empilhamento de 3 alturas). Caso se use empilhadeiras com capacidade para 5 alturas, o valor não será alterado pois não teremos expansão de área útil.

O valor variável corresponde a uma remuneração por contêiner ou veículo movimentado no terminal.

Tabela 5.17 – Remuneração à Autoridade Portuária

Remuneração APPA		
Remuneração por Área Arrendada		
	Ano	R\$
de	1997	
até	2013	129.750,00
de	2014	
até	2021	359.500,00
Remuneração por Movimentação		
		R\$
cont 20 ft		20,00
cont 40 ft		20,00
veículos		1,50

Fonte: Edital de Licitação

5.4.3. Remuneração do Terminal

O arrendatário será remunerado por suas atividades, pelas empresas que utilizarem seus serviços. Os valores definidos estão descritos abaixo, na tabela 5.18.

Tabela 5.18 – Remuneração do Terminal

Remuneração do Terminal	
Tarifas	
por contêiner	R\$
20	180
40	200
por veículos	25

Fonte: Edital de Licitação

5.4.4. Valor Residual dos Equipamentos

Entende-se por valor residual como sendo o valor que um certo equipamento terá caso ainda possua vida útil ao final do 25º ano de operação, e que poderá então vendido por tal valor.

Para cada um dos diferentes cenários, teremos diferentes vidas úteis dos equipamentos e, portanto, diferentes cronogramas de compra dos equipamentos. Será mostrado o cálculo para um dos cenários e em seguida, um resumo com o resultado de cada um dos cenários propostos.

Foi considerado que, a partir do preço pago por um bem novo, tem-se uma redução do seu valor de 20% no ato da compra, e que o restante vai diminuindo linearmente ao longo da sua vida útil.

Na tabela 5.19 temos o cronograma de aquisições para o cenário em questão. Nota-se que em função desse cronograma de compra do terminal, temos aquisição de novos equipamentos ou então reposição dos antigos. Dependendo de quando são comprados teremos valores residuais diferentes. Esse cálculo é mostrado na tabela 5.20.

Tabela 5.19 – Cronograma de Compras (cenário 1)

Investimentos		porteineres	stackers	carretas	vans
Ano de Compra	vida útil	25	10	10	5
anos					
1997		2	3	5	3
2002		0	0	0	3
2003		0	1	0	0
2004		1	1	2	0
2005		1	0	0	0
2007		0	5	8	3
2009		0	0	2	0
2011		0	1	2	0
2012		0	0	0	3
2013		0	1	0	0
2014		2	1	2	0
2017		0	9	12	3
2019		0	0	2	0

Por exemplo no caso dos portêineres, por terem vida útil de 25 anos, temos compra em 1997 (2 unidades), 2004 (1 unidade), 2005 (1unidade) e 2014 (2 unidades). Nesses anos os equipamentos são comprados devido a necessidades operacionais, como pode ser visto na tabela 5.9. Já no caso das vans, pela tabela 5.9 sempre teremos 3 unidades ativas. Por ser um equipamento com 5 anos de vida útil, temos a compra de 3 unidades a cada 5 anos, que é a reposição de recursos que atingiram o final de sua vida útil.

Assim, de acordo com a data de compra, teremos um certo valor residual, cujo cálculo é mostrado na tabela 5.20.

Tabela 5.20 – Cálculo do Valor Residual (cenário 1)

Perda inicial = 20% depois depreciação cte					
Depreciação - Cálculo do valor Residual					
porteiner	anos de uso quant resíduo	Aquisições realizadas em datas diferentes			Valor Residual
		25 2 0,00	19 2 2.626.560,00	9 2 7.004.160,00	
stackers	anos de uso quant resíduo	10 7 0,00	9 2 72.000,00	5 9 1.620.000,00	9.630.720,00 1.692.000,00
carretas	anos de uso quant resíduo	8 2 54.400,00	5 12 816.000,00	3 2 190.400,00	1.060.800,00
vans	anos de uso quant resíduo	5 3 0,00			0,00
Total					12.383.520,00

5.5. Determinação da Taxa interna de Retorno

Para determinação da taxa interna de retorno de cada cenário proposto, foi seguida a metodologia que será detalhada a seguir, que consiste basicamente de teorias de engenharia financeira aplicada ao estudo de caso.

Inicialmente têm-se as tabelas que possuem resultados do modelo de simulação para os vários anos de operação (tabela 5.8). Esta tabela mostra os índices de ocupação de cada um dos recursos para o cenário 1, de forma que pode-se calcular os custos operacionais do terminal.

A seguir, de acordo com o cronograma de compras estabelecido pelo dimensionamento global do terminal (tabela 9.1 do anexo B), calcula-se o valor

residual dos equipamentos que ainda possuem vida útil ao final do arrendamento (tabela 9.2 do anexo B).

Considerando ainda custos como energia elétrica, remuneração à autoridade portuária e as receitas que são obtidas em função das movimentações anuais, pode-se montar um fluxo de caixa que é o resultado financeiro do terminal (tabela 9.3 do anexo B).

Com este fluxo de caixa, obtêm-se então a taxa interna de retorno, que representa a remuneração do capital utilizado nos investimentos feitos no terminal. Isto pode ser visualizado por exemplo para o cenário 1, nas tabelas 9.1, 9.2 e 9.3 do Anexo B. Uma taxa de retorno acima de zero, representa ganho na atividade em que se investiu. No entanto, essa taxa deve ser maior que a taxa de mercado com a qual poder-se-ia obter remuneração do capital investido. No caso do cenário 1, a taxa interna de retorno foi de 21,62%. Assim o ganho real é essa taxa interna menos o juros de mercado. Essa consideração nada mais é do que levar em conta um custo de oportunidade sobre o capital disponibilizado ao investimento.

Para os outros cenários a explicação é análoga, de forma que temos a tabela 5.21 como resumo dos resultados obtidos.

Além do cálculo da taxa interna de retorno para cada um dos 4 cenários, foi proposto ainda uma análise da variação desse índice quando for possível utilizar algum tipo de sistema de financiamento. Foi proposto que os grandes investimentos como compras de equipamentos e ampliações do terminal, pudessem ser pagas em 10 (dez) anos com juros anuais de 15%.

Tabela 5.21 – Resumo dos resultados obtidos

	T. Máx. Fila (horas)	Empilhamento	T.I.R. sem Financiamento	T.I.R. com Financiamento
Cenário 1	8	3	21,62%	38,94%
Cenário 2	8	5	20,71%	34,17%
Cenário 3	16	3	22,95%	47,06%
Cenário 4	16	5	23,44%	46,67%

Assim temos um aumento da taxa interna de retorno do investimento, pois, o montante de capital necessário diminui, mudando o fluxo de caixa de forma a equilibrar melhor os gastos. Os financiamentos do tipo BNDES, além de mudarem consideravelmente a viabilidade do terminal, facilitam pois no início da operação seriam necessário um elevado investimento, de forma que com os financiamentos temos uma melhor distribuição dos gastos evitando grandes valores negativos em certos anos de operação, como pode ser visto nas tabelas 9.3 e 9.4 (cenário 1), 9.7 e 9.8 (cenário 2), 9.11 e 9.12 (cenário 3) e nas tabelas 9.15 e 9.16 (cenário 4), todas presentes no Anexo B.

5.6. Análises dos Cenários

Na tabela 5.21 observa-se o comportamento da taxa interna de retorno de acordo com as variações da altura de empilhamento no pátio e de acordo com os critérios de tempos máximos em fila para os navios.

Tem-se nos cenários 1 e 3 e nos cenários 2 e 4, respectivamente:

3 alturas com 8 horas de tempo em fila (cenário 1) e 3 alturas com 16 horas de tempo em fila (cenário 3);

5 alturas com 8 horas de tempo em fila (cenário 2) e 5 alturas com 16 horas de tempo em fila (cenário 4);

Podemos notar que nos cenários 1 e 3 não se obtém grandes vantagens financeiras em se duplicar o tempo de espera dos navios, isto é, em se piorar esse nível de serviço.

Comparando-se os cenários 1 com 2 e 3 com 4, também não existem grandes vantagens em se utilizar equipamentos de empilhamento com capacidade de 5 alturas pois, além de caros, não existe uma demanda grande o suficiente para justificar tal equipamento. O custo por área arrendada não é tão alto assim e tal equipamento se justificaria quando não fosse mais possível expandir áreas de pátio. Além disso, os equipamentos de empilhamento com maior capacidade possuem menor velocidade de deslocamento de forma que a quantidade necessária deles é maior que no caso dos de 3 alturas.

No entanto quando se compara os cenários 2 com 4, isto é a utilização de equipamentos de 5 alturas com 8 ou 16 horas de espera em fila por navio, tem-se uma certa vantagem. Isso ocorre pois os navios podem esperar mais tempo em fila. Em consequência no dimensionamento dos equipamentos, tem-se uma menor quantidade de equipamentos de empilhamento. Assim, caso existisse alguma restrição quanto a ampliação do pátio, seria bastante atrativo ao operador do terminal usar tais equipamentos, desde que o critério de tempo máximo em fila por navio fosse de 16 horas.

Em todos os cenários, pode-se notar que os índices de utilização do terminal são muito altos nos últimos anos de operação. Isso indica que para as movimentações previstas em tais anos, a quantidade de berços é o recurso que limitará o terminal. Como nem sempre é possível alocar mais que três ou quatro portêineres por navios, será necessária uma expansão no número de berços de atracação e conseqüentemente no número de portêineres disponíveis nesse novo arranjo.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta pesquisa tratou da modelagem de um terminal que movimentava contêineres e veículos, utilizando para aplicação do modelo de simulação criado, dados e informações do Terminal de contêineres e Veículos do Porto de Paranaguá.

O estudo de caso, ou seja, a aplicação do modelo, corresponde ao período de arrendamento que uma empresa terá para explorar um terminal de movimentação de carga. O modelo fornece resultados operacionais e com eles, é possível estimar custos operacionais, quantidade de recursos e suas respectivas vidas úteis. Com todas essas informações, foi possível criar uma série de planilhas que foram utilizadas para calcular o custo do terminal e sua taxa interna de retorno em função da remuneração proposta pela autoridade portuária.

Com toda análise é possível avaliar a viabilidade ou a inviabilidade do terminal, variando-se demanda, tarifa e também características técnicas, como foi mostrado no capítulo anterior. Nota-se que para ser vantajoso investir em equipamentos mais caros, seria necessário uma maior movimentação do terminal e que esse caso, teríamos uma restrição técnica que é a quantidade de berços existentes.

A escolha de utilizar técnicas de simulação justifica-se pelo grande número de trabalhos existentes com este objetivo, mas que poucos levam em

consideração um número tão grande de variáveis, permitindo avaliar o terminal como um todo, desde recursos ligados diretamente aos navios, até recursos internos que aumentam a eficiência do terminal como um todo. Outro motivo foi a possibilidade de incorporar fatores aleatórios que influenciam muito no resultado final.

Testando-se variações de cenários, pode-se dimensionar ano a ano a real necessidade de recursos que do terminal, permitindo assim obter-se uma racionalização de recursos e como consequência direta, uma maior taxa interna de retorno do terminal.

No entanto, é possível incorporar a esta pesquisa uma série de melhorias, como por exemplo:

- Implementar ao modelo mais berços de atracação, tornando assim o modelo mais flexível, de forma que possa atender a maiores demandas de movimentação;

- Implementar outras tecnologias de pátio como transtêineres e sistemas mecanizados, que iriam acarretar custos maiores mas iriam aumentar a capacidade de movimentação de pátio do terminal;

- Efetuar mais testes com uma maior variação das características técnicas e operacionais dos equipamentos utilizados na movimentação de contêineres, podendo avaliar tipos de arranjos técnicos em função de condições operacionais, demanda do terminal e valor que pode ser cobrado.

7. BIBLIOGRAFIA

- ADLER, H. A. - **Avaliação Econômica de Sistemas de Transporte**. Livros Técnicos e Científicos Editora, 1978.
- APPA - Administração dos Portos de Paranaguá e Antonina, - **Editais de licitação para o arrendamento de instalações portuárias, localizadas no Porto de Paranaguá**, Edital no. 009/97, Paraná, 1997.
- BALAU, R. M. S. C. e SOTELO, F. e BRINATTI, M. A. e BOTTER, R. C., (1997), **Análise da Viabilidade Econômico Operacional de Investimentos na Privatização do Setor Portuário : Aplicação no Caso da Licitação de um Terminal de Contêineres**, SOBENA.
- BALCI, O. - **Principles of simulation model validation, verification, and testing**. Transactions of the Society for Computer Simulation International, Vol.14 No. 1, March 1997, 3-12.
- BOTTER, R.C., (1985), **Planejamento Portuário : Modelo para Análise Operacional do Sistema Porto Associado a Níveis de Serviço**, Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Naval. EPUSP.
- BOTTER, R.C. E ROQUE, J.R.R. **A Modernização dos Portos no Brasil XIV Congresso Panamericano de Ingenieria Naval**, fls. 134 dos Anais, 13 a 16 de junho de 1995, Lima, Peru.
- BRINATI, M.A.(1985) **Modelos de Fila para Terminais Marítimos de Carga a Granel**, Tese de Livre Docência, Departamento de Engenharia Naval. EPUSP.
- BRUZONNE, A. E SIGNORILE, R. (1998) – **Simulation and Genetic Algorithms for Ship Planning and Shipyard Lay-out**, Simulation, Vol. 70, No. 2, August, 74-83
- CHOWDHURY, K.H. - **Simulation in marine transportation system**. Marine Technology, Vol. 26, No. 1, 1989, 74-85.
- COCHRAN, J.K. e LIN, L. - **Application of computer simulation to freight transport systems**. Journal of Operational Research Society, Vol. 40, 1989, 433-441.

- DARZENTAS, J. e SPYROU, T. - **Ferry traffic in the Aegean Islands: a simulation study**. Journal of Operational Research Society, Vol. 47, 1996, 203-216.
- EDMOND, Eric D. **Operating Capacity of Container Berths for Scheduled Services by Queue Theory**. The Dock & Harbour Authority. Londres, novembro, 1975.
- EHRlich, P.J. - **Engenharia Econômica, Avaliação e Seleção de Projetos de Investimento**. Editora Atlas S.A., São Paulo, 1989.
- EOM, S.B.; LEE, S.M.; KIM, E.B. e SOMARAJAN, C. - **A survey of decision support system applications (1988-1994)**. Journal of Operational Research Society Vol. 49, 1998, 109-120.
- GAMBARDELLA, L., RIZZOLI, A., ZAFFALON, M., (1998) – **Simulation and Planning of an Intermodal Container Terminal**, Simulation, Vol. 71, No. 2, August, 107-116
- GLOBAL Comércio Exterior e Transporte, DMG World Media LTDA, Ano 3, Número 28,29,30,32 - 2000
- GUALDA, Nicolau D.F. **Modeling the Airport Terminal Building for Capacity Evaluation Under Level-of -Service Criteria**. Ph.D. Dissertation. The University of Texas at Austin. Austin, maio 1978.
- HARRINGTON, T.C.; LAMBERT, D.M.; e STERLING, J.U. - **Simulating the financial impact of marketing and logistics decisions**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, Vol. 22 No. 7, 1992, 3-12.
- KNEPELL, P.L. e ARANGNO, D.C. - **Simulation validation: a confidence assessment methodology**. IEEE Computer Simulation Press, Los Alamitos - California, 1993.
- KONDRATOWICZ, L.J. - **Simulation methodology for intermodal freight transportation terminals**. Simulation, July 1990, 49-57.
- LEHANEY, B. e PAUL, R.J. - **The use of soft systems methodology in the development of a simulation of out-patient services at Watford General Hospital**. Journal of Operational Research Society, Vol. 47, 1996, 864-870.
- LIMA Jr., O.F. - **Metodologia para concepção e dimensionamento de terminais multimodais de pequeno e médio porte**. Dissertação apresentada à EPUSP para obtenção do título em Mestre em Engenharia, São Paulo, 1982.

