RAFAEL BUBACK TEIXEIRA

Modelo Integrado para Seleção de Cargas e Reposicionamento de Contêineres Vazios no Transporte Marítimo

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

SAO PAULO

2011

RAFAEL BUBACK TEIXEIRA

Modelo Integrado para Seleção de Cargas e Reposicionamento de Contêineres Vazios no Transporte Marítimo

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

Área de concentração:
Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador:
Professor Associado
Cláudio Barbieri da Cunha

SAO PAULO

2011

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 21 de novembro de 2011.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Teixeira, Rafael Buback
Modelo integrado de seleção de cargas e reposicionamento de contêineres vazios no transporte marítimo / R.B. Teixeira. – ed.rev. -- São Paulo, 2011.
148 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes.

1. Contêineres 2. Otimização global 3. Cabotagem 4. Trans - porte marítimo 5. Programação inteira e fluxos em rede I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Transportes II. t.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho
aos meus pais, Luiz Roberto e Odete,
e aos meus irmãos, Marcela e Bruno,
pela força e compreensão que sempre tiveram
e por me fazerem acreditar nos meus sonhos!

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e pelas graças recebidas. Por sempre estar ao meu lado em minhas orações, dando-me discernimento e inteligência para chegar ao final dessa jornada do mestrado, o início de um novo começo.

Ao meu pai, Luiz Roberto, que sempre me incentivou e continua ensinando que não há limites para alcançar os sonhos quando estamos nas graças de Deus, mostrando-me autoconfiança e dedicação para alcançar o sucesso desejado.

À minha mãe, Odete, que com seu amor maternal sempre esteve presente, sendo colo nos momentos de preocupação, amiga nos momentos de desabafo e alegria nos momentos de conquista, junto com suas orações à Deus.

À minha irmã, Marcela, pelo apoio incondicional que teve em doar seu tempo em prol de minha pesquisa. E a meu irmão, Bruno, pela força para avançar.

Ao professor Rui, por ter acreditado no meu potencial e me permitido vislumbrar novas oportunidades, dando-me sempre apoio e força.

Ao meu orientador, professor Cláudio, pelo respeito, paciência, capacidade de orientação e por compartilhar uma parte do seu vasto conhecimento na área.

Aos professores Brinati, Hugo, Gilberto e Débora pelos ensinamentos recebidos nas aulas de mestrado.

Aos amigos de turma, em especial, André, Pedro, Thiago, Evandro, Bruno, Fabrício e Kátia, pelo esforço conjunto na busca do aprimoramento técnico.

Aos amigos Pessotti, Wellington e Laherce, pelas oportunidades que me proporcionaram no início de minha carreira, sendo o primeiro passo de muitos.

Aos amigos Trevisan, Montanha, João, Medina, Newton e a todos que não foram citados, mas que estão grifados na minha memória e compõem o meu sucesso na vida pessoal, acadêmica e profissional.

RESUMO

A popularização dos contêineres no transporte de cargas gerais por volta dos anos 60 provocou significativa mudança no tráfego de mercadorias ao redor do mundo. A utilização deste equipamento simplifica e agiliza o processo de transporte e manuseio de cargas, uma vez que permite a movimentação entre diferentes modais com rapidez e segurança nas operações de carga e descarga. Neste contexto, esta pesquisa trata do problema que integra decisões de escolha de cargas a serem transportadas pelo modal marítimo com decisões de reposicionamento de contêineres vazios de modo a maximizar a receita total. O modelo baseia-se em um problema de fluxo em rede multiproduto, a partir da qual é proposta uma modelagem matemática inédita, que permite levar em consideração as principais restrições encontradas na prática tais como: horizonte de planejamento de longo prazo; diferentes tipos e tamanhos de contêineres; múltiplos navios, rotas e suas respectivas programações; rotas que permitem que um porto seja visitado mais de uma vez; capacidades dos navios em termos de número máximo de contêineres cheios e vazios por tipo e peso máximo total; para cada rota e trecho entre dois portos consecutivos; etc. O modelo proposto foi implementado em C++ e utiliza o software de otimização GUROBI, lançado recentemente, assim como uma planilha eletrônica para os dados de entrada. O mesmo foi comparado a um modelo da literatura que utiliza método heurístico para resolução de problema semelhante. O modelo também foi aplicado a problemas de diversos portes evidenciando que é capaz de resolver problemas até à otimização de maneira eficiente e em tempos de processamento reduzidos.

ABSTRACT

The popularization of containers in transporting general cargo caused a significant change in freight traffic around the world. The use of this mechanism simplifies and streamlines the process of shipping and handling charges, allowing you to move it between different transport modes, with speed and safety in loading and unloading process. In this context, this research deals the problem that incorporates decisions of cargo selection to be transported by sea with decisions involving reposition empty containers in order to maximize total revenue. The problem is modeled as a multi-product network flow problem and is proposed a novel mathematical model, which takes into account the main constraints encountered in practice, such as planning horizon of long-term; different types and sizes of containers, multiple ships and routes and their schedules, routes that allow a port to be visited more than once, and capacity of vessels in terms of maximum number of full and empty containers by type, and maximum weight for each route and the segment between two consecutive ports, etc. The proposed model was implemented in C++ and uses for its solution, the optimization software recently launched, GUROBI, as well as a spreadsheet for data entry. The same was applied to a problem of literature that uses a heuristic method to solve it. The model also was applied to several size of problems showing the model able to solve problem to optimality of efficient way and in processing time reduced.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS ..... **ii**
LISTA DE QUADROS ..... **iv**
LISTA DE TABELAS ..... **v**
1. INTRODUÇÃO **1**
1.1. Relevância do Problema 2
1.2. Objetivo da Tese 5
1.3. Delineamento do Trabalho 5
2. REVISÃO DA LITERATURA **7**
3. CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA **15**
3.1. Caracterização do Problema 15
3.2. Ciclo dos contêineres 21
3.3. Modelagem 25
3.3.1 Premissas da Modelagem 28
3.3.2 Capacidades e Custos 29
3.3.3 Representação da Rede 30
3.4. Modelo Matemático 45
3.5. Comparação entre modelos 47
3.6. Exemplo da aplicação 50
3.6.1 Estruturação da rede espaço-tempo 51
4. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO **58**
5. EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS **71**
5.1. Análise Comparativa 74
5.1.1 Análise dos resultados comparativos 80
5.2. Cenários de estudo 82
5.2.1 Dados de Custos da Cabotagem Internacional 87
5.2.2 Dados de capacidades da cabotagem internacional 89
5.2.3 Grupo de cargas a serem atendidas 91
5.2.4 Construção dos cenários 96
5.2.5 Análise dos resultados do estudo de caso 98
6. CONCLUSÕES **102**
REFERÊNCIAS **115**
ANEXO 1. *"Extensible Markup Language"* (XML) **118**
A.1. Introdução 118
A.2. Origem e Objetivos 118
A.3. Estruturação do Arquivo 119
A.4. Considerações Finais 120
ANEXO 2 – Resultados do modelo proposto para análise comparativa **122**
ANEXO 3 – Resultados do modelo de Cuoco para análise comparativa **124**
ANEXO 4 – Tipos de contêineres dos problemas de análise **126**
ANEXO 5 – Resultados do modelo proposto para estudo de caso **127**

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Volume de contêineres movimentados nos portos brasileiros 2

Figura 2.1 – Diferentes níveis de planejamento para “linear shipping”.....14

Figura 3.1 - Processo de alocação e transporte de contêineres cheios.....22

Figura 3.2 – Tempo livre antes do embarque de contêineres 23

Figura 3.3 - Atividades de embarque, transporte e desembarque.....23

Figura 3.4 – Tempo livre após o desembarque de contêineres.....24

Figura 3.5 - Atividades de reposicionamento e estocagem de vazios.....24

Figura 3.6 - Ciclo dos contêineres, cheios e vazios 25

Figura 3.7- Exemplo de representação da rede espaço-tempo.....33

Figura 3.8 – Representação de arcos AM associados a nós NM, NSL, NTL. 37

Figura 3.9 – Representação de arcos AT associados a nós NI, NSL, NTL.....37

Figura 3.10 –Representação arcos AE e AD associados a nós NMT, NIV 38

Figura 3.11 - Representação arcos AX associados a nós NSL,NTL,NSG,NTG.....38

Figura 3.12 - Representação dos fluxos na rede espaço-tempo.....40

Figura 3.13 - Representação da rede para o problema pequeno.....52

Figura 3.14 - Fluxo associado à carga 1 do exemplo.....57

Figura 3.15 – Fluxo associado à carga 2 do exemplo.....57

Figura 4.1 – Esquema simplificado do SAD proposto 59

Figura 4.2 – Procedimentos para o SAD.....60

Figura 4.3 – Tela inicial da interface com o usuário 61

Figura 4.4 – Tabela de entrada para estoque iniciais nos portos.....64

Figura 4.5 – Tabela de entrada para capacidades específicas dos navios 65

Figura 4.6 – Tabela de entrada para demanda e ofertas externas.....65

Figura 4.7 – Tabela de entrada para definição das rotas dos navios 66

Figura 4.8 - Planilha de definição de grupo de cargas 67

Figura 4.9 – Hierarquia do arquivo XML para o modelo proposto 68

Figura 4.10 - Exemplo de estrutura XML para dados de entrada.....69

Figura 5.1 – Fluxos nos arcos para a instância pequena 73

Figura 5.2 – Mapa com representação das rotas dos navios 85

Figura 5.3 – Rede espaço-tempo para o estudo de caso.....86

Figura 5.4 - Tonelagem no navio NAV1 102

Figura 5.5 - Tonelagem do navio SSZ1.....102

Figura 5.6 - Tonelagem do navio NAV2 102

Figura 5.7 - Tonelagem do navio SSZ2.....102

Figura 5.8 - Tonelagem do navio NAV3 103

Figura 5.9 - Tonelagem do navio SSZ3.....103

Figura 5.10 – Ocupação x disponibilidade de peso (ton) no navio SSZ3 103

Figura 6.1 – Exemplo de estrutura de arquivo XML 120

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Nós da rede relacionados à atividades dos processo 34

Quadro 3.2 - Os nós da rede relacionados à atividades dos processo 38

Quadro 3.3 - Relação dos tipos de nós com os tipos de arcos 39

Quadro 3.4 – Interpretação de cada um dos fluxos da rede 40

Quadro 3.5 – Comparação das principais características entre os modelos.... 49

Quadro 4.1 - Campos em “Definições da Instância”, na tela inicial 62

Quadro 4.2 – Campos em “Parâmetros Iniciais”, na tela inicial..... 62

Quadro 4.3 – Campos em “Contêineres”, na tela inicial..... 63

Quadro 4.4 – Campos em “Portos”, na tela inicial..... 63

Quadro 4.5 – Campos em “Navios”, na tela inicial 64

Quadro 4.6 - Campos em “Definição das Rotas”..... 66

Quadro 4.7 – Campos em “Definição de Grupo de Carga” 68

Quadro 5.1 – Portos considerados na análise comparativa 76

Quadro 5.2 - Trechos das rotas percorridas pelos navios..... 77

Quadro 5.4 – Passagem dos navios por sentido..... 83

Quadro 5.5 - Tabela de chegadas e partidas dos navios nos portos 84

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Tabela de rotas(a), contêineres(b) e navios(c) 50
Tabela 3.2 - Cargas a serem transportadas 51
Tabela 3.3 - Relação de nós de estoque e marítimos 52
Tabela 3.4 - Relação de nós auxiliares 52
Tabela 3.5 - Relação de arcos e seus atributos para o problema pequeno 53
Tabela 3.6 – Atribuição das cargas aos arcos para o fluxo de cheios..... 56
Tabela 5.1 – Seleção das cargas a serem transportadas 72
Tabela 5.2 – Comparação do resultado entre modelo proposto e de Cuoco ... 81
Tabela 5.3 - Comparação de reposicionamentos entre os modelos 81
Tabela 5.4 – Custo unitário do transporte marítimo de contêiner..... 87
Tabela 5.5 – Custo unitário de embarque e de desembarque de contêineres . 88
Tabela 5.6 – Capacidades específicas para o transporte de cheios 90
Tabela 5.7 – Demanda e oferta por tipo de contêiner 99
Tabela 5.8 – Estoque inicial de contêineres nos portos 100
Tabela 5.9 – Relação demanda/oferta de contêineres nos portos 100
Tabela 5.10 – Contêineres aceitos por porto e tipo de contêiner 101
Tabela 5.11 – Percentual de aceite por porto e tipo de contêiner 102
Tabela 5.12 – Contêineres aceitos por navio e tipo de contêiner..... 102
Tabela 5.13 – Ocupações dos navios no cenário inicial..... 103
Tabela 5.14 – Saldo estoque dos portos por tipo de contêiner 104
Tabela 5.15 – Custos de Reposicionamentos de Vazios 105
Tabela 5.16 – Comparação entre aceite parcial e aceite total para cargas.... 106
Tabela 5.17 - Comparação entre aceite parcial e total (oferta e demanda) ... 106
Tabela 5.18 – Comparação entre aceite parcial e total (margem)..... 107
Tabela 5.19 – Comparação entre aceite parcial e total (reposicionamentos). 107
Tabela 5.20 – Variação de demanda – Resultados de cargas e reposição ... 108
Tabela 5.21 – Variação da demanda – Resultados de ocupação 109
Tabela 5.22 – Variação da capacidade dos navios - Cargas 110

Tabela 5.23 – Variação da capacidade dos navios – Oferta x Demanda..... 110
Tabela 5.24 – Variação da capacidade dos navios 111
Tabela 5.25 – Variação da oferta de vazios – Cargas..... 111
Tabela 5.26 – Variação da oferta de vazios – Oferta e Demanda..... 112
Tabela 5.27 – Variação da oferta de vazios 112

1. INTRODUÇÃO

Por volta dos anos 60 iniciou-se a utilização de contêineres no transporte de carga. Esses equipamentos tornaram-se significativos no tráfego de mercadorias considerando o crescente aumento do volume de cargas transportadas. A utilização de contêineres facilita as operações de transporte de cargas em portos e outros pontos de transferência, permitindo maior agilidade e eficiência no manuseio e no transporte, além de possibilitar a movimentação de múltiplas unidades de cargas simultaneamente.

O presente trabalho trata do problema integrado que combina o transporte de contêineres cheios e vazios, envolvendo decisões quanto ao aceite e à rejeição de carga no transporte marítimo, bem como no reposicionamento de contêineres vazios. Propõe-se uma estratégia de solução na qual se trata o problema abordado como um problema de fluxo de rede multi-produto (*"multi-commodity"*), numa rede espaço-tempo (*"space-time network"*), com decisões e restrições adicionais de seleção de cargas a serem transportadas, onde cada tipo de contêiner representa um produto (*"commodity"*).

O modelo proposto apresenta uma formulação matemática representando adequadamente o problema e permitindo implementação computacional que poderá possibilitar a sua utilização por parte das companhias de navegação, auxiliando-as nas tomadas de decisões e contribuindo para o aumento da produtividade e das receitas líquidas nas operações logísticas envolvidas na seleção de cargas e no reposicionamento de contêineres vazios. Busca-se apresentação da aplicabilidade do modelo proposto com cenários hipotéticos, em ordens de grandeza dos problemas encontrados na prática. Os resultados são comparados com base nas variações de oferta e demanda e das capacidades da rede.

A implementação do modelo, em conjunto com ferramentas de suporte à decisão, proporciona uma interface amigável tanto para a entrada de dados quanto automatizando funções que criam a rede e constroem o modelo, de tal forma que possibilite uma utilização por usuários sem experiência em pesquisa operacional. Implementa-se este SAD em linguagem de programação C++ com utilização de

pacote de otimização Gurobi 4.0 e interface de dados em planilha eletrônica. O SAD fornece uma interface amigável com o usuário, permitindo fácil administração de dados. A apresentação dos resultados obtidos é intuitiva e de fácil compreensão. Busca-se a partir deste sistema o fornecimento de uma ferramenta para determinação das cargas a serem transportadas e determinação do fluxo de contêineres cheios e vazios ao longo da cadeia logística, com objetivo de maximizar a margem de contribuição líquida gerada no atendimento do transporte de cargas, deduzidos os custos de movimentação de contêineres vazios.

1.1. Relevância do Problema

Desde a introdução do contêiner no sistema de transporte marítimo nos anos 60, o volume de cargas transportadas nesse modal no Brasil cresceu a ponto de se tornar a parcela mais significativa do tráfego de mercadorias. Em 2009, observou-se uma queda considerável de volume de cargas transportadas, interrompendo, assim, o crescimento contínuo observado por 12 anos, desde 1996. Comparando-se o ano de 2008 com o seguinte, verifica-se uma queda de 0,54 milhões de volume de contêineres movimentados, o que representa 3,97 milhões de unidades em 2009 contra 4,51 milhões unidades movimentadas no ano anterior, conforme notícia veiculada por Valor (2010). A Figura 1.1 apresenta a evolução de volume de contêineres movimentados de 2006 a 2009. Observa-se o crescimento contínuo até o ano de 2008, seguido do efeito provocado pela crise no volume total movimentado, em 2009 (Valor, 2010).

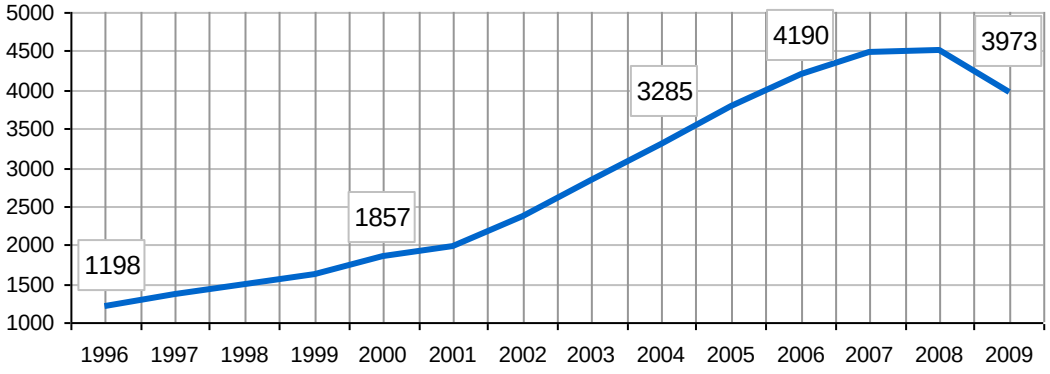


Figura 1.1 – Volume de contêineres movimentados nos portos brasileiros
Fonte: adaptado de Abratec (2010) apud Valor (2010).

Em 2010, observou-se uma perspectiva positiva quanto ao aumento do volume de contêineres, onde se esperavam recordes em comparação aos anos anteriores. A perspectiva veiculada por Valor (2010), no inicio do ano, apontava um aumento de 18,29% em relação a 2009, representando um volume total a ser transportado de 4,7 milhões de contêineres. Esperava-se que o volume de mercadorias de contêineres em 2010 supera-se o resultado apontado para o ano de 2008 (Valor, 2010).

Embora o transporte marítimo esteja geralmente associado ao transporte de grandes volumes de produtos com baixo valor agregado como, por exemplo, minério de ferro e carvão, nos últimos anos o transporte de pequenos volumes com alto valor agregado tem crescido no mundo. De acordo com a WTO (*"World Trade Organization"*), os produtos manufaturados correspondem a mais de 70% (em valor monetário) do comércio marítimo mundial de mercadorias. Como a maioria destas mercadorias é transportada em contêineres, o comércio mundial "conteinerizado" acompanha esse crescimento. Para a *"Drewry Shipping Consultants"* a previsão era que o volume de cargas transportadas em contêineres dobre até 2016, atingindo 287 milhões de TEUs de contêineres movimentados, e excede-se os 371 milhões de TEUs até 2010 (*"Review of Maritime Transport"* 2009, UNCTAD).

Existem inúmeras vantagens competitivas no transporte de carga contêinerizadas. A utilização de contêineres no transporte de carga agiliza o processo de movimentação em cada ponto de transferência (navio, caminhão e trem). Além disso, as condições de armazenamento dentro de um contêiner fechado proporcionam redução de avarias na carga devido a roubos e à ação do tempo.

Uma das maiores vantagens observadas no transporte de contêineres se refere ao fato de que é uma forma unitizada, modulando o transporte e permitindo melhor aproveitamento dos espaços nas embarcações, facilita a padronização e a automação de todas as operações envolvidas em sua movimentação. Isto aumenta a eficiência nos pontos de transferência, terminais e armazéns de contêineres, além de proporcionar economia de tempo e redução de custos para toda a cadeia.

No entanto, o aumento da demanda de cargas a serem transportadas por contêineres ocasiona, em certos pontos e períodos do horizonte de planejamento, incapacidades de atendimento em virtude das limitações de recursos logísticos

disponíveis para o transporte de carga contêinerizadas. Com isso, as companhias de navegação responsáveis por administrar a alocação e transporte de contêineres precisam definir o atendimento específico da demanda. Conforme Lai et al. (1995), para maior eficiência, a companhia de navegação precisa evitar que negócios deixem de ser contratados devido as indisponibilidades de contêineres vazios quando requisitados pelos embarcadores.

Em virtude do desequilíbrio de demandas, que cria certos desafios logísticos no gerenciamento de contêineres vazios (Lai et al., 1995), há necessidade de, além das decisões envolvendo seleção das cargas a serem transportadas, a tomada de outras decisões de modo integrado, envolvendo reposicionamento de contêineres vazios que devem ser reutilizados inúmeras vezes por diversas cargas em diferentes períodos do planejamento. Na seleção das cargas a serem transportadas busca-se a maximização da receita gerada com o atendimento do transporte das cargas. Em contrapartida, busca-se redução dos custos logísticos envolvidos, como no reposicionamento e outras situações, considerando que o contêiner é um equipamento dispendioso e não descartável.

Observa-se que há potencial utilização de um sistema de apoio à decisão que permita otimização de toda a movimentação, sendo de suma importância para todos agentes envolvidos e para sociedade, pois permite aumento da rentabilidade e redução de custos, além do aumento da eficiência, da confiabilidade e da qualidade dos serviços prestados, beneficiando os clientes finais.

Neste sentido, a partir de um diagnóstico e de uma caracterização da logística de operações de contêineres e da alocação e movimentação de cheios e vazios, propõe-se um modelo matemático que represente adequadamente esse problema, permitindo o desenvolvimento de uma ferramenta para sua solução e que possa ser efetivamente utilizada contribuindo para o aumento da eficiência e da rentabilidade líquida das operações logísticas com o atendimento adequado de embarcadores potenciais, considerando também as reduções de custos na movimentação de contêineres vazios.

1.2. Objetivo da Tese

Este trabalho tem por objetivo propor um sistema de apoio à decisão relacionado à alocação e o transporte de contêineres cheios e vazios integrados e ao longo de uma cadeia de portos. O sistema baseia-se em um modelo matemático inédito que tem em vista a seleção de carga e o reposicionamento de contêineres vazios, considerando restrições de capacidade impostas ao modelo e o equilíbrio da rede logística. Busca-se, a partir do modelo, utilizando pacote de otimização a ser implementado em linguagem computacional e com interface de planilha eletrônica, determinar o atendimento das cargas e o reposicionamento de contêineres vazios ao longo da cadeia logística, de forma a maximizar a receita líquida gerada com o atendimento do transporte de cargas, deduzidos os custos de movimentação de contêineres vazios.

1.3. Delineamento do Trabalho

O trabalho está estruturado da seguinte forma:

O Capítulo 2 traz uma revisão bibliográfica, indicando as publicações e assuntos verificados.

O Capítulo 3 apresenta a caracterização do problema e modelagem do problema, com detalhamento das premissas adotadas, representação da rede espaço-tempo e do modelo matemático proposto.

O Capítulo 4 apresenta a implementação realizada neste trabalho, em todos os seus aspectos. Descreve o sistema de apoio à decisão, a implementação do modelo e a interface a ser utilizada pelo usuário.

O Capítulo 5 apresenta os experimentos computacionais sobre o trabalho realizado, descrevendo os problemas reduzidos e testados para uma validação da modelagem e implementação. Compara-se o modelo proposto com um modelo da literatura que utiliza abordagem heurística para solução de um problema semelhante. Também se analisou o modelo para problemas de diversos portes, permitindo apresentar sua aplicabilidade a uma mesma ordem de grandeza dos problemas observados na prática nas companhias de navegação.

O Capítulo 6 apresenta as conclusões sobre o trabalho realizado, bem como as propostas para futuras extensões da solução.

O Anexo 1 traz informações adicionais sobre "*Extensible Markup Language*" (XML), tendo como base as últimas recomendações da W3C. Este tipo de arquivo é utilizado para comunicação de dados entre componentes do SAD.

O Anexo 2 e Anexo 3 trazem as tabelas de resultados comparativos entre os experimentos realizados com o modelo proposto e com o modelo desenvolvido por Cuoco (2008).

O Anexo 4 traz uma descrição dos tipos de contêineres adotados nos problemas de estudo. E o Anexo 5 traz as tabelas de resultados desses problemas voltados para as análises do modelo quanto à variação de demanda e à oferta de contêineres, bem como quanto às condições de aceite.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Os contêineres surgiram ao final dos anos 30 facilitando o transporte de carga por meio de vagões desmontáveis, minimizando tempos de descarregamento na troca de carga entre trens ou de caminhão para trem. Preston e Kozan (2001) pesquisaram sobre as reduções de custos de transporte e aumento da segurança no transporte de contêineres, além de facilidades na entrega de produtos porta a porta. Por volta dos anos 60, observou-se potencial utilização dos contêineres pelas companhias de transporte marítimo, em vista às facilidades de manuseio e de transporte de carga em portos e outros pontos de transferência, permitindo simultaneidade na alocação de múltiplas cargas em uma mesma embarcação.

Para significativa redução de custos e de aumento do transporte de carga de contêineres por via marítima, companhias de navegação promoveram economia de escala com o aumento do tamanho dos navios (Wilson e Roach, 2000). Com isso, um eficiente gerenciamento de contêineres passou a ser um problema relevante, em vista os altos custos envolvidos e a complexidade das operações, tais como de aquisição, manuseio, manutenção e transporte (Dejax e Crainic, 1987). Devido à natureza da cadeia comercial em certas áreas, verifica-se desequilíbrio entre as ofertas e as demandas para certos portos da rede logística, no que tange o gerenciamento de contêineres vazios (Lai et al, 1995).

O gerenciamento de custos eficientes e a gestão de demanda colaboram no transporte de contêineres aumentando a rentabilidade e a eficiência. Aplicam-se modelos de decisão para melhorar a seleção de cargas, bem como utilização e movimentação de contêineres. Embora contêineres cheios possuam prioridade de alocação nos navios para o transporte entre portos, contêineres vazios não devem permanecer parados, pois são necessários para a realização de novos carregamentos (Bandeira, 2005).

White (1972) apresenta um modelo de rede para alocação e distribuição de contêineres vazios em um problema de transbordo dinâmico. Conforme Herer e Tzur (2003), o transbordo dinâmico pode ser visto como uma extensão do problema clássico de Wagner-Whitin (Wagner e Whitin, 1958), onde os autores consideram

mais de uma fonte (fornecedor) para reabastecimento de estoque de uma localidade. Cada localidade tem duas ou mais fontes potenciais de fornecimento. No caso do modelo apresentado por White (1972), o objetivo é determinar a origem das unidades de contêineres vazios quando não há contêineres suficientes em determinado local. São conhecidos o local, o período e as quantidades de contêineres vazios disponíveis no sistema. A alocação de contêineres é dinâmica em diferentes abordagens: i) modelo é dinâmico, pois os dados mudam com o passar do tempo e os recursos podem se reposicionarem ao término das atividades e; ii) incorpora explicitamente interação de atividades ao longo do tempo. Com base no modelo dinâmico, o autor buscou otimizar o fluxo de contêineres vazios através de uma função linear de custo.

Dejax e Crainic (1987) apontaram escassez de trabalhos na literatura considerando o gerenciamento de fluxos de contêineres vazios em geral e afirmaram que as soluções voltadas para este contexto são relevantes para as companhias de navegação. Com o desenvolvimento de modelos para o problema ao longo dos anos, Shitani et al. (2007) já destacaram uma considerável quantidade de trabalhos envolvendo tal abordagem, reforçando sua importância na logística. Foram apresentados trabalhos envolvendo alocação dinâmica de contêineres, em alocação e escalonamento, ou seja, designação de qual contêiner é utilizado para transportar qual carga e em que instante de tempo este transporte é iniciado.

Lai et al. (1995) desenvolveram um modelo baseado em técnicas de simulação para tratamento do problema de movimentação de contêineres vazios enfrentado por uma companhia de navegação. Cheung e Chen (1993), por sua vez, estudaram um modelo de rede estocástico com dois estágios para o problema de alocação dinâmica de contêineres, empregando uma programação estocástica para a solução do mesmo, e considerando demanda por apenas um tipo de contêiner. A resolução do modelo foi dividida em dois estágios, sendo o primeiro determinístico e o segundo estocástico, utilizando-se de um método de linearização estocástico. Para o caso de problemas com múltiplos tipos de contêineres, os trabalhos de Cranic e Delorme (1995), Gendron e Crainic (1993) apresentam algoritmos baseados no método *“branch-and-bound”* para a resolução dos mesmos.

Barco (1998) apresenta uma formulação matemática do problema com base no modelo matemático genérico proposto por Crainic et al. (1993). O modelo trabalha com o planejamento do transporte terrestre e marítimo de contêineres vazios no atendimento às rotas internacionais de transporte marítimo, permitindo também aluguel de contêineres. O objetivo do trabalho visa otimização da movimentação de contêineres vazios, com minimização dos custos de transporte deste equipamento.

Abrache (1999) propõe um novo método de resolução de problemas de alocação de contêineres vazios, com base em um modelo dinâmico, já proposto na literatura. Trata-se de um método de decomposição primal para resolução de um modelo determinístico, dinâmico e multi-produto do problema. Várias estratégias são derivadas do modelo e implementadas em ambientes seqüenciais e paralelos.

Souza (2001) apresenta uma análise de procedimentos operacionais para alocação de contêineres com relação às demandas de contêineres e ao fluxo de informações de uma companhia de navegação. Em uma das heurísticas apresentadas, o autor apresenta uma heurística-gulosa onde trata a alocação de maior quantidade de contêineres possíveis nos fluxos de menores custos. Os modelos foram inicialmente aplicados para a solução de problemas de remanejamento de vagões vazios na linha ferroviária. A heurística-gulosa de alocação obteve menor custo dentro os outros modelos apresentados. A solução apresentada ainda necessita refinamento por considerar somente as suas análises em períodos conseqüentes no momento da decisão, deixando de considerar todo o horizonte de planejamento.

Rezende (2003), com base no trabalho de Barco (1998), apresenta um modelo de otimização para o planejamento logístico do transporte de contêineres vazios, o qual determina os fluxos em uma rede portuária, utilizando modais marítimos e terrestres, com possibilidade de aluguel de contêineres a longo termo. O problema de reposicionamento de contêineres vazios é definido dado um horizonte de planejamento, com rotas de navios conhecidas, bem como ofertas e demandas de contêineres vazios, para cada tipo e em cada um dos portos das rotas. Pretende-se determinar a configuração, no transporte marítimo e terrestre, o fluxo de contêineres vazios, bem como necessidades de aluguel de contêineres. O modelo teve por objetivo minimizar os custos envolvidos nas operações de movimentação e aluguel de contêineres vazios.

A principal diferença da modelagem de Rezende (2003) para a de Barco (1998) é a possibilidade de consideração de que os navios podem ter dupla passagem por um mesmo porto, como ocorre em rotas circulares comuns na cabotagem da costa leste da América do Sul. Ambos os trabalhos aplicam-se a casos reais da empresa Hamburg Süd e utilizaram uma mesma fonte de dados para aplicação do modelo, mas não há comparação de resultados pelos autores. Barco (1998) ainda conclui que tal modelo pode contribuir como valiosa ferramenta para a definição do reposicionamento dos contêineres vazios no atendimento da demanda dos portos. Melhores serão os resultados quanto mais precisas forem as informações de entrada.

Bandeira (2005) propõe uma evolução do modelo proposto por Crainic et al. (1993) combinando o problema de reposicionamento de contêineres vazios e as operações de transbordo de contêineres cheios e vazios. O modelo de transbordo proposto por Bandeira (2005) é extraído do modelo de Goldbarg (2000). O modelo é dinâmico e determinístico, considerando apenas um tipo de contêiner. Utiliza funções lineares de custo para as atividades relacionadas ao processo de alocação: propriedade, substituição, empréstimo e transporte. No trabalho de Bandeira (2005) não se consideram outros custos. O autor apresenta em seu modelo cada atividade relacionada ao processo de alocação de contêineres com base um critério específico de custo. Definidos os critérios, minimiza-se o custo total de alocação.

As demandas dos clientes, de acordo com o modelo de transbordo apresentado por Bandeira (2005), podem ser atendidas por depósitos relacionados ao problema, utilizando os navios que chegam a quaisquer dos períodos dentro da janela de tempo. Sempre há depósito suficientemente próximo para satisfazer a demanda de um cliente identificado.

No modelo de Bandeira (2005) considera-se que toda a demanda será atendida, mesmo que em um prazo maior ao solicitado pelo cliente, o que implica em não definir um critério de priorização dos clientes ou utilizar mais contêineres no sistema (*"leasing"*). O autor não considera a capacidade dos navios que fazem o transporte dos contêineres, identificando esta variável como uma sugestão de melhoria a ser implementada.