- Lloyds Shipping Economist (1998) Colchester,GB, Lloyd's of London Press, Vol 30-3
- McCLELLAND, M. K. - **Using simulation to facilitate analysis of manufacturing strategy**. Journal of Business Logistics, Vol. 13, No. 1, 1992, 215-237.
- MELLO, S. F. de e CRUZ W. E. e BRINATI, M. A. e BOTTER, R. C., (1986), **Análise Técnico-Operacional do Terminal de Contêineres do Porto de Santos**, SOBENA.
- MENDES, A. B. - **Modelo econômico-operacional para o dimensionamento do transporte intermodal de cargas pela hidrovia Tietê-Paraná**. Dissertação apresentada à EPUSP para obtenção do título em Mestre em Engenharia, São Paulo, 1999.
- MERKURYEV, Y., TOLUJEW, J., BLUMEL, E. (1998) – **A Modeling and Simulation Methodology for Managing the Riga Harbour Container Terminal**, Simulation, Vol. 70, No. 2, August, 84-95
- MORRIS, W. - **On the art of modeling**. Management Science, Vol. 13, No. 12, 1967, B-707 - B-717.
- NEVINS, M., MACAL, C., LOVE, R. (1998) – **Simulation, Animation and Visualization of Seaport Operations**, Simulation, Vol. 71, No. 2, August, 96-106
- PEDGEN, C.D.; SHANNON, R.E. e SADOWSKI, R.P. - **Introduction to simulation using SIMAN**. Editora McGraw-Hill, Inc., New York, 1995.
- PIDD, M. - **Modelagem empresarial: ferramentas para tomada de decisão**. Editora Bookman, Porto Alegre, 1998.
- STOPFORD, M. (1988) **Maritime Economics**, Ed. Unwin Hyman, ISBN 0046230165.
- THIERS, G., JANSSENS, G. (1998) – **A Port Simulation Model as a Permanent Decision Instrument**, Simulation, Vol. 71, No. 2, August, 117-125
- TONDO, C. M. – **Simulação e análise operacional do terminal de contêineres do Porto de Santos**. Dissertação apresentada à EPUSP para obtenção do título em Mestre em Engenharia, São Paulo, 1984.

UNCTAD, **Megamultimodal Transport Operators and Mega Operators**, UNCTAD/SDD/MT/4, 25 Jan 94.

UNCTAD, **Operating and Maintenance Features of a Container Handling System**, UNCTAD/Ship/622, 1988. (no ISBN).

UNCTAD, **Port Development Handbook**, UNCTAD, TD/B/C.4/175, Sales n° E.77.II.d.8, 1978, UNITED Nations Publications. (no ISBN).

WHITE, R.P. **The use of Waiting Line Theory Planning Expansion of Facilities. The Dock & Harbour Authority**, Londres, fevereiro 1972.

8. ANEXO A - MODELO DE SIMULAÇÃO

8.1. Descrição

A seguir será apresentada uma introdução do modelo de terminal de contêineres e veículos, bem como seu funcionamento básico e as principais características funcionais.

O modelo mostrará as principais características do funcionamento e da operação do terminal de contêineres.

8.2. O Modelo Lógico

Para começar, deve ser claramente entendido que o terminal trabalha com contêineres e veículos, o que gera naturalmente uma distinção entre suas operações e funções e, portanto, eles serão tratados caso a caso. Tanto um quanto o outro são o motivo da existência do terminal o qual será tratado como um sistema fechado.

Todos os processos dependem das pilhas de exportação e importação de contêineres e dos pátios de veículos. Elas aumentam ou diminuem, dependendo da operação existente. Temos então 4 estoques, que possuirão siglas para seu melhor entendimento, a saber :

pilha de importação de contêineres = PIC

pilha de exportação de contêineres = PEC

pilha de importação de veículos = PIV

pilha de exportação de veículos = PEV

É necessário conhecer a porcentagem de contêineres de 20 e 40 pés, para cada ano de operação. Os tempos médios de carga, descarga e movimentação dos contêineres tanto nas operações ligadas a navios, quanto as ligadas às empilhadeiras e as ligadas aos caminhões, se comportam de acordo com as mesmas distribuições. Assim o modelo irá sortear na simulação uma quantidade de contêineres de 20 e 40 pés, de forma a obtermos a verdadeira ocupação do pátio de empilhamento. Para as movimentações de carga, tanto os contêineres de 20 quanto os de 40 pés serão tratados de mesma forma, já que os tempos operacionais não dependem do tamanho do contêiner.

Durante o processo de simulação, as pilhas de contêineres de importação e exportação e os pátios de importação e exportação de veículos terão seus valores alterados por processos de carga e descarga, que são iniciados por entidades do sistema. Tais entidades podem ser divididas em 4 categorias:

navio porta-contêiner = NPC

navio roll-on roll-off = NRR

caminhão de contêineres = CCT

caminhão cegonha = CCG

Ainda complementando o modelo, existem os processos internos ao terminal que não modificam o número de entidades que chegam ou saem do sistema (terminal) mas que auxiliam as entidades externas (navios e caminhões) a efetuar a transição existente entre eles e a pilha. São, por exemplo, os berços, portêineres, empilhadeiras (chamadas aqui de stackers), carretas, motoristas e vans. Serão chamados genericamente de recursos e especificamente de :

- berços (BE);
- portêineres (PO);
- stackers (ST);
- carretas (CA);
- motoristas (MO);
- vans (VA) etc.

Existem ainda, dentro do modelo, locais por onde as entidades transitam, durante a animação. Estes locais são chamados **Stations**. Fora isso, há atributos (propriedades intrínsecas à entidade), variáveis, expressões, figuras entre outros.

Abaixo encontra-se um esquema do sistema (terminal).

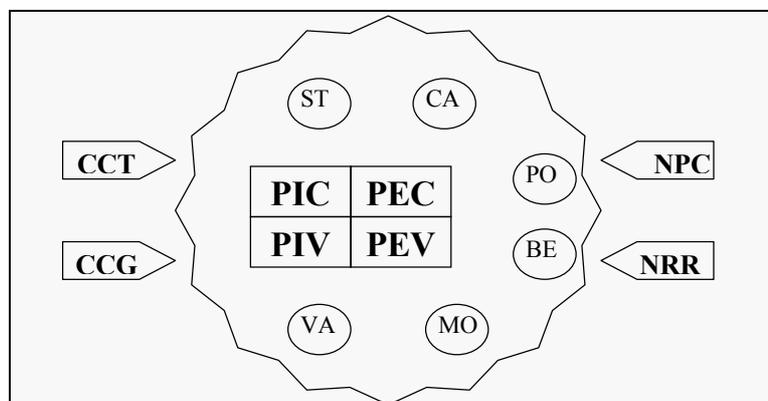


Figura 8.1- O Sistema (Terminal)

Do sistema entram ou saem unidades (contêineres ou veículos) por apenas quatro meios ou entidades externas, como será compreendido mais tarde : navios porta-contêineres, navios ro-ro (de veículos), caminhões de contêineres e caminhões cegonha (de veículos). Os recursos do terminal e as

entidades internas ajudam estas entidades externas a levar suas unidades até as pilhas e vice-versa.

Abaixo serão explicadas em detalhes as lógicas implementadas no modelo, que foram a dos navios, dos berços, dos pátios, dos caminhões e das cegonhas.

8.3. A Lógica dos Navios

A lógica dos navios se resume na criação dos mesmos e na escolha dos berços de atracação. O problema aqui reside no fato de que navios porta-contêineres podem atracar em qualquer um dos berços existentes, desde que estes estejam disponíveis para tal, mas os navios ro-ro só podem atracar no segundo berço devido ao menor número de navios deste tipo que chegam ao porto (seria desperdício de recursos financeiros preparar ambos os berços para uma atracação de navio ro-ro).

Portanto, a seguir está explicado como são feitos estes processos de criação de navios e escolha de berços.

8.3.1. Chegada de Navios

A entrada dos navios porta-contêiner e ro-ro (respectivamente NPC e NRR) se dão pela baía de espera do porto. Há a criação de apenas uma entidade (***create***) e esta será duplicada (***duplicate***). Uma das entidades volta para ser duplicada após um período de tempo (***delay***). À outra entidade são atribuídos (***assign***) certos atributos (propriedades inerentes às entidades) como tempo de

chegada e o tipo de navio (os NPC são classificados em tipo 0 e os NRR em tipo 1), que se dirige à **station** baía e dá seguimento ao modelo.

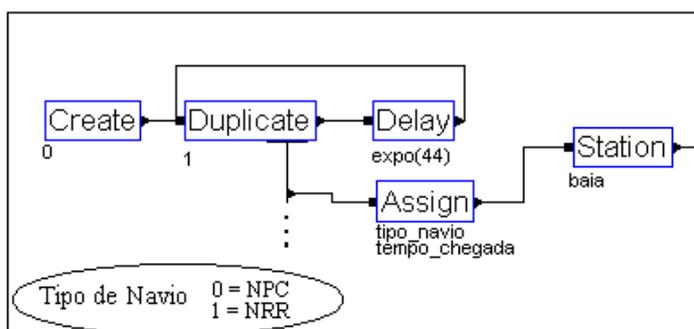


Figura 8.2 - Criação dos Navios

8.3.2. Escolha dos berços

Em seguida eles são separados (**choose**) de acordo com o seu tipo. Os NPC vão para a **station** baía_1 e os NRR vão para a **station** baía_2. Neste momento cada entidade ganha seus atributos (**assign**) como quantidade de descarga, de carga (contentores para NPC e veículos para NRR), além de receberem suas devidas figuras de animação.

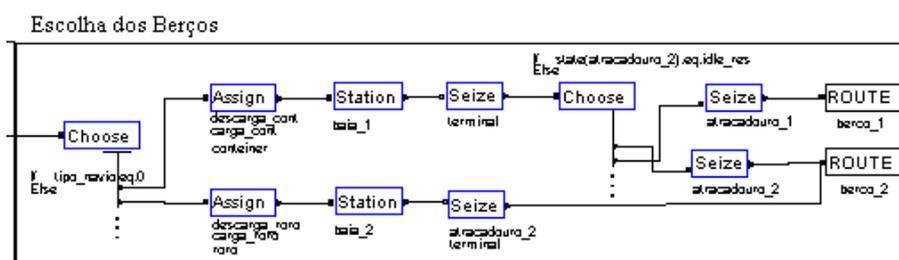


Figura 8.3 - Escolha do Berço de Atracação

No primeiro caso, a entidade NPC faz uma avaliação (**seize**) do estado do recurso terminal. Se este recurso estiver ocupado (**busy**) então a entidade

forma uma fila, perto da região da **station** baia. Se estiver livre (**idle**) então a entidade segue em frente para fazer a escolha do berço de atracação. O segundo berço de atracação possui prioridade sobre o primeiro berço. Se o recurso atracadouro_2 estiver livre (**idle**) então a entidade NPC vai para a **station** berço_2 (**route** berço_2). Caso contrário, ela verifica a disponibilidade do atracadouro_1. Se este estiver livre (e só pode estar pois quando o recurso terminal sinalizou **idle** significava que um dos atracadouros, 1 ou 2, estava livre) então NPC vai para a **station** berço_1 (**route** berço_1).

No segundo caso, a entidade NRR faz uma avaliação (**seize**) do estado do recurso atracadouro_2 e do recurso terminal, respectivamente. Se estes recursos estiverem ocupados (**busy**) então a entidade forma uma fila, perto da região da **station** baia. Se estiverem ambos livres (**idle**) então a entidade vai para a **station** berço_2 (**route** berço_2).

8.4. A Lógica dos Berços

Há muita semelhança entre os dois berços, porém o berço 2 requer uma lógica a mais que é a do navio ro-ro. Num primeiro passo vamos nos ater à lógica do berço, 1 ou 2, quando este está ocupado por um navio porta-contêiner.

8.4.1. Utilização dos Berços por Navios Porta-Contêineres

Nesta hora deve haver uma decisão do número de portêineres que irão descarregar e carregar o navio. Será definido aqui que nenhum navio poderá trabalhar com mais de 2 portêineres por razões de arranjo físico (não foi

observado navios que tivessem tamanho suficiente para terem 3 portêineres trabalhando em cima dele), o que nos leva a um número máximo de 4 portêineres (2 por berço). Inicialmente o terminal terá 3 portêineres disponíveis, mas isto poderá mudar nas avaliações das estatísticas de tempos, se estas mostrarem que é melhor aumentar o número de portêineres ou não.

Portanto, o navio irá trabalhar com 1 ou 2 portêineres, dependendo da sua disponibilidade na hora da atracação. Feita a escolha do número de portêineres, não será possível para o navio que estiver usando apenas 1 portêiner “pegar” outro de um navio que acabou de usar 2 portêineres e foi embora.

Após o processo de escolha do número de portêineres, há os processos de descarga e em seguida o de carga de contêineres no navio, os quais serão detalhadamente descritos abaixo.

8.4.2. Escolha do número de portêineres.

Observada as explicações acima, a entidade NPC escolhe o número de portêineres (***choose***) avaliando se a variável portêiner é maior ou igual a 2 (inicialmente ela é 3). Neste caso ela vai para a parte lógica de 2 portêineres, caso contrário ela vai para a parte lógica de 1 portêiner.

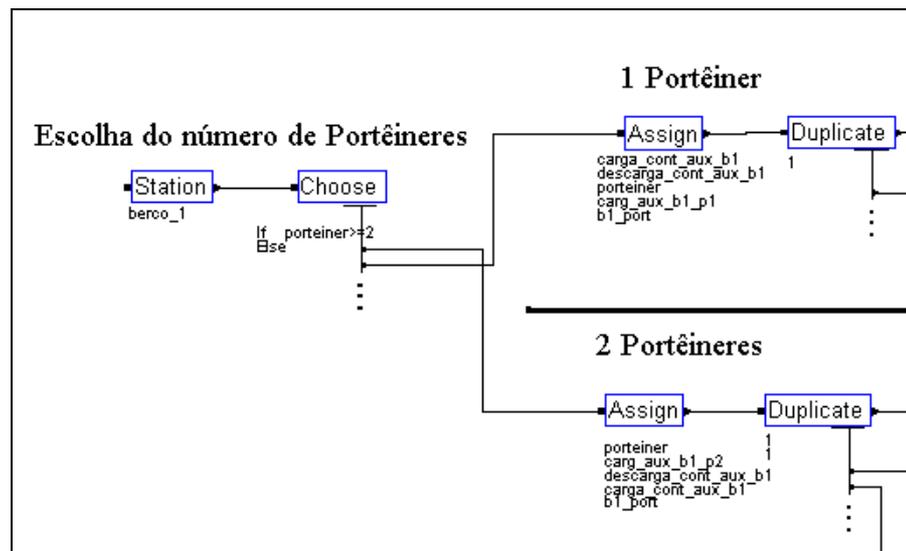


Figura 8.4 - Determinação do número de portêineres

Cabe lembrar aqui que as lógicas daqui para frente são as mesmas tanto para o berço 1 quanto para o berço 2 quando estes possuem navios porta-contêineres. Porém só faremos referência ao berço 1, cabendo ao leitor a devida distinção. Nesta fase são atribuídos valores (*assign*) à algumas variáveis auxiliares como :

- carga_cont_aux_b1 = carga_cont (variável auxiliar para a carga no berço 1);
- carg_aux_b1_p1 = carga_cont (variável auxiliar para a carga no berço 1 usando 1 portêiner);
- descarga_cont_aux_b1 = descarga_cont (variável auxiliar para a descarga no berço 1);
- porteiner = porteiner - 1 (decrementa de um a variável que indica o número de portêineres que estão em uso);
- b1_port = 1 (número de portêineres que o recurso berço_1 está usando).

Em seguida a entidade NPC é duplicada: uma delas continuará sendo NPC e ficará esperando (*wait*) um sinal de liberação do navio que está na *station*

berço_1 usando 1 porteiner (*signal* libera_navio_b1_p1); a outra entidade é o pedido de descarga dos contêineres para 1 portêiner.

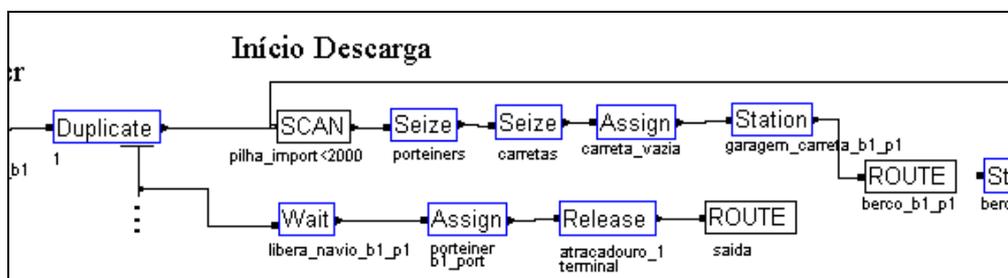


Figura 8.5 - Descarga dos Navios

8.4.3. O Descarregamento usando 1 Portêiner.

A entidade que chega nesta parte do modelo verifica (*scan*) se a variável pilha de importação de contêineres PIC possui menos de 3500 unidades (limite máximo de contêineres que a pilha pode ter, 2000 é um valor antigo para testes do modelo). Caso este número seja maior, a entidade pára e espera até que ele caia, o que só acontecerá se os caminhões de contêineres CCT estiverem levando embora algumas unidades. Em seguida a entidade verifica e chama (*seize*) o recurso portêiner (que com toda certeza existe pelo menos um disponível) e logo em seguida faz o mesmo com o recurso carretas. Estas podem ou não estar disponíveis. Se não estiverem, forma-se uma fila interna (*internal queue*). Caso contrário, é assinalada à entidade a figura de uma carreta vazia (*assign: picture carreta_vazia*) e que fica na *station* garagem_carreta_b1_p1. De lá ela caminha (*route*) até a *station* berço_b1_p1.

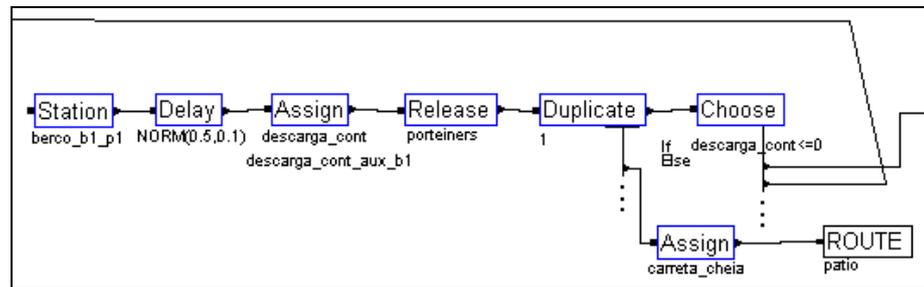


Figura 8.6 - Carregamento dos Caminhões

É dado um intervalo de tempo para o portêiner colocar o contêiner em cima da carreta (**delay**) e em seguida é assinalado (**assign**) o decremento de uma unidade tanto na variável auxiliar `descarga_cont_aux_b1` quanto no atributo `descarga_cont`.

O recurso portainer é liberado (**release**) e a entidade sofre nova duplicação (**duplicate**). À uma delas é assinalada a figura de carreta cheia (**assign: picture carreta_cheia**) que vai para a **station** patio (**route** patio) para fazer as animações de descarga do contêiner que ela recebeu. A outra verifica (**choose**) se o número de contêineres a descarregar `descarga_cont` é menor ou igual a 0, ou seja, se não há mais nada a descarregar. Neste caso ela inicia o processo de carga do navio NPC. Caso contrário ela volta ao início do processo de descarga, numa posição imediatamente anterior ao **scan** da pilha.

8.4.4. O Carregamento usando 1 Portêiner.

O carregamento dos contêineres no navio NPC começa fazendo uma verificação (**scan**) da pilha PEC. Se ela tiver mais que uma unidade, então a entidade segue em frente. Caso contrário ela espera até que algum caminhão CCT faça ela aumentar. Em seguida ela procura (**seize**) pelo recurso carretas. Se não estiverem disponíveis a entidade forma uma fila interna (**internal queue**), caso contrário à ela é assinalado (**assign**) o decremento de uma unidade das variáveis pilha_export, carga_cont e carga_cont_aux_b1.

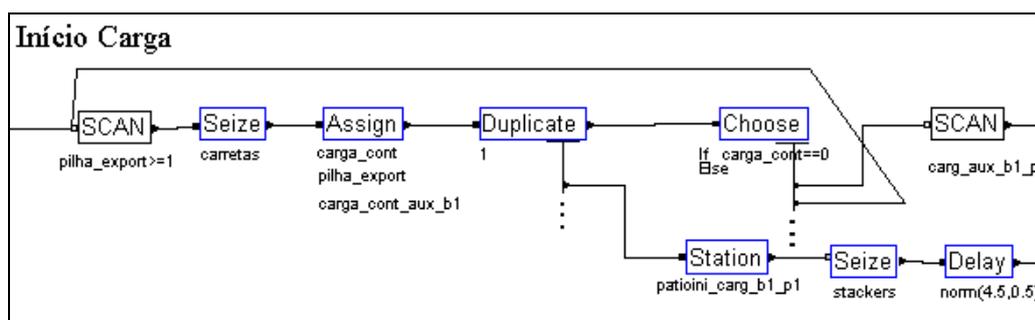


Figura 8.7 - Carregamento do Navio

Em seguida a entidade é duplicada (**duplicate**). Uma delas é o pedido de contêiner para carregar e portanto vai para a **station** patioini_carg_b1_p1, dando início a este pedido. A outra faz uma escolha (**choose**): se a variável carga_cont for igual a zero, significa que já foram feitos todos os pedidos de contêiner para carregar e portanto ela vai para o comando seguinte (**scan** carg_aux_b1_p1 < 1) onde ficará parada até que todos os contêineres pedidos tenham sido embarcados (que se dá no fim da lógica iniciada na **station** patioini_carg_b1_p1); caso contrário ela volta ao início do processo de carga, exatamente antes do comando **scan** da pilha PEC. Este processo de carga

termina quando, após todos os pedidos terem sido embarcados, o comando **scan** libera aquela entidade que estava parada nele. A entidade então passa pelo comando **signal** libera_navio_b1_p1 que manda um sinal para o comando **wait** libera_navio_b1_p1 que fora criado logo após o comando **duplicate** anterior ao início da descarga. Esta entidade então é destruída (**dispose**) e a entidade que estava parada no **wait** passa pelo **assign** que aumenta de 1 unidade a variável portêiner (há mais um portêiner livre) e torna nula a variável b1_port (o berço 1 está usando 0 portêineres).

A lógica da utilização dos berços por 2 portêineres é semelhante à lógica do berço usando apenas 1 portêiner, porém ela acontece em dobro, uma para cada portêiner, com algumas pequenas diferenças. Logo que foi feita a escolha do número de portêineres (**choose**), são assinaladas (**assign**) algumas variáveis:

carga_cont_aux_b1 = carga_cont (variável auxiliar para a carga no berço 1);

carg_aux_b1_p2 = carga_cont (variável auxiliar para a carga no berço 1 usando 2 portêineres);

descarga_cont_aux_b1 = descarga_cont (variável auxiliar para a descarga no berço 1);

porteiner = porteiner - 2 (decrementa de dois a variável que indica o número de portêineres que estão em uso);

b1_port = 2 (número de portêineres que o recurso berço_1 está usando).

Em seguida é feita uma duplicação (**duplicate**) da entidade NPC em três: uma delas continuará sendo NPC e ficará esperando (**wait** libera_navio_b1_p2)

um sinal (**signal**) de liberação do navio que está na **station** berço_1 usando 2 portêineres. Uma das outras entidades triplicadas é o pedido de descarga dos contêineres para o portêiner A, e a outra é o mesmo só que para o portêiner B.

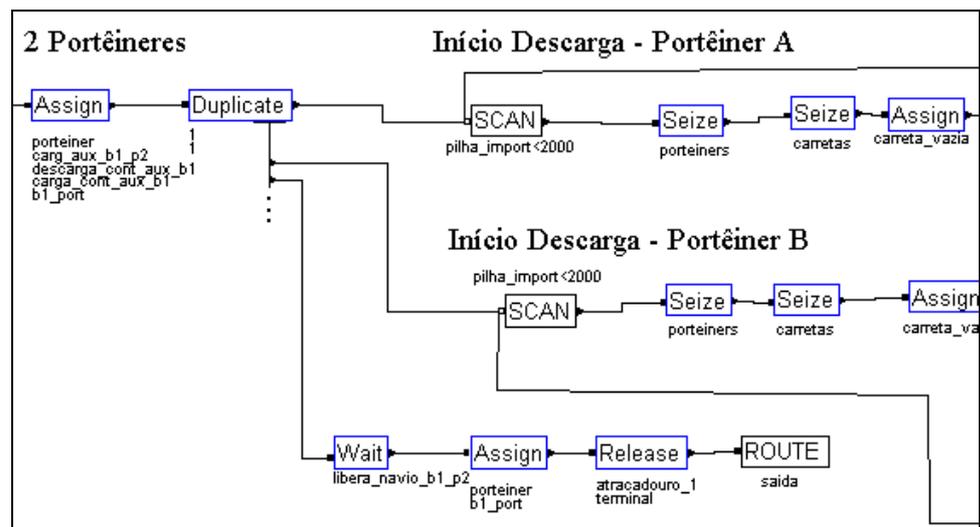


Figura 8.8 - Descarregamento do Navio (1 portêineres)

8.4.5. O Descarregamento usando 2 Portêineres

A lógica aqui é idêntica à descarga de contêineres usando 1 portêiner. A diferença está no comando **choose** que vem imediatamente antes do início da carga.

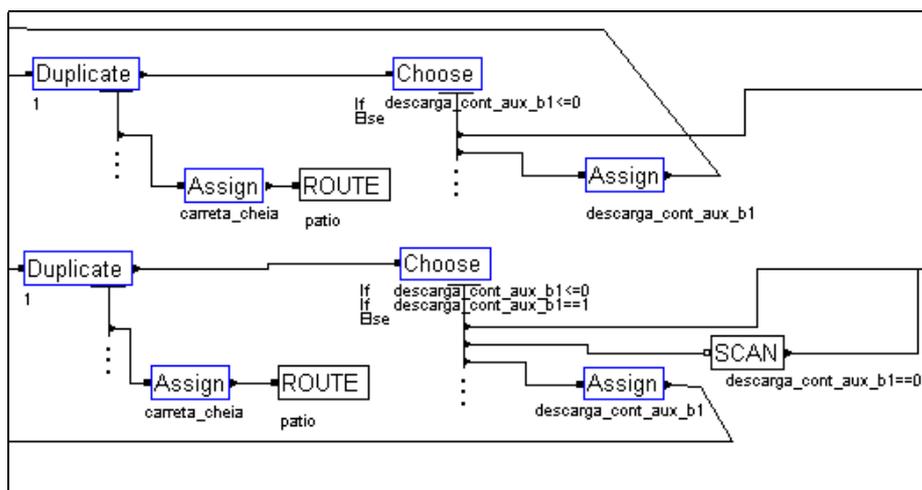


Figura 8.9 - Descarregamento do Navio (2 portêineres)

No **choose** de cima (portêiner A) é feita uma escolha : se a variável auxiliar `descarga_cont_aux_b1` for menor ou igual a zero, então ela segue para o processo de carga; caso contrário ela volta para o início da descarga, passando por um **assign** que decreenta de uma unidade aquela variável.

No **choose** de baixo (portêiner B), a escolha é mais complexa: se a variável `descarga_cont_aux_b1` for menor ou igual a zero, então ela segue normalmente para a lógica da carga; se a variável for exatamente igual a 1 então a entidade fica aguardando num comando **scan** até que a variável torne-se zero (o que ocorrerá em certo momento devido à entidade que está percorrendo a lógica do portêiner A) e então ela vai para o processo de carga normalmente. Caso contrário a entidade volta ao início da descarga, passando por um **assign** que decreenta de uma unidade a variável `descarga_cont_aux_b1`.

Esta complexidade a mais é para evitar que o processo de carga do portêiner B comece antes da descarga completa efetuada pelo portêiner A.

8.4.6. O Carregamento usando 2 Portêineres

Semelhantemente ao já dito acima, as lógicas são semelhantes para 1 ou 2 portêineres, só que em dobro. A diferença está novamente no **choose**, desta vez o que antecede o **scan** de fim de carga e que dá o sinal de liberação do navio.

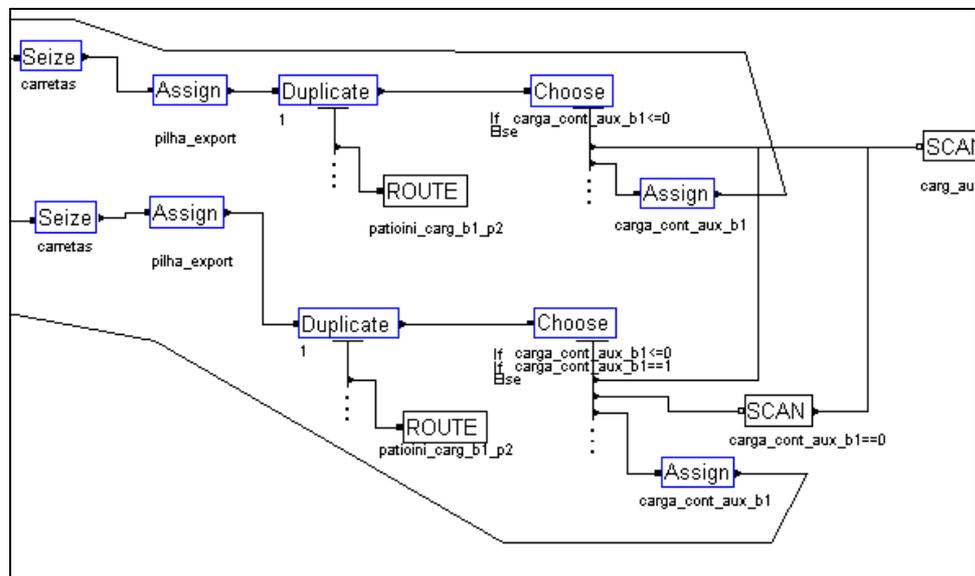


Figura 8.10 - Carregamento do Navio (2 portêineres)

No **choose** de cima (portêiner A) é feita uma escolha: se a variável `carga_cont_aux_b1` é menor ou igual a zero, a entidade segue e pára no **scan** esperando pelo fim da carga; caso contrário ela volta ao início da carga, passando por um **assign** que decrementa a variável em questão.

No **choose** de baixo (portêiner B), a escolha é mais complexa: se a variável `carga_cont_aux_b1` for menor ou igual a zero, então ela segue e pára no **scan** que sinaliza o fim da carga; se a variável for exatamente igual a 1 então a

entidade fica aguardando num comando **scan** até que a variável torne-se zero (o que ocorrerá em certo momento devido à entidade que está percorrendo a lógica do portêiner A) e então ela segue e pára no **scan** de verificação de fim de carga. Caso contrário a entidade volta ao início da carga, passando por um **assign** que decrementa de uma unidade a variável carga_cont_aux_b1.

Esta complexidade a mais é para evitar que o processo de carga do portêiner B mande um sinal para o navio ir embora mesmo antes do fim da carga completa do portêiner A.

8.4.7. Utilização do Berço 2 por Navios Ro-Ro

A lógica do berço 2 envolve uma ramificação a mais logo no início que é para separar os navios NRR (ro-ro) dos navios NPC (porta-contêiner). Existe um comando **choose** que faz esta separação. Em seguida começa o processo de descarregamento do NRR.