Costa (2006) desenvolveu um modelo de programação linear que tem por objetivo a maximização da margem de contribuição dentro de um horizonte de planejamento pré-determinado. Apresentou um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) baseado no modelo desenvolvido. Considerou as demandas totais pelo transporte de carga, disponibilidade de contêineres vazios, além de estocagem em cada um dos portos, as capacidades dos navios, as restrições operacionais e as restrições de participação por tipo de carga. Foram testados vários cenários a fim de analisar os impactos das decisões no plano de negócio da companhia. Ressalta-se a importância da logística de contêineres vazios no planejamento da empresa.

Em um estudo de caso com quatro armadores, Nobre (2006) obteve resultados qualitativos que verificam a importância da gestão logística na reformulação de estratégias de geração de receitas e minimização de custos. O autor considerou que receitas não são vinculadas somente à venda e realização de transportes, mas também à produtividade dos contêineres. Os armadores buscam a maior rotatividade de carga por contêineres em cada período. Esse estudo permitiu ressaltar a importância do planejamento de utilização dos contêineres para redução de custos de movimentação e de oportunidade. Os custos de oportunidade, neste contexto, caracterizam-se na falta de contêineres vazios em determinado porto para certo período do horizonte de planejamento que pode ocasionar perda de negócios mais rentáveis e, consequentemente, oportunidades no transporte de cargas de clientes potencialmente mais rentáveis e mesmo a queda do nível de serviço acordado junto aos clientes.

Cuoco (2008) trata do problema integrado de movimentação de contêineres cheios e vazios. O autor implementou o modelo proposto como uma heurística gulosa, em que as cargas são selecionadas conforme uma ordenação de resultados de indicadores de rentabilidade comumente observados entre as companhias de navegação. Os indicadores de rentabilidade utilizados pelo autor foram: i) Receita unitária por unidade de peso; ii) Receita unitária por unidade de peso por dia; iii) Receita unitária por unidade de volume; iv) Receita unitária por unidade de volume por dia e; v) Critério de Toyoda. Elaborado por Toyoda (1975) e citado pelo autor, o Critério Toyoda consolida em uma única expressão uma ponderação para os fatores restritivos número de contêineres e de peso.

A heurística proposta por Cuoco (2008) pode ser sumarizada como segue. As cargas são selecionadas com base em indicador de rentabilidade. Assim, ordenam-se todas as cargas dos clientes com base no indicador selecionado e, após esta ordenação, é feito o aceite ou a rejeição das cargas, sem violação das restrições de capacidade dos navios e das disponibilidades de contêineres vazios nos portos. Em caso de não haver disponibilidade de contêineres vazios para o atendimento da carga em avaliação, verifica-se, de maneira simplificada, a possibilidade de reposicionamento de contêineres vazios objetivando o atendimento somente desta carga. Havendo a possibilidade, sem violação de restrições para o atendimento das cargas aceitas já avaliadas, o reposicionamento é realizado e a carga, em avaliação, é aceita. Este processo é retomado para a carga seguinte, conforme a ordenação realizada, até que a última carga de cliente seja avaliada.

Por se tratar de uma heurística gulosa, o trabalho de Cuoco (2008), não considera o sistema como um todo e somente um tipo de contêiner é permitido em sua modelagem. Quando a carga demandada possui mais de um tipo de contêiner, tal demanda é convertida em número equivalente de módulos de contêineres (TEU), sendo tratada, assim, por um único tipo de contêiner. Neste caso, não há restrições específicas por tipo de contêiner. Toda a implementação da heurística se baseou em planilha eletrônica, programada em linguagem Visual Basic for Application (VBA). O autor aplicou o modelo implementado em um estudo de caso de uma companhia de navegação e os resultados obtidos apresentam-se adequados aos objetivos propostos.

O trabalho realizado por Maranhão (2009) aborda a alocação de contêineres cheios e vazios dinamicamente integrados. Aplicou uma metodologia dividida em três fases: i) formulação do sistema integrado; ii) desenvolvimento de heurística e; iii) comparações entre heurística e a formulação. Na primeira etapa utilizou-se um processo clássico de pesquisa operacional para formulação de problemas adaptado de Wagner (1972) e Jensen (2003), ambos citados pelo autor. Na segunda etapa propõe-se uma abordagem heurística mais simples e com tempo computacional reduzido, em comparação a apresentada por Bandeira (2005), um dos poucos trabalhos que abordam o problema e aplicaram heurística para sua solução. A

heurística proposta por Maranhão (2009) é inspirada no problema *"Job-Shop"*, numa situação onde a quantidade de máquinas e igual ao número de tarefas.

Zambuzi (2010) apresenta um modelo de planejamento da distribuição de contêineres vazios. Tem por objetivo, principalmente, minimizar custos envolvendo a movimentação de contêineres vazios, em vista do desbalanceamento entre ofertas e demandas. Nesse modelo se consideram restrições de capacidade de transporte dos modais trabalhados. Baseou-se num modelo de fluxo de rede multi-produto ("multi-commodity"), distribuída no tempo. Conhecem-se todas as demandas de cargas dos portos, somente considerando decisões de movimentação de contêineres vazios. Condiciona-se ao conhecimento prévio das rotas já programadas de navios. Permite que um navio passe mais de uma vez por um mesmo porto dentro do horizonte de tempo. Isto é um diferencial em relação aos trabalhos apresentados por Barco (1998) e Rezende (2003), onde se consideram somente uma dupla passagem dos navios por um mesmo porto.

No modelo de Zambuzi (2010), o reposicionamento de vazios pode ser realizado por navios de rotas existentes e por caminhões, além da possibilidade de aluguel de contêineres para suprir necessidades pontuais de oferta nos portos. O modelo utiliza otimização por pacote de otimização What's Best, implementado em planilha eletrônica, com interface de entrada e saída de dados, amigável para o usuário. Nos resultados obtidos, observa-se considerável melhora quanto ao trabalho de Rezende (2003), bem como em comparação ao estudo de caso realizado na empresa Hamburg Süd. Também se demonstra a robustez do modelo com a aplicação de cenários considerando incertezas na rota e na freqüência dos navios.

O trabalho de Cuocco (2008) trabalha com decisões integradas de seleção de carga de clientes e movimentação de contêineres vazios, onde se observa uma potencial utilização do modelo de fluxo de rede multi-produto, em uma rede espaço-tempo, como utilizado no problema proposto por Zambuzi (2010), buscando melhoria dos resultados referentes ao problema integrado e a redução dos tempos computacionais. Na literatura não foram encontrados trabalhos de transporte de contêineres que consideram decisões integradas de seleção de carga e realocação de contêineres vazios com utilização deste modelo de fluxo de rede, numa rede espaço-tempo.

Objetivando melhor visão das decisões envolvidas no planejamento logístico de transporte de contêineres, Argawal e Ergun (2008) definiram três níveis de planejamento no transporte de carga: Estratégico, Tático e Operacional, como mostrado na Figura 2.1. No nível estratégico, caracterizam-se decisões de seleção de recursos disponíveis e também o dimensionamento da frota necessária para o funcionamento da rede de serviços. Com base nestas definições, compõem-se políticas e diretrizes gerais do planejamento logístico, visando informações de cursos e receita. As diretrizes, por sua vez, alimentam decisões de composição da rede de serviços, evidenciando decisões de agendamento e freqüência dos navios, bem como definições dos portos. O planejamento tático define as metas, regras e restrições, com base nos recursos disponíveis e frota definida. Então, com o planejamento operacional, decidem-se as cargas que serão aceitas ou rejeitadas no transporte de carga e a execução deste transporte.

Figura 2.1 – Diferentes níveis de planejamento para "linear shipping"
Fonte: traduzido e adaptado de Argawal e Ergun (2008).

3. CARACTERIZAÇÃO E MODELAGEM DO PROBLEMA

3.1. Caracterização do Problema

No mercado de transporte marítimo de cargas, utilizam-se contêineres como forma de constituir unidades de carga independentes de tipo ou de quantidade de produtos solicitados para o transporte. Estes contêineres possuem dimensões padronizadas em medidas inglesas (pés). Considera-se TEU (*"twenty feet equivalent unit"*) a unidade base de equivalência entre diferentes tamanhos de contêineres.

A medida do contêiner refere-se à medida externa, sendo o tamanho associado ao seu comprimento. Existem diversos comprimentos e alturas, porém apenas uma largura. Os tipos de contêineres podem variar totalmente fechados ou totalmente abertos, com capacidade para controle de temperatura e tanques, além de limites em peso.

Os contêineres são modulares, sendo que se considera o contêiner de 20' (vinte pés) de comprimento como um módulo, ou seja, equivalente a 1 TEU. Todas as demais medidas de contêineres consideram a medida de equivalência em TEU. Por exemplo, o contêiner com medida de 40' (quarenta pés) pode ser definido como um contêiner de 2 TEUs, ou seja, equivalente a 2 módulos de 20' (vinte pés), sempre em relação ao seu comprimento.

O transporte de contêineres por via marítima normalmente é realizado por navios de carga ou porta-contêineres. Os navios possuem capacidades de transporte de módulos (TEUs) em número de posições, por tipo de contêiner e por peso. Neste problema, os navios pertencem às companhias de navegação que oferecem serviços de transporte de cargas e que podem ocorrer entre quaisquer portos, localizados em mesma costa litorânea ou até em continentes diferentes. O serviço de cabotagem considera que todo o transporte de cargas ocorra somente entre portos localizados ao longo de uma costa de continente sem travessia oceânica.

Os embarcadores, clientes das companhias de navegação, solicitam o transporte de seus produtos por cabotagem, por exemplo, e deve ser realizado de modo unitizado (em módulos). Os contêineres, equipamentos responsáveis por esta modularização,

podem pertencer ao embarcador ou à companhia de navegação. Normalmente, os contêineres pertencem à companhia de navegação e cabe aos embarcadores somente solicitar, uma ou mais vezes, o transporte de seus produtos dentro dos contêineres de um porto de origem a um porto de destino. Consideram-se também solicitações de embarcadores cujos contêineres a eles pertencem. Neste caso, cabe à companhia de navegação somente o transporte dos contêineres dos embarcadores em seus navios, sem a necessidade de disponibilização de contêineres para o atendimento.

Considerando cenários em que a demanda no transporte de contêineres supera a oferta em certos portos dentro do horizonte de planejamento, as companhias de navegação precisam rejeitar uma ou mais solicitações de transporte. Além das limitações quanto à disponibilidade de contêineres, há restrições dos navios para o atendimento dessas solicitações e, também, quanto ao embarque e desembarque dos contêineres nos portos de origem e de destino.

Para cada solicitação há critérios quanto à rejeição, onde é permitido, eventualmente, o aceite parcial de uma ou mais solicitações de transporte de carga. Também existem situações em que o aceite parcial não é permitido. Quando há impossibilidade no atendimento de determinada solicitação, mesmo que parcialmente, toda essa não poderá ser atendida, ou seja, deverá ser totalmente rejeitada. Além desses casos, existem solicitações que devem ser atendidas, considerando que essas já estão em atendimento ou já foram aceitas antes do início planejamento das cargas, por questões estratégicas ou por outros motivos conhecidos pelo tomador de decisão.

A rentabilidade das cargas é um dos fatores determinantes frente à necessidade de rejeição, quando há indisponibilidade de recursos para o transporte. Normalmente, define-se a rentabilidade de cada solicitação com base em uma margem de contribuição.

Conforme Costa (2006), a margem de contribuição pode ser definida como a receita da venda de um produto ou de um serviço tendo os custos variáveis deduzidos, ou seja, o valor resultante disponível para pagar os custos fixos e contribuir para o lucro após os custos variáveis terem sido pagos. Cada solicitação tem sua margem de

contribuição conhecida, definida com base nas análises e nas condições para o transporte dos produtos como, por exemplo, as condições e os custos de embarque e de desembarque nos portos de origem e de destino e o navio que deverá realizar o transporte. O principal critério para o aceite das solicitações, parcial ou totalmente, refere-se a essa margem de contribuição.

Em caso de aceite parcial de determinada solicitação, a margem de contribuição deverá ser proporcional à quantidade de contêineres a serem aceitos. Por exemplo, se somente a terça parte dos contêineres de uma solicitação for aceita, somente se considera a terça parte da margem de contribuição.

Para a companhia de navegação, convenciona-se “carga” como o conjunto de uma ou mais solicitações de mesmo embarcador, para os seguintes requisitos/atributos comuns entre essas solicitações:

1. **Data e porto de embarque** dos contêineres correspondentes à carga;
2. **Embarcação** que realizará o transporte, assim como o trecho de rota percorrido pela carga, em termos dos **portos de origem e de destino** e as suas respectivas **datas de partida e de chegada**;
3. **Número de contêineres por tipo e tamanho**;
4. **Peso bruto total da carga**, incluindo taras dos diferentes tipos de contêineres que podem compô-la e peso total dos produtos a serem transportados;
5. Definição da **propriedade** de todos os contêineres da carga, ou seja:
    a. Se pertencem à **companhia de navegação** ou;
    b. Ao **embarcador** (cliente) que solicitou o transporte;
6. Definição da **condição de aceite** da carga:
    a. **Aceite parcial permitido** para a carga, em caso de impossibilidade no transporte de todos os contêineres;
    b. **Aceite parcial não permitido** para a carga, em caso de impossibilidade de transporte de contêineres, ou seja, somente será permitido **aceite total** da carga;
    c. **Carga já está aceita**, ou seja, o aceite desta carga já é definido, não havendo decisões quanto à sua eventual rejeição parcial ou total;
7. **Margem de contribuição**, caso a carga seja aceita para o transporte;

O transporte da carga somente poderá ser realizado para o caso de aceite parcial ou total. No caso de cargas cujos contêineres pertencem à companhia de navegação, havendo disponibilidade de contêineres, o transporte poderá ser realizado, exceto nas situações de indisponibilidade do navio ou impossibilidade de embarque e de desembarque nos portos de origem e de destino.

Compreende-se o transporte da carga como o conjunto de todas as operações relativas ao embarque, o transporte marítimo e o desembarque dos contêineres definidos, de um porto e uma data de origem para um porto e uma data de destino, por um determinado navio.

Admite-se que contêineres de um mesmo embarcador, de uma mesma origem, para um mesmo destino, nas mesmas datas, constituem uma mesma carga. Caso o aceite para um determinado tipo de contêiner em uma determinada carga de um determinado embarcador possa ser independente dos demais tipos de contêineres, a parte da carga relativa a este tipo de contêiner deve ser tratada individualmente do restante da carga. Dessa forma, é possível tratar o aceite ou a rejeição dos contêineres de determinado tipo independente dos demais. No caso de cargas que permitem aceite parcial, submetem-se todos os contêineres a um mesmo critério de seleção, ou seja, caso o aceite parcial seja necessário, rejeitam-se, na mesma proporção, todos os tipos de contêineres.

Considerando os cenários em que alguns portos são necessariamente de importação enquanto que outros portos são de exportação, observa-se um desequilíbrio no atendimento das demandas com base nas solicitações do sistema. Isto tende a ocasionar, em alguns portos, falta de contêineres vazios para o atendimento da demanda e, em outros, a oferta de contêineres vazios maiores do que a sua demanda, em certos instantes do horizonte de planejamento.

Nas situações em que há falta de contêineres vazios para o atendimento de determinada carga no porto de origem na data correspondente à disponibilização dos contêineres de propriedade da companhia de navegação, a decisão de rejeição da carga (parcial ou total) poderá se tornar necessária. Então, a companhia de navegação deve decidir, de maneira integrada, a seleção das cargas e o

reposicionamento dos contêineres vazios, com objetivo de permitir o atendimento das demandas.

Assume-se que os contêineres vazios somente podem ser transportados nas mesmas embarcações que transportam os contêineres cheios. Dessa maneira, o espaço utilizado nos navios deverá ser compartilhado entre contêineres cheios e vazios, não havendo viagens específicas dedicadas exclusivamente para o reposicionamento de contêineres vazios.

Estas decisões integradas permitem viabilizar que cargas potencialmente mais rentáveis sejam selecionadas buscando uma maior margem de contribuição, já deduzidos custos de movimentação de contêineres vazios. Considera-se o resultado econômico e os custos envolvidos no processo.

Tendo visto que o contêiner vazio ocupa espaço físico na embarcação, reduzem-se as oportunidades de utilização desse espaço para o transporte de contêineres cheios, responsáveis pela geração da receita. O *"trade-off"* entre o reposicionamento de contêineres vazios para atendimento de uma determinada carga em um porto de origem, em prejuízo às oportunidades perdidas no transporte de uma ou mais cargas de um porto qualquer a outro, constitui-se como uma questão chave para o presente modelo integrado de decisão de transporte de contêineres cheios e vazios.

Compreende-se que o nível de certeza com relação ao atendimento de determinada carga é um fator importante na decisão de rejeição dessa em benefício de atendimento de outra mais rentável. Na rejeição de uma carga com maior previsão de atendimento considerando aceite de outra com maior rentabilidade, corre-se o risco de que essa carga aceita, que possuía uma baixa certeza no atendimento, não seja realmente atendida e, consequentemente, sua rentabilidade prevista no planejamento não seja considerada. Dessa maneira, nas decisões de planejamento que realmente ocorrem, considera-se também o fator de certeza no atendimento, além da rentabilidade e custos envolvidos.

Neste trabalho, não se consideram os fatores que envolvem a certeza ou o tempo comparando-se as cargas envolvidas nas decisões de seleção, em virtude de sua complexidade na determinação desses fatores. Somente se consideram as

rentabilidades envolvidas no atendimento das cargas e os custos envolvidos no reposicionamento de contêineres vazios, em benefício ao atendimento de cargas mais rentáveis. E outras palavras, não se atribuem as probabilidades de concretização ou não das demandas, que poderiam variar ao longo do horizonte de planejamento, ou seja, quanto mais para o futuro mais tende a ser a incerteza, algo desconsiderado no presente trabalho.

Os contêineres, por serem equipamentos dispendiosos, são constantemente reaproveitados de modo a permitir uma utilização eficiente. Desse modo, no horizonte de planejamento, o contêiner passa por diferentes estágios compondo um ciclo.

Os estágios definem o estado de utilização dos contêineres e sua disponibilidade. Neste trabalho, conhecem-se dois estados de utilização, tais como: i) vazio ou; ii) cheio. Convenciona-se vazio, o contêiner cujo estado de utilização é vazio. Nesse caso, o mesmo se encontra disponível para o atendimento de determinada carga em determinado porto, quando o contêiner vazio se encontra estocado. Há situações em que o vazio estará indisponível, enquanto estiver sendo reposicionado. No outro caso, convenciona-se cheio o contêiner cujo estado de utilização é cheio. O cheio permanecerá indisponível para o atendimento de determinada carga, pois se encontra em processo de atendimento de outra. O contêiner, então, permanecerá indisponível até a sua efetiva liberação no porto de destino, ou seja, até que sejam concluídos todos os procedimentos definidos. Os detalhes quanto ao processo de cada estado de utilização dos contêineres, vazio ou cheio, juntamente com o ciclo que os constituem, serão discutidos posteriormente nesse capítulo.

Em resumo, as decisões integradas de seleção de cargas e de reposicionamento de vazios devem respeitar restrições de capacidade dos navios para diferentes tipos de contêineres e as disponibilidades dos mesmos nos portos ao longo do tempo. Para a solução do problema, no que diz respeito ao transporte de cheios e de vazios, as decisões são inter-relacionadas e podem ser sintetizadas a seguir:

- Quais as cargas a serem transportadas?
- Quantos vazios devem ser reposicionados, quando e como, ou seja, qual a origem e o destino dos vazios a serem transportados, e em qual navio os vazios devem ser alocados para o transporte?

3.2. Ciclo dos contêineres

O ciclo dos contêineres define a relação entre as atividades envolvidas no processo de transporte de cheios e de vazios. Estas atividades correspondem à utilização dos contêineres quanto ao atendimento de determinada carga, à estocagem e ao reposicionamento de vazios. Quanto ao atendimento das solicitações de transporte de carga, os contêineres passam por diferentes atividades, na seguinte ordem: i) tempo livre antes do embarque; ii) embarque; iii) transporte; iv) desembarque e; v) tempo livre depós do desembarque. No caso do reposicionamento, as seguintes atividades são consideradas: i) embarque; ii) transporte e; iii) desembarque. E, enquanto vazios e disponíveis, os contêineres permanecem em atividade de estocagem. Abaixo, segue uma descrição das principais atividades envolvidas no processo de transporte de cheios e vazios:

- **Tempo livre antes do embarque (*"free time before boarding"*)** é o intervalo de tempo que o embarcador possui para a preparação e modulação de seus produtos dentro dos contêineres vazios previamente selecionados para a carga, sem que haja cobranças de taxas quanto à estadia e ao manuseio dos contêineres, por conta do embarcador, antes do efetivo embarque no porto de origem. É considerada, no ciclo dos contêineres cheios, como a primeira atividade, antecedendo a atividade de embarque.

- **Embarque (*"boarding"*)** de cheios (para o transporte da carga) ou de vazios (para o reposicionamento) em um porto de origem em um navio pré-definido que possui escala no referido porto (dentro de sua programação, conhecida previamente, para todo o horizonte de planejamento).

- **Transporte (*"transport"*)** de cheios já embarcados de um porto e uma data de origem para um porto e uma data de destino por uma rota de navio pré-definida.

- **Reposicionamento (*"repositioning"*)** de vazios de um porto e uma data de origem a um porto e uma data de destino por um trecho de rota de navio pré-definido;

- **Desembarque (*"landing"*)** de cheios (para o transporte de carga) e de vazios (para o reposicionamento) em um porto de destino, de um navio pré-definido que possui, em sua rota, escala definida no porto de acordo com programação previamente conhecida;

- **Tempo livre após o desembarque (*"free time after landing"*)** é o intervalo de tempo que o embarcador possui para a desova dos seus produtos dos contêineres cheios, previamente transportados para o porto de destino e desembarcados, sem que haja cobranças de taxas relativas à estadia e o manuseio, por conta do embarcador, dos contêineres vazios no porto de destino. É considerada, no ciclo dos contêineres cheios, a última atividade e precede a atividade de desembarque. Nessa atividade, consideram-se, também, todas as operações de inspeção e de manutenção dos contêineres utilizados, antes de disponibilizá-los novamente como vazios, para atendimento de novas solicitações no transporte que vão seguindo.

- **Estocagem (*"inventory"*)** de vazios em um determinado porto por um determinado intervalo de tempo.

Na presente pesquisa, não se consideram os atrasos pelo não cumprimento dos prazos destinados à preparação dos contêineres antes do embarque ou à desova dos produtos após o desembarque. Não existem situações em que o embarcador atrasa a devolução de vazios após o tempo livre para desova dos produtos ou não os devolvem cheios no porto de origem antes do embarque dentro do prazo.

A Figura 3.1 ilustra a relação entre as atividades acima descritas para o transporte de cheios. O processo inicia-se com a liberação de vazios ao embarcador e encerra-se com a devolução dos mesmos à companhia de navegação.

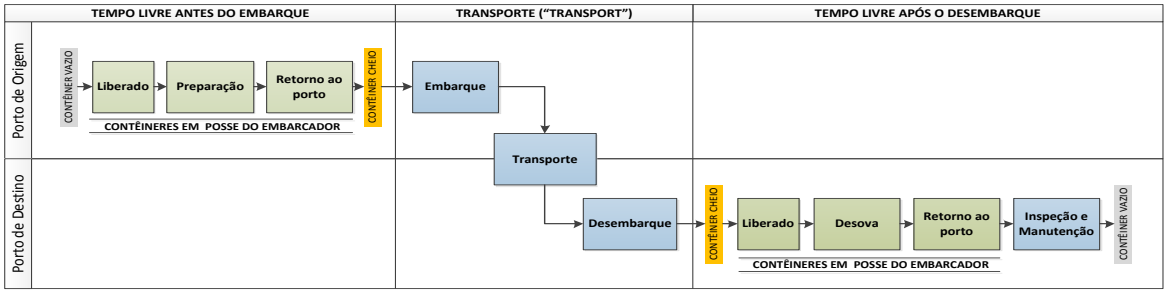


Figura 3.1 - Processo de alocação e transporte de contêineres cheios

Para a atividade referente ao tempo livre antes do embarque, ilustrado na Figura 3.2, consideram-se somente as cargas cuja propriedade dos contêineres refere-se à companhia de navegação, ou seja, quando há necessidade de disponibilização de vazios para o transporte da carga. Nesse caso, os contêineres vazios são liberados ao embarcador que irá, sob sua posse e responsabilidade, manusear, preparar e acondicionar seus produtos nos contêineres para o transporte, podendo essas atividades ser realizadas no local de origem ou em outro local, a critério do próprio embarcador. Essa atividade é finalizada com a devolução dos cheios à companhia de navegação no porto de origem para o qual os contêineres, enquanto vazios, inicialmente foram liberados.

Figura 3.2 – Tempo livre antes do embarque de contêineres

Quanto ao transporte de contêineres, conforme ilustrado na Figura 3.3, consideram-se três atividades básicas, tais como: i) embarque; ii) transporte e; iii) desembarque de cheios. Em linhas gerais, a atividade de embarque é caracterizada pelas etapas de manuseio, movimentação e alocação dos cheios para dentro dos navios, visando o transporte dos mesmos para o porto de destino. Segue-se com o efetivo transporte dos contêineres e conclui-se com a atividade de desembarque que se caracteriza pelas etapas de movimentação e manuseio dos cheios para o porto de destino.

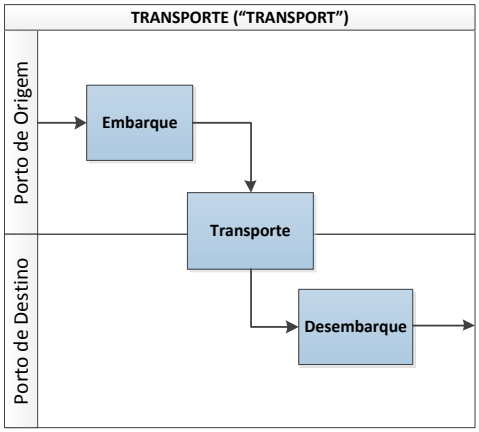


Figura 3.3 - Atividades de embarque, transporte e desembarque

Para a atividade relacionada ao tempo livre após o desembarque, conforme ilustrado na Figura 3.4, para a qual se consideram somente as cargas cuja propriedade dos contêineres refere-se à companhia de navegação, os cheios são liberados ao embarcador que deverá, sob sua posse e responsabilidade, manusear e desovar os seus produtos dos contêineres já desembarcados no porto de destino. Durante esse processo, a critério do embarcador, os contêineres podem ser transportados para locais próprios para desova. Esta atividade é finalizada com a devolução dos vazios à companhia de navegação, no porto de destino onde os cheios, que se tornaram vazios, foram, inicialmente, liberados ao embarcador.

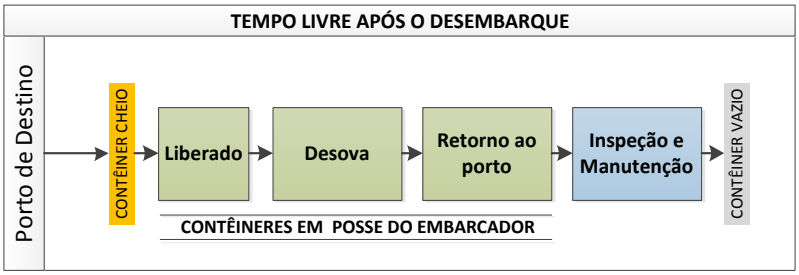


Figura 3.4 – Tempo livre após o desembarque de contêineres

Quanto à alocação e o transporte de vazios, podem-se considerar duas atividades principais: i) estocagem e; ii) reposicionamento de vazios. As atividades de reposicionamento e de estocagem são ilustradas na Figura 3.5. O vazio, inicialmente em estoque em um dado porto de origem, pode permanecer estocado ou ser utilizado para transporte de produtos ou ser reposicionado. Para ser reposicionado, o vazio deverá embarcar no porto de origem, ser transportado e, então, desembarcar no porto de destino, sendo novamente estocado como vazio.

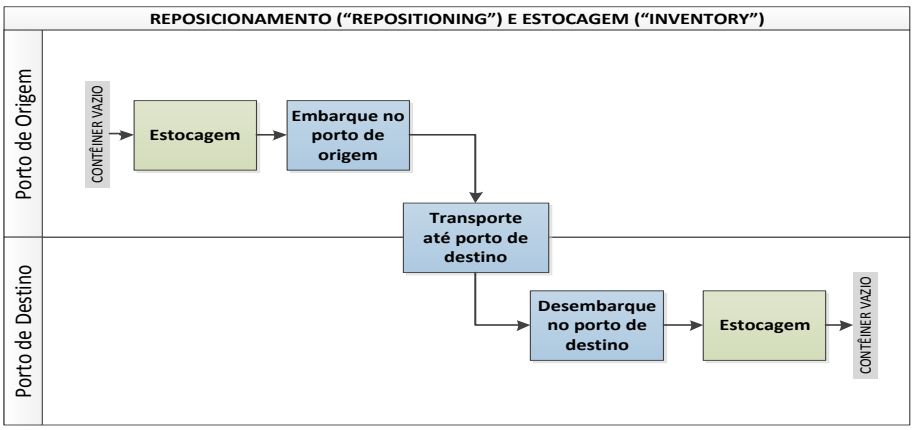
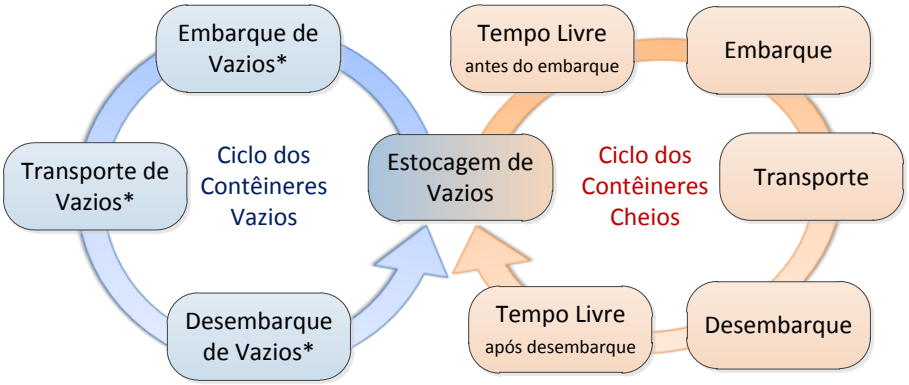


Figura 3.5 - Atividades de reposicionamento e estocagem de vazios

As atividades acima descritas caracterizam todas que envolvem o ciclo dos cheios e dos vazios no horizonte de planejamento. O ciclo dos contêineres pode ser subdividido em ciclo de cheios e de vazios, tendo a atividade de estocagem de vazios como comum entre ambos os ciclos.

Conforme ilustrado na Figura 3.6, pode-se observar a inter-relação entre ambos os ciclos. O vazio, inicialmente estocado, pode ser reposicionado (embarcado, transportado e desembarcado vazio) e, então, novamente ser estocado para, possivelmente, ser utilizado como cheio. O estado cheio inicia-se no início do tempo livre antes do embarque, ainda permanecendo cheio no embarque, no transporte e no desembarque e, então, novamente se tornar vazio logo depois do tempo livre após desembarque, permanecendo estocado com este estado até uma próxima iteração ao longo do horizonte de planejamento. Após essas atividades relacionadas ao estado cheio, o contêiner pode continuar como vazio ou se tornar novamente cheio, dependendo das decisões envolvidas. Os ciclos são contínuos e podem ocorrer diversas vezes durante todo o horizonte de planejamento considerado.



(*) Reposicionamento de contêineres, que engloba as atividades de embarque, transporte e desembarque de vazios.

Figura 3.6 - Ciclo dos contêineres, cheios e vazios

3.3. Modelagem

Para a modelagem do problema apresentado propõe-se um modelo de fluxo em rede multiproduto (*"multi-commodity"*) considerando o processo de transporte de contêineres cheios e vazios, correlacionando espaço (porto) e tempo (período) por meio de uma rede usualmente denominada: rede espaço-tempo (*"space-time network"*). Nessa rede, o fluxo pode ocorrer entre locais diferentes (de origem e de destino) por determinado intervalo de tempo ou em mesmo local e mesmo período.

Cada combinação de espaço e de tempo definem os nós e os fluxos dos arcos representam as atividades associadas aos contêineres e seus estados enquanto cheios ou vazios.

Com base na caracterização do problema anteriormente descrita nesse capítulo, inicialmente pode-se dividir o problema tratado em dois subproblemas:

1. **Seleção de cargas**, total ou parcialmente, visando à maximização da margem de contribuição líquida, com dedução de custos oriundos da movimentação de vazios, considerando restrições de capacidade da frota, portos e disponibilidade de vazios em um período suficientemente necessário para o transporte dos contêineres;
2. **Reposicionamento de vazios** de modo a garantir atendimento das demandas de todos os portos em todas as datas ao longo do horizonte de planejamento de acordo com a seleção de cargas.