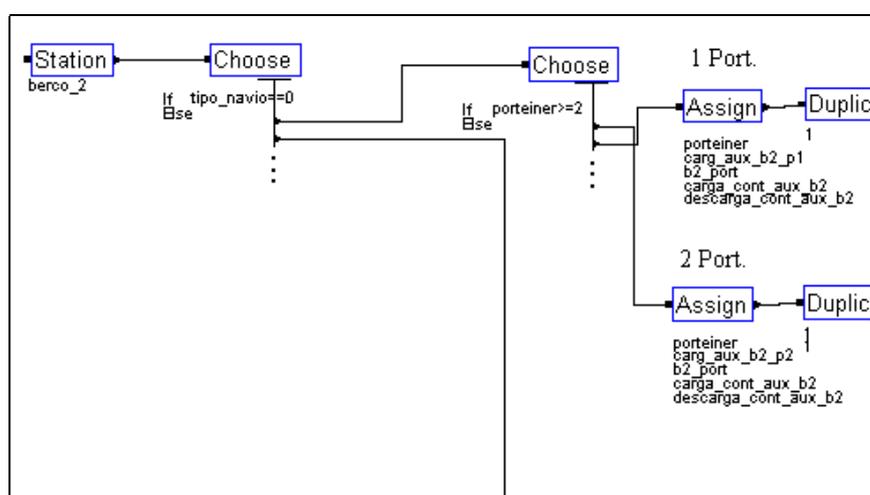


Figura 8.11 - Descarregamento do Navio (Roll On/Roll Off)

8.4.8. O Descarregamento do Navio Ro-Ro

Assim que o navio NRR foi escolhido, ele é duplicado (***duplicate***) onde uma das entidades para e espera no comando ***wait*** libera_navio_b2_oro até que seja dado o sinal (***signal***) de fim de carga. A outra entidade passa por um ***assign*** onde são assinaladas algumas variáveis importantes:

- capacidade_van = 8 (é o número máximo de motoristas que a van pode levar);
- carga_aux_oro = carga_oro (variável auxiliar da carga do navio ro-ro);
- descarga_aux_oro = descarga_oro (variável auxiliar da descarga do navio ro-ro);
- b2_port = 11 (indica o número de portêineres em uso pelo berço 2; como o navio ro-ro não usa portêineres, vale 11 pois tem dois dígitos fazendo aparecer um símbolo "*" que indicará o uso do berço por navios ro-ro);
- descarga_cont_aux_b2 = descarga_oro (segunda variável auxiliar da descarga do navio ro-ro);
- carga_cont_aux_b2 = carga_oro (segunda variável auxiliar da carga do navio ro-ro).

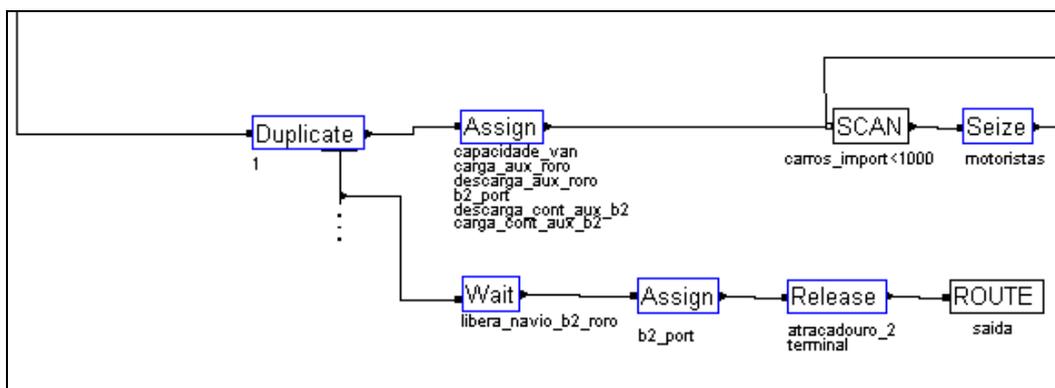


Figura 8.12 - Descarregamento dos Veículos

Daqui para frente o processo se assemelha ao descarregamento de contêineres. É feita uma verificação (**scan**) da pilha de importação PIV se ela possui menos do que 2400 veículos (limite máximo de veículos no pátio, 1000 era um valor antigo para efeito de teste). Se esta pilha tiver mais do que 2400 então a entidade pára até que as cegonhas levem embora algumas unidades. Feito isto, a entidade chama pelo recurso motoristas (**seize** motoristas). Se houver ao menos um disponível, então o pedido prossegue com o assinalamento (**assign**) das variáveis :

$descarga_roro = descarga_roro - 1 ;$

$descarga_cont_aux_b2 = descarga_cont_aux_b2 - 1 ;$

picture : carro.

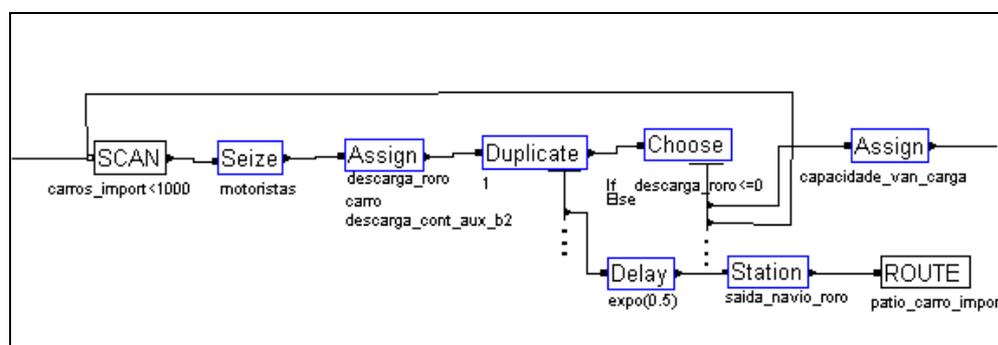


Figura 8.13 - Final do descarregamento de veículos

A entidade é duplicada (**duplicate**) : uma é o pedido de um motorista que virá buscar um veículo no navio para levar ao pátio (a lógica deste pedido será explicada mais tarde na parte de Pátios). A outra faz uma escolha (**choose**) : se o atributo `descarga_roro` for menor ou igual a zero, então a entidade começa o processo de carga de veículos; senão ela volta ao início da descarga para efetuar outros pedidos. Antes do início da carga, a entidade passa por um

assinalamento (**assign**) da capacidade da van na carga (capacidade_van_carga = 8), a qual será explicada mais tarde a razão de sua existência.

8.4.9. O Carregamento do Navio Ro-Ro

Logo no início, a entidade verifica se a pilha de exportação PEV tem mais de 1 veículo. Caso isto não aconteça, ela fica parada até que uma cegonha traga algum veículo. Em seguida, a entidade pede pelo recurso motorista (**seize** motoristas). Se houver ao menos um disponível, então o pedido prossegue com o assinalamento (**assign**) das variáveis:

- $carga_roro = carga_roro - 1$;
- $carros_export = carros_export - 1$;
- $carga_cont_aux_b2 = carga_cont_aux_b2 - 1$;
- **picture** : carro.

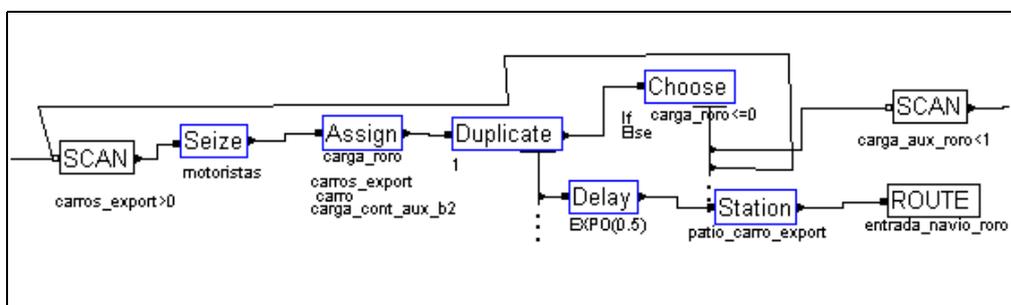


Figura 8.14 - Carregamento do Navio Ro-Ro

A entidade é duplicada (**duplicate**): uma é o pedido de um motorista que irá pegar um veículo no pátio para levar ao navio (a lógica deste pedido será explicada mais tarde na parte de Pátios). A outra faz uma escolha (**choose**): se o atributo $carga_roro$ for menor ou igual a zero, então a entidade vai para a verificação (**scan**) de que todos os veículos foram embarcados; senão ela volta ao início da carga para efetuar outros pedidos.

Quando todos os pedidos de veículos forem confirmados, a variável auxiliar *carga_aux_oro* será igual a zero e, portanto o **scan** de fim de carga liberará a passagem da entidade, fazendo emitir um sinal (**signal** *libera_navio_oro*) para o comando **wait** (aquele anterior ao início da descarga) liberando o navio para a saída do porto.

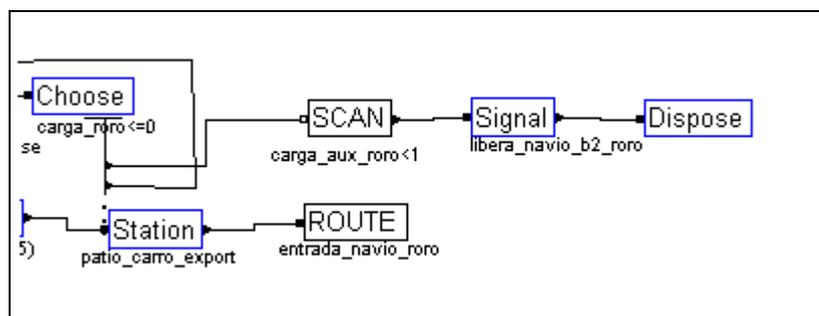


Figura 8.15 - Liberação do Navio Ro-Ro

8.5. A Lógica dos Pátios

Nesta parte da lógica as entidades são em geral carretas e stackers que vêm fazer as manobras de pátio como carregar e descarregar contêineres das pilhas PIC e PEC respectivamente para os navios atracados nos berços.

8.5.1. O pedido de Descarga

Quando um navio descarrega um contêiner ele cai numa carreta que se dirige à **station** patio. Aqui termina a lógica dos berços e começa a dos pátios.

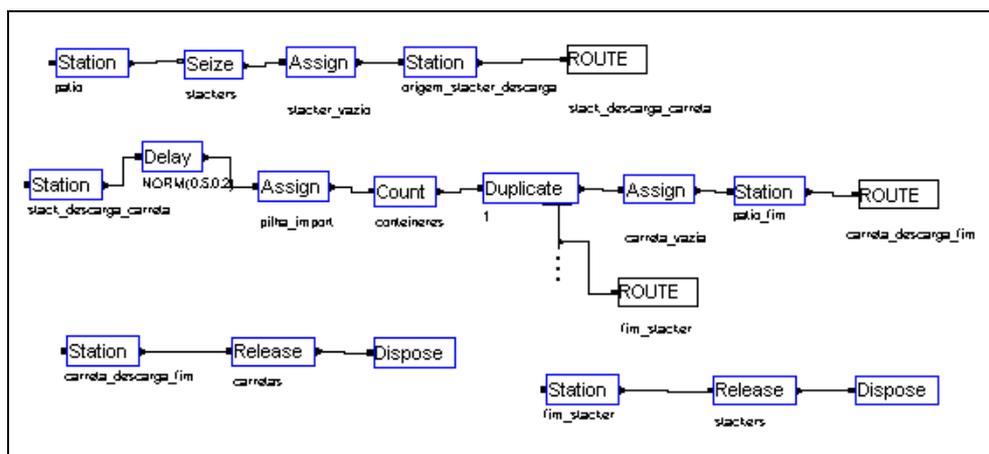


Figura 8.16 - Chegada dos Caminhões no Pátio

Na **station** patio, a entidade chama (**seize**) pelo recurso stackers. Se este estiver disponível, então a entidade assume (**assign**) a figura de um stacker_vazio e sai da **station** origem_stackier_descarga e vai até a **station** stack_descarga_carreta pegar o contêiner (**delay**) que a carreta tem para colocar na pilha de importação. A pilha PIC é acrescida de uma unidade (**assign**) e duplicada (**duplicate**): uma entidade é o stacker que vai para a **station** fim_stackier dar fim ao seu processo (**release** stackers e **dispose**); a outra entidade assume (**assign**) a figura de uma carreta_vazia e sai da **station** patio_fim para a **station** carreta_descarga_fim onde libera (**release**) o recurso carretas e termina (**dispose**).

8.5.2. O pedido de Carga

No pedido de um contêiner da pilha para efetuar o carregamento do navio porta-contêiner, as entidades chegam a **station** area_carga_carreta e já pedem (**seize**) pelo recurso stackers. Caso estejam disponíveis, a entidade

assume (**assign**) a figura de um **stacker_vazio** e vai para a **station** **stack_carga_carreta** (**route** **stack_carga_carreta**).

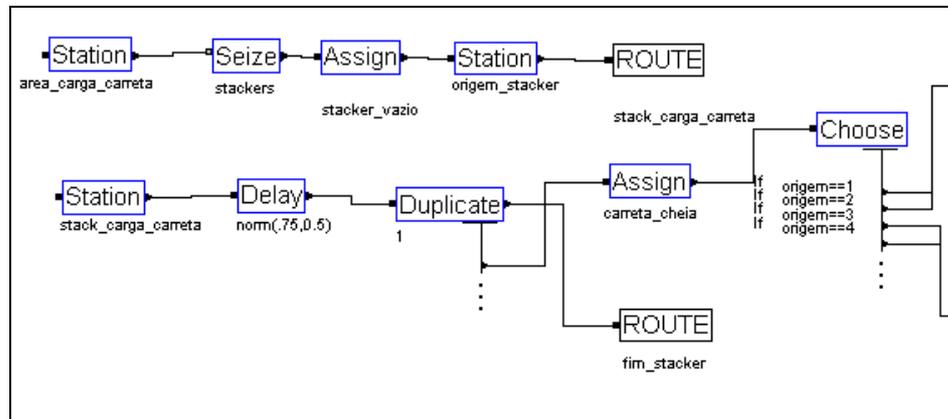


Figura 8.17 - Carregamento do Caminhão no Pátio

Nesta **station** o **stacker** aguarda (**delay**) que é o tempo para pegar um contêiner da pilha. Em seguida ela se duplica (**duplicate**): uma entidade vai para a **station** **fim_stacker** liberar **stackers** (**release**) e terminar (**dispose**); a outra entidade assume (**assign**) a figura de uma **carreta_cheia** e faz uma decisão (**choose**).

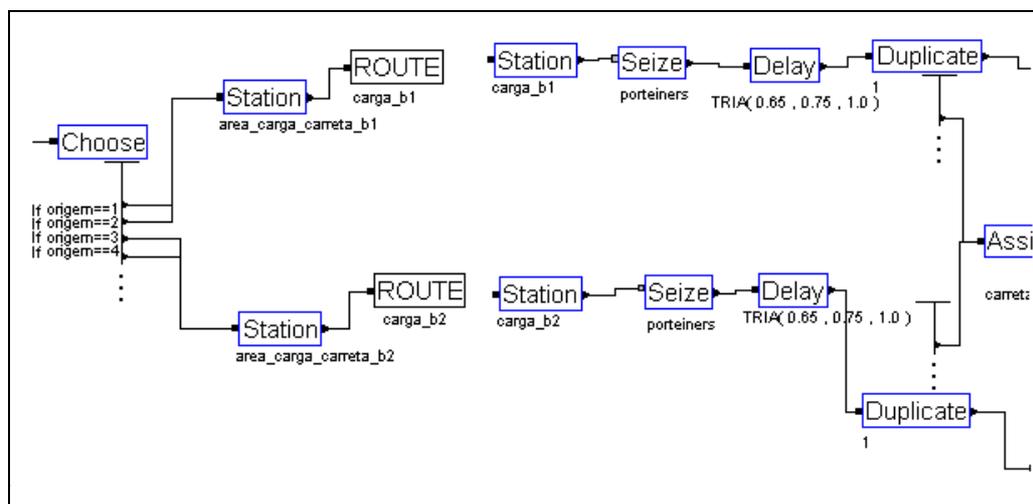


Figura 8.18 - Volta dos Caminhões Cheios ao Berço

Caso a entidade tenha o atributo origem igual a 1 ou 2 então ela vai para a **station** area_carga_carreta_b1 em direção à **station** carga_b1 para fazer a carga efetiva do navio do berço 1; caso a entidade possua o atributo origem igual a 3 ou 4 então ela vai da **station** area_carga_carreta_b2 para a **station** carga_b2 fazer o mesmo explicado anteriormente só que para o berço 2 (lembre-se que as entidades estão indo da pilha para o berço). Lá chegando, independente do berço, as entidades chamam (**seize**) o recurso porteiners que se estiver disponível fará um **delay** que é o tempo para o portêiner tirar o contêiner de cima da carreta. Após isto a entidade é duplicada (**duplicate**), não importando o ramo lógico em que esteja.

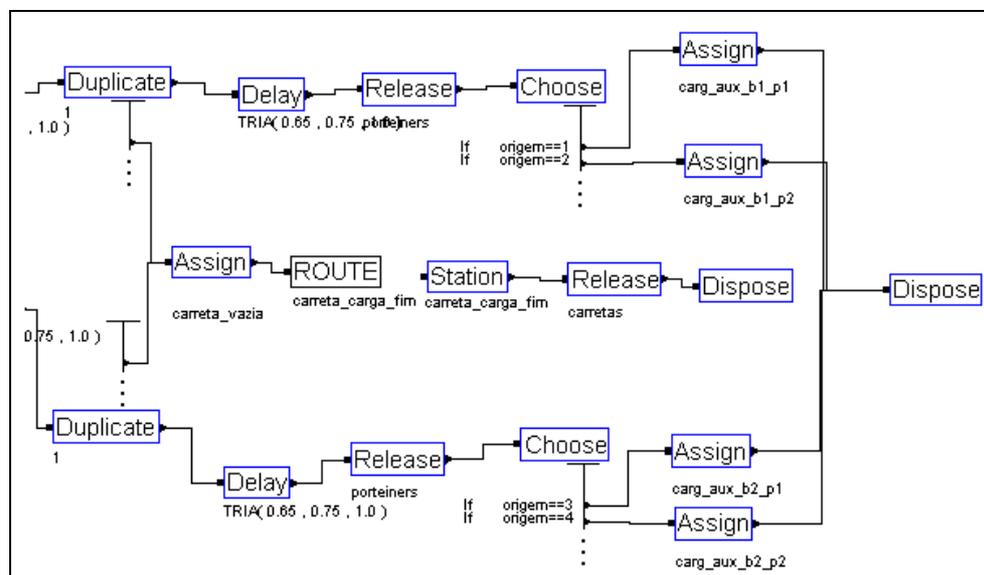


Figura 8.19 - Liberação dos Caminhões

Nestas duplicações, uma das entidades assume (**assign**) a figura de carreta_vazia e vai para a **station** carreta_carga_fim liberar o recurso carretas (**release**) e terminar o processo (**dispose**); a outra entidade passa por um

delay que é o tempo do portêiner terminar de colocar o contêiner no navio, e em seguida o portêiner é liberado (**release**). Então a entidade passa por uma escolha (**choose**) : no ramo lógico de cima, se a entidade tiver o atributo origem igual a 1 então há o decremento da variável auxiliar `carg_aux_b1_p1` que é a variável controlada pelo **scan** de fim de carga do navio NPC. Em todos os outros casos (2, 3 e 4) acontece o mesmo para as variáveis auxiliares `carg_aux_b1_p2`, `carg_aux_b2_p1` e `carg_aux_b2_p2` respectivamente. Em seguida o processo de pedido chega ao fim (**dispose**).

8.6. A Lógica dos Caminhões

Aqui os caminhões efetuam um papel semelhante àquele que os navios porta-contêineres fazem : trazem e retiram contêineres das pilhas com a ajuda dos recursos internos do terminal. Porém o fazem de maneira inversa. Enquanto os navios incrementam a pilha de importação, os caminhões a decrementam. E vice-versa para a pilha de exportação. Há 3 tipos de caminhão:

- tipo 0 : caminhão que chega vazio ao terminal (sem contêiner) e sai cheio (levando um contêiner);
- tipo 1 : caminhão que chega cheio ao terminal (trazendo um contêiner) e sai vazio (sem contêiner);
- tipo 2 : caminhão que chega cheio ao terminal (trazendo um contêiner) e sai cheio (levando um contêiner).

A lógica dos caminhões começa pela criação de uma única entidade (**create**) a qual será duplicada (**duplicate**): uma das entidades esperará um

intervalo de tempo (**delay**) e retornará para ser duplicada; a outra prossegue recebendo (**assign**) os atributos tipo_caminhao e tempo_chegada_caminhao. Em seguida ela faz uma escolha (**choose**): se o tipo_caminhao for 0 então a entidade recebe uma figura de uma carreta vazia (**assign: picture** carreta_vazia), senão ela recebe (**assign: picture** carreta_cheia) a figura de uma carreta cheia (tanto o tipo 1 quanto o tipo 2 possuem contêiner portanto estão cheios). Em seguida a entidade se aloja na **station** estrada e se dirige à **station** portaria (**route** portaria).

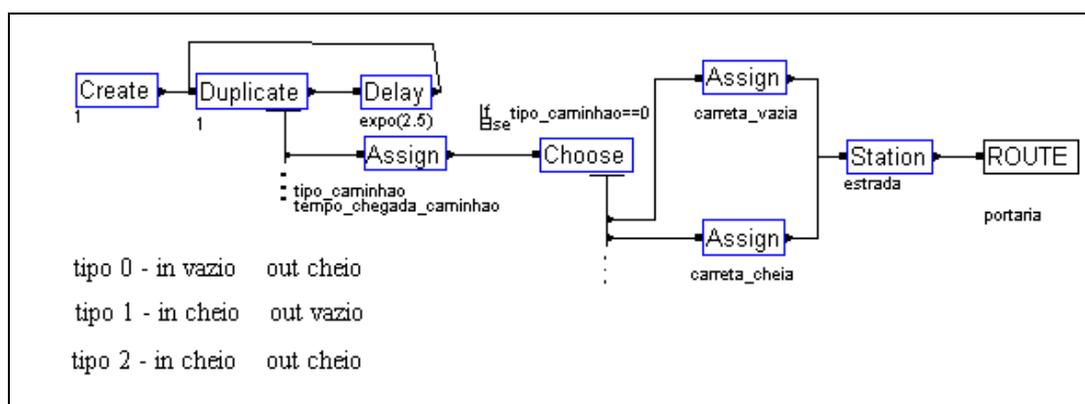


Figura 8.20 - Criação dos Caminhões (continente - porto)

Quando a entidade chega à portaria, é feita uma escolha: se for do tipo 0 ela assume a figura de carreta vazia (**assign: picture** carreta_vazia), chama (**seize**) pelo recurso área_carga_r . Se este estiver disponível (há 5 vagas disponíveis) então ele verifica se a pilha de importação PIC é maior que 5. Em caso positivo, ela vai à **station** area_carga (**route** area_carga); se for do tipo 1 ou 2 então a entidade chama (**seize**) pelo recurso area_descarga_r. Se estiver disponível (há 5 vagas disponíveis) então ela verifica se a pilha de exportação

PEC é menor que 3500. Em caso positivo ela vai para a **station** area_descarga (**route** area_descarga).

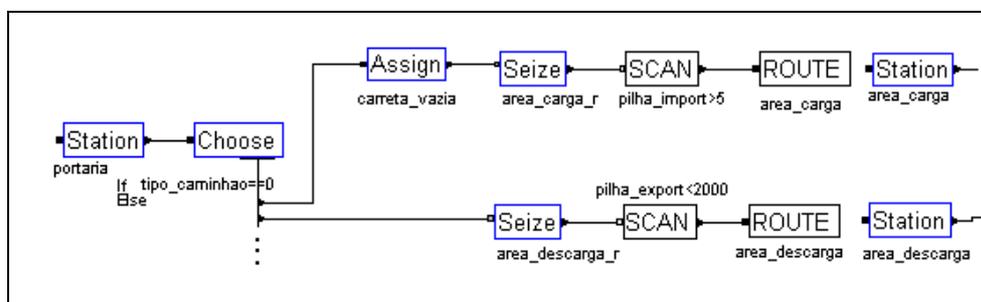


Figura 8.21 - Escolha de Operação (caminhão cheio ou vazio)

8.6.1. Carga dos Caminhões

Quando a entidade CCT vem para a área de descarga (tipo 0) ela é duplicada (**duplicate**): uma delas espera (**wait** libera_caminhao_carga) um sinal (**signal**) que virá do fim da carga; a outra chama (**seize**) pelo recurso stackers. Se houver algum disponível, a entidade assume a figura de um stacker_vazio e vem da **station** garagem_stack_carga até a **station** pilha_stack_carga pegar um contêiner da pilha para levar para a boléia do caminhão (**delay**).

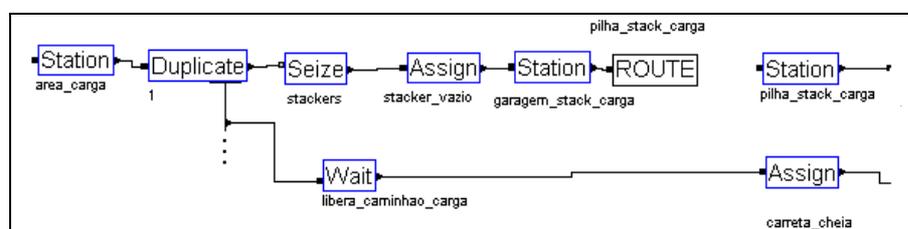


Figura 8.22 - Carga do Caminhão

A entidade assume a figura de stacker_cheio e vai até a **station** area_carga_stack, levando um tempo (**delay**) até o stacker colocar o contêiner

na carreta; daí é dado o sinal (**signal** libera_caminhao_carga) para a entidade que esperava no **wait**.

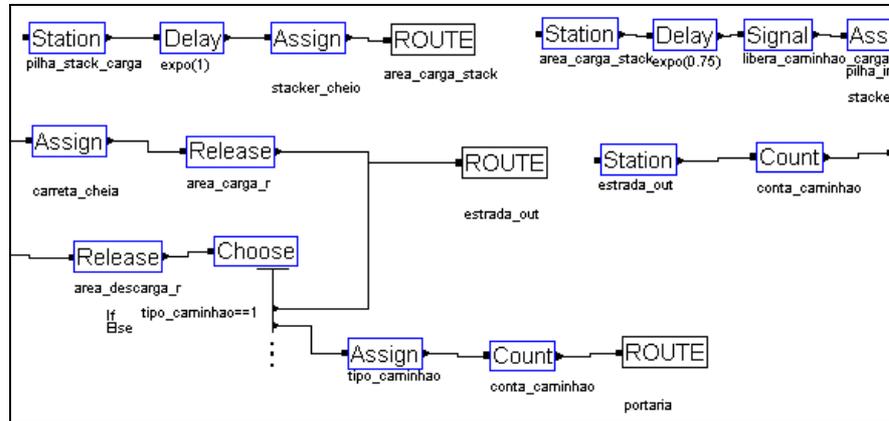


Figura 8.23 - Liberação do Caminhão Cheio

Esta entidade assinala (**assign**) o decremento de uma unidade da pilha PIC e se transforma num **stacker_vazio** voltando para a **station** garagem_stack_carga_fim, liberando o recurso **stackers** e sendo então terminada (**dispose**).

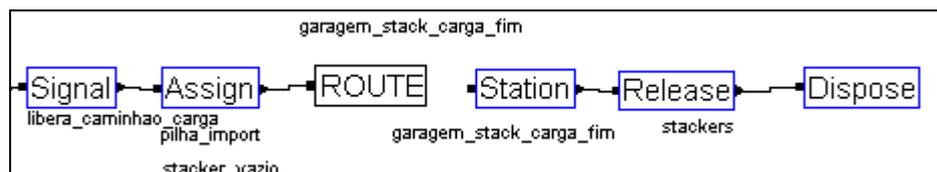


Figura 8.24 - Liberação do Stacker

A entidade que esperava no **wait** e que foi liberada, solta o recurso **area_carga_r** (**release**) e vai para a **station** estrada_out fazer a animação de estar indo embora e realizar a contagem de caminhões CCT no sistema.

8.6.2. Descarga dos Caminhões

Quando a entidade CCT tipo 1 ou 2 chega à **station** *area_descarga* ela verifica (**seize**) o recurso *stackers*.

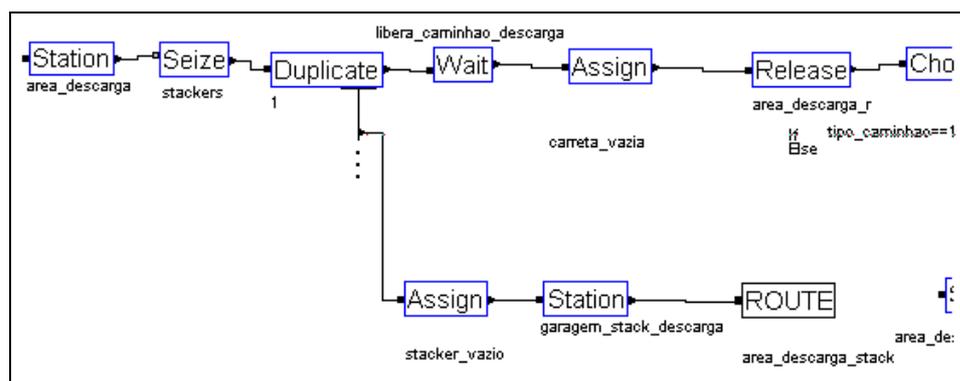


Figura 8.25 - Descarga dos Caminhões

Se este estiver disponível, ela é então duplicada (**duplicate**): uma vai para um comando **wait** até que seja dado um sinal (**signal**) do fim da descarga; a outra assume (**assign**) a figura de um *stacker_vazio* e vai da **station** *garagem_stack_descarga* até a **station** *area_descarga_stack*.

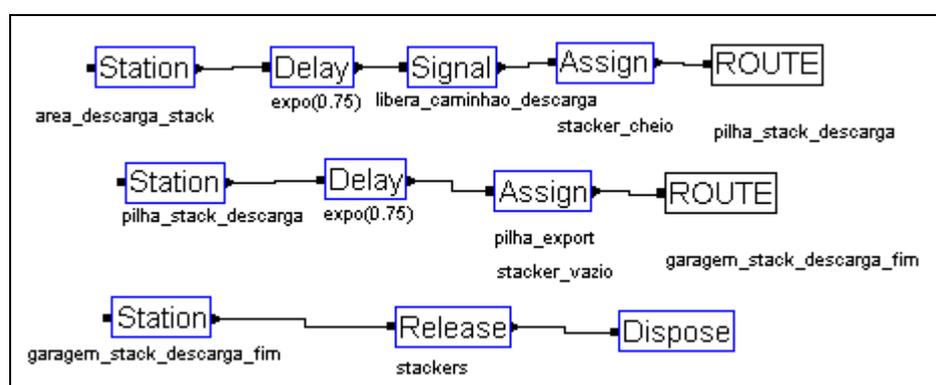


Figura 8.26 - Lógica do Descarregamento de Caminhões

Nesta **station** o stacker leva um tempo para descarregar o contêiner (**delay**) e já dá o sinal de liberação do caminhão (**signal libera_caminhao_descarga**) para a entidade que ficou esperando no **wait** deixar o sistema. Enquanto isso acontece, a entidade se transforma na figura de um **stacker_cheio** e vai para a **station** pilha_stack_descarga colocar (**delay**) o contêiner que acabou de tirar do caminhão e colocar na pilha de exportação PEC. Então ela acresce a pilha e assume a figura de um **stacker_vazio** (**assign**) e vai para a **station** garagem_stack_descarga_fim para liberar o recurso **stackers** (**release**) e terminar (**dispose**).