A seguir se relacionam algumas informações necessárias para o modelo proposto, com pressuposto de que são conhecidas e determinadas:

1. Conhecimento prévio da programação de todos os navios em termos de portos e de datas de chegada e de partida para o transporte de contêineres, considerando as rotas e as freqüências das embarcações;

2. Horizonte de planejamento limitado e com unidades de tempo discretas;

3. Solicitações de transporte de contêineres por parte dos embarcadores, já definidas como cargas e todas as informações necessárias, tais como:

    i. Período de origem e período de destino do transporte;

    ii. Unidades de tempo livre antes do embarque e após o desembarque, para operações de preparação e de desova dos contêineres;

    iii. Embarcação que realizará o transporte;

iv. Tipos e quantidades dos contêineres;

v. Peso total da carga;

vi. Margem de contribuição;

vii. Propriedade dos contêineres (da companhia de navegação ou do embarcador);

viii. Condição de seleção (aceite total, aceite parcial ou carga já aceita).

4. Disponibilidade inicial de contêineres vazios nos portos e navios:

i. Estoques iniciais de contêineres vazios nos terminais;

ii. Demanda e oferta de contêineres vazios de outros navios e sistemas não considerados no problema, previstos para os portos dentro do horizonte de planejamento;

iii. Estado inicial dos contêineres vazios nos navios, ou seja, contêineres que estão disponíveis nos navios no início do planejamento;

O conhecimento das datas de partida e de chegada de uma determinada carga e do navio que realizará o transporte permite distinguir os portos de origem e de destino, tendo o conhecimento prévio da programação de cada navio, ou seja, sua rota, freqüência e escalas, definidos para a carga.

Para as cargas que já foram aceitas antes do planejamento e iniciaram o seu tempo livre antes do embarque, basta definir a carga como já aceita e informar o intervalo de tempo restante para o término desse tempo livre. Mantêm-se as demais informações da carga tal como foram inicialmente definidas. Em caso de cargas já aceitas e embarcadas, desconsidera-se totalmente o intervalo de tempo livre antes do embarque, visto que o transporte já foi iniciado. Deve-se também definir a data de origem como nula e carga já aceita. Desta forma, as cargas que já estão sendo transportadas deverão ter seu transporte concluído na seqüência do planejamento, e

os contêineres vazios disponibilizados após o transporte, desembarque e transcorrido o tempo livre após o desembarque.

3.3.1 Premissas da Modelagem

Para a modelagem do problema tratado, adotam-se as seguintes premissas:

1. Admite-se o reposicionamento de vazios somente através do modal marítimo, para o qual se conhecem e pré-definem as rotas e as programações das embarcações;

2. Não há restrição quanto ao número de passagens de um navio em um mesmo porto no horizonte de planejamento analisado. Um navio pode passar mais de uma vez em um mesmo porto no horizonte de planejamento, por quaisquer rotas, sejam regulares ou irregulares. Essa característica, tratada na abordagem de fluxo em rede proposta por Zambuzi (2010), é importante, tendo em vista o ocorrido em trabalhos anteriores de Barco (1998) e Rezende (2003), que consideram apenas a dupla passagem dos navios por um mesmo porto e, mesmo assim, havendo dificuldades na modelagem deste tipo de evento;

3. Não se consideram eventuais operações de embarque e de desembarque de contêineres em determinado porto para os casos de remanejamento das posições ocupadas por esses contêineres nos navios. O remanejamento (ou rearranjo) ocorre nos casos em que se manuseiam contêineres no navio em determinado porto, que se destinam a outro porto, sendo consideradas, neste manuseio, quaisquer operações de embarque e de desembarque necessárias para reacomodação da carga no navio tendo em vista sua estabilidade e segurança enquanto navegando.

4. Para a viabilidade do atendimento de uma carga, não se permite troca ou substituição do tipo ou do tamanho de contêiner previamente solicitado pelo embarcador.

3.3.2 Capacidades e Custos

Consideram-se diversas capacidades e custos referentes às operações com os contêineres. Definem-se as operações de acordo com o tempo livre antes do embarque, a operação de embarque, transporte, a operação de desembarque, tempo livre após o desembarque, reposicionamento e estocagem, que diretamente utilizam os fluxos da rede espaço-tempo. Abaixo segue relação das capacidades considerando as atividades do processo:

- Nas atividades de transporte de cheios e reposicionamento de vazios, considera-se que os navios possuem capacidades específicas, em peso, número de TEUs e unidades por tipo de contêiner. Tais limitações podem variar por trecho da rota do navio, dependendo das restrições específicas impostas no planejamento;

- Nas atividades de embarque e de desembarque de contêineres nos navios, tanto para cheios quanto vazios, observam-se eventuais capacidades no atendimento das operações que envolvem a movimentação de contêineres, visto que pode haver restrições de janela de tempo para operacionalizar o manuseio de vazios no porto de origem (para embarque) ou um porto de destino (para desembarque);

- Existe uma relação direta entre o navio e o terminal marítimo no que diz respeito ao calado. No modelo, consideram-se restrições de peso do navio, seja pela sua capacidade própria ou, eventualmente, pelo calado máximo permitido em determinado porto em sua rota conhecida, restringindo o peso total máximo do navio para o embarque e desembarque.

No caso dos contêineres vazios, sua movimentação ocasiona custos relativos ao manuseio, estoque, embarque, desembarque, transporte marítimo, dentre outros custos. No caso do modelo proposto, consideram-se custos fixos por unidade de contêiner, relativos às operações (atividades) de embarque e de desembarque, específicos para cada um dos portos, e de transporte, específicos para cada um dos navios. Definem-se estes custos fixos com base nas análises já conhecidas pelo tomador de decisão. Para cada unidade de contêiner embarcada ou desembarcada

em determinado porto, ou transportada em determinado navio, considera-se um custo por tipo de contêiner.

3.3.3 Representação da Rede

A rede espaço-tempo permite representar, de forma gráfica, o fluxo dos contêineres pelos nós e arcos definidos e, consequentemente, as atividades referentes ao processo de transporte de contêineres. Definem-se os nós da rede de acordo com um conjunto de locais (portos) ao longo de um horizonte de tempo limitado e discretizado.

Todos os locais representados pertencem a um conjunto pré-definido de portos, bem como todos os períodos do horizonte de planejamento pertencem a um conjunto conhecido de períodos discretos. O tempo discretizado pode ser definido para qualquer intervalo (por exemplo, meio dia, dia, dois dias, etc.). Definem-se tais conjuntos como fundamentais para a composição da rede espaço-tempo. Os arcos da rede são definidos de tal forma que seja possível representação dos fluxos relativos às atividades dos processos apresentados.

Para a configuração da rede no modelo proposto, definem-se os seguintes conjuntos:

- $P = \{1, 2,...,p,...,|P|\}$ o conjunto de portos marítimos;
- $T = \{1, 2,...,t,...,|T|\}$ o conjunto dos períodos do horizonte de planejamento;
- $E = \{1, 2,...,e,...,|E|\}$ o conjunto de embarcações (navios) da rede de serviços;
- $K = \{1, 2,...,k,...,|K|\}$ o conjunto dos diferentes tipos e tamanhos de contêineres;
- $R = \{1, 2,...,r,...,|R|\}$ o conjunto de cargas a serem transportadas;

Para o conjunto R de cargas, definem-se subconjuntos relativos à propriedade dos contêineres utilizados por cada carga e também relativo à condição de seleção, assim classificados:

- $R^E = (1, 2,...,r,...,|R^E|)$ o subconjunto de cargas composta por contêineres de propriedade do embarcador, para os quais não há disponibilização de vazios,

pela companhia, e também não há devolução e disponibilização de contêineres ao final do transporte e desembarque;

- $R^C = (1, 2,...,r,...,|R^C|)$ o subconjunto de cargas composta por contêineres de propriedade da companhia de navegação;

- $R^T = (1, 2,...,r,...,|R^T|)$ o subconjunto de cargas onde somente é permitido o aceite total de contêineres para transporte;

- $R^P = (1, 2,...,r,...,|R^P|)$ o subconjunto de cargas onde é permitido o aceite parcial de contêineres para transporte, caso não seja necessário, obrigatoriamente, a aceitação total;

- $R^O = (1, 2,...,r,...,|R^O|)$ o subconjunto de cargas já aceitas em sua totalidade;

Todas as cargas contidas nos subconjuntos R^E e R^C também estão contidas nos subconjuntos R^T, R^P e R^O. As cargas cujo aceite total já é conhecido e não cabe mais as rejeições, parciais ou totais, deverão estar contidas no subconjunto R^O. Desta maneira podemos definir o conjunto R de todas as cargas da seguinte maneira: $R^E \cup R^C = R$ e $R^T \cup R^P \cup R^O = R$.

É importante o conhecimento prévio do estado inicial do planejamento, ou seja, qual é a condição final do planejamento anterior referente ao atual, do atendimento das cargas, do reposicionamento de vazios e dos estoques finais. Nesse caso, definem-se cargas previamente já aceitas, considerando que haja cargas em que o aceite já foi definido no planejamento anterior. Também se consideram os vazios disponíveis nos navios e nos terminais no início do planejamento.

Seja $G=(N,A)$ o grafo da rede espaço-tempo, onde N e A representam os conjuntos de nós e arcos, respectivamente. No exemplo da Figura 3.7, o nós e arcos são arranjados de tal forma onde cada coluna (eixo horizontal) representa um período do horizonte de planejamento e cada linha (eixo vertical) representa um porto ou local. O grafo G é acíclico, direcionado, iniciando no nó “s” e terminando no nó “t”. Os nós que compõem a rede espaço-tempo são classificados da seguinte maneira:

Nós marítimos ($NMT \subset N$) representam um navio $e \in E$ no porto $p \in P$ em cada um dos períodos de tempo, $t \in T$, do horizonte de planejamento. No exemplo da Figura 3.7, representam-se esses nós por círculos azuis.

Nós de estoque ($NIV \subset N$) representam um porto, $p \in P$, em cada um dos períodos de tempo, $t \in T$, do horizonte de planejamento. No exemplo da Figura 3.7, representam-se esses nós por círculos brancos.

Nós de fonte local ($NSL \subset N$) representam por oferta inicial de contêineres para cada um dos portos, $p \in P$. No exemplo da Figura 3.7, representam-se esses nós por círculos verdes (s_1 a s_5).

Nós de sorvedouro local ($NTL \subset N$) representam pelo fluxo final de contêineres em cada um dos portos, $p \in P$. No exemplo da Figura 3.7, representam-se esses nós por círculos laranjas (t_1 a t_5).

Nó de fonte global ($NSG \subset N$) representa toda oferta inicial de contêineres. No exemplo da Figura 3.7, é representado por hexágono verde e letra “s”;

Nó de sorvedouro global ($NTG \subset N$) representa todo o fluxo final de contêineres da rede. No exemplo da Figura 3.7, é representado por hexágono laranja e a letra “t”.

Definem-se cada um dos nós possibilitando compor os fluxos da rede que constituem de forma análoga as operações (atividades) dos contêineres no processo de transporte de cheios ou de vazios. No Quadro 3.1 apresenta-se a relação dessas atividades com os nós da rede espaço-tempo acima definidos, de acordo com cada um dos ciclos.

Os nós marítimos tem a função de identificar os pontos de parada (porto) dos navios nas rotas de acordo com a programação pré-definida e indicam locais e períodos em que os cheios e os vazios podem ser embarcados ou desembarcados no transporte. Esses nós estão relacionados às atividades de embarque, de transporte marítimo e de desembarque nos terminais, de cheios ou vazios.

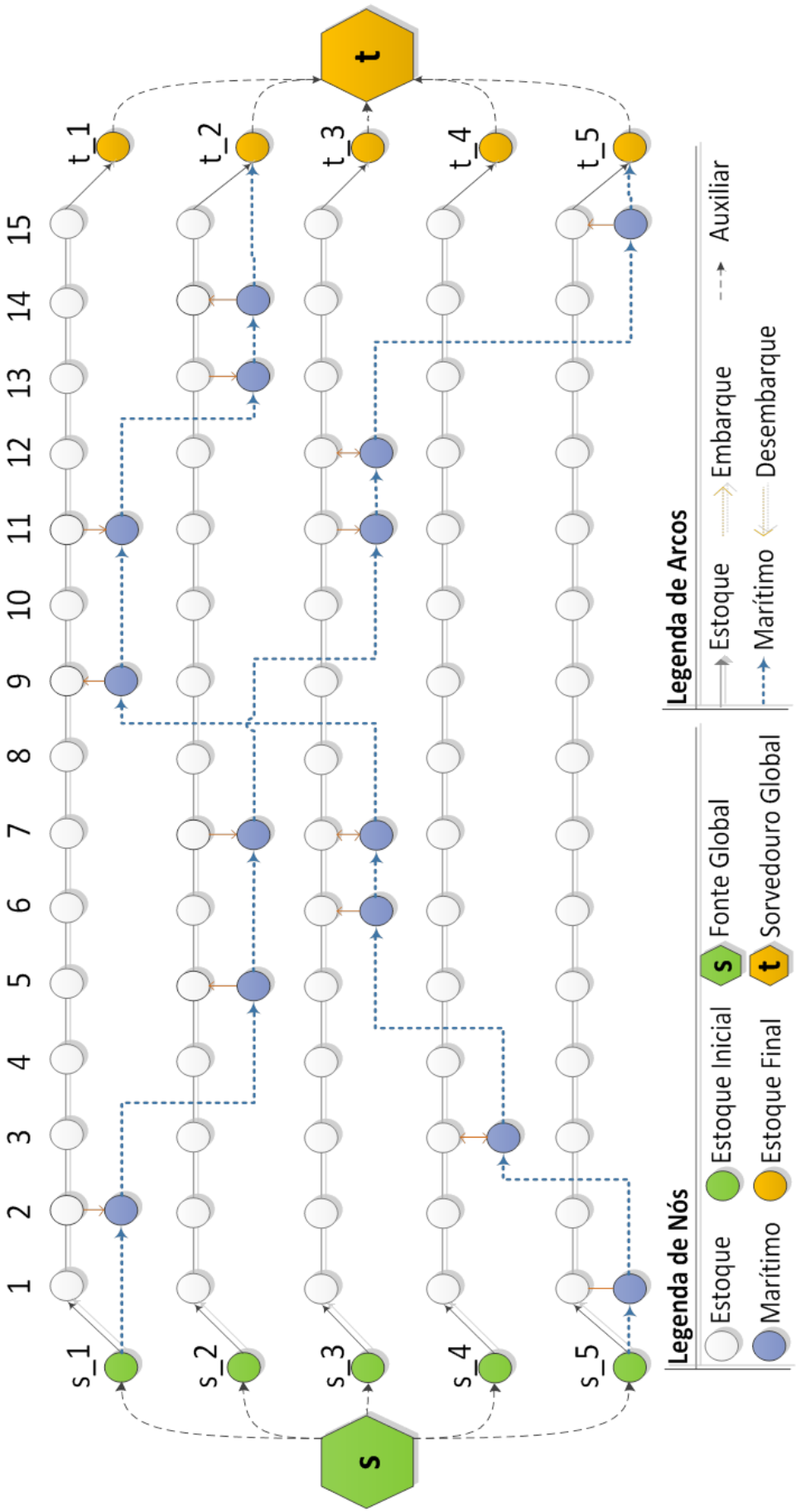


Figura 3.7- Exemplo de representação da rede espaço-tempo

Quadro 3.1 - Nós da rede relacionados à atividades dos processo

Ciclo de Contêineres	Tipos de Nós / Atividades	Marítimo	de Estoque	Fonte Local	Sorvedouro Local	Fonte Global	Sorvedouro Global
Ciclo de Cheios	Tempo Livre (antes do embarque)		X	X			
	Embarque	X	X				
	Transporte	X		X	X		
	Desembarque	X	X				
	Tempo Livre (após desembarque)		X		X		
Ciclo de Vazios	Estoque		X	X	X	X	X
	Embarque	X	X				
	Transporte	X		X	X		
	Desembarque	X	X				

Os nós de estoque permitem a representação dos terminais ao longo do tempo, com relação às atividades de estoque, de embarque e de desembarque de contêineres, bem como para os tempos livres antes do embarque e após o desembarque. Os nós de fonte local e global permitem definir o fluxo inicial de contêineres na rede para cada um dos terminais e navios. Também esses se relacionam ao fluxo final de contêineres por meio dos nós de sorvedouro local e global.

Cada nó pertence somente a um conjunto, de tal forma que $NMT \cup NIV \cup NSL \cup NTL \cup NSG \cup NTG = N$. Para cada nó $i \in N$ são definidos os seguintes atributos:

- $p \in P$ local (porto) da rede. Para $i \in NSG$, o atributo não é aplicável;

- $t \in T$ período dentro do horizonte de planejamento. Aplicado somente ao nó $i \in NI$ ou $i \in NM$. Para os demais nós, o atributo não é aplicável;

- $e \in E$ navio da rede. Aplicado somente ao nó $i \in NM$. Para os demais nós, o atributo não é aplicável;

- d_i^k demanda/oferta de contêineres do tipo $k \in K$ para o nó $i \in N$ nó, exceto para nós marítimos NMT.

Para o atributo d_i^k definido para cada nó $i \in N$, exceto nós marítimos, convenciona-se que valores negativos ($d_i^k < 0$) representam oferta (disponibilidade) de novos vazios do tipo $k \in K$ e valores positivos ($d_i^k > 0$) representam demanda (necessidade) de vazios do tipo $k \in K$. Quando há oferta de novos contêineres, esses deverão estar disponíveis no nó $i \in N$, sendo tal informação conhecida, para um porto $p \in P$ e um período $t \in T$ do horizonte de planejamento. Para a maior parte dos nós, este atributo é zero ($d_i^k = 0$), ou seja, não haverá oferta e demanda de contêineres, cabendo ao nó somente a função de transbordo do fluxo de contêineres, cheios e vazios, ao longo da rede espaço-tempo.

Para o nó $i \in NSG$ (fonte global) o atributo d_i^k é negativo, pois caracteriza a oferta total de contêineres a ser distribuída aos nós do conjunto NSL (fonte local) como estoques iniciais a cada um dos portos representados na rede.

Já para o nó $i \in NTG$ (sorvedouro global), o atributo d_i^k é positivo, caracterizando a demanda total de contêineres a ser sorvida pelos nós do conjunto NTL (sorvedouro local), representando os estoques finais para cada um dos portos da rede.

Representa-se uma rota para cada um dos navios e atribui-se, para cada um dos portos de parada do navio nos terminais um nó marítimo. Se para uma mesma combinação de porto e período existirem dois ou mais navios com mesmo ponto de parada, cada um desses terá um nó marítimo, ou seja, não se compartilham nós marítimos entre navios. Isto permite que não haja transbordo de um navio a outro, sem que sejam realizadas as operações (atividades) de desembarque de um navio e embarque em outro navio, garantindo com o transbordo ocorra pelo nó de estoque, caracterizando, assim, a movimentação e manuseio dos contêineres nos terminais.

A permanência de um navio por um determinado intervalo de tempo em um determinado porto é caracterizada com a atribuição de nós para esse navio e para esse porto, em cada um dos períodos consecutivos em que podem ocorrer operações de embarque e de desembarque de contêineres no navio. Para efeito de simplificação do modelo, normalmente definem-se nós no primeiro e último períodos dentro do intervalo de tempo em que o navio permanece no porto.

Os arcos $(i,j) \in A$ da rede são definidos de tal forma que permitam o fluxo de contêineres, considerando todo o ciclo de cheios e vazios, ao longo do horizonte de planejamento, por meio nós representados para os terminais e os navios definidos para o problema:

1. **Arcos marítimos** ($AM \subset A$) representam o transporte de contêineres tanto de cheios, para as cargas aceitas, quanto de vazios, em reposicionamento, nas rotas de navios pré-definidas. A capacidade de um arco marítimo $(i,j) \in AM$ é representada pela capacidade do navio $e \in E$ relacionado ao arco marítimo. Essas capacidades podem ser definidas em *TEUs,* unitárias por tipo de contêiner e também por peso. Um arco marítimo $(i,j) \in AM$ interliga dois portos consecutivos numa rota de um navio conhecida entre dois instantes de tempo t_1 e t_2, com $t_1 < t_2$. Definem-se arcos marítimos $(i,j) \in AM$ interligando na rede espaço-tempo: i) dois nós marítimos i *e* $j \in NM$; ii) nó de fonte local $i \in NSL$ a um nó marítimo $j \in NM$ ou; iii) um nó marítimo $j \in NM$ *a* um nó de sorvedouro local $i \in NTL$. Adicionalmente, pode representar a permanência da embarcação em um dado porto por um determinado período, nos casos em que os nós de origem e de destino são de um mesmo porto, mas por instantes de tempo consecutivos. A Figura 3.8 ilustra um exemplo de representação deste tipo de arco.

2. **Arcos de estoque** ($AI \subset A$) representam a permanência de contêineres, não em navios, mas em um mesmo porto entre períodos de tempo subseqüentes, incluindo as atividades que representam o tempo livre antes do embarque e após o desembarque de cheios das cargas selecionadas, além de atividades de estocagem de vazios. Definem-se arcos de estoque $(i,j) \in AI$, que interligam, na rede espaço-tempo: i) dois nós de inventário i *e* $j \in NI$; ii) um nó de fonte local $i \in NSL$ a um nó de estoque $j \in NI$ ou; iii) um nó de estoque $j \in NI$ *a* um nó de sorvedouro local $i \in NTL$. Para os portos p_1 e p_2 e os períodos t_1 e t_2, atributos dos nós i e j, respectivamente, tem-se que $p_1 = p_2$ e $t_2 = t_1 + 1$. Interligam-se os nós de estoque somente quando representados por um mesmo porto, mas em períodos subseqüentes. Na Figura 3.9 observa-se um exemplo de representação gráfica para este tipo de arco.

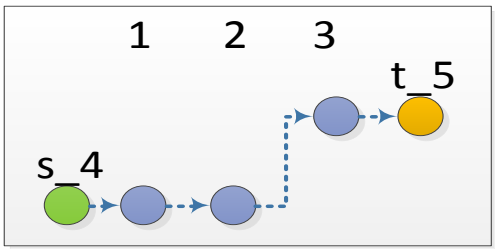


Figura 3.8 – Representação de arcos AM associados a nós NM, NSL, NTL.

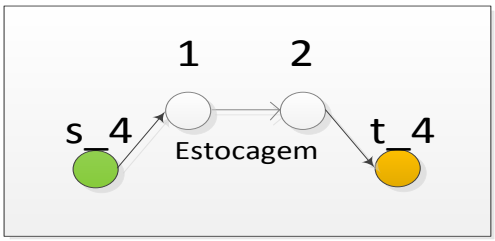


Figura 3.9 – Representação de arcos AT associados a nós NI, NSL, NTL.

3. **Arcos de embarque** ($AE \subset A$) representam o embarque tanto de cheios, das cargas selecionadas, quanto de vazios sendo reposicionados a partir de um porto de origem. As capacidades desses arcos correspondem às capacidades do porto relacionado; ou seja, um arco de embarque $(i,j) \in AE$, interliga um porto a uma embarcação em um mesmo instante de tempo do horizonte de planejamento. Para os portos p_1 e p_2 e os períodos t_1 e t_2, atributos dos nós i e j, respectivamente, temos que $p_1 = p_2$ e $t_1 = t_2$. A Figura 3.10 permite observar um exemplo de representação deste tipo de arco.

4. **Arcos de desembarque** ($AD \subset A$) representam o desembarque tanto de cheios, das cargas selecionadas, quanto de vazios sendo reposicionados, de uma embarcação a um porto de destino onde a embarcação encontra-se atracada; ou seja, um arco de desembarque $(i,j) \in AD$, interliga uma embarcação a um porto em um mesmo instante de tempo do horizonte de planejamento. Para os portos p_1 e p_2, e os períodos t_1 e t_2, atributos dos nós i e j, respectivamente, temos que $p_1 = p_2$ e $t_1 = t_2$. A Figura 3.10 permite observar um exemplo de representação deste tipo de arco.

5. **Arcos Auxiliares** ($AX \subset A$), onde $(i,j) \in AX$, interligam os nós i e $j \in N$, onde $i \in NSG$ e $j \in NSL$; $i \in NTL$ e $j \in NTG$. Dessa maneira, distribuem-se os contêineres disponíveis da fonte global (NSG) para os nós de fonte local (NSL) em cada um dos portos. De modo semelhante, os contêineres transferidos pelo fluxo dos arcos da rede para um período final do horizonte de planejamento são recebidos pelos sorvedouros locais de cada um dos portos (NTL) e concentrados no sorvedouro global (NTG), visando atendimento da demanda global da rede. Representam-se estes arcos, graficamente, na Figura 3.11.

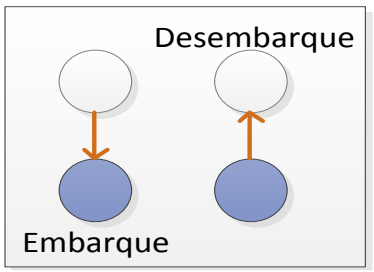


Figura 3.10 –Representação arcos AE e AD associados a nós NMT, NIV

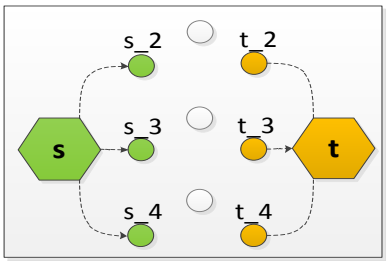


Figura 3.11 - Representação arcos AX associados a nós NSL,NTL,NSG,NTG

No Quadro 3.2 apresenta-se a relação de atividades e os arcos da rede, agrupados por cada um dos ciclos.

Quadro 3.2 - Os arcos da rede relacionados à atividades dos processo

Ciclo de Contêineres	Tipos de Arcos / Atividades	Marítimo	de Estoque	Embarque	Desembarque	Auxiliares
Ciclo de Cheios	Tempo Livre (antes do embarque)		X			
	Embarque			X		
	Transporte	X				
	Desembarque				X	
	Tempo Livre (após desembarque)		X			
Ciclo de Vazios	Estoque		X			X
	Embarque			X		
	Transporte	X				
	Desembarque				X	

Todo o fluxo de contêineres que representa as atividades de transporte, de cheios ou de vazios, passa pelos arcos marítimos. Os arcos de estoque definem fluxos referentes às atividades de estoque de vazios, e de tempo livre antes do embarque e após o desembarque de cheios, compartilhadas entre os diferentes estados (cheio ou vazio). As atividades de embarque e desembarque possuem arcos próprios, definidos somente para tais fins. E, relativo aos estoques iniciais e finais de contêineres, utilizam-se os arcos auxiliares, que fornecem e sorvem os contêineres, no inicio e no fim da rede.

Em síntese, o conjunto dos arcos A é composto da seguinte maneira: $A = AM \cup AE \cup AD \cup AI \cup AX$.

No Quadro 3.3, apresenta-se a relação entre os diversos tipos de nós e arcos. Definem-se os nós por origem e destino e, para cada combinação de tipo de nó, se pertinente, apresenta-se o arco relacionado. Observa-se a relação dos nós marítimos e de estoque, onde se definem arcos marítimos para os trechos das rotas e arcos de estoque para fluxo de contêineres nos terminais, além dos arcos de embarque e desembarque interligando portos e navios.

Quadro 3.3 - Relação dos tipos de nós com os tipos de arcos

Nós de Origem \ Nós de Destino	Marítimo	de Estoque	Fonte Local	Sorvedouro Local	Fonte Global	Sorvedouro Global
Marítimo	AM	AD	-	AM	-	-
de Estoque	AE	AI	-	AI	-	-
Fonte Local	AM	AI	-	-	-	-
Sorvedouro Local	-	-	-	-	-	AX
Fonte Global	-	-	AX	-	-	-
Sorvedouro Global	-	-	-	-	-	-

Seguindo o mesmo raciocínio, os arcos com origem em nó de fonte local deverão ter destino em nó marítimo (arco marítimo) ou de estoque (arco de estoque). Obrigatoriamente, os arcos com origem na fonte global deverão ter destino em nós de fonte local e os com destino no sorvedouro global deverão ter origem nos nós de sorvedouro local.

Podemos observar na Figura 3.12, a representação dos fluxos e, no Quadro 3.4, a interpretação de cada um deles. É possível entender a analogia utilizada na rede espaço-tempo para o problema tratado. Na Figura 3.12, os fluxos representados pela legenda (a) e (b), bem como os fluxos (h) e (i), definem o estado inicial e final da rede, em termos de número de contêineres por tipo, respectivamente, para cada navio e terminal. Os fluxos (c), (d), (e), (f) e (g) caracterizam os fluxos correspondentes aos ciclos dos contêineres de estocagem e reposicionamento (embarque, transporte e desembarque) para vazios, bem como do tempo livre antes do embarque até o tempo livre após o desembarque de cheios.

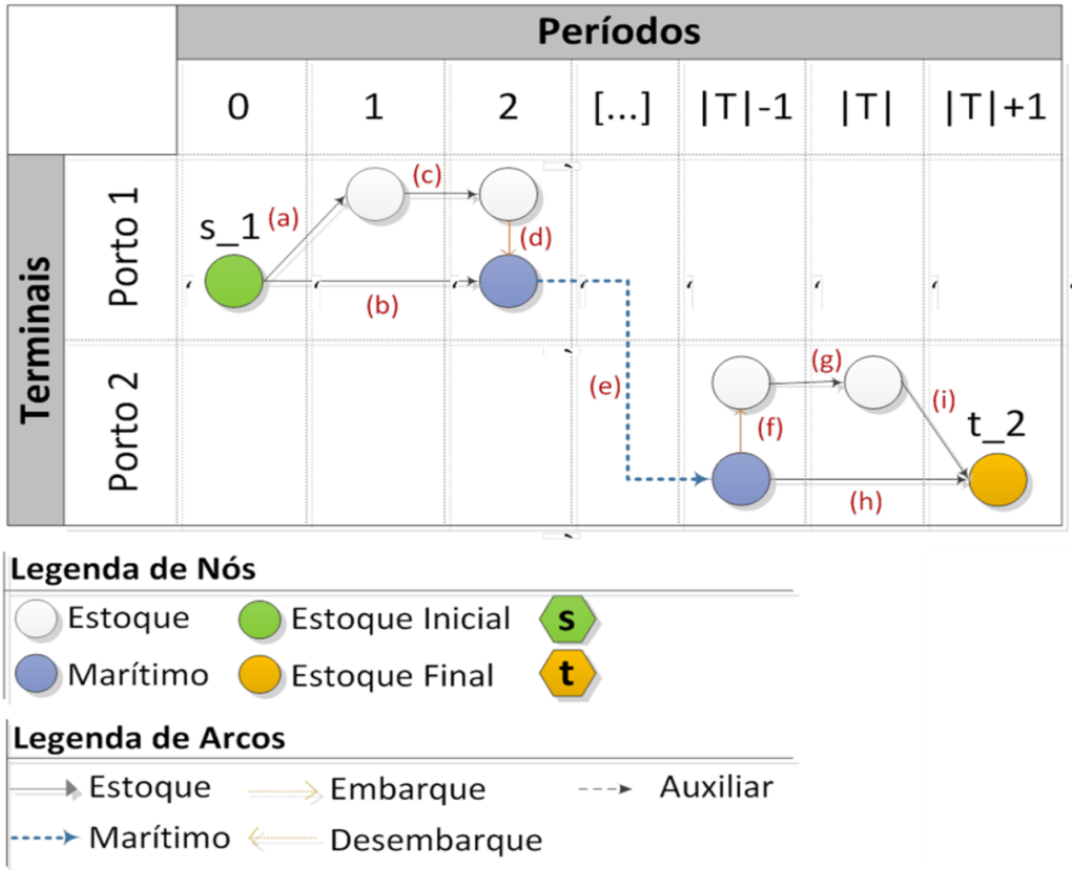


Figura 3.12 - Representação dos fluxos na rede espaço-tempo

Quadro 3.4 - Interpretação de cada um dos fluxos da rede

Fluxo	Ciclos de Contêineres	
	Contêineres Vazios	Contêineres Cheios
A	Estoque inicial de contêineres vazios nos portos	Contêineres durante o tempo livre antes do inicio do planejamento
b	Vazios já sendo reposicionados desde inicio do planejamento	Cheios já sendo transportados antes do início do planejamento
c	Vazios estocados entre dois períodos consecutivos para um mesmo porto (terminal)	Tempo livre para preparação dos contêineres antes do embarque e transporte
d	Embarque de vazios	Embarque de cheios
e	Transporte de vazios	Transporte de cheios
f	Desembarque de vazios	Desembarque de cheios
g	Vazios estocados entre dois períodos consecutivos para um mesmo porto (terminal)	Tempo livre para desova dos contêineres após o transporte e o desembarque
h	Vazios em transporte após final do horizonte de planejamento	Cheios em transporte após final do horizonte de planejamento
i	Estoque final de contêineres vazios nos portos	Contêineres ainda em tempo livre ao final do planejamento

Definem-se as restrições de capacidade dos navios e dos portos, em termos de número de contêineres, diretamente nos arcos da rede. Quanto às embarcações, restringe-se o transporte de contêineres por unidades de contêineres de acordo com o seus tipos, por TEUs e por peso. Os portos também limitam o transporte de contêineres, em virtude das capacidades de embarque e desembarque de vazios e, em virtude do calado, que também restringe o peso dos navios no transporte de contêineres. Para cada um dos arcos, definem-se as capacidades de acordo com a condição mais restritiva, seja relativa à embarcação ou ao porto.