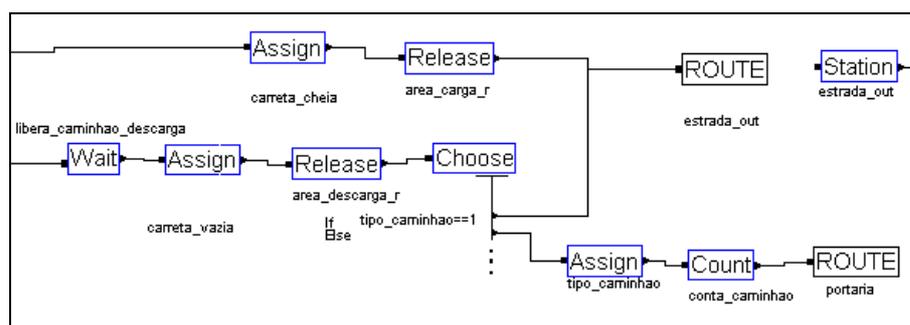


Figura 8.27 - Liberação da Área de Descarga

A entidade que esperava no **wait** assume (**assign**) a figura de uma **carreta_vazia** e libera (**release**) o recurso **area_descarga_r**. Em seguida ela faz uma escolha (**choose**) : se a entidade for do tipo 1 então ela vai embora para **station** **estrada_out** realizar contagem e sair do sistema; caso seja tipo 2 ela deve voltar à portaria (**route** portaria) para fazer o processo normal de carga (lembre-se que caminhões tipo 2 chegam cheios e saem cheios). Antes disso a entidade CCT recebe (**assign**) o tipo 0 como se fosse caminhão a carregar.

8.7. A Lógica dos Caminhões de Veículos

A lógica dos caminhões de veículos é em muito semelhante à dos caminhões de contêiner, por isso será feita uma explicação quase que idêntica. Porém deve-se lembrar que tais caminhões levam 11 veículos, diferentemente do caso do contêiner que leva somente uma unidade do contêiner.

Os caminhões de veículos efetuam um papel semelhante àquele que os navios ro-ro fazem, trazem e retiram veículos das pilhas com a ajuda dos recursos internos do terminal. Porém o fazem de maneira inversa. Enquanto os navios incrementam a pilha de importação, os caminhões de veículos a decrementam. E vice-versa para a pilha de exportação.

Há 3 tipos de caminhões de veículos:

tipo 0 : caminhões de veículos que chegam vazios ao terminal (sem veículos) e saem cheios (levando veículos);

tipo 1 : os que chegam cheios ao terminal (trazendo veículos) e saem vazios (sem veículos);

tipo 2 : os que chegam cheios ao terminal (trazendo veículos) e sai cheios (levando veículos).

A seguir será explicada a lógica criada para essa parte do modelo. Nesta explicação será usada a expressão cegonha, nome mais comum para os caminhões que carregam veículos como carga. As variáveis e expressões usadas no modelo possuem muitas vezes a palavra "cegonha" no seu nome para facilitar a posterior identificação.

A lógica desses caminhões começa pela criação de uma única entidade (**create**) a qual será duplicada (**duplicate**): uma das entidades aguardará um

intervalo de tempo (**delay**) e retornará para ser duplicada; a outra prossegue recebendo (**assign**) os atributos tipo_cegonha e tempo_chegada_cegonha. Em seguida ela faz uma escolha (**choose**): se o tipo_cegonha for 0 então a entidade recebe uma figura de um caminhão vazio (**assign: picture** cegonha_vazia), senão ela recebe (**assign: picture** cegonha_cheia) a figura de um caminhão cheio (tanto o tipo 1 quanto o tipo 2 possuem veículos portanto estão cheios). Em seguida a entidade se aloja na **station** estrada_ceg e se dirige à **station** portaria_ceg (**route** portaria_ceg).

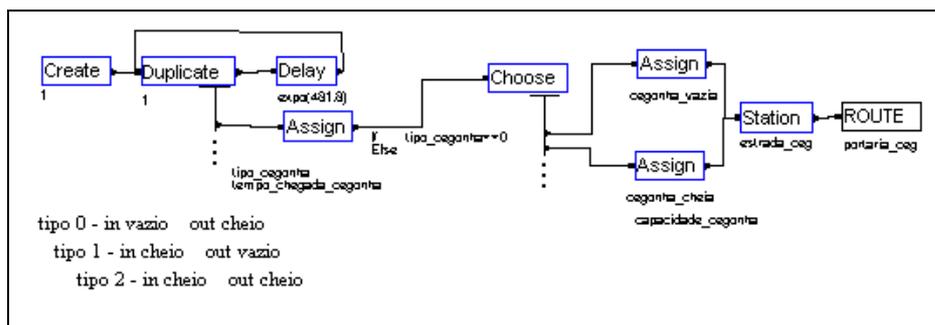


Figura 8.28 - Criação de Caminhões Cegonha

Quando a entidade chega à portaria, é feita uma escolha: se for do tipo 0 ela chama (**seize**) pelo recurso area_carga_cegonha, e se este estiver disponível (há 5 vagas disponíveis) ele assume a figura de caminhão vazio (**assign : picture** cegonha_vazia) e assinala as variáveis auxiliares carga_cegonha_aux = 11 e carga_cegonha_aux_1 = 11. Então ela vai a **station** area_carga_ceg (**route** area_carga_ceg); se for do tipo 1 ou 2 então a entidade chama (**seize**) pelo recurso area_descarga_cegonha. Se estiver disponível (há 5 vagas disponíveis) então ela vai para a **station** area_descarga_ceg (**route** area_descarga_ceg).

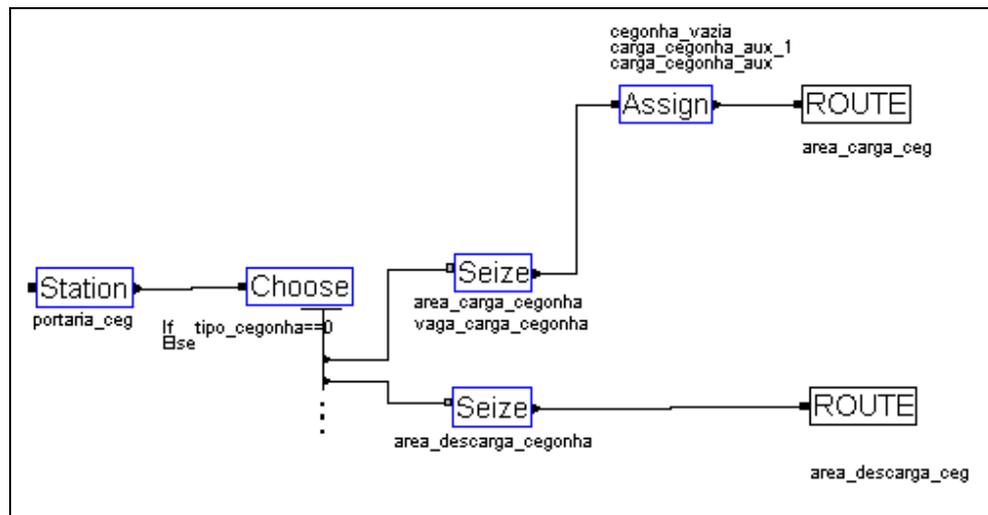


Figura 8.29 - Escolha da Atividade (carga ou descarga)

8.7.1. Carregamento dos Caminhões de Veículos

Quando a entidade CCG vem para a área de de carga (tipo 0) ela passa por um comando **while** (que faz loop com **endwhile**) e por uma verificação (**scan**) da pilha PIV. Se ela tiver mais que 4 veículos então a entidade chama (**seize**) o recurso patio_motoristas (são os motoristas específicos para descarregar e carregar os veículos dos caminhões e que não fazem parte do pessoal do terminal). Em seguida a entidade é duplicada (**duplicate**): uma entidade assume a figura de motorista (**assign**) que sai da **station** motorista_carga e vai até a **station** patio_import_ceg para pegar um veículo e levá-lo ao caminhão; a outra entidade assinala (**assign**) o decremento de uma unidade da variável auxiliar carga_cegonha_aux_1 que está em função de um índice que o caminhão recebe ao chegar à área de carga. Então esta entidade passa pelo **endwhile** que retornará ao comando **while** enquanto a variável carga_cegonha_aux_1 for maior que zero.

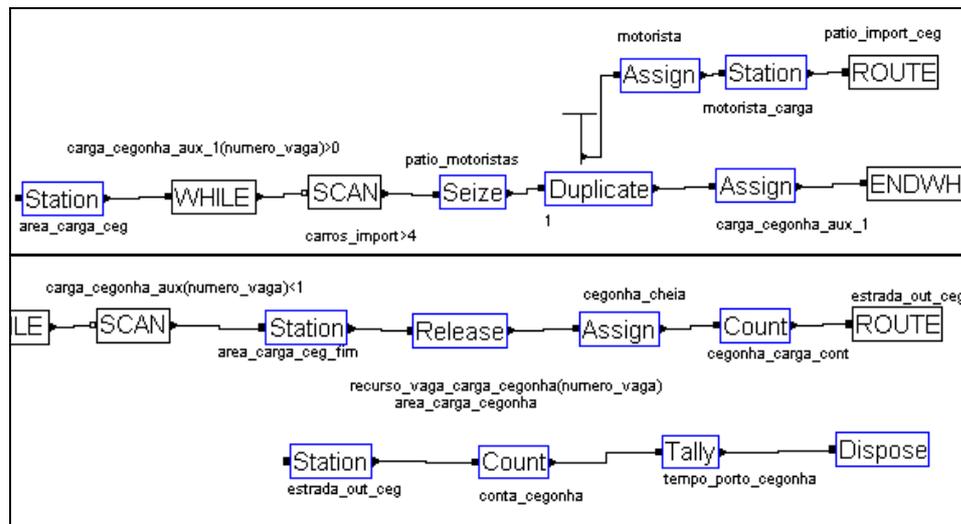


Figura 8.30 - Lógica de Carregamento de Cegonhas (1)

Assim que a entidade passou pelo *endwhile*, isto significa que a variável *carga_cegonha_aux_1* chegou a zero. Porém a entidade pára num *scan* da variável *carga_cegonha_aux* até que ela se torne igual a zero. Isto é para que não aconteça do caminhão ir embora enquanto os pedidos de veículos ainda não foram completados e carregados devidamente. Passado por este *scan*, a entidade se dirige a *station* *area_carga_ceg_fim* e já libera (*release*) os recursos *recurso_vaga_carga_cegonha* e *area_carga_cegonha*, assumindo aí (*assign*) a figura de caminhão cheio e indo para a *station* *estrada_out_ceg* para ir embora fazendo as devidas contagens de tempo (*tally*) e entidade (*count*).

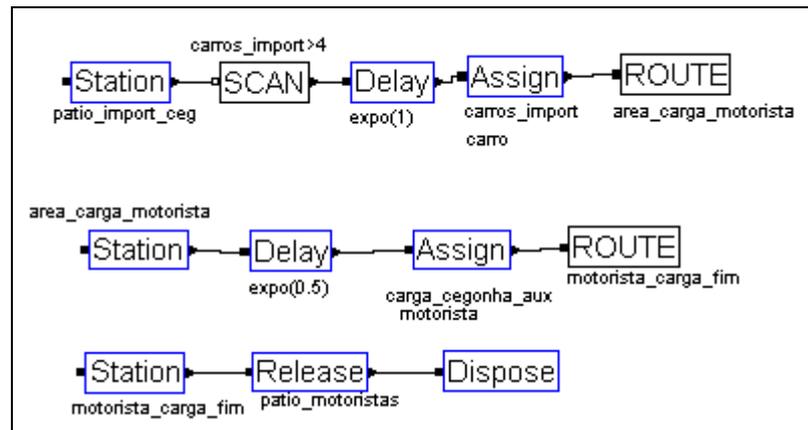


Figura 8.31 - Lógica do Carregamento de Cegonhas (2)

Aqui vai uma pequena explicação de lógica de pátio. Aquela entidade duplicada chega à **station** patio_import_ceg e faz um **scan** da pilha PIV. Se tiver mais que 4 veículos, então a entidade (que tem a figura de um motorista) espera um tempo para pegar o carro (**delay**) e assume a figura de um carro (**assign**) diminuindo de uma unidade a pilha PIV, e indo para a **station** area_carga_motorista. Lá ela espera um tempo (**delay**) para por o carro no caminhão e assume a figura (**assign**) de um motorista e decreta de uma unidade a variável carga_cegonha_aux. Em seguida a entidade vai para a **station** motorista_carga_fim e libera (**release**) o recurso patio_motorista.

8.7.2. Descarregamento dos Caminhões de Veículos

A descarga desses caminhões de veículos segue uma lógica semelhante à descarga dos caminhões de contêineres. A entidade que chegou à **station** area_descarga_ceg faz um **scan** da pilha PEV. Se tiver menos que 2400 veículos ela pede (**seize**) pelo recurso patio_motoristas e decreta o atributo capacidade_cegonha. Então ela é duplicada (**duplicate**) : uma

entidade recebe a figura de motorista e sai da **station** motorista_descarga para a **station** patio_export_ceg; a outra escolhe (**choose**) : se o atributo capacidade_cegonha for menor que zero então ela volta ao início da descarga, senão ela segue em frente para um comando **wait** que espera até o sinal de liberação do caminhão de veículos.

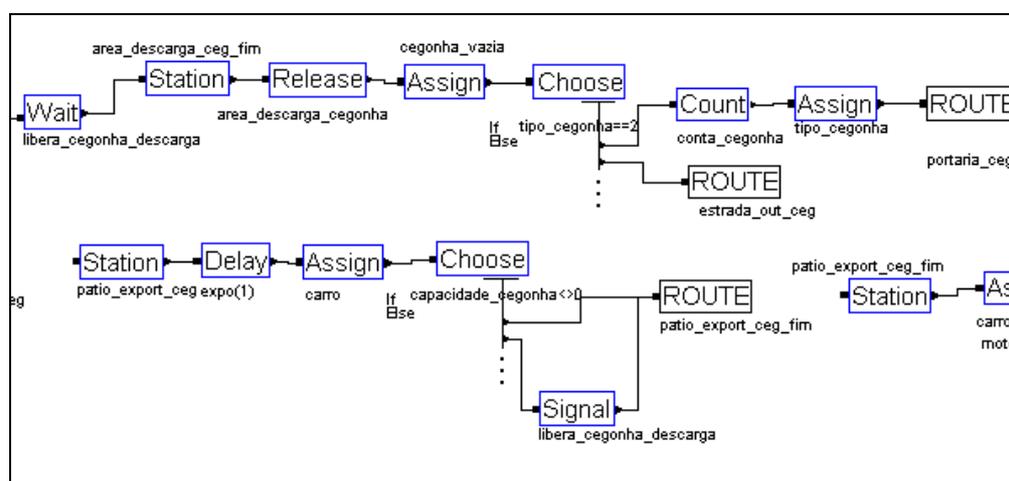


Figura 8.32 - Lógica de Descarregamento de Cegonhas

Caso ela seja liberada ela vai para a **station** area_descarga_ceg_fim e libera (**release**) o recurso area_descarga_cegonha para que outras entidades entrem. A entidade assume (**assign**) a figura de uma cegonha_vazia e escolhe (**choose**) : se ela for do tipo 1 ela vai para a **station** de saída estrada_out_ceg para ir embora, senão ela assume (**assign**) outro tipo de caminhão (tipo 0) e vai para a **station** portaria_ceg para fazer todo o processo de carga.

A entidade que fora para a **station** patio_export_ceg espera um tempo (**delay**) para tirar o carro do caminhão. Então ele assume (**assign**) a figura de um carro e escolhe (**choose**) : se a variável capacidade_cegonha for igual a zero ela dá o sinal para o comando **wait** libera_cegonha_descarga (que

significa que todos os motoristas já retiraram todos os carros do caminhão). A entidade vai para a **station** patio_export_ceg_fim onde aumenta o valor da pilha PEV de um veículo, assumindo (**assign**) a figura de motorista que vai para a **station** motorista_descarga_fim e liberando (**release**) o recurso patio_motoristas.



Figura 8.33 - Liberação de Motoristas no Carregamento

8.8. A Animação do Modelo de Simulação

Para aqueles que não possuam o software Arena 3.0 para abri-lo, abaixo estão algumas figuras da parte animada do modelo e um pouco de explicação de suas partes.

Abaixo está a visão geral da parte animada.

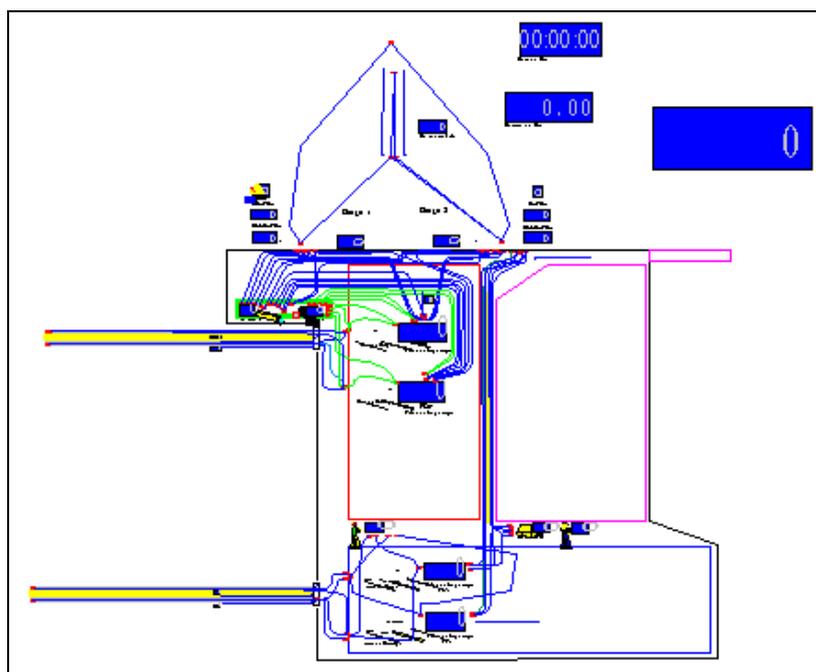


Figura 8.34 - Animação do Modelo - Visão Geral

Os navios chegam pela parte de cima. Os caminhões chegam pela parte estrada em cinza e amarelo superior. Os caminhões de veículos chegam pela estrada inferior.

Abaixo se encontram mais duas figuras para elucidar melhor as *stations* e os caminhos (*routes*) usados.

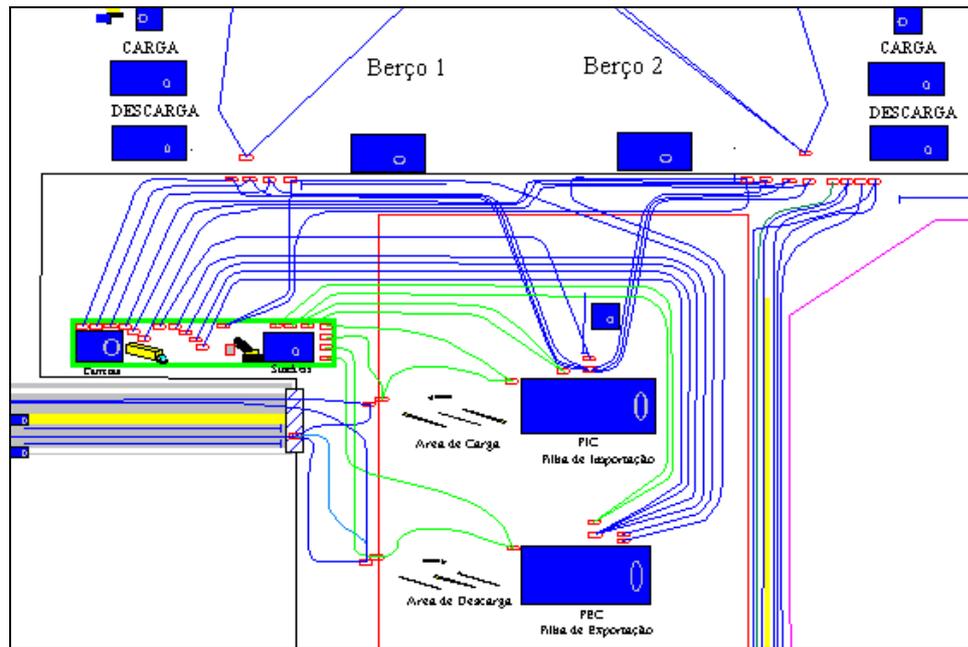


Figura 8.35 - Animação - Pátio de Contêineres

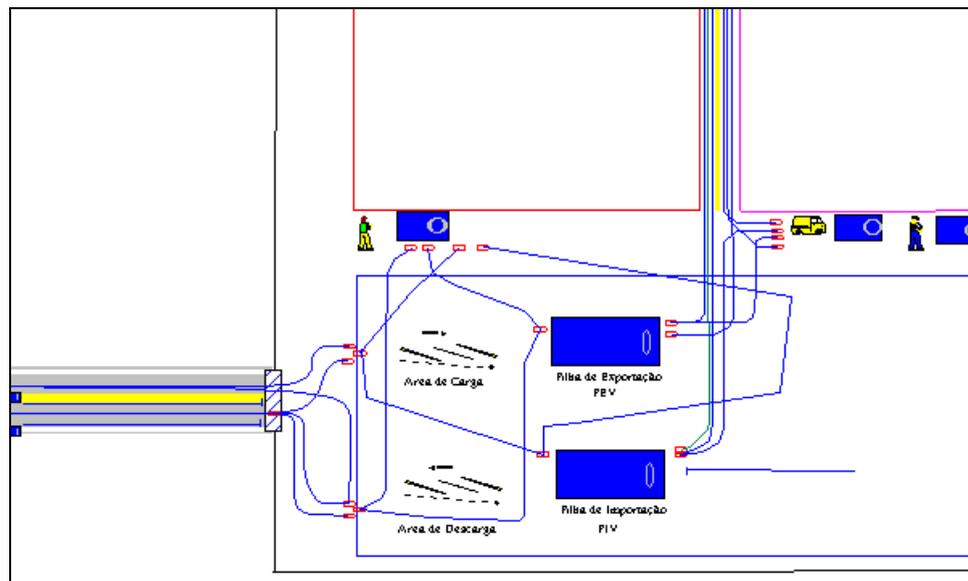


Figura 8.36 - Animação - Pátio de Veículos

9. ANEXO B – TABELAS DO CÁLCULO FINANCEIRO

Cenário 1

Tabela 9.1 – Cronograma de Compra de Equipamentos

Cronograma da Compra de Equipamentos						Investimentos R\$
Investimentos	porteineres	stackers	carretas	vans		
Ano de Compra						
vida útil	anos	25	10	10	5	
1997		2	3	5	3	15.982.000,00
2002		0	0	0	3	102.000,00
2003		0	1	0	0	450.000,00
2004		1	1	2	0	7.630.000,00
2005		1	0	0	0	6.840.000,00
2007		0	5	8	3	3.712.000,00
2009		0	0	2	0	340.000,00
2011		0	1	2	0	790.000,00
2012		0	0	0	3	102.000,00
2013		0	1	0	0	450.000,00
2014		2	1	2	0	14.470.000,00
2017		0	9	12	3	6.192.000,00
2019		0	0	2	0	340.000,00
Total		6	22	35	15	

Tabela 9.2 – Cálculo do Valor Residual

Perda inicial = 20% depois depreciação cte					
Depreciação - Cálculo do valor Residual					
		Aquisições realizadas em datas diferentes			Valor Residual na Data 24
porteiner	anos de uso	25	19	9	
	quant	2	2	2	
	resíduo	0,00	2.626.560,00	7.004.160,00	
stackers	anos de uso	10	9	5	1.692.000,00
	quant	7	2	9	
	resíduo	0,00	72.000,00	1.620.000,00	
carretas	anos de uso	8	5	3	1.060.800,00
	quant	2	12	2	
	resíduo	54.400,00	816.000,00	190.400,00	
vans	anos de uso	5			0,00
	quant	3			
	resíduo	0,00			
Total					12.383.520,00

Tabela 9.3 – Fluxo de Caixa

DATAS (anos) movimentações					
Ano		TEU/Ano	Total das Despesas	Receita	Saldo Final
1997	0	66.929	46.272.233,53	7.015.330,00	-39.256.903,53
1998	1	68.662	4.625.895,10	7.428.960,00	2.803.064,90
1999	2	76.858	4.896.173,74	8.662.835,00	3.766.661,26
2000	3	98.689	5.566.837,07	10.992.345,00	5.425.507,93
2001	4	133.496	6.669.528,31	15.030.915,00	8.361.386,69
2002	5	158.944	7.574.319,71	17.719.383,81	10.145.064,10
2003	6	190.967	9.079.984,60	21.065.452,62	11.985.468,02
2004	7	205.132	17.578.861,98	22.625.681,43	5.046.819,45
2005	8	215.864	17.774.043,62	23.842.710,24	6.068.666,62
2006	9	232.873	11.476.620,75	25.687.339,05	14.210.718,29
2007	10	258.506	16.423.096,62	28.394.407,86	11.971.311,23
2008	11	294.804	13.812.809,13	32.167.916,67	18.355.107,53
2009	12	319.828	14.934.395,56	34.814.065,48	19.879.669,91
2010	13	338.088	15.171.465,29	36.783.814,29	21.612.349,00
2011	14	355.996	16.766.782,67	38.718.363,10	21.951.580,42
2012	15	392.087	17.163.750,44	42.471.211,90	25.307.461,46
2013	16	414.929	34.266.648,26	44.899.160,71	10.632.512,45
2014	17	437.116	34.342.004,31	47.261.609,52	12.919.605,22
2015	18	438.686	20.025.871,54	47.562.358,33	27.536.486,79
2016	19	460.123	20.672.809,87	49.849.807,14	29.176.997,27
2017	20	500.505	28.849.557,99	54.031.755,95	25.182.197,96
2018	21	530.491	23.539.356,80	57.174.104,76	33.634.747,96
2019	22	563.876	24.856.563,26	60.656.353,57	35.799.790,31
2020	23	590.003	25.292.521,01	63.412.802,38	38.120.281,37
2021	24	611.444	25.941.810,63	65.700.651,19	52.142.360,56

TIR = 21,6201%

Cenário 1 com Financiamento

Tabela 9.4 – Fluxo de Caixa com Financiamento

DATAS (anos) movimentações					
Ano		TEU/Ano	Total das Despesas	Receita	Saldo Final
1997	0	66.929	9.877.346,61	7.015.330,00	-2.862.016,61
1998	1	68.662	9.944.344,18	7.428.960,00	-2.515.384,18
1999	2	76.858	10.214.622,82	8.662.835,00	-1.551.787,82
2000	3	98.689	10.885.286,15	10.992.345,00	107.058,85
2001	4	133.496	11.987.977,39	15.030.915,00	3.042.937,61
2002	5	158.944	12.892.768,79	17.719.383,81	4.826.615,02
2003	6	190.967	14.398.433,68	21.065.452,62	6.667.018,94
2004	7	205.132	17.263.263,96	22.625.681,43	5.362.417,47
2005	8	215.864	18.248.445,60	23.842.710,24	5.594.264,64
2006	9	232.873	18.791.022,73	25.687.339,05	6.896.316,32
2007	10	258.506	23.737.498,60	28.394.407,86	4.656.909,26
2008	11	294.804	21.127.211,11	32.167.916,67	11.040.705,56
2009	12	319.828	22.248.797,54	34.814.065,48	12.565.267,94
2010	13	338.088	22.485.867,27	36.783.814,29	14.297.947,02
2011	14	355.996	24.081.184,65	38.718.363,10	14.637.178,45
2012	15	392.087	24.478.152,42	42.471.211,90	17.993.059,49
2013	16	414.929	31.299.625,98	44.899.160,71	13.599.534,74
2014	17	437.116	32.904.982,03	47.261.609,52	14.356.627,50
2015	18	438.686	33.058.849,26	47.562.358,33	14.503.509,08
2016	19	460.123	33.705.787,59	49.849.807,14	16.144.019,55
2017	20	500.505	41.882.535,71	54.031.755,95	12.149.220,24
2018	21	530.491	36.572.334,52	57.174.104,76	20.601.770,24
2019	22	563.876	37.889.540,98	60.656.353,57	22.766.812,59
2020	23	590.003	38.325.498,73	63.412.802,38	25.087.303,66
2021	24	611.444	38.974.788,35	65.700.651,19	39.109.382,84

TIR = 38,9387%

Cenário 2

Tabela 9.5 – Cronograma de Compra de Equipamentos

Cronograma da Compra de Equipamentos						Investimentos R\$
Investimentos	porteineres	stackers	carretas	vans		
Ano de Compra						
vida útil	anos	25	10	10	5	
1997		2	3	5	3	16.432.000,00
2000		0	1	0	0	600.000,00
2002		0	0	0	3	102.000,00
2003		1	0	0	0	6.840.000,00
2004		0	3	4	0	2.480.000,00
2005		1	0	0	0	6.840.000,00
2007		0	3	5	3	2.752.000,00
2008		0	3	5	0	2.650.000,00
2009		0	0	0	0	0,00
2010		0	1	0	0	600.000,00
2011		0	0	0	0	0,00
2012		0	0	0	3	102.000,00
2013		0	0	0	0	0,00
2014		0	3	4	0	2.480.000,00
2015		2	0	0	0	13.680.000,00
2017		0	8	9	3	6.432.000,00
2018		0	3	5	0	2.650.000,00
2019		0	0	0	0	0,00
2020		0	1	0	0	600.000,00
Total		6	29	37	15	

Tabela 9.6 – Cálculo do Valor Residual

Perda inicial = 20% depois depreciação cte					
Depreciação - Cálculo do valor Residual					
		Aquisições realizadas em datas diferentes			Valor Residual na Data 24
porteinere	anos de uso	19	17	7	10.944.000,00
	quant	1	1	2	
	resíduo	1.313.280,00	1.751.040,00	7.879.680,00	
stackers	anos de uso	5	4	2	3.456.000,00
	quant	8	3	1	
	resíduo	1.920.000,00	864.000,00	384.000,00	
carretas	anos de uso	7	5	4	1.183.200,00
	quant	4	9	5	
	resíduo	163.200,00	612.000,00	408.000,00	
vans	anos de uso	5			0,00
	quant	3			
	resíduo	0,00			
Total					15.583.200,00