Para cada um dos arcos $(i,j) \in A$ são conhecidos os seguintes atributos:

a) Para todos os arcos do conjunto A:

- Nó de origem $i \in N$ e nó de destino $j \in N$;

- S_{ij} : Subconjunto de cargas (grupo de cargas) $r \in R$ que podem utilizar o arco $(i,j) \in A$, tal que $S_{ij} = \{s_{ij}^1, s_{ij}^2, s_{ij}^3, \dots, s_{ij}^n\}$ sendo que $n = |S_{ij}|$ e $s_{ij} \subset R$; ou seja, o subconjunto S_{ij} define todos as cargas associadas aos arcos para determinação do fluxo de cheios de acordo com o aceite.

b) Para os arcos marítimos ($AM \subset A$):

- u_{ij}^k: Capacidade do arco $(i,j) \in AM$, em unidades de contêineres do tipo $k \in K$, representando a capacidade do navio $e \in E$ no transporte entre dois portos consecutivos da mesma escala;

- U_{ij} : Capacidade global do arco $(i,j) \in AM$, representando o limite máximo admissível, em TEUS, do navio $e \in E$ no transporte no trecho entre dois portos consecutivos da mesma escala;

- z_{ij}^k: Capacidade do arco $(i,j) \in AM$, em unidades de vazios do tipo $k \in K$, representando o limite máximo, em número de contêineres, do navio $e \in E$ no transporte de vazios, para todos os tipos;

- Z_{ij} : Capacidade global do arco $(i,j) \in AM$ representando o limite máximo, em TEUs, do navio $e \in E$ no transporte de vazios, para todos tipos de contêineres;

- Ω_{ij} : Capacidade global do arco (i,j) $\in AM$, em unidade de peso, representando o peso máximo admissível do navio $e \in E$ no transporte de cheios ou vazios, entre os portos representados pelo nó i e j $\in NM$;

- l_{ij}^{k}: Limite inferior para o arco $(i,j) \in AM$, representando o fluxo mínimo, em número de contêineres, para cada tipo de contêiner $k \in K$, quando vazio. Normalmente é aplicado aos arcos marítimos com origem em nó NSL (fonte local), quando já existem contêineres vazios sendo reposicionados ao inicio do horizonte de planejamento.

- C_{ij}^{k}: Custo unitário de fluxo de vazios do tipo $k \in K$ no arco $(i,j) \in AM$. Considera-se o custo do vazio quando embarcado, de um porto e período de origem a um porto e período de destino. Não são considerados custos de cheios, pois esses já foram definidos na composição da margem de contribuição previamente conhecida para as cargas.

c) Arcos de estoque ($AI \subset A$):

- l_{ij}^{k}: Limite inferior para o arco $(i,j) \in AI$, em unidades de contêineres, representando o fluxo mínimo exigido para cada tipo de contêiner $k \in K$, quando vazio. Normalmente aplicado aos arcos de estoque com origem em nó NSL (fonte local), para representar estoque de vazios nos terminais. Também aplicado aos arcos para determinar estoque de segurança;

d) Arcos de embarque ($AE \subset A$):

- z_{ij}^{k}: Capacidade do arco $(i,j) \in AE$, em unidades de contêineres, representando o fluxo máximo admissível, *para* cada tipo de contêiner $k \in K$, quando vazio. Utilizado quando há limitações impostas para embarque de vazios, em determinado porto e período do horizonte de planejamento;

- Z_{ij} : Capacidade global do arco $(i,j) \in AE$, em TEUs, representando o fluxo máximo admissível, para todos tipos de contêineres, quando vazios. Utilizado quando há limitações impostas para embarque de vazios, em determinado porto $p \in P$ e período $t \in T$ do horizonte de planejamento;

- Ω_{ij} : Capacidade global do arco $(i,j) \in AE$, em unidade de peso, representando o peso máximo para o navio $e \in E$ quanto ao calado no porto $p \in P$.

- C_{ij}^{k}: Custo unitário de fluxo de contêineres vazios do tipo $k \in K$ no arco $(i,j) \in AE$. Considera-se o custo do vazio durante o embarque, de um porto e período de origem;

e) Arcos de desembarque ($AD \subset A$):

- z_{ij}^{k}: Capacidade do arco $(i,j) \in AD$, em unidades de contêineres, representando o fluxo máximo admissível, *para* cada tipo de contêiner $k \in K$, quando vazio. Utilizado quando há limitações impostas para desembarque de vazios, em determinado porto e período do horizonte de planejamento;

- Z_{ij} : Capacidade global do arco $(i,j) \in AD$, em TEUs, representando o fluxo máximo admissível, para todos tipos de contêineres, quando vazios. Utilizado quando há limitações

impostas para desembarque de vazios, em determinado porto $p \in P$ e período $t \in T$ do horizonte de planejamento;

- Ω_{ij} : Capacidade global do arco $(i,j) \in AD$, em unidade de peso, representando o peso máximo para o navio $e \in E$ quanto ao calado no porto $p \in P$.

- C_{ij}^{k}: Custo unitário de fluxo de vazios do tipo $k \in K$ no arco $(i,j) \in AD$. Considera-se o custo do vazio durante o desembarque, em um porto e período de destino;

f) **Arcos Auxiliares** ($AX \subset A$):

- l_{ij}^{k}: Limite inferior para o arco $(i,j) \in A$, em unidades de contêineres, representando o limite inferior para o estoque inicial de contêineres para o porto $p \in P$ definido no de destino NSL (fonte local) ou estoque final de contêineres para o porto $p \in P$ definido no nó de destino NTL (sorvedouro local), para cada tipo de contêiner $k \in K$, quando vazio;

As cargas cujos contêineres são de responsabilidade das companhias de navegação, ou seja, cargas $r \in R^{C}$, podem ser atribuídas a quaisquer tipos arcos, exceto arcos auxiliares. Para representar as atividades relativas aos tempos livres antes do embarque e após o desembarque dos contêineres, devem-se atribuir as cargas nos arcos de estoque que representam os portos e períodos de origem e de destino, nos períodos de tempo necessários. Quanto ao embarque e desembarque, cada carga deverá ser atribuída a um arco de embarque e desembarque, bem como o transporte marítimo aos arcos marítimos que os representem. No caso de cargas cujos contêineres são de responsabilidade do embarcador, não há atribuição de arcos de estoque, visto que não se consideram disponibilidade de vazios.

O nó NSG representa oferta inicial de contêineres para todos os portos. O fluxo inicial de toda rede parte dos arcos AX, representando a oferta inicial de contêineres para

cada um dos portos. Todo o fluxo de contêineres ofertado pelo nó NSG direciona-se aos nós NTL, para cada um dos portos, e de sorvedouro NTG, para toda a rede.

Antes de apresentar o modelo matemático, é necessário conhecer alguns parâmetros. Para cada carga $r \in R$, conhece-se o seu peso (ω_r) e a quantidade de contêineres (q_r^k) do tipo $k \in K$ necessária para o transporte, além da receita a ser gerada (m_r) pelo aceite. Cada um dos tipos de contêiner $k \in K$ possui atributos específicos, constantes entre as cargas, tais como: i) α^k: o valor, em TEUs, o qual representa uma unidade de equivalência do contêiner (por exemplo, um contêiner de 20 pés de comprimento equivale a um TEU, enquanto que um contêiner de 40 pés de comprimento equivale a dois TEUs), e; ii) β^k: o peso nominal do vazio.

3.4. Modelo Matemático

Inicialmente, definem-se as seguintes variáveis de decisão para o modelo matemático proposto:

- Seleção de carga:
  - $Y_r = 1$, se a carga $r \in (R^T \cup R^O)$ é aceita; 0, caso contrário e $r \in R^T$;
  - Y'_r : Percentual que será aceito da carga $r \in R^P$;
  - Q_r^k : Quantidade de contêineres do tipo $k \in K$ e carga $r \in R$ aceita para o transporte;

- Fluxo de cheios:
  - X_{ij}^k: Fluxo de cheios, de responsabilidade da companhia de navegação, do tipo $k \in K$, no arco $(i,j) \in A$;
  - X'^k_{ij}: Fluxo de cheios, de responsabilidade do embarcador, do tipo $k \in K$, no arco $(i,j) \in A$;

- Fluxo de vazios:
  - V_{ij}^k: Fluxo de vazios do tipo $k \in K$, no arco $(i,j) \in A$.

A formulação matemática do problema integrado de seleção de cargas e reposicionamento de vazios é dada por:

$$\text{Maximizar } Z = \left[\sum_{r\in R^T}(m_r \times Y_r) + \sum_{r\in R^P}(m_r \times Y'_r)\right] - \left[\sum_{(i,j)\in(AM\,\cup AE\,\cup AD)}\ \sum_{k\in K}\left(C_{ij}^k \times V_{ij}^k\right)\right] \tag{3.1}$$

Sujeito a

$$Q_r^k = \sum_{r\in(R^T\cup R^O)}(q_r^k \times Y_r) + \sum_{r\in R^P}(q_r^k \times Y'_r) \quad \forall\, r \in R,\ \forall\, k \in K \tag{3.2}$$

$$X_{ij}^k = \sum_{r\in S_{ij}|r\in R^C} Q_r^k \quad \forall\, (i,j) \in A,\ \forall\, k \in K \tag{3.3}$$

$$X'^{\,k}_{ij} = \sum_{r\in S_{ij}\,|r\in R^E} Q_r^k \quad \forall\, (i,j) \in A,\ \forall\, k \in K \tag{3.4}$$

$$X_{ij}^k + X'^{\,k}_{ij} + V_{ij}^k \le u_{ij}^k \quad \forall\, (i,j) \in AM,\ \forall\, k \in K \tag{3.5}$$

$$\sum_{k\in K}\left[\alpha^k \times \left(X_{ij}^k + X'^{\,k}_{ij} + V_{ij}^k\right)\right] \le U_{ij} \quad \forall\, (i,j) \in AM \tag{3.6}$$

$$V_{ij}^k \le z_{ij}^k \quad \forall\, (i,j) \in (AM \cup AE \cup AD),\ \forall\, k \tag{3.7}$$

$$\sum_{k\in K}\left(\alpha^k \times V_{ij}^k\right) \le Z_{ij} \quad \forall\, (i,j) \in (AM \cup AE \cup AD) \tag{3.8}$$

$$\sum_{r\in S_{ij}}\left[\sum_{r\in(R^T\cup R^O)}(\omega_r \times Y_r) + \sum_{r\in R^P}(\omega_r \times Y_r)\right] + \sum_{k\in K}\left(\beta^k \times V_{ij}^k\right) \le \Omega_{ij} \quad \forall\, (i,j) \in (AM \cup AE \cup AD) \tag{3.9}$$

$$V_{ij}^k \ge l_{ij}^k \quad \forall\, (i,j) \in (AM \cup AI \cup AX),\ \forall\, k \tag{3.10}$$

$$\sum_{(i,j)\in A}\left(X_{ij}^k + V_{ij}^k\right) - \sum_{(j,i)\in A}\left(X_{ji}^k + V_{ji}^k\right) = d_i^k \quad \forall\, i \in N,\ \forall\, k \in K \tag{3.11}$$

$$Y_r = 1 \quad \forall\, r \in R^O \tag{3.12}$$

$$Y_r = \{0,1\} \quad \forall\, r \in R^T \tag{3.13}$$

$$0 \le Y'_r \le 1 \quad \forall\, r \in R^P \tag{3.14}$$

$$Q_r^k \in Z^+ \quad \forall\, r \in R^T,\ \forall\, k \in K \tag{3.15}$$

$$X_{ij}^k,\ X'^{\,k}_{ij},\ V_{ij}^k \ge 0 \quad \forall\, (i,j) \in A,\ \forall\, k \in K \tag{3.16}$$

A função objetivo (3.1) busca a maximização da margem liquida que é obtida pela diferença entre a receita total, para aceite total (Y_r) e parcial (Y_r'), e os custos de movimentação de vazios. Com relação a esses custos, associa-se o atributo de custo do arco (C_{ij}^k) para cada fluxo de vazios (V_{ij}^k), por tipo de contêineres, somente para os arcos marítimos, de embarque e de desembarque.

A restrição (3.2) define a quantidade inteira de contêineres (Q_r^k), para cada tipo, aceita para cada embarcador, de acordo com a seleção total ou parcial de contêineres, para garantir que uma mesma quantidade de contêineres de cada embarcador selecionado seja transportada.

A restrição (3.3) garante que, para cada quantidade de contêineres de uma determinada carga aceita para o transporte (Q_r^k), cujos contêineres são de responsabilidade da companhia de navegação, exista um fluxo de cheios associado, para os arcos $(i,j) \in A$, aos quais o fluxo dessas cargas deverá seguir, de acordo com o processo de alocação e de transporte de cheios. Da mesma maneira, a restrição (3.4) garante que, para cada quantidade de contêineres de uma determinada carga aceita para o transporte (Q_r^k), cujos contêineres são de responsabilidade do embarcador, exista um fluxo de cheios associado.

A restrição (3.5) limita o fluxo de contêineres, cheios ou vazios, no transporte marítimo, para os arcos $(i,j) \in AM$, por tipo de contêiner $k \in K$, à capacidade imposta (u_{ij}^k), em unidades de contêineres. Já a restrição (3.6) restringe a capacidade global (U_{ij}) nos arcos, em TEUs, em cada arco $(i, j) \in AM$. Utilizam-se as restrições (3.5) e (3.6) para limitar a capacidade disponível de espaço para o transporte de contêineres nas embarcações associadas aos nós de origem e de destino relacionados aos arcos.

O fluxo máximo de vazios permitido é garantido nas restrições (3.7), por unidades de cada tipo de contêineres $k \in K$, à capacidade imposta (z_{ij}^k), somente para arcos marítimos, de embarque e de desembarque. Da mesma maneira, a restrição (3.8) restringe o fluxo máximo de vazios para todos os tipos de contêineres à capacidade imposta (Z_{ij}^k).

Também o peso máximo (Ω_{ij}) admissível em cada arco $(i, j) \in (AM \cup AI \cup AX)$ é assegurado pela restrição (3.9). Adicionalmente, a restrição (3.10) impõe um fluxo mínimo de vazios (l_{ij}^k) em unidades de contêineres, para cada tipo $k \in K$, no arco $(i, j) \in (AM \cup AI \cup AX)$; em geral $l_{ij}^k = 0$. A restrição (3.11) garante o equilíbrio de cada um dos nós da rede, através do balanceamento dos seus fluxos de entrada e de saída. Por fim, as restrições enumeradas de (3.12) à (3.17) garantem definição das variáveis de decisão, sendo Y_r o conjunto de variáveis binárias, se $r \in R^T$, e Y_r' numéricas, se $r \in R^P$. Para $r \in R^O$, ou seja, para as cargas pela qual não cabe a rejeição parcial ou total, define-se $Y_r = 1$. Também definem V_{ij}^k e X_{ij}^k, conjuntos de variáveis inteiras e não-negativas referentes aos fluxos de vazios e cheios nos arcos da rede.

Para uma idéia da complexidade do modelo matemático, considere, por exemplo, um problema real de cabotagem com dez portos e um horizonte de planejamento de quatro semanas, ou 28 dias, se o horizonte de tempo for discretizado em dias. Considerando cinco navios que utilizam até sete pontos de parada na rede de portos associada ao problema, geram-se 35 arcos AM, 270 arcos AI, 70 arcos AE, 70 arcos AD e 40 arcos AX. Há, então, um total de 485 arcos definidos. Considere ainda 50 cargas a serem transportadas, sendo 10 cargas com aceite parcial e 04 tipos de contêineres associados a cada carga. O modelo matemático resultante possui 3880 variáveis positivas, referentes ao fluxo de contêineres, 200 variáveis inteiras referentes à quantidade aceita de contêineres, 40 variáveis binárias referentes à seleção de cargas que só permitem aceite ou rejeição total, e 10 variáveis, que definem percentualmente a quantidade de cheios aceitos, considerando todos os contêineres da companhia de navegação.

3.5. Comparação entre modelos

O modelo heurístico desenvolvimento por Cuoco (2008) aborda um problema semelhante ao tratado no presente trabalho, cujo objetivo também visa à maximização da margem de contribuição para um problema de seleção de cargas e reposicionamento de vazios. Dessa maneira, foram observadas as características de ambos os problemas de modo a permitir composições de instâncias que permitam

que sejam realizadas comparações. No Quadro 3.5, enumeram-se as características e as suas aplicações para cada um dos modelos.

Conforme o Quadro 5.4, o modelo de Cuoco (2008) utiliza uma heurística gulosa para obter a solução do problema. O modelo proposto nesse trabalho trata de um método de otimização baseado em um fluxo em rede. Ambos os modelos tratam a seleção de carga e o reposicionamento de vazios. Em contrapartida, o modelo de Cuoco (2008) considera as decisões de reposicionamento de vazios de modo simplificado, sendo que a necessidade de reposição somente é verificada no momento de uma análise para decidir sobre a aceitação de uma determinada carga. Quando é decidido o aceite ou a rejeição da carga, não há análises posteriores quanto à mudança nessa decisão, quando analisando cargas seguintes. A carga seguinte poderia possuir uma margem de contribuição superior, já considerando custos de reposicionamento de vazios, mas que necessitaria de uma rejeição dessa carga previamente aceita para que seu aceite se torne possível.

Quadro 3.5 – Comparação das principais características entre os modelos

Características		Modelo Proposto	Modelo Cuoco (2008)
a)	Método aplicado para resolução	Otimização (fluxo em rede)	Heurística gulosa
b)	Decisão de seleção de cargas	Sim	Sim
c)	Reposicionamento de vazios	Sim	Sim, de modo simplificado
d)	Tipos de contêineres (multi-produto)	Vários	Um único
e)	Custos associados à movimentação de vazios	Carga, transporte e descarga	Sem custos de movimentação
f)	Número de navios e rotas	Vários	Vários
h)	Passagem de navio nos portos	Múltiplas passagens	Múltiplas passagens
i)	Capacidades de contêineres nos navios	Por tipo, TEU e Peso Bruto	TEU e Peso Bruto
j)	Capacidades por trecho de rota	Peso máximo, TEUs máximo e por tipo	Não considerado
k)	Capacidades de armazenamento de contêineres nos portos	Permite	Não há restrições
l)	Restrição de calado nos portos	Sim	Não
m)	Definição de estado inicial de contêineres nos navios e terminais	Contêineres embarcados, cheios e vazios nos portos	Contêineres embarcados e vazios nos portos
n)	Demanda/oferta externa de contêineres	Sim	Não
r)	Tipo de aceite permitido para carga	Aceite total e/ou parcial	Aceite total
s)	Propriedade dos contêineres das cargas a serem transportadas	Companhia de Navegação ou embarcador	Companhia de Navegação
t)	Tipos de contêineres para as cargas	Múltiplos tipos	Único tipo

A heurística de Cuoco (2008) também não considera múltiplos contêineres, como no modelo proposto, e não há influência dos custos de movimentação de vazios para as decisões de seleção de carga e de reposicionamento de vazios. O modelo de Cuoco (2008) não considera capacidades individuais por trecho de uma determinada rota de um navio e também não considera restrição de calado nos portos.

O modelo proposto permite aceite parcial ou total de contêineres definido a cada uma das cargas, bem como determinar se os contêineres são da companhia de navegação ou do próprio embarcador. O modelo de Cuoco (2008) somente considera aceite total da carga e todos os contêineres pertencem à companhia de navegação.

3.6. Exemplo da aplicação

Esta seção tem por objetivo ilustrar a construção do problema de pequeno porte de forma a facilitar a sua compreensão. O exemplo limita-se a três portos (A, B e C) e horizonte de planejamento de seis dias (períodos). Dois navios (N1 e N2) são alocados para o transporte de dois tipos de contêineres (C20 e C40), em rotas já definidas, conforme Tabela 3.1a. A tara dos contêineres e TEUs relativo a uma unidade são apresentados na Tabela 3.1b. Na Tabela 3.1c, apresentam-se os navios, com as capacidades (em TEUs), peso máximo (em toneladas) e as capacidades por tipo de contêiner (C20 e C40), em unidades de contêineres. Definem-se ETA, tempo estimado de chegada (*"estimated time of arrival"*), e ETD, tempo estimado de partida (*"estimated time of departure"*). Compreendem-se ETA como a data inicial de disponibilidade do navio para as operações de embarque e de desembarque no porto e ETD como a data final para tais cooperações.

Tabela 3.1a – Tabela de Rotas

Navio	ETA	ETD	Porto
N1	Dia 1	Dia 1	A
N1	Dia 2	Dia 2	B
N1	Dia 3	Dia 4	C
N1	Dia 5	Dia 5	B
N1	Dia 6	Dia 6	A
N2	Dia 1	Dia 1	C
N2	Dia 2	Dia 2	B
N2	Dia 3	Dia 4	A

Tabela 3.1b – Contêiner

Tipo	Tara (ton)	TEU
C20	5	1
C40	10	2

Tabela 3.1c – Navios

Navio	TEUs	Peso Máximo (ton)	Contêiner	
			C20	C40
N1	300	3000	300	300
N2	250	2000	250	250

As disponibilidades de contêineres de cada tipo são específicas para cada um dos portos. Para os contêineres do tipo C20 há estoque inicial de 120 unidades no porto A e 110 unidades no porto C; contêineres do tipo C40 há estoque inicial de 100 unidades no porto B e 40 unidades no porto C. Além de todas estas definições, cabe também especificar as cargas a serem transportadas. Nesse problema, consideram-se cinco cargas, com diferentes condições de aceite e propriedades de contêineres, conforme Tabela 3.2. A propriedade dos contêineres pode ser definida como da companhia de navegação (C. Navegação) ou do Embarcador. A condição de aceite (C. Aceite) pode ser aceite total (Total), aceite parcial (Parcial) ou já aceita.

Tabela 3.2 - Cargas a serem transportadas

Id	Navio	Data de Embarque	Data de Desembar-que	Tempo Livre antes e após (dias / dias)	Propriedade Contêineres	Cond. Aceite	Margem (R$)	Peso (ton)	Quantidades	
									C20	C40
1	N1	Dia 1	Dia 3	1 / 2	C. Navegação	Total	1500,00	1350	100	
2	N1	Dia 2	Dia 3	1 / 1	C. Navegação	Parcial	1450,00	1440		80
3	N1	Dia 4	Dia 6	0 / 0	C. Navegação	Total	2300,00	2800	30	120
4	N2	DIa 1	Dia 3	1 / 2	C. Navegação	Parcial	2700,00	1400	70	
5	N2	Dia 1	Dia 3	0 / 0	Embarcador	Total	3000,00	700		20

Na Tabela 3.2, especificam-se os navios que realizarão o transporte, as datas de embarque e de desembarque, as margens de contribuição, os pesos brutos das cargas, bem como as quantidades de contêineres, por tipo (C20 e C40). Também, especificam-se os intervalos de tempo, em dias, necessários para o tempo livre antes do embarque e após o desembarque, e a propriedade de todos os contêineres definidos para a carga, além da condição de aceite imposta ao modelo.

3.6.1 Estruturação da rede espaço-tempo

Conforme ilustrado na Figura 3.13, a rede espaço-tempo compreende horizonte de seis dias (períodos) e três portos (locais). Os nós de 1 a 18 são representados como nós de estoque nos terminais, nós de 19 a 24 representados para o navio n1 e os nós de 25 a 30 para o navio n2, de acordo com a Tabela 3.3. E, conforme Tabela 3.4, os nós auxiliares são definidos de 31 a 38. Os atributos para cada nó e arco são definidos de acordo com o tipo e os dados levantados para o problema. Nos nós de estoque não é aplicável o atributo navio, bem como nos nós marítimos não é aplicável demanda. A demanda nos nós de estoque, para este exemplo, permanece zero, pois não há ofertas e demandas externas definidas. Deste modo, tanto os nós

de estoque quanto os nós marítimos possuem finalidade somente para o transbordo. Para os nós auxiliares não há definição de navio. A demanda/oferta também só é aplicável aos nós de fonte e sorvedouro globais, para os quais não se define porto ou período.

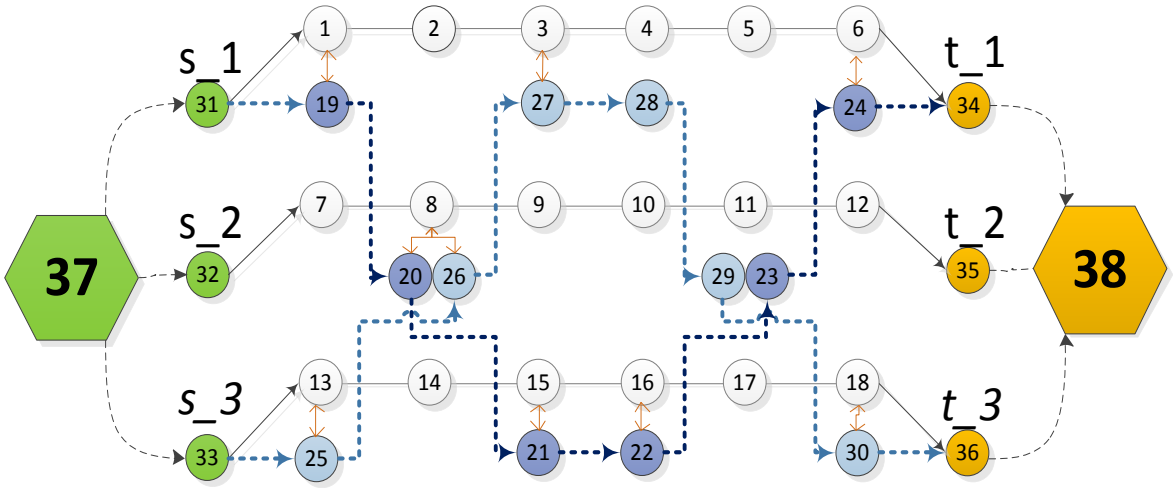


Figura 3.13 - Representação da rede para o problema pequeno

Tabela 3.3 - Relação de nós de estoque e marítimos

Nós de Estoque (NIV)					Nós Marítimos (NMT)				
Nó (i∈N)	Porto (p∈P)	Período (t∈T)	Navio (e∈E)	Demanda ($d_i^k \forall k$)	Nó (i∈N)	Porto (p∈P)	Período (t∈T)	Navio (e∈E)	Demanda ($d_i^k \forall k$)
1	A	1	-	0	19	A	1	n1	-
2	A	2	-	0	20	B	2		-
3	A	3	-	0	21	C	3		-
4	A	4	-	0	22	C	4		-
5	A	5	-	0	23	B	5		-
6	A	6	-	0	24	A	6		-
7	B	1	-	0	25	C	1	n2	-
8	B	2	-	0	26	B	2		-
9	B	3	-	0	27	A	3		-
10	B	4	-	0	28	A	4		-
11	B	5	-	0	29	B	5		-
12	B	6	-	0	30	C	6		-
13	C	1	-	0					
14	C	2	-	0					
15	C	3	-	0					
16	C	4	-	0					
17	C	5	-	0					
18	C	6	-	0					

Tabela 3.4 - Relação de nós auxiliares

Nó (i∈N)	Tipo	Porto (p∈P)	Período (t∈T)	Navio (e∈E)	Demanda ($d_i^k \forall k$)	
					C20 (d_i^1)	C40 (d_i^2)
31	NSL	A	0	-	-	-
32	NSL	B	0	-	-	-
33	NSL	C	0	-	-	-
34	NTL	C	7	-	-	-
35	NTL	B	7	-	-	-
36	NTL	A	7	-	-	-
37	NSG	-	-	-	-230	-140
38	NTG	-	-	-	+230	+140

Definidos os nós da rede espaço-tempo, é necessário definir os arcos e suas capacidades, conforme mostrado na Figura 3.5. As duas primeiras colunas definem a identificação numérica do arco e o seu tipo, conforme definição dos conjuntos dos arcos. Definem-se as origens e destinos especificando a identificação do nó, bem como o porto e período relacionado. Para cada arco marítimo (*AM*), de embarque (*AE*) e de desembarque (*AD*) se especifica o navio.

Tabela 3.5 - Relação de arcos e seus atributos para o problema pequeno

Arco (i,j)∈A		Definições de Nós			Capacidades Máximas							Limites Inf. Vazios		Custo Vazios (R$ / contêiner)	
					Cheios ou Vazios				Vazios						
		Origem (i∈N)	Destino (j∈N)	NV (e∈E)	C20 (u_{ij}^{c20})	C40 (u_{ij}^{c40})	TEU (U_{ij})	Peso (Ω_{ij})	C20 (l_{ij}^{c20})	C40 (l_{ij}^{c40})	TEU (L_{ij})	C20 (z_{ij}^{c20})	C40 (z_{ij}^{c40})	C20 (C_{ij}^{c40})	C40 (C_{ij}^{c40})
1	AI	31 (A-0)	1 (A-1)	-	-	-	-	-	-	-	-	120	0	-	-
2	AI	1 (A-1)	2 (A-2)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
3	AI	2 (A-2)	3 (A-3)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
4	AI	3 (A-3)	4 (A-4)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
5	AI	4 (A-4)	5 (A-5)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
6	AI	5 (A-5)	6 (A-6)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
7	AI	6 (A-6)	34 (A-7)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
8	AI	32 (B-0)	7 (B-1)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	100	-	-
9	AI	7 (B-1)	8 (B-2)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
10	AI	8 (B-2)	9 (B-3)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
11	AI	9 (B-3)	10 (B-4)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
12	AI	10 (B-4)	11 (B-5)(	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
13	AI	11 (B-5)	12 (B-6)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
14	AI	12 (B-6)	35 (B-7)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
15	AI	33 (C-0)	13 (C-1)	-	-	-	-	-	-	-	-	110	40	-	-
16	AI	13 (C-1)	14 (C-2)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
17	AI	14 (C-2)	15 (C-3)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
18	AI	15 (C-3)	16 (C-3)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
19	AI	16 (C-3)	17 (C-4)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
20	AI	17 (C-4)	18 (C-6)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
21	AI	18 (C-6)	36 (C-7)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
22	AM	31 (A-0)	19 (A-1)	1	300	300	300	3000	∞	∞	∞	0	0	0	0
23	AM	19 (A-1)	20 (B-2)	1	300	300	300	3000	∞	∞	∞	0	0	0	0
24	AM	20 (B-2)	21 (C-3)	1	300	300	300	3000	∞	∞	∞	0	0	0	0
25	AM	21 (C-3)	22 (C-4)	1	300	300	300	3000	∞	∞	∞	0	0	0	0
26	AM	22 (C-4)	23 (B-5)	1	300	300	300	3000	∞	∞	∞	0	0	0	0
27	AM	23 (B-5)	24 (A-6)	1	300	300	300	3000	∞	∞	∞	0	0	0	0
28	AM	24 (A-6)	34 (A-7)	1	300	300	300	3000	∞	∞	∞	0	0	0	0
29	AM	33 (C-0)	25 (C-1)	2	250	250	250	2000	∞	∞	∞	0	0	0	0
30	AM	25 (C-1)	26 (B-2)	2	250	250	250	2000	∞	∞	∞	0	0	0	0
31	AM	26 (B-2)	27 (A-3)	2	250	250	250	2000	∞	∞	∞	0	0	0	0
32	AM	27 (A-3)	28 (A-4)	2	250	250	250	2000	∞	∞	∞	0	0	0	0

Arco (i,j)∈A		Definições de Nós			Capacidades Máximas							Limites Inf. Vazios		Custo Vazios (R$ / contêiner)	
					Cheios ou Vazios				Vazios						
		Origem (i∈N)	Destino (j∈N)	NV (e∈E)	C20 (u_{ij}^{c20})	C40 (u_{ij}^{c40})	TEU (U_{ij})	Peso (Ω_{ij})	C20 (l_{ij}^{c20})	C40 (l_{ij}^{c40})	TEU (L_{ij})	C20 (z_{ij}^{c20})	C40 (z_{ij}^{c40})	C20 (C_{ij}^{c40})	C40 (C_{ij}^{c40})
33	AM	28 (A-4)	29 (B-5)	2	250	250	250	2000	∞	∞	∞	0	0	0	0
34	AM	29 (B-5)	30 (C-6)	2	250	250	250	2000	∞	∞	∞	0	0	0	0
35	AM	30 (C-6)	36 (C-7)	2	250	250	250	2000	∞	∞	∞	0	0	0	0
36	AE	1 (A-1)	19 (A-1)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
37	AD	19 (A-1)	1 (A-1)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
38	AE	8 (B-2)	20 (B-2)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
39	AD	20 (B-2)	8 (B-2)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
40	AE	15 (C-3)	21 (C-3)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
41	AD	21 (C-3)	15 (C-3)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
42	AE	16 (C-4)	22 (C-4)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
43	AD	22 (C-4)	16 (C-4)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
44	AE	11 (B-5)	23 (B-5)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
45	AD	23 (B-5)	11 (B-5)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
46	AE	6 (A-6)	24 (A-6)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
47	AD	24 (A-6)	6 (A-6)	1	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
48	AE	13 (C-1	25 (C-1)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
49	AD	25 (C-1)	13 (C-1)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
50	AE	8 (B-2)	26 (B-2)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
51	AD	26 (B-2)	8 (B-2)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
52	AE	3 (A-3)	27 (A-3)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
53	AD	27 (A-3)	3 (A-3)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
54	AE	4 (A-4)	28 (A-4)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
55	AD	28 (A-4)	4 (A-4)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
56	AE	11 (B-5)	29 (B-5)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
57	AD	29 (B-5)	11 (B-5)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
58	AE	18 (C-6)	30 (C-6)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
59	AD	30 (C-6)	18 (C-6)	2	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	-	-	5	10
60	AX	37 (-)	31 (A-0)	-	-	-	-	-	-	-	-	120	0	-	-
61	AX	37 (-)	32 (B-0)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	100	-	-
62	AX	37 (-)	33 (C-0)	-	-	-	-	-	-	-	-	110	40	-	-
63	AX	34 (A-7)	38 (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
64	AX	35 (B-7)	38 (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-
65	AX	36 (C-7)	38 (-)	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-	-

Entende-se como infinito (∞), sem limite inferior ou superior, dependendo do atributo do arco. Também, entende-se como nulo (-), atributo não aplicável ao arco. Desta forma, definem-se as capacidades máximas para contêineres cheios e vazios por tipo (C20 e C40), por TEU e por peso (em toneladas), bem como a capacidade para vazios por tipo (C20 e C40) e por TEU. As capacidades máximas somente são aplicáveis aos arcos marítimos, de embarque e desembarque. Os limites inferiores

de vazios por tipo (C20 e C40) são aplicáveis a todos os arcos, exceto de embarque e de desembarque. No caso os arcos de estoque, cujo nó de origem é do tipo NSL (31 a 33), os limites inferiores representam os estoques iniciais de contêineres vazios nos portos e para os arcos marítimos. Tais limites representam os contêineres vazios inicialmente sendo reposicionados nos navios. Os custos de vazios são aplicáveis aos arcos marítimos, de embarque e de desembarque.

Os arcos do tipo AI, numerados de 1 a 21, se referem à estocagem ou aos tempos livres antes do embarque e depois do desembarque de contêineres nos terminais. Estes arcos possuem somente atributos de fluxo mínimo de contêineres vazios aplicáveis. Para o exemplo aplicado, todos os fluxos mínimos são zero, exceto os fluxos para os arcos com origem nos nós 31, 32 e 33, que definem o estoque inicial de contêineres em cada um dos portos. Os arcos do tipo AM, numerados de 22 a 35, se referem ao transporte marítimo de contêineres cheios (cargas) ou vazios (contêineres em reposicionamento). As capacidades máximas de cheios e vazios são definidas conforme a capacidade dos navios para cada tipo de contêiner, por TEUs e por peso. Não há limitação quanto à quantidade de vazios a serem transportados nos navios, apesar de que tal restrição pode ser aplicada em um dado problema no modelo.

Os arcos do tipo AE e AD, numerados de 36 a 59, se referem ao embarque e desembarque de contêineres entre porto e navio. No exemplo aplicado não há limitações de embarque e desembarque de contêineres nos portos, havendo somente as restrições nos navios. Os custos de utilização do arco são aplicados de acordo com o tipo de contêiner, para cada contêiner embarcado ou desembarcado.

Por fim, os arcos do tipo AX, numerados de 60 a 65, limitam os fluxos iniciais de contêineres originados do nó “s” (fonte global) e os fluxos finais de contêineres destinados ao nó “t” (sorvedouro global). No caso dos fluxos iniciais, estes se referem normalmente ao estoque inicial de contêineres nos portos e terminais, cheios ou vazios.

Por fim, é necessário atribuir as cargas aos arcos. A Tabela 3.6 relaciona todos os arcos, para cada tipo, e as cargas atribuídas, de acordo com as informações específicas de cada carga. Nas primeiras colunas, identifica-se o arco, seu tipo e os

nós de origem e de destino. Na coluna cargas, especifica-se o conjunto de todas as cargas, com base em suas identificações. Observa-se que, para as atividades referentes aos tempos livres antes do embarque e após o desembarque das cargas atribuiu-se arcos de estoque AI. Para embarque e desembarque realizou-se a atribuição dos arcos para o embarque (AE), e para o desembarque (AD). E, para atividades de transporte, atribuíram-se cargas aos arcos marítimos (AM).

A Figura 3.12 ilustra a representação dos fluxos associado à carga 1, relacionados a cada uma das atividades no processo de transporte (tempo livre antes do embarque, embarque, transporte, desembarque e tempo livre após o desembarque). Para o atendimento desta carga, necessita-se de vazios disponíveis no início do tempo livre antes do embarque, no nó 31, referente a um período anterior ao embarque no porto de origem. No atendimento, retêm-se os contêineres, alterando o estado para cheio e, após todo o processo de transporte, liberados novamente vazios no nó 17 (dia 5 e porto C).

Tabela 3.6 – Atribuição das cargas aos arcos para o fluxo de cheios

Arco			Cargas
(i,j) ∈ A			$S_{ij} \in R$
1	AI	(31,1)	{1}
2	AI	(1,2)	{}
3	AI	(2,3)	{}
4	AI	(3,4)	{4}
5	AI	(4,5)	{4}
6	AI	(5,6)	{}
7	AI	(6,34)	{}
8	AI	(32,7)	{}
9	AI	(7,8)	{}
10	AI	(8,9)	{}
11	AI	(9,10)	{}
12	AI	(10,11)	{}
13	AI	(11,12)	{}
14	AI	(12,35)	{}
15	AI	(33,13)	{4}
16	AI	(13,14)	{}
17	AI	(14,15)	{}
18	AI	(15,16)	{1,2}
19	AI	(16,17)	{1}
20	AI	(17,18)	{}
21	AI	(18,36)	{}
22	AM	(31,19)	{}

Arco			Cargas
(i,j) ∈ A			$S_{ij} \in R$
23	AM	(19,20)	{1}
24	AM	(20,21)	{1,2}
25	AM	(21,22)	{}
26	AM	(22,23)	{3}
27	AM	(23,24)	{3}
28	AM	(24,34)	{}
29	AM	(33,25)	{}
30	AM	(25,26)	{4,5}
31	AM	(26,27)	{4,5}
32	AM	(27,28)	{}
33	AM	(28,29)	{}
34	AM	(29,30)	{}
35	AM	(30,36)	{}
36	AE	(1,19)	{1}
37	AD	(19,1)	{}
38	AE	(8,20)	{2}
39	AD	(20,8)	{}
40	AE	(15,21)	{}
41	AD	(21,15)	{1,2}
42	AE	(16,22)	{3}
43	AD	(22,16)	{}
44	AE	(11,23)	{}

Arco			Cargas
(i,j) ∈ A			$S_{ij} \in R$
45	AD	(23,11)	{}
46	AE	(6,24)	{}
47	AD	(24,6)	{3}
48	AE	(13,25)	{4,5}
49	AD	(25,13)	{}
50	AE	(8,26)	{}
51	AD	(26,8)	{}
52	AE	(3,27)	{}
53	AD	(27,3)	{4,5}
54	AE	(4,28)	{}
55	AD	(28,4)	{}
56	AE	(11,29)	{}
57	AD	(29,11)	{}
58	AE	(18,30)	{}
59	AD	(30,18)	{}
60	AX	(37,31)	{}
61	AX	(37,32)	{}
62	AX	(37,33)	{}
63	AX	(34,38)	{}
64	AX	(35,38)	{}
65	AX	(36,38)	{}

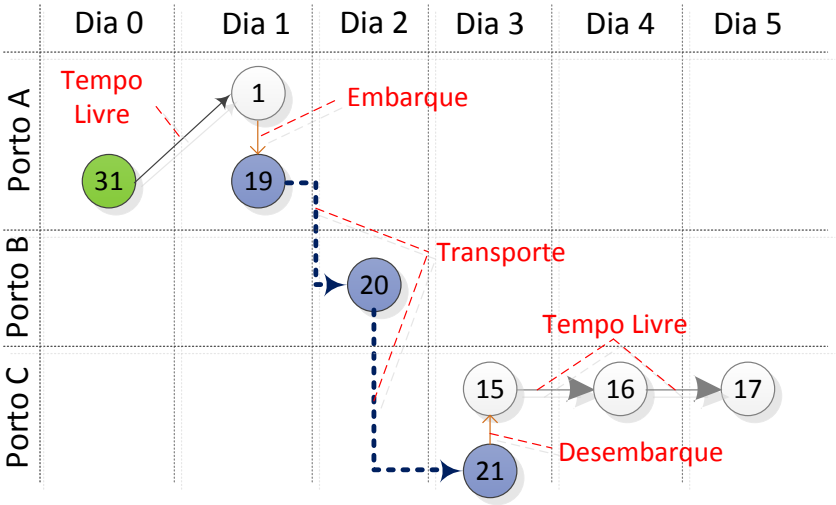


Figura 3.14 - Fluxo associado à carga 1 do exemplo

Os fluxos referentes à carga 1 utilizam, também, nós intermediários, de origem e de destino, referentes aos processos de embarque (nós 1 e 19), de transporte (nós 19, 20 e 21) e de desembarque (nós 21 e 15), associados ao navio N1, previamente definido para a carga. Para o tempo livre após o desembarque também se utiliza um nó intermediário (nó 15 e 16), para caracterizar um intervalo de tempo de dois períodos (dias).

A Figura 3.15 ilustra os fluxos para atendimento da carga 2, pela qual se retêm os contêineres no nó 7, relacionado ao período 1 e porto B, e os libera novamente vazios no nó 16, relacionado ao período 4 e porto C, utilizando, no fluxo referente ao embarque, transporte e desembarque, arcos associados ao navio N1 definido previamente para a carga.

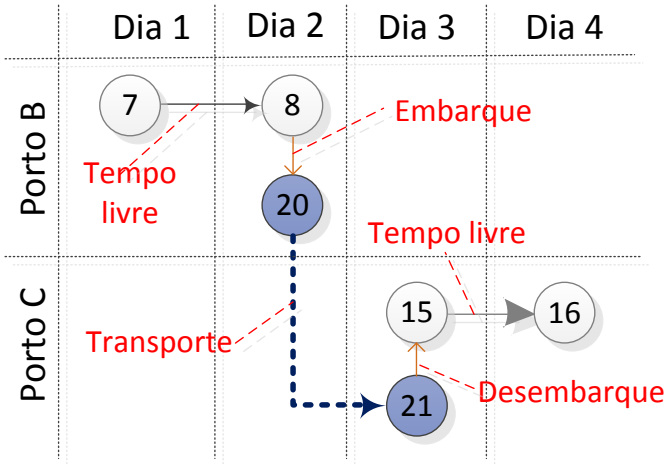


Figura 3.15 – Fluxo associado à carga 2 do exemplo

4. IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO

A modelagem do problema e a sua resolução requerem diversos tipos de dados tornando complexo no quesito informação. Propõe-se, dessa maneira, um modelo genérico de decisão que possibilite tratamento dos dados relacionados ao problema com a utilização de mecanismos capazes de construir a rede espaço-tempo, estruturar o modelo matemático e interpretar os resultados obtidos, com linguagens e interfaces simples e de fácil compreensão. Desse modo, propõe-se um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) que auxilie na resolução do problema, sendo um sistema de informação interativo e flexível. O SAD é dotado de uma interface amigável que permite a sua utilização por um usuário sem conhecimento prévio de pesquisa operacional.

O SAD proposto baseia-se em componentes e interfaces que permitem o cruzamento de informações por meio de linguagens computacionais e mecanismos de armazenamento. Utilizou-se a linguagem de programação VBA (*"Visual Basic for Application"*) para criação das funções específicas na interface desenvolvida em planilha eletrônica e a linguagem de programação C++ a serem utilizadas pelo programa responsável na criação da rede espaço-tempo voltada ao modelo matemático de otimização. A interface foi desenvolvida com o objetivo de permitir utilização do sistema pelo usuário e, indiretamente, a execução de todos os procedimentos necessários para obtenção de uma solução. Basicamente, o SAD divide-se em quatro componentes básicos: i) planilha eletrônica; ii) repositório de arquivos do tipo XML; iii) programa executável e; iv) pacote de otimização. Esses componentes, conforme ilustrado na Figura 4.1, são definidos da seguinte forma:

- **Planilha Eletrônica (VBA):** Interface principal com o usuário que permita invocar os procedimentos criados no programa C++, além da gestão de instâncias e apresentação de resultados;

- **XML (Repositório):** Grupo de arquivos XML organizados em pastas. Esses arquivos XML são definidos como conjunto de dados de entrada e saída (resultados) para o problema. Permite o armazenamento de informações

referentes ao histórico de execuções, bem como informações gerais dos problemas a serem tratados e seus parâmetros.

- **Programa (C++):** Programa executável, implementado em linguagem C++, que concentra operações de leitura de dados de instâncias, criação da rede espaço-tempo, estruturação do modelo matemático baseado na rede construída e execução das operações de otimização, com base nas bibliotecas do pacote de otimização;

- **Pacote de Otimização:** Bibliotecas de objetos e funções relativas aos procedimentos de otimização. Relacionam-se diretamente ao programa C++, fornecendo todos os componentes necessários para a otimização.

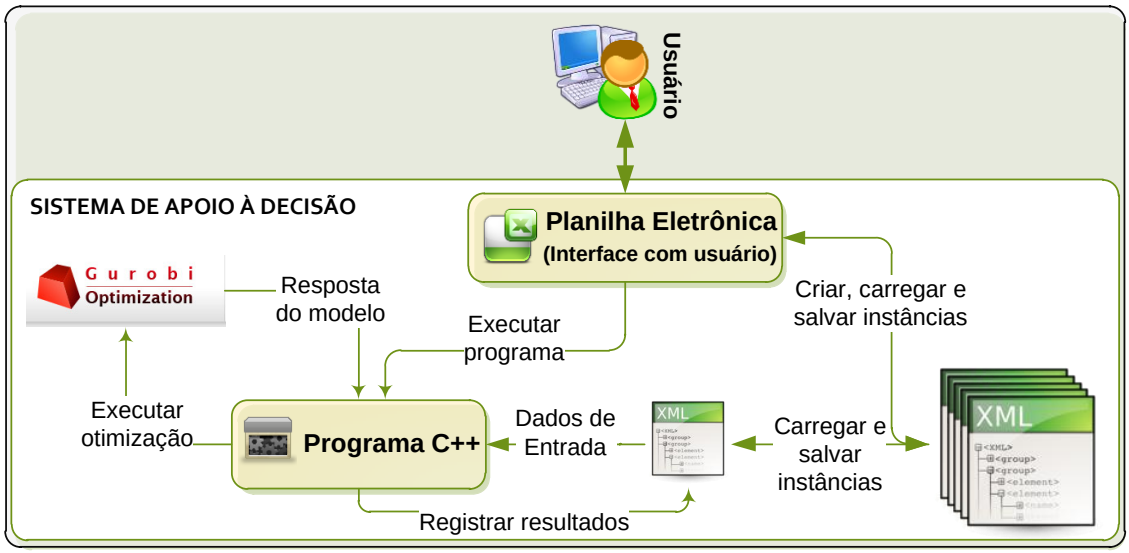


Figura 4.1 – Esquema simplificado do SAD proposto

Esses componentes inter-relacionam-se de tal forma em que haja um fluxo de dados no sistema capaz de desencadear os procedimentos, com o objetivo de solucionar o problema. Os dados são lidos e gravados pelos componentes em arquivos do tipo XML, para diversos fins, e esse procedimento pode ser definido como uma troca de dados entre os componentes, por meio desses arquivos. Um arquivo XML contém todos os dados referentes a uma instância, de entrada de dados para o modelo, de saída de resultados para a interface, gerais da instância, dentre outros.

A Figura 4.2 ilustra o fluxograma para os procedimentos desde a definição de dados até a apresentação dos resultados pelo SAD.

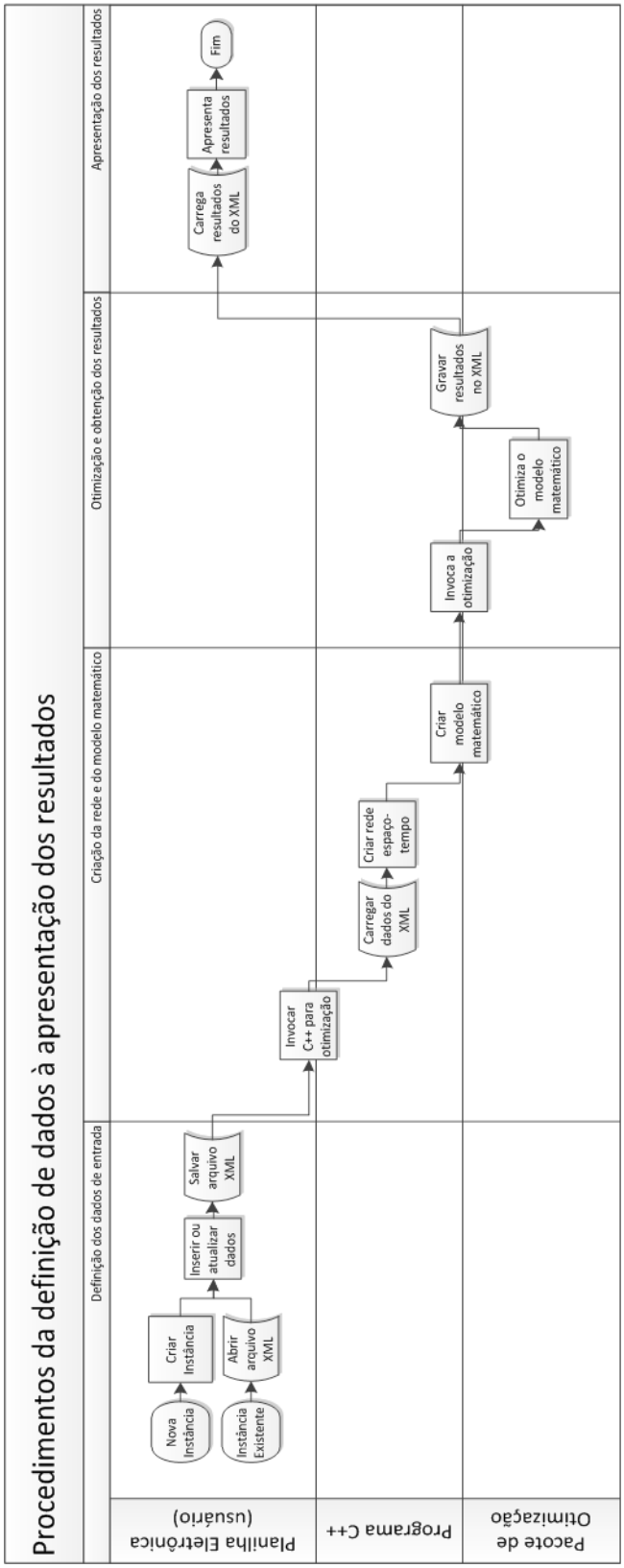


Figura 4.2 – Procedimentos para o SAD

Conforme apontado na Figura 4.2, a planilha eletrônica permite o usuário criar, carregar e salvar as instâncias no repositório XML. Definida uma instância específica do repositório, o usuário invoca o programa C++ de maneira amigável e transparente, através da interface. O programa carrega os dados da instância, executa os procedimentos, em C++, para a preparação do modelo matemático, e, então, são invocadas as funções da biblioteca para a otimização do mesmo. Executam-se todos esses procedimentos do programa em segundo plano, ou seja, sem necessidade de interação com o usuário. Terminado todo o processo, o programa C++ extrai a resposta do modelo fornecida pelo pacote de otimização e armazena os resultados no arquivo XML da instância otimizada. Por fim, carregam-se os resultados na interface, utilizando o próprio arquivo XML, e são preparados os relatórios técnicos e gerenciais da otimização concluída.

A tela inicial da interface com o usuário mostrada na Figura 4.3 foi desenvolvida em planilha eletrônica e com o auxílio de linguagem de programação VBA (*"Visual Basic for Application"*) e permite gerenciamento das instâncias para o modelo proposto. A mesma divide-se em quatro partes: i) definições da instância; ii) parâmetros iniciais; iii) definições básicas e; iv) menu de funções.

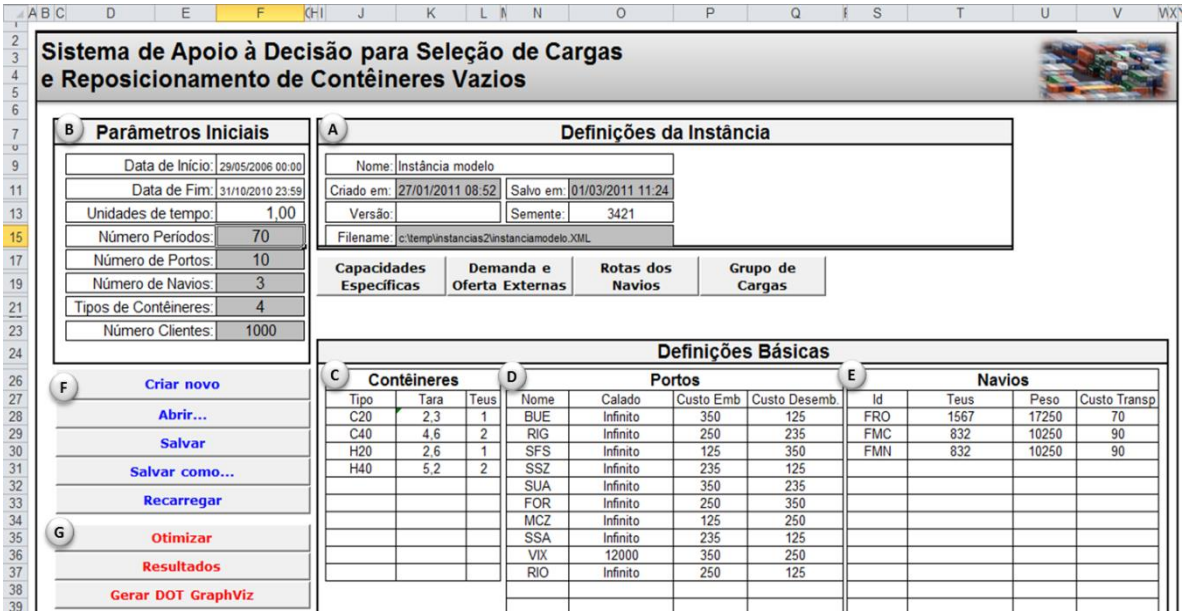


Figura 4.3 – Tela inicial da interface com o usuário

Na definição da instância, conforme indicado no rótulo (A) na Figura 4.3, o usuário deve preencher os campos, conforme descrições no Quadro 4.1. Caso um determinado campo seja definido como “sim” na coluna “Entrada”, o campo pode ser informado pelo usuário. Para o campo que é definido “sim” na coluna “Obrigatório”, o usuário deve, obrigatoriamente, preenchê-lo.

Quadro 4.1 - Campos em “Definições da Instância”, na tela inicial

Campo	Tipo	Entrada	Obrigatório	Descrição
Nome	Texto	Sim	Sim	Define a data de início do horizonte de planejamento para a instância
Criado em	Data	Não	Sim	Data de criação da instância
Salvo em	Data	Não	Sim	Data da última modificação
Versão	Número	Sim	Não	Versão da instância. Campo livre
Semente	Número	Sim	Não	Semente aleatória para geração aleatória do grupo de cargas
Arquivo (*”Filename”*)	Texto	Não	Sim	Localização e nome do arquivo com os dados da instância

Nos parâmetros iniciais, conforme rótulo (B) na Figura 4.3, o usuário deve preencher os campos “Data de Início”, “Data de Fim” e “Unidades de tempo” referentes ao período de planejamento a ser analisado, pois são considerados obrigatórios. Os demais campos de parâmetros iniciais resultam das próprias definições da instância. O Quadro 4.2 apresenta as definições para esses campos.

Quadro 4.2 – Campos em “Parâmetros Iniciais”, na tela inicial

Campo	Tipo	Equivalência no Modelo	Entrada	Obrig	Descrição
Data Início	Data	-	Sim	Sim	Data de início do horizonte de planej.
Data Fim	Data	-	Sim	Sim	Data de fim do horizonte de planej.
Unidades de Tempo	Decimal	-	Sim	Sim	Definição do tamanho do período
Número de Períodos	Número	$\|T\|$	Não	Sim	Número de períodos do horiz planej.
Número de Portos	Número	$\|P\|$	Não	Sim	Número total de portos da instância
Número de Navios	Número	$\|E\|$	Não	Sim	Número de navios para transporte
Tipos de contêineres	Número	$\|K\|$	Não	Sim	Número de tipos de contêineres
Número de cargas	Número	$\|R\|$	Não	Sim	Número de cargas do grupo de cargas

As definições básicas da instância subdividem-se em três tabelas, ilustradas na Figura 4.3: tipos de contêineres (C), portos (D) e navios (E). Todos os campos dessas tabelas são definidos pelo usuário e obrigatórios para a execução da instância. Para definições dos tipos de contêineres, necessita-se inserir a identificação do tipo, a tara (peso do contêiner quando vazio), e o número equivalente em TEUs, conforme Quadro 4.3.

Quadro 4.3 – Campos em "Contêineres", na tela inicial

Campo	Tipo	Equivalência no Modelo	Entrada	Obrig	Descrição
Tipo	Texto	$k \in K$	Sim	Sim	Identificação do tipo de contêiner
Tara	Número	$\beta^k \ \forall \ k \ \in K$	Sim	Sim	Peso para o contêiner vazio
Teus	Número	$\alpha^k \ \forall \ k \ \in K$	Sim	Sim	Número equivalente em TEUs

Os portos e seus atributos são definidos preenchendo os campos descritos no Quadro 4.4. O calado do navio pode ser definido como "Infinito", equivalente ao valor "-1", que representa uma capacidade infinita. Os custos de embarque e de desembarque são definidos somente para os vazios, pois custos dos cheios já são considerados na margem de contribuição já definida com atributo para cada carga.

Quadro 4.4 – Campos em "Portos", na tela inicial

Campo	Tipo	Equivalência no Modelo	Entrada	Obrig	Descrição
Nome	Texto	$p \in P$	Sim	Sim	Identificação do porto
Calado	Número	$\Omega_{ij} \ \ \forall (i,j) \in (AE \cup AD)$	Sim	Sim	Restrição de calado para o porto
Custo Emb.	Número	$C_{ij}^k \ \forall (i,j) \in AE, k \in K$	Sim	Sim	Custo de embarque de vazios
Custo Desemb.	Número	$C_{ij}^k \ \forall (i,j) \in AD, k \in K$	Sim	Sim	Custo desembarque de vazios

Definem-se os navios e seus atributos preenchendo os campos descritos no Quadro 4.5. Os campos "Peso" e "Teus" definem a capacidade máxima do navio. O custo de transporte é definido para os contêineres vazios.

As instâncias são gerenciadas através das pelas funções disponíveis no grupo de botões (F), ilustrados na Figura 4.3, funções "criar", "abrir", "salvar" e "recarregar" instâncias. Invoca-se a otimização de uma instância completamente preenchida com a função "Otimizar" do grupo de botões (G), além da função de carregar os

resultados, após a otimização. Uma função associada ao botão “Gerar DOT Graphviz” permite visualização da rede espaço-tempo construída, de acordo com os dados da instância preenchida, utilizando uma estrutura de texto em DOT, linguagem de fácil entendimento humano e computacional para estruturas em rede.

Quadro 4.5 – Campos em “Navios”, na tela inicial

Campo	Tipo	Equivalência no Modelo	Entrada	Obrig	Descrição
Id	Texto	$e \in E$	Sim	Sim	Identificação do navio
Peso	Número	$\Omega_{ij} \ \forall (i,j) \in AM$	Sim	Sim	Peso máximo permitido para o navio
Teus	Número	$U_{ij} \ \forall (i,j) \in AM$	Sim	Sim	Quantidade, em TEUs, máxima permitida para o navio
Custo Transp.	Número	$C_{ij}^{k} \ \forall (i,j) \in AM, k \in K$	Sim	Sim	Custo de transporte de vazios

Definidos todos os dados da tela inicial, o usuário deve informar as quantidades de contêineres iniciais para cada um dos portos, como ilustrado na Figura 4.4. Cada linha da tabela representa um porto e cada coluna um tipo de contêiner. Os valores são inseridos nas células para cada combinação de porto e tipo de contêiner, que definem os parâmetros $l_{ij}^{k} \ \forall (i,j) \in AX, k \in K$ (limite inferior dos arcos auxiliares) necessários para determinar o estoque inicial de contêineres dos portos. Somente admitem-se valores positivos para as células.

Nome	Portos :: Estoque Inicial por Tipo de Contêiner			
	C20	C40	H20	H40
BUE	0	142	155	0
RIG	128	74	64	0
SFS	259	299	271	150
SSZ	128	101	0	0
SUA	0	247	242	97
FOR	0	0	0	0
MCZ	60	117	0	107
SSA	166	0	0	51
VIX	276	94	0	0
RIO	0	300	279	219

Figura 4.4 – Tabela de entrada para estoque iniciais nos portos

Em seguida, o usuário deve inserir as capacidades específicas por tipo de contêiner para cada um dos navios, conforme ilustrado na Figura 4.5. Cada linha da tabela representa um navio e cada coluna um tipo de contêiner. Os valores são inseridos nas células para cada combinação de linha (navio) e coluna (contêiner). Estes

valores definem os parâmetros $u_{ij}^{k}\ \forall (i,j) \in AM, k \in K$, capacidade máxima, por unidades de contêineres, para cada um dos tipos nos arcos marítimos. Somente se admitem valores positivos para as células.

Navios :: Capacidades por Tipos de Contêineres				
Nome	C20	C40	H20	H40
FRO	1254	1254	501	250
FMC	666	666	266	133
FMN	666	666	266	133

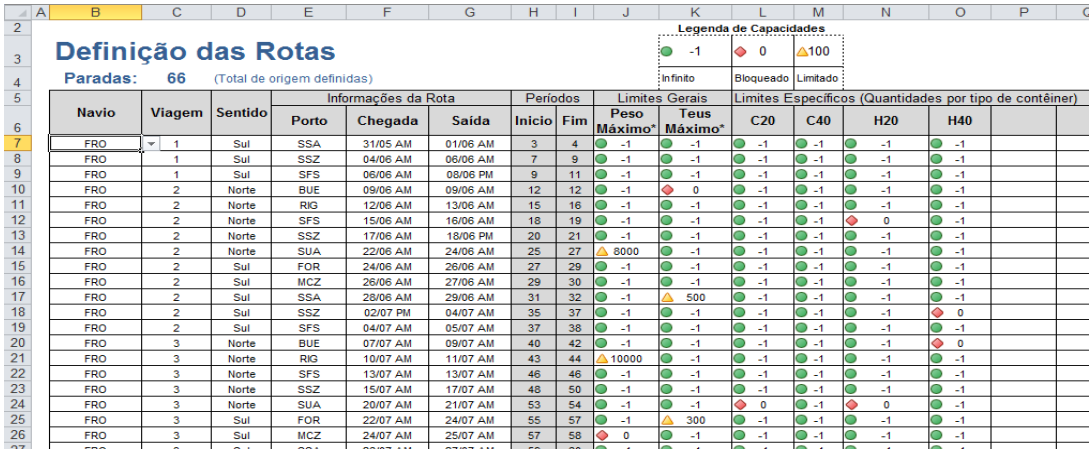
Figura 4.5 – Tabela de entrada para capacidades específicas dos navios

Em outra planilha de dados específica, o usuário pode definir demandas e ofertas externas de contêineres, dentro do horizonte de planejamento. Os valores devem ser inseridos para cada tipo de contêiner, definindo um porto e um instante do horizonte de planejamento. Estes valores consistem em atributos dos nós de inventário $d_i^k\ \forall\ k \in K, i \in NI$. Valores negativos representam demandas de contêineres e valores positivos, ofertas, conforme ilustrado na Figura 4.6.

Porto :: Demandas e ofertas externas de contêineres					
Porto	Período	C20	C40	H20	H40
BUE	10	-100			
FOR	25		50		
MCZ	5		-5	10	

Figura 4.6 – Tabela de entrada para demanda e ofertas externas

O usuário deve, então, definir as rotas para cada navio, conforme ilustrado na Figura 4.7. Para cada um dos trechos o usuário deve informar, obrigatoriamente, o navio, o porto, as datas de chegada e de saída do navio no porto, o peso máximo, TEUs máximo e os limites específicos por tipo de contêiner. No Quadro 4.6 são descritos os campos e os tipos de dados, bem como os campos obrigatórios e de entrada de dados.