Tabela 9.7 – Fluxo de Caixa

DATAS (anos) movimentações					
Ano		TEU/Ano	Total das Despesas	Receita	Saldo Final
1997	0	66.193	46.775.135,64	6.971.949,54	-39.803.186,10
1998	1	67.906	4.680.048,25	7.406.214,86	2.726.166,61
1999	2	76.012	4.952.117,84	8.669.927,35	3.717.809,51
2000	3	97.604	6.421.928,99	10.989.148,14	4.567.219,15
2001	4	132.028	6.936.915,91	15.041.748,60	8.104.832,69
2002	5	157.195	7.850.998,53	17.715.707,08	9.864.708,55
2003	6	188.866	16.272.226,74	21.040.031,96	4.767.805,22
2004	7	202.875	13.070.315,80	22.598.161,08	9.527.845,28
2005	8	213.490	18.420.202,74	23.816.865,40	5.396.662,66
2006	9	230.312	12.135.339,09	25.656.266,12	13.520.927,04
2007	10	255.663	15.606.738,08	28.348.620,00	12.741.881,92
2008	11	291.561	17.351.067,99	32.095.683,04	14.744.615,05
2009	12	316.310	15.430.806,88	34.727.787,04	19.296.980,16
2010	13	334.369	16.546.600,63	36.690.931,44	20.144.330,81
2011	14	352.080	16.548.538,28	38.619.263,04	22.070.724,76
2012	15	387.774	17.729.439,91	42.345.893,34	24.616.453,43
2013	16	410.365	18.382.425,85	44.762.197,54	26.379.771,69
2014	17	432.308	21.633.469,68	47.113.722,24	25.480.252,56
2015	18	433.860	34.069.991,82	47.426.225,64	13.356.233,82
2016	19	455.062	21.038.128,88	49.703.575,34	28.665.446,46
2017	20	494.999	29.755.859,34	53.854.585,54	24.098.726,20
2018	21	524.656	26.853.111,98	56.977.431,34	30.124.319,36
2019	22	557.673	25.177.245,86	60.436.438,24	35.259.192,38
2020	23	583.513	26.552.908,67	63.177.628,94	36.624.720,27
2021	24	604.718	26.602.236,11	65.455.374,24	54.436.338,13

TIR = 20,7152%

Cenário 2 com Financiamento

Tabela 9.8 – Fluxo de Caixa com Financiamento

DATAS (anos) movimentações					
Ano		TEU/Ano	Total das Despesas	Receita	Saldo Final
1997	0	66.193	9.987.623,70	6.971.949,54	-3.015.674,17
1998	1	67.906	10.055.872,32	7.406.214,86	-2.649.657,45
1999	2	76.012	10.327.941,91	8.669.927,35	-1.658.014,55
2000	3	97.604	11.797.753,06	10.989.148,14	-808.604,92
2001	4	132.028	12.312.739,98	15.041.748,60	2.729.008,62
2002	5	157.195	13.226.822,60	17.715.707,08	4.488.884,48
2003	6	188.866	17.001.980,97	21.040.031,96	4.038.051,00
2004	7	202.875	18.160.070,02	22.598.161,08	4.438.091,06
2005	8	213.490	19.149.956,96	23.816.865,40	4.666.908,44
2006	9	230.312	19.705.093,31	25.656.266,12	5.951.172,81
2007	10	255.663	23.176.492,31	28.348.620,00	5.172.127,69
2008	11	291.561	24.920.822,22	32.095.683,04	7.174.860,82
2009	12	316.310	23.000.561,11	34.727.787,04	11.727.225,93
2010	13	334.369	24.116.354,86	36.690.931,44	12.574.576,58
2011	14	352.080	24.118.292,50	38.619.263,04	14.500.970,54
2012	15	387.774	25.299.194,13	42.345.893,34	17.046.699,21
2013	16	410.365	25.952.180,07	44.762.197,54	18.810.017,47
2014	17	432.308	29.756.114,75	47.113.722,24	17.357.607,49
2015	18	433.860	30.992.636,89	47.426.225,64	16.433.588,75
2016	19	455.062	31.640.773,95	49.703.575,34	18.062.801,39
2017	20	494.999	36.445.939,60	53.854.585,54	17.408.645,94
2018	21	524.656	37.325.192,23	56.977.431,34	19.652.239,11
2019	22	557.673	38.299.326,11	60.436.438,24	22.137.112,13
2020	23	583.513	39.674.988,93	63.177.628,94	23.502.640,01
2021	24	604.718	39.724.316,36	65.455.374,24	41.314.257,88

TIR = 34,1710%

Cenário 3

Tabela 9.9 – Cronograma de Compra de Equipamentos

Cronograma da Compra de Equipamentos					Investimentos R\$
Investimentos	porteineres	stackers	carretas	vans	
Ano de Compra					
vida útil	anos	25	10	10	5
1997	2	2	4	3	15.362.000,00
2002	0	0	0	3	102.000,00
2003	0	0	0	0	0,00
2004	2	1	1	0	14.300.000,00
2005	0	0	0	0	0,00
2007	0	2	4	3	1.682.000,00
2008	0	2	2	0	1.240.000,00
2009	0	0	0	0	0,00
2011	0	0	0	0	0,00
2012	0	0	0	3	102.000,00
2013	0	0	0	0	0,00
2014	0	3	4	0	2.030.000,00
2017	0	2	4	3	1.682.000,00
2018	0	2	2	0	1.240.000,00
2019	2	2	0	0	14.580.000,00
Total		6	16	21	15

Tabela 9.10 – Cálculo do Valor Residual

Perda inicial = 20% depois depreciação cte					
Depreciação - Cálculo do valor Residual					
		Aquisições realizadas em datas diferentes			Valor Residual na Data 24
porteinere	anos de uso	25	18	3	12.695.040,00
	quant	2	2	2	
	resíduo	0,00	3.064.320,00	9.630.720,00	
stackers	anos de uso	5	4	3	1.728.000,00
	quant	2	2	2	
	resíduo	360.000,00	432.000,00	504.000,00	
carretas	anos de uso	6	5	4	652.800,00
	quant	4	4	2	
	resíduo	217.600,00	272.000,00	163.200,00	
vans	anos de uso	5			0,00
	quant	3			
	resíduo	0,00			
Total					15.075.840,00

Tabela 9.11 – Fluxo de Caixa

DATAS (anos) movimentações					
Ano		TEU/Ano	Total das Despesas	Receita	Saldo Final
1997	0	65.548	45.392.029,90	6.908.256,34	-38.483.773,55
1998	1	67.245	4.365.527,78	7.341.441,07	2.975.913,29
1999	2	75.272	4.630.804,37	8.598.272,05	3.967.467,68
2000	3	96.653	5.282.789,83	10.896.817,53	5.614.027,70
2001	4	131.355	6.275.781,14	14.978.596,88	8.702.815,74
2002	5	168.821	7.499.137,92	18.882.722,23	11.383.584,30
2003	6	186.218	7.919.259,83	20.780.010,35	12.860.750,52
2004	7	216.148	24.737.992,62	23.930.572,78	-807.419,85
2005	8	217.841	10.510.659,74	24.257.507,24	13.746.847,50
2006	9	248.541	11.440.012,06	27.485.086,97	16.045.074,91
2007	10	259.427	13.509.972,55	28.731.253,80	15.221.281,24
2008	11	286.639	14.168.680,25	31.610.101,09	17.441.420,85
2009	12	313.228	13.805.828,79	34.426.582,40	20.620.753,61
2010	13	328.667	14.241.356,93	36.128.036,62	21.886.679,69
2011	14	348.650	14.909.683,34	38.283.916,38	23.374.233,04
2012	15	385.664	15.988.970,24	42.142.873,39	26.153.903,15
2013	16	406.367	32.766.926,53	44.370.775,68	11.603.849,15
2014	17	428.096	19.735.482,01	46.701.276,29	26.965.794,28
2015	18	429.634	17.832.291,06	47.012.619,26	29.180.328,20
2016	19	450.629	18.454.091,97	49.269.667,46	30.815.575,49
2017	20	490.177	21.136.072,06	53.382.123,42	32.246.051,36
2018	21	526.772	21.830.070,82	57.199.183,18	35.369.112,36
2019	22	552.241	37.993.779,66	59.903.625,09	21.909.845,43
2020	23	577.829	24.171.102,55	62.619.995,66	38.448.893,12
2021	24	598.827	24.804.968,46	64.877.435,61	55.148.307,15

TIR = 22,9514%

Cenário 3 com Financiamento

Tabela 9.12 – Fluxo de Caixa com Financiamento

DATAS (anos) movimentações					
Ano		TEU/Ano	Total das Despesas	Receita	Saldo Final
1997	0	66.929	9.577.128,68	7.046.361,25	-2.530.767,43
1998	1	68.662	9.644.987,11	7.483.121,53	-2.161.865,58
1999	2	76.858	9.915.056,32	8.756.864,63	-1.158.191,68
2000	3	98.689	10.579.805,93	11.100.458,75	520.652,82
2001	4	134.123	11.593.972,63	15.255.353,91	3.661.381,28
2002	5	172.378	12.839.799,00	19.238.416,51	6.398.617,51
2003	6	190.141	13.270.404,42	21.172.359,11	7.901.954,69
2004	7	220.702	17.779.879,95	24.385.981,70	6.606.101,75
2005	8	222.431	17.853.486,89	24.716.484,30	6.862.997,41
2006	9	253.778	18.801.234,45	28.008.746,90	9.207.512,45
2007	10	264.893	20.878.217,02	29.277.849,49	8.399.632,47
2008	11	292.679	21.552.616,02	32.214.032,09	10.661.416,07
2009	12	319.828	21.205.260,40	35.086.534,69	13.881.274,29
2010	13	335.592	21.650.989,61	36.820.517,28	15.169.527,67
2011	14	355.996	22.331.039,18	39.018.499,88	16.687.460,70
2012	15	393.790	23.433.084,75	42.955.442,48	19.522.357,73
2013	16	414.929	26.522.133,48	45.226.965,08	18.704.831,60
2014	17	437.116	27.472.093,02	47.603.247,67	20.131.154,65
2015	18	438.686	27.600.588,60	47.917.830,27	20.317.241,67
2016	19	460.123	28.234.881,54	50.219.112,87	21.984.231,32
2017	20	500.505	30.937.706,34	54.414.895,46	23.477.189,12
2018	21	537.871	31.656.066,38	58.309.058,06	26.652.991,68
2019	22	563.876	39.324.685,92	61.067.160,66	21.742.474,73
2020	23	590.003	40.097.171,80	63.837.443,25	23.740.271,45
2021	24	611.444	40.743.520,31	66.139.125,85	40.471.445,54

TIR = 47,0623%

Cenário 4

Tabela 9.13 – Cronograma de Compra de Equipamentos

Cronograma da Compra de Equipamentos						Investimentos R\$
Investimentos	porteineres	stackers	carretas	vans		
Ano de Compra						
vida útil	anos	25	10	10	5	
1997	2	2	4	3		15.662.000,00
2001	0	1	1	0		770.000,00
2002	0	0	0	3		102.000,00
2004	2	0	0	0		13.680.000,00
2006	0	2	3	0		1.710.000,00
2007	0	2	4	3		1.982.000,00
2010	0	2	0	0		1.200.000,00
2011	0	1	1	0		770.000,00
2012	0	0	0	3		102.000,00
2014	0	2	4	0		1.880.000,00
2016	0	2	3	0		1.710.000,00
2017	0	2	4	3		1.982.000,00
2018	2	3	0	0		15.480.000,00
2020	0	2	0	0		1.200.000,00
Total		6	21	24	15	

Tabela 9.14 – Cálculo do Valor Residual

Perda inicial = 20% depois depreciação cte					
Depreciação - Cálculo do valor Residual					
		Aquisições realizadas em datas diferentes			Valor Residual na Data 24
porteiner	anos de uso	25	18	4	12.257.280,00
	quant	2	2	2	
	resíduo	0,00	3.064.320,00	9.192.960,00	
stackers	anos de uso	5	4	2	3.456.000,00
	quant	8	3	1	
	resíduo	1.920.000,00	864.000,00	384.000,00	
carretas	anos de uso	7	5	4	1.183.200,00
	quant	4	9	5	
	resíduo	163.200,00	612.000,00	408.000,00	
vans	anos de uso	5			0,00
	quant	3			
	resíduo	0,00			
Total					16.896.480,00

Tabela 9.15 – Fluxo de Caixa

DATAS (anos) movimentações					
Ano		TEU/Ano	Total das Despesas	Receita	Saldo Final
1997	0	67.819	45.806.769,55	7.134.550,24	-38.672.219,30
1998	1	69.574	4.482.281,08	7.573.025,34	3.090.744,25
1999	2	77.879	4.756.654,99	8.856.649,67	4.099.994,68
2000	3	100.001	5.433.531,06	11.228.909,41	5.795.378,34
2001	4	135.906	6.635.363,42	15.429.545,27	8.794.181,85
2002	5	174.669	7.879.201,37	19.463.113,82	11.583.912,45
2003	6	192.669	8.336.706,49	21.420.320,18	13.083.613,69
2004	7	223.636	24.236.519,01	24.674.219,35	437.700,33
2005	8	225.388	10.670.093,58	25.006.668,65	14.336.575,07
2006	9	257.151	12.149.574,62	28.340.253,30	16.190.678,68
2007	10	268.414	14.556.129,49	29.623.780,89	15.067.651,40
2008	11	296.570	13.470.380,03	32.596.551,61	19.126.171,58
2009	12	324.080	14.399.938,65	35.504.795,73	21.104.857,08
2010	13	340.054	16.611.638,31	37.259.383,71	20.647.745,40
2011	14	360.729	16.858.487,29	39.484.140,37	22.625.653,08
2012	15	399.025	17.464.863,79	43.470.975,77	26.006.111,99
2013	16	420.445	18.044.167,72	45.770.250,12	27.726.082,40
2014	17	442.927	21.164.407,77	48.175.677,20	27.011.269,44
2015	18	444.518	19.426.823,52	48.491.994,85	29.065.171,34
2016	19	466.240	20.224.666,32	50.821.424,84	30.596.758,52
2017	20	507.159	23.449.159,22	55.070.541,42	31.621.382,20
2018	21	545.022	38.811.973,89	59.014.028,08	20.202.054,19
2019	22	571.372	25.153.057,60	61.806.351,30	36.653.293,70
2020	23	597.847	27.142.095,75	64.611.016,45	37.468.920,70
2021	24	619.573	26.603.199,68	66.940.851,76	57.234.132,07

TIR = 23,4439%

Cenário 4 com Financiamento

Tabela 9.16 – Fluxo de Caixa com Financiamento

DATAS (anos) movimentações					
Ano		TEU/Ano	Total das Despesas	Receita	Saldo Final
1997	0	67.819	9.691.082,64	7.134.550,24	-2.556.532,39
1998	1	69.574	9.759.930,17	7.573.025,34	-2.186.904,84
1999	2	77.879	10.034.304,08	8.856.649,67	-1.177.654,41
2000	3	100.001	10.711.180,15	11.228.909,41	517.729,25
2001	4	135.906	11.913.012,51	15.429.545,27	3.516.532,76
2002	5	174.669	13.156.850,46	19.463.113,82	6.306.263,36
2003	6	192.669	13.614.355,58	21.420.320,18	7.805.964,60
2004	7	223.636	17.721.150,52	24.674.219,35	6.953.068,82
2005	8	225.388	17.834.725,09	25.006.668,65	7.171.943,56
2006	9	257.151	19.314.206,13	28.340.253,30	9.026.047,17
2007	10	268.414	21.720.761,00	29.623.780,89	7.903.019,89
2008	11	296.570	20.635.011,54	32.596.551,61	11.961.540,07
2009	12	324.080	21.564.570,16	35.504.795,73	13.940.225,57
2010	13	340.054	23.776.269,82	37.259.383,71	13.483.113,89
2011	14	360.729	24.023.118,80	39.484.140,37	15.461.021,57
2012	15	399.025	24.629.495,30	43.470.975,77	18.841.480,48
2013	16	420.445	25.208.799,23	45.770.250,12	20.561.450,89
2014	17	442.927	28.329.039,28	48.175.677,20	19.846.637,92
2015	18	444.518	26.591.455,03	48.491.994,85	21.900.539,82
2016	19	466.240	27.389.297,83	50.821.424,84	23.432.127,01
2017	20	507.159	30.613.790,73	55.070.541,42	24.456.750,68
2018	21	545.022	35.593.154,47	59.014.028,08	23.420.873,61
2019	22	571.372	37.414.238,18	61.806.351,30	24.392.113,12
2020	23	597.847	39.403.276,33	64.611.016,45	25.207.740,11
2021	24	619.573	38.864.380,27	66.940.851,76	44.972.951,49

TIR = 46,6742%