Definição das Rotas

Paradas: 66 (Total de origem definidas)

Legenda de Capacidades: -1 Infinito; 0 Bloqueado; 100 Limitado

Navio	Viagem	Sentido	Informações da Rota			Períodos		Limites Gerais		Limites Específicos (Quantidades por tipo de contêiner)			
			Porto	Chegada	Saída	Inicio	Fim	Peso Máximo*	Teus Máximo*	C20	C40	H20	H40
FRO	1	Sul	SSA	31/05 AM	01/06 AM	3	4	-1	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	1	Sul	SSZ	04/06 AM	06/06 AM	7	9	-1	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	1	Sul	SFS	06/06 AM	08/06 PM	9	11	-1	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	2	Norte	BUE	09/06 AM	09/06 AM	12	12	-1	0	-1	-1	-1	-1
FRO	2	Norte	RIG	12/06 AM	13/06 AM	15	16	-1	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	2	Norte	SFS	15/06 AM	16/06 AM	18	19	-1	-1	-1	-1	0	-1
FRO	2	Norte	SSZ	17/06 AM	18/06 PM	20	21	-1	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	2	Norte	SUA	22/06 AM	24/06 AM	25	27	8000	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	2	Sul	FOR	24/06 AM	26/06 AM	27	29	-1	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	2	Sul	MCZ	26/06 AM	27/06 AM	29	30	-1	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	2	Sul	SSA	28/06 AM	29/06 AM	31	32	-1	500	-1	-1	-1	-1
FRO	2	Sul	SSZ	02/07 PM	04/07 AM	35	37	-1	-1	-1	-1	-1	0
FRO	2	Sul	SFS	04/07 AM	05/07 AM	37	38	-1	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	3	Norte	BUE	07/07 AM	09/07 AM	40	42	-1	-1	-1	-1	-1	0
FRO	3	Norte	RIG	10/07 AM	11/07 AM	43	44	10000	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	3	Norte	SFS	13/07 AM	13/07 AM	46	46	-1	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	3	Norte	SSZ	15/07 AM	17/07 AM	48	50	-1	-1	-1	-1	-1	-1
FRO	3	Norte	SUA	20/07 AM	21/07 AM	53	54	-1	-1	0	-1	0	-1
FRO	3	Sul	FOR	22/07 AM	24/07 AM	55	57	-1	300	-1	-1	-1	-1
FRO	3	Sul	MCZ	24/07 AM	25/07 AM	57	58	0	-1	-1	-1	-1	-1

Figura 4.7 – Tabela de entrada para definição das rotas dos navios

Quadro 4.6 - Campos em "Definição das Rotas"

Campo	Tipo	Equivalência no Modelo	Entrada	Obrig	Descrição
Navio	Texto	$e \in E$	Sim	Sim	Identificação do navio
Viagem	Texto	-	Sim	Não	Viagem de um determinado ciclo
Sentido	Texto	-	Sim	Não	Sentido de viagem, normalmente definido em cabotagem
Porto	Texto	$p \in P$	Sim	Sim	Identificação do porto
Chegada	Data/hora	-	Sim	Sim	Data e hora de chegada no porto
Saída	Data/hora	-	Sim	Sim	Data e hora de saída do porto
Início	Número	$t \in T$, atributo de $i \in N$	Não	Sim	Período discreto de chegada do navio
Fim	Número	$t' \in T$, atributo de $j \in N$	Não	Sim	Período discreto de saída do navio
Peso Máximo	Número	$\Omega_{ij} \in (i,j) \in AM$	Sim	Sim	Peso máximo admitido para o trecho
TEUs Máximo	Número	$U_{ij} \in (i,j) \in AM$	Sim	Sim	TEUs máximo admitido para o trecho
Limites Específicos	Número	$u_{ij} \in (i,j) \in AM$	Sim	Sim	Máximo de contêineres por tipo e para cada trecho

A planilha de grupo de cargas, mostrada na Figura 4.8, compreende todas as cargas relacionadas ao problema candidatas ao atendimento no transporte de contêineres. Conforme descrição dos campos no Quadro 4.7, as primeiras colunas identificam, na sequência, o cliente, o navio que realizará o transporte, datas de embarque e de desembarque. Não é necessário informar o porto de origem ou de destino relacionado ao trecho a ser utilizado pela carga, uma vez que se conhecem, com

base nas informações de navio e de datas, e de acordo com a tabela de rotas, o terminal de origem e de destino. Nas colunas de processos são definidos os períodos de inicio e fim do transporte de acordo com as datas de embarque e de desembarque. Os tempos livres antes do embarque e após o desembarque são informados em número de períodos. Em seguida, definem-se a margem de contribuição da carga e o seu peso bruto. A condição de aceite é definida, onde “0” significa aceite total; “1”, aceite parcial e; “2”, carga já aceita. Também se necessita informar a propriedade dos contêineres, sendo “Não”, de propriedade da companhia de navegação, e “Sim”, do próprio embarcador. Informam-se quantidades de contêineres, por tipo, nas últimas colunas na planilha.

	I	K	L	M	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	AA	AB	AC	AD	AE	AF
4	SELEÇÃO	INFORMAÇÕES GERAIS DA CARGA					PROCESSOS				INFORMAÇÕES ESPECÍFICOS									
5							TRANSPORTE		PRÉ E PÓS		DA CARGA				QUANTIDADES POR CONTÊINER					
6		ID	Cliente	Navio	Data Embarque	Data Desembarque	Período Origem	Período Destino	Intervalo Detenção	Intervalo Sobestadia	Margem de Contribuição	Peso Carga	Aceite Parcial	Contêiner Próprio						
7															C20	C40	H20	H40		
8	100%	1	CLIENTE 1	FMN	15/7	23/7	48	56	0	0	422,00	14	0	Não	3					
9	100%	2	CLIENTE 2	FMC	14/6	30/6	17	33	0	0	1.156,00	24	0	Não		5		2		
10	50%	3	CLIENTE 3	FRO	2/7	4/7	35	37	0	0	397,00	15	0	Não	1			3		
11	100%	4	CLIENTE 4	FMN	20/6	22/6	23	25	0	0	333,00	8	0	Não		10				
12	100%	5	CLIENTE 5	FRO	9/6	17/6	12	20	0	0	404,00	20	0	Não	1					
13	100%	6	CLIENTE 6	FMN	6/7	8/7	39	41	0	0	346,00	11	0	Não	30					
14	100%	7	CLIENTE 7	FRO	12/6	26/6	15	29	0	0	312,00	8	0	Não		6	2			
15	100%	8	CLIENTE 8	FRO	12/6	28/6	15	31	0	0	323,00	8	0	Não	1					
16	30%	9	CLIENTE 9	FMC	14/6	21/6	17	24	0	0	7.248,00	224	0	Não	16			3		
17	100%	10	CLIENTE 10	FMC	3/7	28/7	36	61	0	0	1.855,00	55	0	Não	5					
18	100%	11	CLIENTE 11	FRO	7/7	10/7	40	43	0	0	347,00	10	0	Não		3				
19	100%	12	CLIENTE 12	FRO	6/6	9/6	9	12	0	0	592,00	16	0	Não		2		1		
20	20%	13	CLIENTE 13	FMN	17/7	19/7	50	52	0	0	311,00	7	0	Não		30	1			
21	0%	14	CLIENTE 14	FMN	18/6	22/6	21	25	0	0	302,00	5	0	Não	1					
22	0%	15	CLIENTE 15	FMN	19/7	26/7	52	59	0	0	445,00	15	0	Não	1					
23	100%	16	CLIENTE 16	FMC	30/6	15/7	33	48	0	0	407,00	15	0	Não	1					

Figura 4.8 - Planilha de definição de grupo de cargas

O repositório XML contém arquivos do tipo XML, definidos por linguagem de marcação estendida (*“Extensible Markup Language”*), que permite atendimento das necessidades especiais de definição e atualização de dados de diversos tipos de modo rápido e eficaz, na gravação e leitura desses. O Anexo 1 apresenta uma breve pesquisa sobre a linguagem XML e sua aplicação. Em linhas gerais, o arquivo XML deve ser estruturado de tal forma que se encontrem os diferentes dados da instância de modo rápido dentro da estrutura.

Todos os dados inseridos ou atualizados na planilha de interface são gravados em arquivos XML em um formato específico para o modelo proposto. Define-se tal formato do arquivo XML conforme hierarquia ilustrada na Figura 4.9, tendo “Dados de Entrada” como sub-hierarquia principal. Compõem-se essa sub-hierarquia em horizonte de tempo, tipo de contêineres, terminais, navios e cargas.

Quadro 4.7 – Campos em "Definição de Grupo de Carga"

Campo	Tipo	Equivalência no Modelo	Entrada	Obrig	Descrição
Seleção	Texto	$Y_r \in r \in R$	Não	Sim	Resultado do modelo para aceite de carga
ID	Número	$r \in R$	Sim	Não	Identificação da carga
Cliente	Texto	-	Sim	Não	Nome do cliente que solicitou a carga
Navio	Texto	$p \in P$	Sim	Sim	Identificação do porto
Data Embarque	Data/hora	-	Sim	Sim	Data do embarque
Data Desembarque	Data/hora	-	Sim	Sim	Data do desembarque
Período Origem	Número	$t \in T$, atributo de $i \in N$	Não	Sim	Período discreto de embarque no navio
Período Destino	Número	$t' \in T$, atributo de $j \in N$	Não	Sim	Período discreto de desembarque no navio
Tempo livre antes do embarque	Número	Para associar arcos AI anteriores de mesmo porto	Sim	Sim	Número de períodos para tempo livre antes do embarque
Tempo livre após o desembarque	Número	Para associar arcos AI posteriores de mesmo porto	Sim	Sim	Número de períodos para tempo livre após o desembarque
Margem de Contribuição	Número	$m_r \in r \in R$	Sim	Sim	Margem de contrib. total da carga
Peso da Carga		$\omega_r \in r \in R$			Peso total da carga
Aceite Parcial		Se "2", $r \in R^O$ Se "1", $r \in R^P$ Se "0", $r \in R^T$			Se a carga permite ou não aceite parcial, ou se já está aceita
Contêiner Próprio		Se "sim", $r \in R^E$ Se "não", $r \in R^C$			Se a carga é de propriedade do embarcador ou não
Quantidades por tipo		$q_r^k \in r \in R$			Quantidades específicas de contêineres por tipo

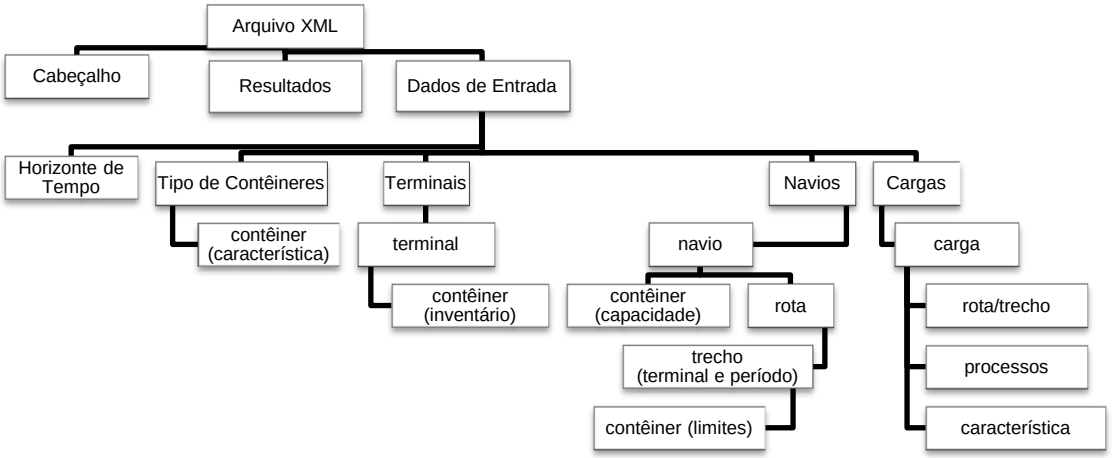


Figura 4.9 – Hierarquia do arquivo XML para o modelo proposto

No exemplo da Figura 4.10, observa-se uma estrutura de dados de entrada para uma instância XML qualquer do modelo proposto. Verifica-se a semelhança com estruturas HTML que também se baseiam em linguagem de marcação estendida. Organizam-se, também, as informações de resultados da otimização com base em uma estrutura de marcadores, tal como os dados de entrada, estruturando as informações das variáveis (aceite/rejeição de cargas e fluxos).

```
<Instancia>
  <Cabecalho>
    <Nome>Nova Instância</Nome>
    <Descricao></Descricao>
    <Versao>1</Versao>
    <DataCriacao>2010-11-05</DataCriacao>
    <HoraCriacao>09:55:24</HoraCriacao>
    <DataAtualiz>2010-11-10</DataAtualiz>
    <HoraAtualiz>11:18:21</HoraAtualiz>
  </Cabecalho>
  <Resultados>[...]</Resultados>
  <Dados>[...]</Dados>
</Instancia>
```

```
<Dados>
  <Horizonte>30</Horizonte>
  <Conteineres contador="2">
    <conteiner id="20DC" peso="2" teus="1"/>
    <container id="40DC" peso="4" teus="2"/>
  </Conteineres>
  <Terminais contador="3">
    <terminal id="BUE" calado="#inf"
             CustoEmb="10" CustoDesemb="0">
      <conteiner id="20DC" inventario="300"/>
      <conteiner id="40DC" inventario="300"/>
    </terminal>
    [...]
  </Terminals>
  <Navios contador="2">
    <navio  id="EURO" pesomaximo="25500"
            teus="1700" CustoTrans="0">
      <conteiner id="20DC" quantidade="1700"/>
      <conteiner id="40DC" quantidade="1700"/>
      <rota>
        <trecho viagem="15" sent="NB" terminal="BU
                ETB="30/09/2006 00:17:06"
                ETS="30/09/2006 21:53:06"
                Pchegada="1" Ppartida="1"
                pesomaximo="-1" teus="-1">
          <container id="20DC" maxquantity="-1"/>
          <container id="40DC" maxquantity="-1"/>
        </trecho>
        [...]
      </rota>
    </navio>
    [...]
  </Navios>
  <Cargas contador="4">
    <carga id="1" cliente="Cliente 1">
      <rota navio="LOSA" viagem="" sent="NB"
            emb="20/10/2006 15:05:11"
            desemb="29/10/2006 18:37:11"
            Pemb="21" Pdesemb="30"/>
      <processo detencao="2" sobrestadia="2"/>
      <ordem margem="210" pesocarga="40" aceite="1
            contproprios="Não" cargaref="">
        <container id="20DC" quantity="30"/>
        [...]
      </order>
    </carga>
    [...]
  </Cargas>
</Dados>
```

Figura 4.10 - Exemplo de estrutura XML para dados de entrada

Utiliza-se, para a otimização do modelo proposto, o pacote de otimização Gurobi Optimizer 4.0, que permite utilização de bibliotecas em linguagem C++. A licença acadêmica disponibilizada pelo fabricante do pacote não limita quanto a sua utilização, seja por número de restrições ou de variáveis; somente há limitações quanto à capacidade computacional instalada, tais como memória física, espaço em disco-rígido e velocidade de processamento.

Definem-se, no programa C++ implementado, funções específicas:

- **Dados de entrada:** funções responsáveis pela interpretação do arquivo XML informado como parâmetro do programa C++. Carregam-se os dados em memória, numa estrutura específica, semelhante à estrutura do XML;

- **Construção da rede:** funções de criação de nós e arcos, incluindo definição de atributos de acordo com os dados do arquivo XML previamente carregados em memória;

- **Estruturação do modelo matemático:** funções específicas da biblioteca de otimização que permite estruturar um modelo matemático com suas variáveis e restrições, em memória, de modo que permita rápida execução do procedimento pelo próprio pacote de otimização;

- **Execução da otimização:** funções relacionadas ao modelo matemático para otimização das variáveis registradas. Após a otimização, há também funções responsáveis pela gravação dos resultados no arquivo XML;

5. EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Este capítulo tem por objetivo apresentar a aplicação do modelo proposto a diferentes problemas de diversos tamanhos, em termos de número de cargas potencialmente candidatas a serem atendidas, de modo a mostrar sua aplicabilidade. Foram criadas instâncias, conforme observado na prática nas companhias de navegação, no que tange decisões de aceite de cargas e de reposicionamento de contêineres vazios. Pretende-se analisar o modelo proposto em comparação com o modelo desenvolvimento por Cuoco (2008) para problemas simplificados. Também são apresentados os resultados de análises do modelo proposto para diversos problemas de grande porte. Todos os experimentos computacionais apresentados nesse capítulo foram realizados em computador com um núcleo de processamento de 2.7GHz e memória RAM disponível de 1Gb.

Testam-se problemas reduzidos com o objetivo de comparar facilmente os resultados obtidos computacionalmente com os resultados obtidos manualmente. Este tipo de comparação permite ajustar o modelo e o sistema na sua implementação antes da sua utilização em problemas maiores que não podem ser resolvidos sem o auxílio computacional.

Desse modo, foi proposta um problema de pequeno porte, descrito na subseção 0, e que corresponde a seis períodos, três portos, dois navios, cinco clientes e dois tipos de contêineres, cuja representação da rede espaço-tempo é ilustrada na Figura 3.13. Os fluxos dos arcos são representados na rede espaço-tempo, ilustrada na Figura 5.1, com as quantidades de cheios e vazios representados por diferentes cores de rótulos. Os rótulos vermelhos sobre os fluxos representam as quantidades de vazios que utilizam o arco. Os rótulos verdes representam as quantidades de cheios.

Para um mesmo arco é representado o fluxo tanto de cheios quanto de vazios. Portanto, poderá haver arcos com ambos os rótulos representados. Cada rótulo ilustrado sobre os arcos na Figura 5.1 possui dois valores que representam as quantidades de contêineres para cada um dos tipos. O primeiro valor representa o tipo de contêiner C20 e o segundo valor representa o tipo de contêiner C40. Por

exemplo, o rótulo “20 | 140”, vermelho, sobre o arco (14,15), representa o fluxo de 20 contêineres vazios do tipo C20 e 70 contêineres vazios do tipo C40 no arco (14,15). E, os rótulos “0 | 80”, verde, e “130 | 0”, vermelho, sobre o arco (20, 21), representa o fluxo de 80 vazios do tipo C40 e 130 cheios do tipo C20 no arco (20,21). Foram ocultados, ilustrando com a cor cinza, os arcos e nós que não foram utilizados para a solução obtida, de modo a permitir uma melhor representação da rede na ilustração.

Verificou-se que, a solução encontrada manualmente foi a mesma obtida pelo SAD. Também não foi possível encontrar uma solução melhor à encontrada, pois quaisquer alterações da solução reduzem a função objetivo ou inviabilizam a solução. Quanto ao grupo de cargas, conforme resultados apresentados na Tabela 5.1, verifica-se que houve rejeição da carga 1 e também um aceite parcial de 60% da carga 4. As demais cargas (2, 3 e 5) são aceitas totalmente.

Tabela 5.1 – Seleção das cargas a serem transportadas

Y_i	Carga	Navio	Data de Embarque	Data de Desemb.	Tempo livre antes e após/ (dias / dias)	Propriedade Contêineres	Cond. Aceite	Margem (R$)	Peso (ton)	Quantid.	
										C20	C40
0%	1	N1	Dia 1	Dia 3	1 / 2	C. Navegação	Total	1500,00	1350	100	
100%	2	N1	Dia 2	Dia 3	1 / 1	C. Navegação	Parcial	1450,00	1440		80
100%	3	N1	Dia 4	Dia 6	0 / 0	C. Navegação	Total	2300,00	2800	30	120
60%	4	N2	DIa 1	Dia 3	1 / 2	C. Navegação	Parcial	2700,00	1400	70	
100%	5	N2	Dia 1	Dia 3	0 / 0	Embarcador	Total	3000,00	700		20

A solução ótima corresponde ao transporte de 292 cheios, sendo 72 e 220 contêineres do tipo C20 e C40, respectivamente. Isso representa uma quantidade de 512 TEUs de cheios a serem transportados.

Com relação ao tempo livre antes do embarque e após o desembarque de contêineres, observa-se nos resultados de fluxo de contêineres, ilustrados na Figura 5.1, que 90 cheios do tipo C20, que seguem no fluxo do arco (31,13), se encontram durante o tempo livre antes do embarque, seguindo para o embarque no arco (13, 25), junto com 20 contêineres do tipo C40 de propriedade do embarcador, no navio N2, período 1 do porto C (nó 25).

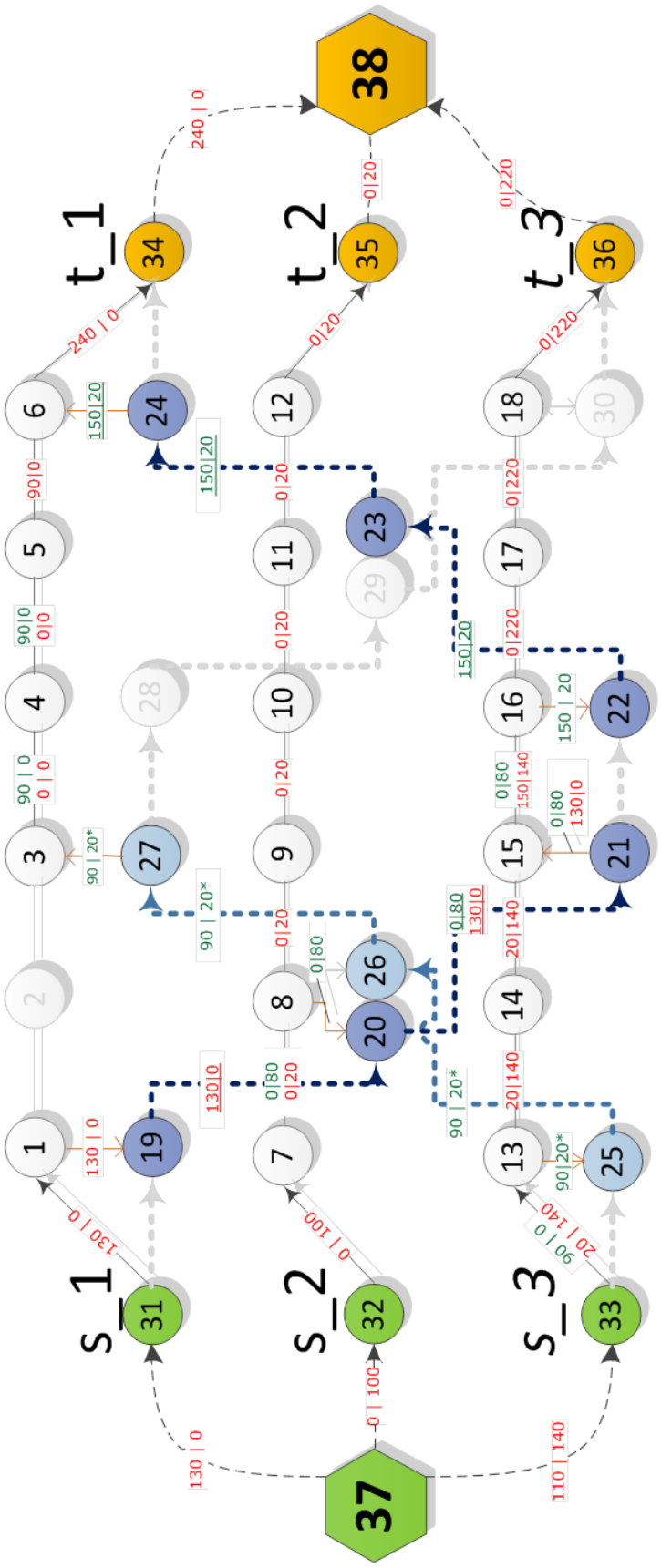


Figura 5.1 – Fluxos nos arcos para o problema pequeno

Também, na Figura 5.1, observam-se os reposicionamentos de contêineres do porto A no dia 1 (nó 1) para o porto C no dia 3 (nó 15). Estes reposicionamentos se tornam necessários, visto a necessidade de atendimento da carga 3 que possui maior rentabilidade, apesar de que, pelo fato dos 130 contêineres do tipo C20 terem sido reposicionados, o atendimento da carga 1 se tornou impossível, visto a indisponibilidade de contêineres vazios para essa carga após viabilizar o atendimento da carga 3. De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que o modelo se comporta como o esperado.

De acordo com esses resultados inicialmente obtidos para os problemas pequenos, observa-se que o modelo de fluxo em rede utilizado para a solução do problema de seleção de cargas e reposicionamento de contêineres vazios não permite, diretamente, que sejam definidas relação de origem e de destino a cada contêiner vazio reposicionamento. Em contrapartida, os resultados permitem que, numa análise posterior, os reposicionamentos sejam individualmente determinados.

Então, considerando esses resultados, é possível saber todas as origens e todos os destinos de contêineres vazios, sem a definição imediata da relação de qual origem corresponde a qual destino para cada contêiner vazio. Parte desses resultados permite rapidamente ter essa relação mediante uma análise posterior à execução do modelo de fluxo em rede. Dependendo da dimensão do problema tratado, pode-se tornar necessária a utilização de outro procedimento para determinar todas as relações de origens e destinos dos contêineres vazios da solução ótima, utilizando-se como base o resultado obtido pelo modelo proposto.

Outros problemas também foram utilizados para validação, tal como o problema cuja rede é representada na Figura 3.7. Em todos os casos, se validam o modelo matemático e o SAD, visto que a solução encontrada manualmente também pode ser encontrada pelo modelo proposto.

5.1. Análise Comparativa

Antes dos estudos mais específicos do modelo proposto, para as diversas características consideradas, efetuam-se testes comparativos entre este e o modelo desenvolvido por Cuoco (2008). É possível definir problemas com características

semelhantes para ambos os modelos, permitindo que sejam realizadas as comparações de resultados.

Conforme mostrado anteriormente no Quadro 3.5, o problema tratado possui novas características em comparação ao modelo desenvolvido por Cuoco (2008). Dessa maneira, algumas características consideradas no modelo proposto serão desconsideradas para fins de comparações específicas com os resultados nos modelo de Cuoco (2008), conforme relacionado a seguir:

a) Único tipo de contêiner, que representa a quantidade em TEUs;
b) Diferentes navios e diferentes rotas definidas;
c) Não há capacidades específicas, por tipo de contêineres;
d) Não há capacidades específicas por trecho de rota de navio;
e) Não é permitido aceite parcial de carga;

Ambos os modelos permitem considerar o estado inicial dos navios. Para efeito de estudos e em virtude das dificuldades encontradas na utilização dessa restrição no modelo de Cuoco (2008), esses problemas, para fins de comparação, não consideram o estado inicial para o planejamento. Também não se considera a permanência, por mais de um dia, do navio nos portos, em virtude de limitações do modelo de Cuoco (2008). Dessa maneira, o navio atraca e desatraca em um mesmo período (ou dia), ocorrendo nesse período todo o processo de embarque e desembarque de cheios e vazios.

Foram considerados problemas para o modelo proposto, equivalentes aos problemas estruturados para o modelo desenvolvido por Cuoco (2008), com objetivo de comparação dos resultados obtidos entre os modelos. Inicialmente se definiu um problema pela qual todos os demais problemas comparativos se baseiam. Conhecem-se o peso do contêiner vazio, os portos, os navios e as rotas dos mesmos. E, para a definição do grupo de cargas, alguns critérios específicos das análises são definidos, permitindo diversificação de problemas com a utilização de dados aleatórios para o modelo.

Considerou-se um único tipo de contêiner, denominado TEU, com tara (peso vazio) de 2.300 kg (peso do equipamento vazio), sabendo que o modelo desenvolvido por Cuoco (2008) não considera múltiplos tipos de contêineres em sua modelagem.

Dez portos foram definidos para os problemas tratados, conforme Quadro 5.1, e três navios (FRO, FMC e FMN), que possuem paradas definidas nesses portos. Definem-se, como cíclicas, as rotas dos navios que possuem duração de ciclo de 9 a 58 dias, dependendo do navio, para serviços de cabotagem internacional. Para esses navios definidos para o problema, consideraram-se as mesmas rotas definidas no trabalho desenvolvido por Cuoco (2008). O horizonte de planejamento considerado se inicia no dia 31 de Maio e se encerra no dia 01 de Agosto, ou seja, corresponde a 62 dias.

As rotas dos navios, apresentadas no Quadro 5.2, que compreende, para cada navio, a programação em termos de datas, considera que a data de chegada será igual à data de partida, ou seja, no mesmo dia haverá todo o embarque e desembarque de contêineres para cada parada de navio no porto.

Quadro 5.1 - Portos considerados na análise comparativa

Porto	Nome
FOR	Porto de Fortaleza (ou Mucuripe)
SUA	Porto de Suape (PE)
MCZ	Porto de Maceió (ou Jaraguá)
SSA	Porto de Salvador
VIX	Porto de Tubarão (Vitória/ES)
RIO	Porto do Rio de Janeiro
SSZ	Porto de Santos (SP)
SFS	Porto de São Francisco do Sul (SC)
RIG	Porto de Rio Grande (RS)
BUE	Buenos Aires (Argentina)

Para cada navio, são definidas as respectivas capacidades de contêineres e de peso bruto total. O navio FRO permite o transporte de até 1.254 TEUs, com o peso bruto total de 13.800 toneladas. Já os navios FMC e FMN são definidos como de menor capacidade, sendo máximo de 666 TEUs e peso bruto total de 8.200 toneladas. Para

o problema principal e demais problemas relacionados, foram definidos 500 contêineres vazios a serem distribuídos, igualitariamente, entre os dez portos, caracterizando assim como os estoques iniciais dos portos.

Cada cenário a ser analisado considera um grupo de cargas que pode variar em tamanho e em parâmetros aleatórios, com base em sementes aleatórias pré-definidas. Para criar um determinado grupo de cargas para um determinado cenário, estruturam-se critérios, que podem ser paramétricos ou estocásticos, de acordo com funções para geração de números aleatórios, utilizando o algoritmo *"Mersenner Twister"*, conforme proposta de Makoto e Takuji (1998). De acordo com o que se observa na prática e com base em amostra de dados reais obtidas de problemas observados em companhias de navegação, foram definidos os valores dos parâmetros necessários a para geração dos grupos de cargas dos cenários a serem analisados, mantendo-os em ordem de grandeza com relação aos problemas observados na prática.

Para a definição das demandas de cargas, foram consideradas todas as combinações de origens e de destinos possíveis para transporte de uma determinada carga. Dessa maneira, escolhe-se, aleatoriamente, uma combinação de origem e destino, para o qual são determinados atributos da carga, tais como: navio, data de origem e de data destino, e a demanda de contêineres a serem transportados, margem de contribuição e o peso bruto total. Foram definidas, de acordo com as amostras de dados obtidas de companhias de navegação e também pelo que se observam na prática, distribuições e parâmetros que representa as demandas no transporte de contêineres. Para definição dos atributos da carga $r \in R$, inicialmente propõe-se as seguintes funções para geração de números aleatórios:

a) $r1(a; b)$: função que retorna um número aleatório qualquer gerado a partir de uma distribuição beta, conhecidos os parâmetros a e b;
b) $r2(min; max)$: função que retorna um número aleatório qualquer gerado a partir de uma distribuição uniforme, quando informados os parâmetros de mínimo (min) e máximo (max);

Quadro 5.2 - Trechos das rotas percorridas pelos navios

Navio	Origem		Destino	
	Porto	Data	Porto	Data
FRO	SSA	31-05	SSZ	04-06
FRO	SSZ	04-06	SFS	06-06
FRO	SFS	06-06	BUE	09-06
FRO	BUE	09-06	RIG	12-06
FRO	RIG	12-06	SFS	15-06
FRO	SFS	15-06	SSZ	17-06
FRO	SSZ	17-06	SUA	22-06
FRO	SUA	22-06	FOR	24-06
FRO	FOR	24-06	MCZ	26-06
FRO	MCZ	26-06	SSA	28-06
FRO	SSA	28-06	SSZ	02-07
FRO	SSZ	02-07	SFS	04-07
FRO	SFS	04-07	BUE	07-07
FRO	BUE	07-07	RIG	10-07
FRO	RIG	10-07	SFS	13-07
FRO	SFS	13-07	SSZ	15-07
FRO	SSZ	15-07	SUA	20-07
FRO	SUA	20-07	FOR	22-07
FRO	FOR	22-07	MCZ	24-07
FRO	MCZ	24-07	SSA	26-07
FRO	SSA	26-07	SSZ	30-07
FRO	SSZ	30-07	SFS	01-08
FRO	SFS	01-08	BUE	02-08
FMC	BUE	02-06	RIG	05-06
FMC	RIG	05-06	SFS	08-06
FMC	SFS	08-06	SUA	14-06
FMC	SUA	14-06	FOR	17-06
FMC	FOR	17-06	SSA	21-06
FMC	SSA	21-06	SFS	27-06
FMC	SFS	27-06	BUE	30-06
FMC	BUE	30-06	RIG	03-07
FMC	RIG	03-07	SFS	06-07
FMC	SFS	06-07	SUA	12-07

Navio	Origem		Destino	
	Porto	Data	Porto	Data
FMC	SUA	12-07	FOR	15-07
FMC	FOR	15-07	SSA	19-07
FMC	SSA	19-07	SFS	25-07
FMC	SFS	25-07	BUE	28-07
FMC	BUE	28-07	VIX	02-08
FMN	VIX	02-06	SSA	04-06
FMN	SSA	04-06	RIO	07-06
FMN	RIO	07-06	SSZ	09-06
FMN	SSZ	09-06	VIX	11-06
FMN	VIX	11-06	SSA	13-06
FMN	SSA	13-06	RIO	16-06
FMN	RIO	16-06	SSZ	18-06
FMN	SSZ	18-06	VIX	20-06
FMN	VIX	20-06	SSA	22-06
FMN	SSA	22-06	RIO	25-06
FMN	RIO	25-06	SSZ	27-06
FMN	SSZ	27-06	VIX	29-06
FMN	VIX	29-06	SSA	01-07
FMN	SSA	01-07	RIO	04-07
FMN	RIO	04-07	SSZ	06-07
FMN	SSZ	06-07	VIX	08-07
FMN	VIX	08-07	SSA	10-07
FMN	SSA	10-07	RIO	13-07
FMN	RIO	13-07	SSZ	15-07
FMN	SSZ	15-07	VIX	17-07
FMN	VIX	17-07	SSA	19-07
FMN	SSA	19-07	RIO	23-07
FMN	RIO	23-07	SSZ	24-07
FMN	SSZ	24-07	VIX	26-07
FMN	VIX	26-07	SSA	28-07
FMN	SSA	28-07	RIO	01-08
FMN	RIO	01-08	SSZ	02-08

A definição de quais distribuições a serem utilizadas para a geração dos números aleatórios necessários para valorização dos atributos das cargas considerou dados obtidos de companhias de navegação e de trabalhos correlatos, permitindo que sejam compostos os problemas em mesma ordem de grandeza do que se observa na prática.

Conhecidas as funções para geração dos números aleatórios a serem utilizados na definição da carga, os seguintes critérios são aplicados para cada uma das cargas, e na seguinte ordem:

1. Quantidade de contêineres pela expressão $q_r^1 = 1 + 30 \times r1(0{,}303;\ 1{,}87)$
2. Peso bruto de acordo com a expressão $w_r = q_r^1 \times r2(5; 20)$
3. Determinar margem de contribuição: $w_r \times r2(10;\ 15) + q_r^1 \times r2(200;\ 250)$

Essas expressões foram obtidas com base em um perfil de demanda qualquer, para cargas que variam, em quantidade de contêineres de 1 a 30 contêineres. O peso bruto da carga, para o cenário de estudo, varia de 5 a 20 toneladas, de acordo com a quantidade de contêineres. E a margem de contribuição foi definida de acordo com o peso e a quantidade de contêineres, multiplicando-se o peso entre 10 e 15 vezes e a quantidade entre 200 e 250 vezes.

A valorização dos custos de embarque, transporte ou desembarque de contêineres vazios garante que as decisões de reposicionamento de vazios, aplicadas ao modelo proposto, sejam realizadas somente para o atendimento das demandas. Ou seja, se um vazio foi reposicionado, a função objetivo é onerada por um custo de reposicionamento. Isto garante que nenhum reposicionamento será realizado sem a compensação de receita, considerando que a função objetivo do problema visa maximização. Caso nenhum atendimento de demanda seja possível em virtude de um reposicionamento de vazios qualquer, não há necessidade de realizar o reposicionamento, visto que haveria custos sem a compensação de receita.

Sabe-se que o modelo de Cuoco (2008), ao contrário do modelo proposto, não considera os custos de reposicionamento para decidir pela seleção de cargas e pelo reposicionamento de contêineres vazios. Já no modelo proposto, às decisões de reposicionamento ocorrem de modo integrado às decisões de seleção de cargas. Com base em todas essas considerações de custos sobre a rede espaço-tempo, para uma melhor comparação de ambos os modelos, convenciona-se um custo, que seja mínimo para o modelo, como parâmetro aos problemas gerados pelo modelo proposto neste trabalho. Dessa maneira, após a heurística do Cuoco (2008) decidir pelas cargas a serem transportadas, toda a função objetivo é recalculada,

considerando a soma de toda a receita apurada, deduzidos os custos de reposicionamentos de vazios.

Para o modelo proposto, foram gerados seis problemas, que variam em sementes aleatórias e para diferentes números de cargas (100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900 e 1000 cargas). Nesses problemas todos os portos possuem um estoque inicial de 50 contêineres, que totalizam uma capacidade inicial de 500 contêineres.

5.1.1 Análise dos resultados comparativos

A Tabela 5.2 apresenta os resultados médios comparativos entre o modelo proposto e o modelo desenvolvido por Cuoco (2008) para o percentual de cargas aceitas (% Cargas Aceitas), de margem de contribuição das cargas aceitas (% Margem de Contribuição), deduzidos custo de reposicionamento de vazios, e o percentual de diferença do resultado obtido com o ótimo (% Diferença do Resultado Ótimo). Todos os resultados, para cada uma dos problemas, se encontram disponíveis no Anexo 2, que visa apresentar os resultados obtidos nos problemas do modelo proposto e o Anexo 3, os resultados dos problemas para o modelo desenvolvido por Cuoco (2008).

Observa-se que o modelo de Cuoco (2008) ficou, em média, -11% da receita líquida obtido pelo modelo proposto, tendo a diferença máxima observada nos problemas de 1000 cargas, com média de -20% em relação do ótimo. Com relação aos reposicionamentos, a Tabela 5.3 apresenta a quantidade, em TEUs, de contêineres reposicionados para cada um dos modelos e o percentual da diferença entre o modelo de Cuoco (2008) e o modelo proposto quanto a quantidade obtida. Também são apresentados os custos de reposicionamentos.

Verifica-se, na Tabela 5.3, que a diferença do número de reposicionamentos entre os modelos diminui para problemas maiores. Em contrapartida, a diferença da margem de contribuição das cargas aceitas aumenta. No caso da margem de contribuição, o modelo desenvolvido por Cuoco (2008) apresenta resultados mais próximos aos resultados encontrados pelo modelo proposto quando se tratando de problemas menores. Desta maneira, de acordo com os resultados comparativos

entre ambos os modelos, o modelo proposto demonstrou melhores resultados na resolução desses problemas.

Tabela 5.2 – Comparação do resultado entre modelo proposto e de Cuoco

Demanda		Resultados					
		% Cargas Aceitas		% Margem de Contribuição		% Diferença do Resultado Ótimo	
Cargas	**Margem**	Cuoco	Proposto	Cuoco	Proposto	Cuoco	Proposto
100	123.647	99,8%	100,0%	99,1%	100,0%	-0,9%	0,0%
200	255.939	98,5%	100,0%	93,3%	100,0%	-6,7%	0,0%
300	390.851	97,3%	99,8%	90,7%	99,5%	-8,8%	0,0%
400	518.930	97,4%	98,8%	89,4%	98,2%	-9,0%	0,0%
500	648.994	95,7%	98,0%	86,1%	97,8%	-11,9%	0,0%
600	779.305	93,4%	95,7%	84,3%	96,2%	-12,3%	0,0%
700	928.279	90,9%	91,3%	80,7%	92,4%	-12,7%	0,0%
800	1.052.026	88,0%	87,8%	75,1%	88,2%	-14,9%	0,0%
900	1.183.551	86,5%	84,0%	73,4%	84,1%	-12,7%	0,0%
1000	1.327.232	78,8%	80,9%	64,6%	81,0%	-20,2%	0,0%

Tabela 5.3 - Comparação de reposicionamentos entre os modelos

Demanda		Reposicionamentos				
		Quantidade (TEUs)			Custo R$	
Cargas	Margem	Cuoco	Proposto	% Dif	Cuoco	Proposto
100	123.647	4,50	7,50	-40%	9,00	15,00
200	255.939	37,33	66,83	-44%	74,66	133,67
300	390.851	77,67	143,67	-46%	155,34	287,33
400	518.930	176,00	232,50	-24%	352,00	465,00
500	648.994	265,17	368,00	-28%	530,34	736,00
600	779.305	373,33	465,50	-20%	746,66	931,00
700	928.279	473,33	517,17	-8%	946,66	1034,33
800	1.052.026	529,00	540,83	-2%	1058,00	1081,67
900	1.183.551	575,17	531,00	8%	1150,34	1062,00
1000	1.327.232	559,67	569,50	-2%	1119,34	1139,00

5.2. Problemas de estudo

Esta seção tem por objetivo demonstrar a aplicação do modelo a diferentes problemas inspirados em planejamentos reais de seleção de cargas e de reposicionamentos de vazios no transporte marítimo. Diversos parâmetros desses problemas, tais como para número de cargas, atributos das cargas, rotas dos navios, dentre outros, foram definidos de acordo com as amostras de dados obtidas de companhias de navegação que oferecem serviços de transporte de contêineres por cabotagem internacional, pela região da costa leste da América do Sul.

Inicialmente, definem-se os dimensionamentos e as caracterizações do horizonte de tempo, dos contêineres, dos portos, dos navios e das cargas a serem atendidas, para os problemas tratados, a fim de analisar as principais características adotadas no modelo proposto, comparando-se resultados para diferentes níveis de demanda e de oferta de contêineres.

Adota-se um horizonte de planejamento invariável para todos os problemas considerados, que na prática ocorre nas companhias de navegação. O modelo proposto considera um horizonte discreto de tempo para a tomada de decisão, sabendo que as companhias de navegação também adotam um horizonte discreto de tempo, com períodos fixos normalmente de 12 horas ou de 24 horas. Nos problemas propostos nessa seção, considera-se um horizonte discreto de 24 horas, que se inicia no dia 30 de Setembro, às 00h00min, e se encerra no dia 31 de Outubro, às 23h59min, totalizando um horizonte de 31 dias. Convencionam-se dias como períodos do horizonte de tempo.

Realiza-se todo o transporte solicitado pelos embarcadores e previamente aceito pelas companhias de navegação por meio de contêineres, que variam em tamanho, peso, capacidade e finalidade de uso. Neste trabalho, consideram-se seis tipos de contêineres, divididos em dois grandes grupos: i) contêiner padrão, destinado à carga seca (bolsas, “pallets”, caixas, dentre outros) e; ii) contêiner refrigerado, destinado a produtos que requerem temperaturas abaixo de zero e controladas. O Anexo 4 apresenta a relação dos tipos de contêineres adotados (20DC, 40DC, 40HC, 20RF, 40RF e 40HR), com uma breve descrição de suas características em tamanho, peso, capacidade e equivalência em unidades de TEU’s.

Os vazios a serem disponibilizados para atendimento das solicitações normalmente se encontram disponíveis nos portos atendidos pelos navios que realizarão todo o transporte da carga, do porto de origem ao porto de destino. Há situações em que o ciclo de determinado navio já se iniciou antes da data de início do horizonte de tempo considerado, podendo haver vazios sendo reposicionados, com desembarque previsto dentro do horizonte de planejamento considerado, bem como cargas de contêineres sendo transportadas.

Para aplicação do modelo proposto, considera-se um serviço de Cabotagem Internacional compreendido por onze portos, ao longo da região costeira da América do Sul, e seis navios, que possuem paradas definidas nos portos, com capacidades que variam de 1.000 a 1.500 TEUs, com tempos de ciclo de 42 dias (navios NAV1, NAV2 e NAV3) e de 18 dias (navios SSZ1, SSZ2 e SSZ3). O Quadro 5.3 e a Figura 5.2 apresentam a passagem dos navios nos portos. A Tabela 5.5 apresenta as datas de chegada e partida de cada navio em cada um dos portos dentro da rota e no horizonte de tempo considerado de 30 de Setembro a 31 de Outubro.

Quadro 5.3- Passagem dos navios por sentido

Sigla	Porto	PASSAGEM DOS NAVIOS POR SENTIDO											
		NAV1		NAV2		NAV3		SSZ1		SSZ2		SSZ3	
		Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul	Norte	Sul
FOR	Fortaleza	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
SUA	Suape		X		X		X						
SSA	Salvador	X	X	X	X	X	X		X		X		X
VIX	Tubarão	X		X		X		X	X	X	X	X	X
SPB	Sepetiba		X		X		X	X	X	X	X	X	X
SSZ	Santos	X	X	X	X	X	X						
PNG	Paranaguá								X		X		X
SFS	São F. Sul	X		X		X		X		X		X	
RIG	Rio Grande	X	X	X	X	X	X		X		X		X
MVD	Montevideo	X		X		X							
BUE	Buenos Aires	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

Considerando todos os navios, com suas datas de chegada e partida definidas ao longo do horizonte de planejamento, se torna possível determinar a rede espaço-tempo associada ao problema, conforme na Figura 5.3.

Quadro 5.4 - Tabela de chegadas e partidas dos navios nos portos

Navio	Porto	Data		Navio	Porto	Data	
		Chegada	Partida			Chegada	Partida
NAV1	BUE	02/out	04/out	SSZ1	FOR	02/out	04/out
	MVD	05/out	05/out		SSA	08/out	09/out
	RIG	07/out	08/out		VIX	11/out	12/out
	SFS	10/out	10/out		SPB	13/out	14/out
	SSZ	11/out	14/out		PNG	16/out	17/out
	VIX	16/out	16/out		RIG	19/out	21/out
	SSA	17/out	18/out		BUE	23/out	26/out
	FOR	21/out	23/out		SFS	29/out	30/out
	SUA	24/out	24/out	SSZ2	SPB	04/out	05/out
	SSA	25/out	26/out		VIX	06/out	07/out
	SPB	28/out	28/out		FOR	12/out	13/out
	SSZ	29/out	31/out		SSA	17/out	18/out
NAV2	SPB	03/out	03/out		VIX	20/out	21/out
	SSZ	04/out	06/out		SPB	22/out	23/out
	RIG	08/out	09/out		PNG	25/out	26/out
	BUE	11/out	12/out		RIG	28/out	30/out
	MVD	13/out	13/out	SSZ3	BUE	06/out	09/out
	RIG	15/out	16/out		SFS	12/out	13/out
	SFS	18/out	18/out		SPB	15/out	16/out
	SSZ	19/out	22/out		VIX	17/out	18/out
	VIX	24/out	24/out		FOR	22/out	23/out
	SSA	25/out	26/out		SSA	25/out	26/out
	FOR	29/out	31/out		VIX	27/out	28/out
NAV3	SSZ	01/out	04/out		SPB	30/out	31/out
	VIX	06/out	06/out				
	SSA	07/out	08/out				
	FOR	11/out	13/out				
	SUA	14/out	14/out				
	SSA	15/out	16/out				
	SPB	18/out	18/out				
	SSZ	19/out	21/out				
	RIG	23/out	25/out				
	MVD	27/out	29/out				
	BUE	31/out	31/out				

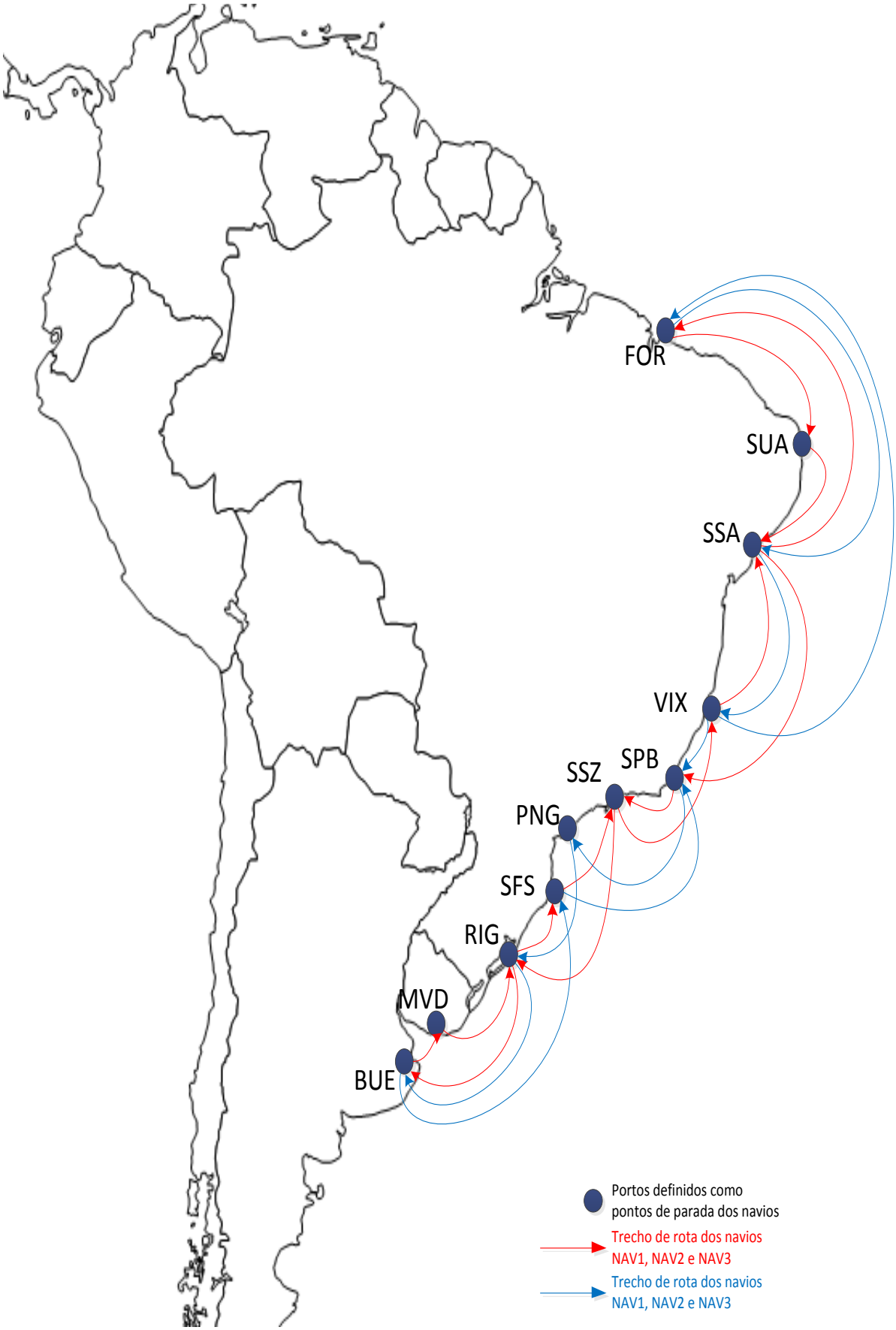


Figura 5.2 – Mapa com representação das rotas dos navios

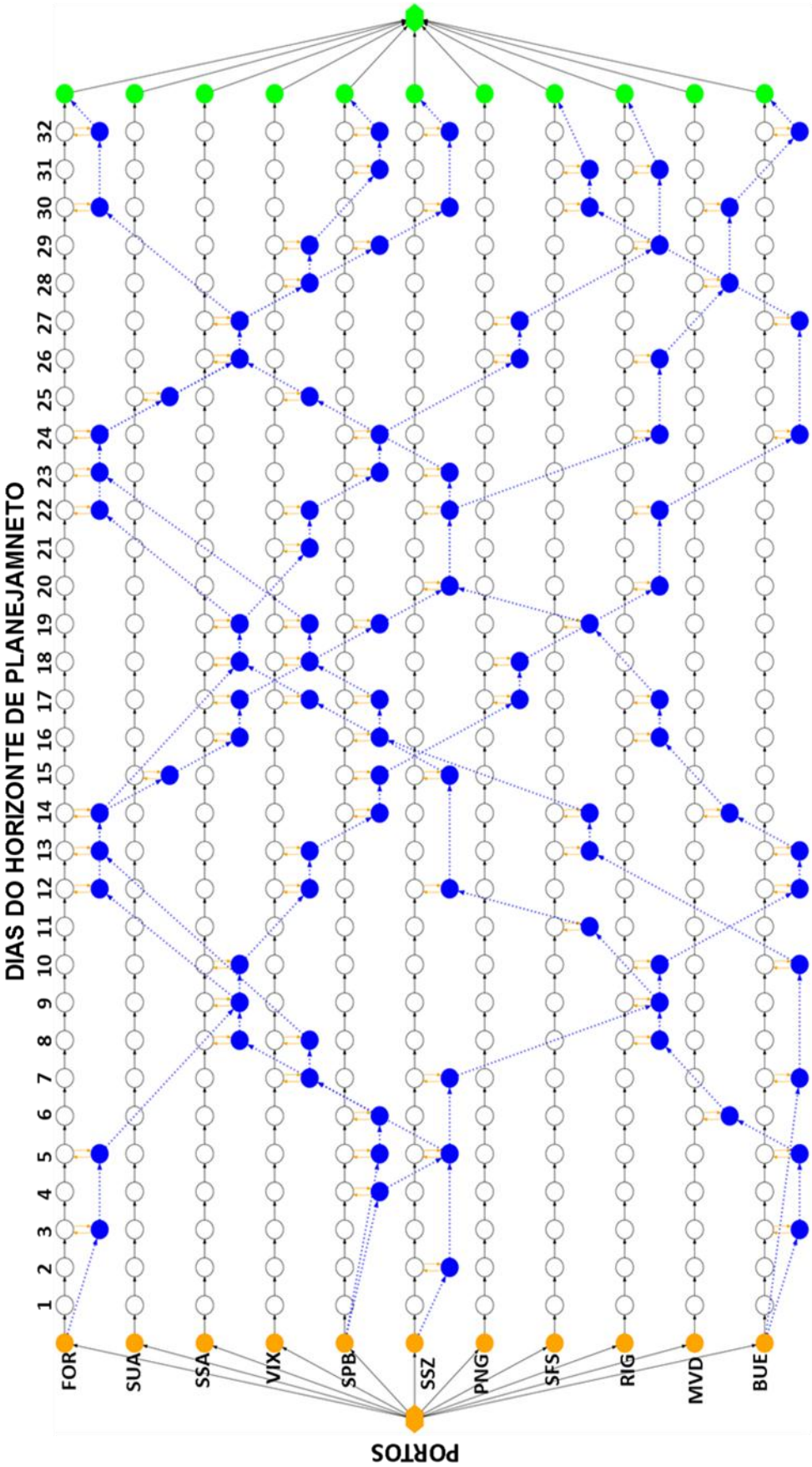


Figura 5.3 – Rede espaço-tempo para o estudo de caso

5.2.1 Dados de Custos da Cabotagem Internacional

Os valores dos custos apresentados a seguir foram definidos conforme dados observados no trabalho de Zambuzi (2010), sendo válidos, em ordem de grandeza, para a representação de um problema próximo à realidade, com aplicação do modelo proposto.

Os valores médios de custos unitários no transporte de vazios são aplicados para quaisquer rotas, ou seja, equivalentes em qualquer rota que o contêiner é transportado. Estes custos, conforme Tabela 5.4, consideram diversos custos, tais como de combustível, portuários e administrativos.

Tabela 5.4 – Custo unitário do transporte marítimo de contêiner

Custo Unitário do Transporte Marítimo de Contêiner						
Tipo de Contêiner	20DC	20RF	40DC	40HC	40RF	40HR
Valor (R$)	770	770	1.540	1.540	1.540	1.540

Os custos unitários do transporte marítimo de vazios considerados dependem apenas do comprimento do contêiner, ou seja, um contêiner refrigerado de 40 pés possui o mesmo custo de transporte marítimo que um de carga seca de mesmo comprimento. Sendo assim, como um contêiner de 40 pés ocupa o espaço de dois contêineres de 20 pés no navio, ou seja, dois TEUs, para determinar o custo unitário do transporte marítimo de um contêiner de 40 pés, basta multiplicar por dois o valor do custo de transporte marítimo de um TEU, ou seja, de um contêiner de 20 pés. Esta consideração é valida uma vez que se trata de vazios.

Quanto aos cheios, todos os custos relativos ao transporte, embarque e desembarque são considerados diretamente na composição na margem de contribuição. Apesar de que para os cheios existe a necessidade de consideração do tipo de contêiner na determinação do custo de transporte, pois há tipos de contêineres, como os refrigerados, que necessitam de instalações especiais, além de estarem conectados a uma fonte de energia durante todo o transporte. Nesse trabalho, os custos relativos ao transporte, embarque e desembarque de contêineres cheios já são considerados na composição da margem de contribuição.

A seguir, na Tabela 5.5, os custos de embarque e desembarque de contêineres vazios são apresentados para cada combinação de tipo de contêiner e porto. Estes

dados foram baseados no trabalho de Zambuzi (2010). Consideram-se iguais o custo de embarque e de desembarque de um determinado tipo de contêiner em um determinado porto.

Tabela 5.5 – Custo unitário de embarque e de desembarque de contêineres

Custo Unitário de Embarque e de Desembarque de Contêiner (Valores em R$)						
Porto	Tipo de Contêiner					
	20DC	20RF	40DC	40HC	40RF	40HR
FOR	490	490	580	580	580	580
SUA	425	425	505	505	505	505
SSA	425	425	505	505	505	505
VIX	360	360	430	430	430	430
SPB	360	360	430	430	430	430
SSZ	360	360	430	430	430	430
PNG	295	295	355	355	355	355
SFS	295	295	355	355	355	355
RIG	295	295	355	355	355	355
MVD	245	245	285	285	285	285
BUE	245	245	285	285	285	285

Para fins de aplicação do modelo, consideram-se nulos os valores de custos de armazenamento de vazios nos depósitos. Isto pode ser considerado, sabendo que existem companhias de navegação mantendo contratos de longo prazo com os depósitos de contêineres nos portos, o que torna praticamente impossível o rateio desses custos para apenas uma unidade de vazio armazenada. Também, sabe-se que, para tais companhias de navegação, que esse custo é insignificante sobre o ponto de vista do custo total de movimentação, considerando os demais componentes deste. Na prática, isso significa que a companhia nunca opta por armazenar vazios temporariamente em algum depósito diferente do local onde o contêiner vazio será posteriormente utilizado.

No modelo proposto, não são consideradas decisões referentes aos alugueis de vazios ao longo do horizonte de planejamento, apesar de que esta é uma prática das

companhias de navegação para suprir eventuais excedentes de demandas de contêineres. De qualquer maneira, o modelo permite informar quantidades extras de contêineres, como de contêineres alugados, pela qual data e local de disponibilização ou de devolução já são conhecidos. Nos cenários em estudo, não serão considerados alugueis de vazios, bem como demanda ou oferta de contêineres externos de outros sistemas de cabotagem quaisquer. Ou seja, somente são considerados os contêineres previamente definidos como estoques iniciais ou embarcados nos navios.

5.2.2 Dados de capacidades da cabotagem internacional

Assim como os dados de custos, os dados de capacidade definidos para os problemas tratados são hipotéticos, mas representam, em ordem de grandeza, os valores reais praticados pelas companhias de navegação.

Para uma melhor aplicação do modelo proposto, considera-se que o estoque de contêineres, para cada tipo e em cada um dos onze portos, disponíveis no início do horizonte de planejamento, será representado de acordo com os seguintes critérios, a serem aplicados para cada tipo de contêiner e porto:

1. Consideram-se, como estoque inicial de um determinado porto para um determinado tipo de contêiner, 25% do total das quantidades desse tipo de contêineres a serem embarcados nesse porto, ao longo de todo o horizonte de planejamento. Por exemplo, se haver um total de 1000 contêineres do tipo 20DC e 200 contêineres do tipo 40HR a serem embarcados no porto VIX, distribuídos ao longo do horizonte de tempo, então esse porto terá um estoque inicial de 250 e 50 contêineres do tipo 20DC e 40HR, respectivamente;

2. Se a soma das quantidades de contêineres já aceitos, que não podem ser rejeitados, ao longo do horizonte de planejamento, for inferior ao estoque inicial calculado pelo critério 1, o estoque inicial passará a ser a soma das quantidades de contêineres já aceitos.

Os critérios 1 e 2 definidos para composição do estoque inicial de contêineres garantem que a demanda de vazios nos portos seja inferior à demanda de

contêineres ao longo do horizonte de planejamento, sendo necessária, para atendimento de maior parte da oferta dos portos, a reutilização de contêineres transportados entre eles e o reposicionamento de vazios.

Definem-se capacidades, em TEUs, em peso embarcado e em unidades por tipo de contêiner, para cada um dos navios. Os pesos são todos definidos em toneladas. Considera-se que somente 40% do espaço disponível nos navios são destinados ao transporte de contêineres refrigerados, representados pelos tipos 20RF, 20HR, 40RF e 40HR, não permitindo aos navios, por ventura, total ocupação por contêineres refrigerados, algo que não se observa normalmente nesse tipo de operação. Dessa maneira, a Tabela 5.6 apresenta as capacidades globais e específicas, para cada um dos navios. Estes valores foram arbitrariamente definidos, mas que mantém a grandeza de problemas normalmente encontrados na prática.

Tabela 5.6 – Capacidades específicas para o transporte de cheios

Capacidades Específicas dos Navios para o Transporte de Cheios								
Capacidades Globais			Capacidades, em unidades, por tipo de contêiner					
Navio	Teus	Peso	20DC	20RF	20HR	40DC	40RF	40HR
NAV1	1500	18.000	1500	600	600	1500	600	600
NAV2	1500	18.000	1500	600	600	1500	600	600
NAV3	1200	14.400	1200	480	480	1200	480	480
SSZ1	600	7200	600	240	240	600	240	240
SSZ2	800	9600	800	320	320	800	320	320
SSZ3	800	9600	800	320	320	800	320	320

Considera-se que somente 50% de espaço disponível nos navios são destinados ao transporte de contêineres vazios. Sabe-se que o percentual adotado é superior ao que se observa nas companhias de navegação, mas possibilita a flexibilidade do modelo e o entendimento do comportamento do modelo quanto às decisões de reposicionamento de vazios.

Todas as capacidades dos navios, tanto para cheios quanto para vazios, são aplicadas para cada um dos trechos em cada uma das rotas, ou seja, não há restrições específicas para um determinado trecho de uma determinada rota, apesar do modelo permitir considerar tais restrições.

5.2.3 Grupos de cargas a serem atendidas

O grupo de cargas corresponde a um conjunto de cargas, definidas a partir de solicitações de embarcadores para o transporte de seus produtos nos contêineres pelos navios ao longo dos portos. Para a definição de um grupo de cargas qualquer, adotam-se critérios, que serão descritos a seguir, de modo que as cargas geradas sejam condizentes com os perfis dessas normalmente observados na prática nas companhias de navegação, fornecedoras de serviços de cabotagem internacional.

Conforme descrito em detalhes no capítulo 4, para determinação de uma carga qualquer, se torna necessário conhecer:

1. Navio que realizará o transporte;
2. Datas de embarque e de desembarque;
3. Tempos livres disponíveis antes do embarque e após desembarque;
4. Quantidades de contêineres de cada tipo;
5. Margem de contribuição;
6. Peso total, incluindo tara dos contêineres;
7. Critério de aceite dos contêineres;
8. Propriedade dos contêineres.

Os atributos das cargas são definidos com base em critérios aleatórios. Dessa maneira é possível, com a determinação de parâmetros, gerar diferentes problemas de mesmo tamanho, variando-se o grupo de cargas. Para geração dos números aleatórios utilizados, aplica-se o algoritmo *“Mersenner Twister”*.

Para determinar o navio que realizará o transporte de determinada carga, os mesmos são previamente sequenciados, como a seguir: 1) NAV1; 2) NAV2; 3) NAV3; 4) SSZ1; 5) SSZ2 e; 6) SSZ3. Também é necessário definir, previamente, todas as combinações de origens e destinos possíveis para as cargas, de acordo com a rota previamente conhecida. O Anexo 5 contém todas essas combinações para cada um dos navios considerados nesse estudo.

Todos os navios possuem a mesma chance de serem escolhidos no sorteio realizado para determinar qual o navio que realizará o transporte de determinada carga. Após essa definição, efetua-se um segundo sorteio, para determinar uma das

combinações de origens e destinos onde cada uma possui mesma chance de escolha dentre todas as demais.

Como exemplo, sorteia-se um número de 1 a 6, que representa um navio. O número sorteado foi 2. Desse modo, o navio escolhido é NAV2. Esse possui 42 possíveis combinações de origens e destinos. Assim, sorteia-se um número de 1 a 42, que representa uma origem e um destino. Digamos que o número sorteado foi 23. Consultando no quadro de combinações do navio NAV2 verifica-se que a linha “23 | NAV2 | MVD | 13/out | SSZ | 19/out” corresponde ao número sorteado. Desse modo, os contêineres da carga deverão ser embarcados do porto MVD, no dia 13 de outubro, para o navio NAV2, e desembarcados no porto SSZ, no dia 19 de outubro, do navio NAV2. Este procedimento é realizado para todas as demais cargas que constituirão o grupo de cargas do problema a ser tratado.

Para determinação dos tempos livros antes do embarque e após o desembarque para cada uma das cargas, consideram-se dois números aleatórios, gerados com base em uma distribuição uniforme, de mínimo igual a 3 e máximo igual a 7. Esses números também foram definidos conforme observações realizadas nas companhias de navegação. A primeira expressão representa o tempo livre antes do embarque, em dias, e a segunda representa o tempo livre após o desembarque, em dias.

Determinou-se um perfil único de carga hipotético, coerente com o que se encontra na prática quanto às decisões no transporte marítimo nos serviços de cabotagem internacional. Sabe-se que a maior parte dos contêineres requisitados pelos clientes é destinada à carga seca. Por tanto, os tipos de contêineres foram separados em dois grupos: i) contêineres refrigerados e; ii) contêineres de carga seca. Os contêineres refrigerados correspondem aos tipos 20RF, 20HR, 40RF e 40HR. Os demais tipos, 20DC e 40DC, correspondem aos contêineres de carga seca.

Procurou-se determinar um perfil do grupo de carga, também de acordo com observações. Determina-se que, para os problemas propostos, uma parcela esperada de 50% das cargas somente requisita um tipo de contêiner para o transporte de seus produtos. Outra parcela equivalente a 35% de todas as cargas é esperada para requisição de dois tipos de contêineres. A parte restante que equivalente de 15% requisita três tipos de contêineres.

Para determinar cada um dos tipos de contêineres, em uma mesma carga, estipula-se que cada grupo de contêineres possui uma probabilidade diferenciada de escolha, sendo que há uma probabilidade de 30% de se atribuir um contêiner do grupo de contêineres refrigerados e de 70% de se atribuir um contêiner do grupo de contêineres de carga seca. Definido o grupo de contêiner a que o tipo de contêiner a ser definido pertence, os tipos de contêineres dentro do grupo possuem uma mesma probabilidade de escolha.

De modo simplificado, podemos calcular diretamente a probabilidade para cada um dos tipos de contêineres. Os contêineres 20DC e 40DC possuem uma probabilidade de escolha de 70% x 50% = 35%, enquanto que os demais contêineres possuem uma probabilidade de 30% x 25% = 7,5%.

Então, para escolher um determinado tipo de contêiner, enumeram-se os mesmos da seguinte maneira: 1) 20DC; 2) 40DC; 3) 20RF; 4) 20HR; 5) 40RF e; 6) 40HR. Estipula-se uma distribuição discreta, com o seguinte conjunto de probabilidades acumuladas: {0,350; 0,425; 0,775; 0,850; 0,925; 1,000}. Cada elemento do conjunto de probabilidades está diretamente associado a cada tipo de contêiner, na mesma ordem de enumeração. Então, sorteia-se um número qualquer entre 0 e 1, para determinar o tipo de contêiner. Por exemplo, se o número sorteado for “0,526”, o mesmo está entre 0,425 e 0,775 Dessa maneira, o tipo de contêiner associado ao número 0,775 (limite superior) será o escolhido, ou seja, o tipo de contêiner “20RF”. Este procedimento repete-se para a determinação de cada tipo de contêiner. Se uma determinada carga tiver mais de um tipo de contêiner a ser definido, deve-se garantir que os tipos de contêineres sejam diferentes, mesmo que seja necessário realizar novamente o sorteio para escolha de tipos de contêineres distintos.

Após determinar um tipo de contêiner qualquer, cabe também especificar o número de contêineres. Para tanto, foi obtida uma amostra de dados de uma companhia de navegação que representa as quantidades de contêineres solicitadas por cada uma das cargas. Foi gerada uma distribuição de probabilidade para obtenção de números.

A distribuição do tipo beta melhor correspondeu à amostra obtida. Determinando uma função $beta(a; b)$ com parâmetros a e b, que retorna um número aleatório de

uma distribuição do beta de mínimo a e máximo b, define-se a seguinte expressão de geração da quantidade de contêineres: $0{,}999 + 149 \times beta(0{,}379;\ 6{,}85)$. Então, para especificar a quantidade de contêineres após a determinação de um tipo de contêiner, basta gerar um número aleatório de acordo com essa expressão definida, arredondando o resultado para inteiro. O número a ser gerado, que determina a quantidade de contêineres, estará entre 1 e 149 contêineres.

Para cada carga, o peso total corresponde à tara de cada um dos contêineres acrescido do peso dos produtos no interior dos mesmos. Para determinação do peso total da carga, verificou-se um conjunto de dados referentes aos pesos unitários de cada unidade, em TEU. O peso unitário, por TEU, variou de 4 a 28 toneladas, com média de 21. Novamente a distribuição beta melhor correspondeu à amostra obtida. Utilizando a mesma função $beta$, para geração de números aleatórios, define-se a expressão $4 + 24 \times beta(1{,}26;\ 0{,}513)$, para geração de um número aleatório que corresponde ao peso da carga por TEUs.

Determinado o peso unitário, por TEU, é necessário determinar a quantidade de contêineres da carga. Os contêineres de 20 pés equivalem a 1 TEU e os contêineres de 40 pés equivalem a 2 TEUs. O peso total da carga será a multiplicação do número gerado, correspondente ao peso da carga por TEUs e da quantidade da carga.

A margem de contribuição da carga é calculada multiplicando um número aleatório que representa a margem de contribuição média por TEU e por dia de transporte, pela quantidade de TEUs e dias de transporte da carga. Esse número pode ser definido de acordo com uma distribuição beta, conforme amostra de dados obtida de uma companhia de navegação quanto à margem de contribuição. A expressão para gerar esse número aleatório é definida por $1 + 951 \times beta(1{,}8;\ 4{,}67)$. O resultado dessa expressão multiplicado pelo número de TEUs e dias de transporte retorna a margem de contribuição da carga. Os dias de transporte podem ser definidos como os dias entre a data de embarque e a data de desembarque para a carga.

Inicialmente, todas as cargas permitem aceite parcial, visto que é comum que as decisões realizadas pelas companhias de navegação permitem uma seleção parcial das cargas a serem transportadas. Mas há situações em que as cargas já foram

aceitas ou mesmo já estão embarcadas nos navios no início do horizonte de planejamento. Para as cargas com data de embarque anterior à data de início do horizonte de planejamento e que possuem data de desembarque posterior, considera-se a mesma como uma carga aceita.

Os contêineres normalmente são de propriedade da companhia de navegação. Para efeito de estudo, considera-se que todos os contêineres dos cenários a serem analisados são de propriedade da companhia de navegação.

Em resumo, o procedimento para geração do grupo de cargas de um determinado cenário de acordo com os parâmetros e critérios descritos pode ser definidos como segue. Mas, antes, de apresentar os procedimentos, são conhecidos:

- Conjunto de portos: $P = \{\mathrm{BUE}, \mathrm{SUA}, \mathrm{SSA}, \mathrm{VIX}, \mathrm{SPB}, \mathrm{SSZ}, \mathrm{PNG}, \mathrm{SFS}, \mathrm{RIG}, \mathrm{MVD}, \mathrm{BUE}\}$
- Conjunto de navios: $E = \{\mathrm{NAV1}, \mathrm{NAV2}, \mathrm{NAV3}, \mathrm{SSZ1}, \mathrm{SSZ2}, \mathrm{SSZ3}\}$;
- Conjunto de combinações de origens e destinos para $e \in E$: $C(e) = \{\mathrm{c(e)} \mid \mathrm{c(e)}\ \text{é uma combinação de origens e destinos definida para o navio e}\}$;
- $\mathrm{c(e)}$ contendo um porto de origem, uma data de origem, um porto de destino e uma destino, onde data de destino é posterior àdata de origem;
- nk número de tipos de contêineres possíveis para a carga;

Seguem abaixo uma síntese dos procedimentos descritos para a geração do grupo de cargas, dada uma determinada semente de aleatoriedade para a geração dos números aleatórios necessários para a determinação dos atributos.

1. Definir navios que realizarão transporte:
   a) Sortear um número inteiro entre 1 e $|E|$ e atribuir o valor à variável n;
   b) Definir navio e como o elemento n do conjunto de navios E;
   c) Atribuir navio e para a carga.

2. Definir portos e datas de embarque e desembarque:
   a) Sortear um número inteiro entre 1 e $|c(e)|$ e atribuir o valor à variável n;
   b) Definir origem e destino de acordo com o elemento n do subconjunto de combinações de origens e destinos $C(e)$;
   c) Atribuir data e porto de origem e de destino para a carga.

3. Definir tempos livres antes do embarque e após o desembarque:

a) Tempo livre = sorteio de distribuição uniforme, entre 3 e 7;

4. Tipos de contêineres e quantidades

a) Definir quantos tipos de contêineres (nk) para a carga, sorteando um número qualquer de 0 a 1 e atribuindo a x. Se $x \leq 0{,}5$, então definir $nk = 1$,. Se $0{,}5 < x \leq 0{,}85$ definir $nk = 2$. Se $x > 0{,}85$ definir $nk = 3$.

b) Para cada n de 1 até nk faça os procedimentos abaixo:

- Sortear um número qualquer entre 0 e 1 e atribuir à variável x;
- Definir o elemento do conjunto {0,350; 0,425; 0,775; 0,850; 0,925; 1,000} como k, cujo valor do elemento seja maior que a variável x;
- Se k já definido para a carga, repetir os procedimentos de b;
- Definir a quantidade de contêineres do tipo k como sendo $q(k) = 0{,}999 + 149 \times beta(0{,}379;\ 6{,}85)$.

5. Peso bruto total da carga:

a) Somar o número de TEUs da carga e multiplicar pelo resultado da expressão: $4 + 24 \times beta(1{,}26;\ 0{,}513)$.

6. Margem de contribuição da carga:

a) Somar o número de TEUs da carga, multiplicar pelo número de dias de transporte necessários para transportar a carga (diferença da data de destino com a data de origem) e novamente multiplicar pelo resultado da expressão: $1 + 951 \times beta(1{,}8;\ 4{,}67)$.

7. Critério de aceite e propriedade dos contêineres:

a) Todos os contêineres permitem aceite parcial;

b) Todos os contêineres de propriedade da companhia de navegação.

5.2.4 Construção dos cenários

Definidos todos os dados de entrada do modelo, o cenário inicial contém 1.000 cargas a serem transportadas, geradas de acordo com a semente aleatória 831, escolhida arbitrariamente. Abaixo segue os cenários a serem analisados:

- **Percentual de cargas aceitas:** corresponde à relação percentual entre a soma de todas as parcelas das cargas selecionadas sobre o total de cargas a serem transportadas;

- **Percentual de contêineres aceitos:** corresponde à relação percentual entre a soma de todos os contêineres selecionados e o total de contêineres a serem transportados, por tipo de contêineres, por TEUs, para cada um dos terminais e navios;

- **Margem de contribuição:** é um dos principais indicadores que compõe a função objetivo, que considera a margem de contribuição, deduzidos os custos de reposicionamento de contêineres vazios. Corresponde à somatória de todas as margens de contribuição das cargas selecionadas;

- **Reposicionamentos por aceitos:** é o indicador que representa a soma de todos os contêineres reposicionados sobre o total de contêineres selecionados para o transporte, por tipo de contêineres, por TEUs, para cada um dos terminais e navios;

- **Custo de Reposicionamento:** indicador que compõe a função objetivo, deduzido da margem de contribuição quanto aos custos de reposicionamento de contêineres vazios. Corresponde à somatória dos custos de embarque, transporte e desembarque para cada um dos reposicionamentos realizados.

- **Ocupação média:** é a ocupação média de cada navio e da totalidade de navios no horizonte de planejamento. Para obtenção do indicador, serão comparadas as ocupações em TEU's e em tonelagem e será considerada a maior das duas, pois é o que restringe a maior alocação de carga no navio onde houvesse disponibilidade de mais cargas de clientes;

    - **Ocupação média – TEU's:** é a ocupação média de cada navio e da totalidade dos navios no horizonte de planejamento considerado em capacidade em TEU's, considerando-se os cheios e os vazios.

    - **Ocupação média – Peso:** é a ocupação média de cada navio e da totalidade dos navios no período definido em capacidade de tonelagem, considerando-se os cheios e os vazios.

- **Nível de estoque:** é nível de estoque mínimo, médio e máximo em cada um dos portos no horizonte de planejamento considerado em número de TEUs, para os cheios e os vazios.

- **Tempo de execução:** tempo para executar da otimização, em segundos.

Após apresentação e análise dos resultados do problema inicial, definem-se outros problemas para estudo do comportamento do modelo. Abaixo segue os problemas, com a média dos resultados referentes às seguintes sementes: 831, 334 e 9172.

1. **Total vs parcial:** Comparação entre problemas com cargas que permitem aceite total e problemas com cargas que permitem aceite parcial;

2. **Demanda de carga:** Análise da evolução dos resultados com o aumento da demanda para 500, 600, 700, 800, 900 e 1000 cargas;

3. **Capacidade dos navios:** Análise do comportamento do modelo para redução ou aumento de 10% e 20% da capacidade, em peso e em TEUs.

4. **Disponibilidade de vazios:** Análise do comportamento do modelo para redução ou aumento de 10% e 20% dos números de contêineres;

5.2.5 Análise dos resultados do estudo de caso

Os resultados dos problemas analisados nessa subseção se encontram no Anexo 5. Para o problema inicial considera-se uma demanda de 1.000 cargas ou 24.347 TEUs de contêineres a serem transportados, conforme a Tabela 5.7. De todas as cargas candidatas a serem transportadas, 494 (49%) demandam somente um tipo de contêiner, 360 (36%) demandam dois tipos de contêineres e 146 (15%) demandam três tipos de contêineres. Há uma relação média, para todos os portos e navios, de um vazio disponível para transporte para cada dois contêineres solicitados.

Tabela 5.7 – Demanda e oferta por tipo de contêiner

	Tipos de contêineres					
	20DC	**40DC**	**40HC**	**20RF**	**40RF**	**40HR**
Demanda de contêineres	2.697	3.048	3.351	2.038	1.836	1.571
Número de cargas	340	366	382	201	178	185
Vazios disponíveis	1.517	1.375	1.588	905	925	789
Demanda / vazios	1,78	2,21	2,11	2,24	1,98	1,99

De modo a caracterizar um desequilíbrio do estoque inicial quanto à oferta e à demanda de contêineres nos portos, os valores de estoques de contêineres foram perturbados, com a aplicação de uma probabilidade de 50% de que o estoque inicial de um determinado tipo de contêiner em um determinado porto esteja alocado, inicialmente, em outro porto qualquer. Dessa maneira, para o atendimento da demanda de um porto em que se aplicou a distorção, haverá necessidade de reposicionamento de contêineres vazios de outro porto a outro ou a reutilização de contêineres cheios já utilizados para o transporte com destino ao porto com demanda maior que a oferta, em uma data suficientemente anterior para o atendimento.

A Tabela 5.8 apresenta os estoques iniciais de contêineres nos portos, para cada um dos tipos. E, na Tabela 5.9, é apresentada uma relação entre os contêineres solicitados e o estoque inicial de contêineres, em todos os portos e tipos de contêineres. Os números em azul representam uma oferta inicial de contêineres maior que a demanda no porto, ou seja, uma relação menor que 1. Em preto são representadas as relações cuja oferta é suficiente para atender de 50% a 100% da demanda nos portos, ou seja, uma relação entre um para dois entre oferta e demanda de contêineres. E em vermelho são representadas as relações cuja oferta inicial não é suficiente para atender mais que 49% da demanda de contêineres, ou seja, uma relação entre oferta e demanda superior a 2.

Na Tabela 5.9, para os casos em que não há nenhum vazio de um determinado tipo de contêiner em um determinado porto disponível para o atendimento da demanda desse porto, o valor é representado por “E/Z” ou “Estoque Zero”. Para o cenário inicial, de acordo com o grupo de cargas gerado, todos os portos possuem, pelo menos, três contêineres solicitados para o transporte, de um determinado tipo. O máximo de contêineres solicitados foi 649 contêineres do tipo 40DC e com

embarque em Fortaleza (FOR), cujo porto apresentou também o maior número de contêineres solicitados, em TEUs, equivalente a 4.470 TEUs. Paranaguá (PNG) apresentou demanda de 591 TEUs de contêineres. Em média, para todos os onze portos, há uma demanda de 2.213 TEUs.

Tabela 5.8 - Estoque inicial de contêineres nos portos

Porto	Tipos de contêineres					
	20DC	40DC	40HC	20RF	40RF	40HR
FOR	3	122	246	184	240	0
SUA	41	0	0	70	28	0
SSA	380	0	0	0	84	167
VIX	582	144	130	0	0	0
SPB	68	135	265	196	152	102
SSZ	143	48	0	0	7	4
PNG	0	57	90	0	2	0
SFS	92	0	96	86	119	191
RIG	58	837	178	344	90	56
MVD	52	0	160	0	140	0
BUE	98	32	423	25	63	269

Tabela 5.9 – Relação demanda/oferta de contêineres nos portos

Porto	Tipos de contêineres					
	20DC	40DC	40HC	20RF	40RF	40HR
FOR	0,01	5,32	2,09	2,01	2,00	E/Z
SUA	2,00	E/Z	E/Z	1,40	2,00	E/Z
SSA	0,93	E/Z	E/Z	E/Z	2,00	1,34
VIX	0,65	1,99	2,00	E/Z	E/Z	E/Z
SPB	5,93	3,39	2,00	2,01	1,26	1,99
SSZ	1,74	5,08	E/Z	E/Z	16,00	35,50
PNG	E/Z	0,67	1,99	E/Z	1,50	E/Z
SFS	2,00	E/Z	1,99	1,99	2,00	0,44
RIG	1,98	0,16	1,99	0,37	2,00	2,02
MVD	2,00	E/Z	1,99	E/Z	0,94	E/Z
BUE	4,34	13,34	0,78	9,76	2,00	0,49

Uma demanda total de 987 (4%) TEUs de contêineres possuem seu embarque em data anterior ao inicio do horizonte de planejamento e uma outra demanda de 2.920 (11%) TEUs de contêineres possuem embarque planejado dentro do horizonte de planejamento, mas desembarque em data posterior a 31 de Outubro, ou seja, depois do final do horizonte de planejamento. Os demais 20.440 (85%) TEUs de contêineres a serem transportados possuem datas de embarque e desembarque dentro do horizonte de planejamento.

Os resultados do modelo indicam que dos 100% de solicitações de cargas a serem transportadas, 475 cargas (47,5%) foram totalmente aceitas e 36 cargas (3,6%) foram aceitas parcialmente, ou seja, foram aceitas 49,1% entre cargas aceitas parcial e totalmente. De todos os 24.347 (100%) contêineres solicitados, foram aceitos para o transporte 10.804 (44,38%).

Conforme os resultados da Tabela 5.10, uma parcela de 31% dos contêineres aceitos, em TEUs, referem-se ao tipo de contêiner 40HC. As maiores quantidades, em TEUs, de contêineres aceitos estão no porto de Fortaleza - FOR, Sepetiba - SPB, Rio Grande - RIG e Tubarão - VIX, que juntos representam 60% dos contêineres aceitos. Conforme Tabela 5.11, os contêineres solicitados em Rio Grande – RIG tiveram maior percentual de aceite (89%), seguido de Tubarão - VIX (58%) e São Francisco do Sul – SFS (57%).

Tabela 5.10 – Contêineres aceitos por porto e tipo de contêiner

PORTO	Tipo de Contêiner							
	20DC	40DC	40HC	20RF	40RF	40HR	TEUs	% TEUs
FOR	65	166	300	151	265	60	**1.798**	**17%**
SUA	12	0	14	63	19	1	**143**	**1%**
SSA	235	113	69	74	106	51	**987**	**9%**
VIX	315	188	185	31	58	68	**1.344**	**12%**
SPB	136	173	243	225	146	106	**1.697**	**16%**
SSZ	147	66	43	30	16	5	**437**	**4%**
PNG	8	34	120	1	0	1	**319**	**3%**
SFS	102	21	110	87	140	74	**879**	**8%**
RIG	96	129	321	128	167	70	**1.598**	**15%**
MVD	52	7	203	1	119	4	**719**	**7%**
BUE	130	108	82	25	75	99	**883**	**8%**
TOTAL	1.298	1.005	1.690	816	1.111	539	**10.804**	**100%**
% TOTAL	12%	19%	31%	8%	21%	10%	**100%**	

Conforme resultados da Tabela 5.12, a quantidade, em TEUs, de contêineres aceitos variando de 14% a 19%, para cada um dos navios. Da Figura 5.4 à Figura 5.9, são representadas as tonelagens movimentadas nos navios ao longo do horizonte de planejamento. As áreas em azul escuro representam o espaço a ser ocupado no navio se não houvesse restrição de estoque de vazios. As áreas em azul claro representam a real utilização do navio, em peso, levando em consideração todas as restrições, inclusive de estoque de vazios. Observa-se que existem momentos em que a possibilidade de transporte dos contêineres nos navios é disponível nos navios, mas não há estoques disponíveis para os atendimentos.

Tabela 5.11 – Percentual de aceite por porto e tipo de contêiner

PORTO	Tipo de Contêiner						
	20DC	40DC	40HC	20RF	40RF	40HR	TEUs
FOR	18%	26%	58%	41%	55%	27%	**40%**
SUA	15%	0%	10%	64%	34%	1%	**13%**
SSA	66%	24%	19%	27%	63%	23%	**32%**
VIX	84%	66%	71%	22%	39%	34%	**58%**
SPB	34%	38%	46%	57%	76%	52%	**48%**
SSZ	59%	27%	24%	20%	14%	4%	**25%**
PNG	21%	89%	67%	3%	0%	2%	**54%**
SFS	55%	27%	58%	51%	59%	88%	**57%**
RIG	83%	99%	90%	100%	93%	62%	**89%**
MVD	50%	6%	64%	2%	90%	4%	**48%**
BUE	31%	25%	25%	10%	60%	74%	**33%**
TOTAL	48%	33%	50%	40%	61%	34%	**44%**

Tabela 5.12 – Contêineres aceitos por navio e tipo de contêiner

PORTO	20DC	40DC	40HC	20RF	40RF	40HR	TEUs	% TEUs
NAV1	218	133	241	169	233	138	**1.877**	**17%**
NAV2	178	114	471	198	154	97	**2.048**	**19%**
NAV3	157	300	204	173	147	16	**1.664**	**15%**
SSZ1	151	111	212	28	296	30	**1.477**	**14%**
SSZ2	254	240	308	169	173	109	**2.083**	**19%**
SSZ3	340	107	254	79	108	149	**1.655**	**15%**
TOTAL	1.298	1.005	1.690	816	1.111	539	**10.804**	**100%**
% TOTAL	12%	19%	31%	8%	21%	10%	**100%**	

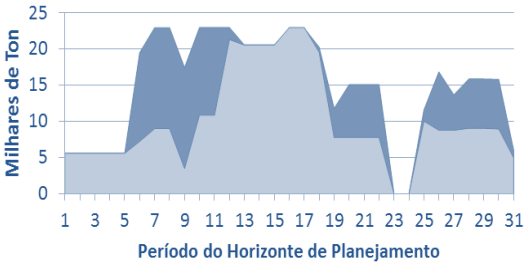


Figura 5.4 - Tonelagem no navio NAV1

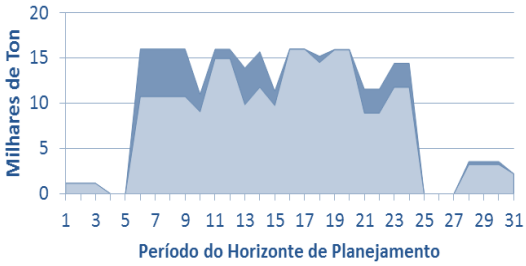


Figura 5.5 - Tonelagem do navio SSZ1

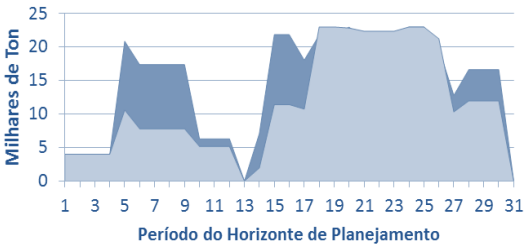


Figura 5.6 - Tonelagem do navio NAV2

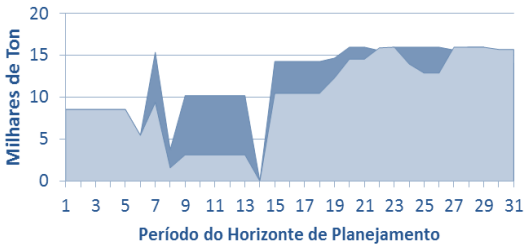


Figura 5.7 - Tonelagem do navio SSZ2

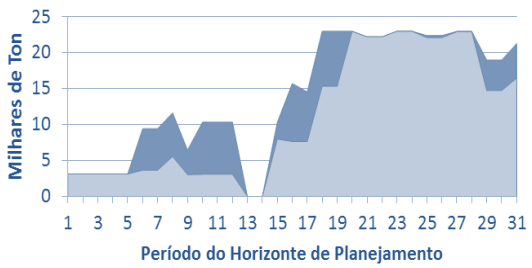


Figura 5.8 - Tonelagem do navio NAV3

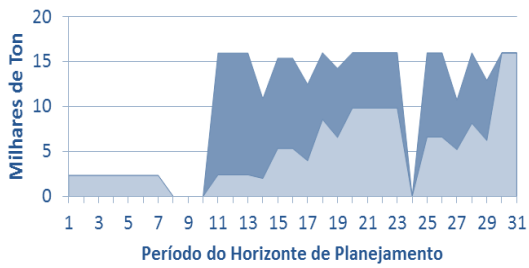


Figura 5.9 - Tonelagem do navio SSZ3

Tabela 5.13 – Ocupações dos navios no cenário inicial

NAVIO	CAPAC. TON.	PESO TON.	CAPAC. TEUs	VOLUME TEUs	% OCUP. TON.	% OCUP. TEUs	OCUP. MÉDIA
NAV1	759.000	328.586	39.600	15.011	43%	38%	43%
NAV2	759.000	348.365	39.600	16.281	46%	41%	46%
NAV3	751.000	393.444	39.526	17.319	52%	44%	52%
SSZ1	528.000	257.222	28.578	21.057	49%	74%	74%
SSZ2	432.000	245.282	23.382	11.998	57%	51%	57%
SSZ3	240.000	127.551	12.990	6.600	53%	51%	53%

Conforme gráfico ilustrado na Figura 5.10, o navio SSZ3 apresenta considerável ocupação, em TEUs, a partir do período 14, onde o navio partiu de Fortaleza para Salvador, no sentido sul. Na Figura 5.9, observa-se que, além da capacidade dos navios, em TEUs, há também a restrição na disponibilidade de vazios. Que ocorre, principalmente, em períodos anteriores ao período 14. Visto o desequilíbrio provocado pela perturbação dos estoques de vazios no início do planejamento, o modelo tende a equilibrar os estoques nos terminais de modo a permitir o atendimento das cargas sem constantes necessidades de reposição de vazios, que geram custos e diminuem a margem de contribuição líquida.

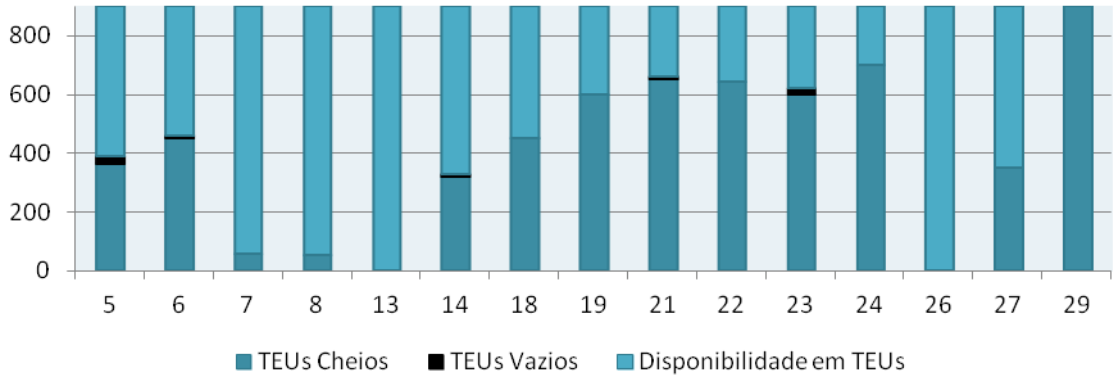


Figura 5.10 – Ocupação x disponibilidade, em TEUs, no navio SSZ3

Na Tabela 5.14 é apresentada a variação de estoque em cada um dos portos, data pela diferença entre o estoque inicial e o estoque final. Quando esse valor é menor que zero, o estoque inicial é menor que o estoque final, ou seja, houve maior exportação de contêineres para outros portos do que importação. Observa-se que, em TEUs, os portos de Fortaleza (FOR), Tubarão (VIX), Sepetiba (SPB), Paranaguá (PNG), São Francisco do Sul (SFS) e Montevideo (MVD) possuem mais importações do que que exportações, ao contrário dos outros portos.

Tabela 5.14 – Saldo de estoque dos portos por tipo de contêiner

	TEUs	20DC	40DC	40HC	20RF	40RF	40HR
FOR	277	-293	-1	122	130	160	-61
SUA	-41	4	0	-46	43	2	0
SSA	-447	148	-18	-208	-91	-47	21
VIX	98	235	164	23	-175	-132	-36
SPB	723	-140	116	120	145	135	-12
SSZ	-254	51	6	-63	-51	-65	-5,00
PNG	161	-35	7	98	-6	-1	-3
SFS	403	95	-21	8	96	40	79
RIG	-496	-85	-22	9	19	-135	-67
MVD	317	44	-43	157	-47	55	-9
BUE	-741	-24	-188	-220	-63	-12	93

A margem de contribuição total, se todas as cargas fossem aceitas, é equivalente à R$ 29.914.518. Considerando todas as restrições, a margem de contribuição das cargas selecionadas para o transporte será de R$ 15.003.964, equivalente a 50% da margem de contribuição total.

Foram reposicionados 345 contêineres que representam uma relação de 1 vazio para cada 34 contêineres cheios transportados. Conforme Tabela 5.15, o custo de reposicionamento total foi de R$ 490.665, sendo que 68% foram referentes ao custo de transporte. Os demais custos, equivalente a R$ 158.025, referem-se ao custo de embarque e de desembarque. Do total de custo de reposicionamento, 47% são relacionados ao contêiner do tipo 40DC, que equivale a 23% de todas as solicitações de contêineres e 19% dos contêineres aceitos. O conjunto de todos os contêineres desse tipo teve maior custo de embarque, transporte e desembarque dentre os demais tipos de contêineres. O tipo de contêiner 20DC não teve reposicionamentos, não gerando custos de movimentação de vazios para o problema em análise.

A margem de contribuição líquida, que consiste na margem de contribuição bruta gerada com os atendimentos das cargas, com a dedução dos custos de reposicionamentos de contêineres vazios será de R$ 14.513.299. A redução total da margem quanto aos custos de movimentações de vazios foi de 3,3%.

Tabela 5.15 – Custos de Reposicionamentos de Vazios

Tipo	Custo de Reposicionamento de Vazios			
	Embarque	Transporte	Desembarque	Total
20DC	-	-	-	-
40DC	R$ 38.765	R$ 146.300	R$ 44.465	R$ 229.530
40HC	R$ 10.800	R$ 46.200	R$ 15.150	R$ 2.150
20RF	R$ 295	R$ 35.420	R$ 295	R$ 36.010
40RF	R$ 6.020	R$ 49.280	R$ 6.020	R$ 61.320
40HR	R$ 17.515	R$ 55.440	R$ 18.700	R$ 91.655
Total	R$ 73.395	R$ 332.640	R$ 84.630	R$ 490.665

O tempo execução para execução do cenário inicial foi de 437,5 segundos (7min 17s). Do tempo total de execução, 1,36s foi referente à preparação do modelo, que consiste na leitura e interpretação dos dados de entrada e na construção da rede espaço-tempo em memória. O restante do tempo é referente à execução da otimização do modelo matemático utilizando o pacote de otimização.

O modelo proposto também considera cargas que só permitem aceite total, além de cargas que permitem aceite parcial. No problema inicial, todas as cargas são definidas para aceite parcial. Mas, para entender as diferenças entre as duas considerações, executou-se o problema inicial com as sementes 188, 321 e 556, e também considerando somente o aceite total. Os problemas com aceite parcial são representados pelo prefixo “P_” e os cenários com aceite total pelo prefixo “T_”. As sementes são representadas pelos sufixos “A”, “B” e “C”, para 188, 321 e 556, respectivamente. As médias dos indicadores são representadas pelo sufixo “Média”. Dessa maneira, foram obtidos os resultados para cada um dos problemas, conforme a Tabela 5.16.

Verifica-se na Tabela 5.16, em virtude dos tempos computacionais necessários para obtenção da solução ótima, há maior dificuldade em resolução de problemas com cargas que só permitem aceite total em comparação a problemas com cargas de aceite parcial. Isso pode ser justificado pelos tipos de variáveis adotadas em cada abordagem, com aceite parcial e com aceite total. Sabe-se que o modelo

matemático para aceite total trabalha com variáveis binárias e o outro modelo, com aceite parcial, trabalha com variáveis inteiras. De acordo com os resultados obtidos, os problemas com carga que permitem aceite total, o tempo de processamento tende a ser maior do que para os problemas com aceite parcial.

Tabela 5.16 – Comparação entre aceite parcial e aceite total para cargas

Indicadores	P_A	P_B	P_C	P_Média	T_A	T_B	T_C	T_Média
Tempo execução (s):	26,489	27,222	429,658	161,123	19,937	352,047	2955,189	1109,058
Número de cargas:	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Cargas aceitas:	527	506	513	515	529	526	519	525
Aceitas totalmente:	512	486	492	497	529	526	519	525
Aceitas parcialmente:	34	41	42	39	0	0	0	0
% Cargas Aceitas:	53%	51%	51%	52%	53%	53%	52%	52%

Na Tabela 5.16, verifica-se que o número de cargas aceitas, nos problemas com aceite parcial, é maior para os problemas que só aceitam cargas na totalidade. A soma de todas as parcelas das cargas aceitas foi maior para os problemas com aceite total, consequentemente, maior número de cargas foram totalmente aceitas, em relação aos problemas que permitem o aceite parcial.

Com relação à oferta e demanda de contêineres, a Tabela 5.17 apresenta resultados comparativos entre problemas que permitem aceite parcial e os que só permitem aceite total. Verifica-se que os problemas com aceite parcial selecionam mais contêineres em comparação aos problemas que só aceitam cargas totalmente. Isso ocorre possivelmente em virtude de que o aceite parcial possibilita maior flexibilidade no aceite de contêineres, podendo utilizar parte de uma carga quando não há capacidade suficiente para atendimento total.

Tabela 5.17 - Comparação entre aceite parcial e total (oferta e demanda)

Indicadores	P_A	P_B	P_C	P_Média	T_A	T_B	T_C	T_Média
Demanda de Contêineres	23956	24208	24347	24170	23956	24208	24347	24170
Contêineres (TEUs) aceitos	11969	11666	11627	11754	11787	11655	11562	11668
% Contêineres aceitos	50%	48%	48%	49%	49%	48%	47%	48%
Oferta de Vazios	12418	13379	14050	13282	12418	13379	14050	13282
%Oferta / Demanda	52%	55%	58%	55%	52%	55%	58%	55%
%Oferta / TEUs Aceitos	104%	115%	121%	113%	105%	115%	122%	114%

A Tabela 5.18 apresenta resultados quanto à margem de contribuição para os problemas que permitem o aceite parcial e para os problemas que só consideram aceite total. Verifica-se que a margem de contribuição para os problemas com aceite total é 0,5% menor do que para os problemas com aceite parcial. Para o cenário

“T_C”, houve maior margem bruta de contribuição em relação ao cenário equivalente, que considera o aceite parcial, “P_C”. Mas, o custo de reposicionamento foi maior para o problema “T_C”, ocasionando uma margem líquida inferior ao problema P_C.

Tabela 5.18 – Comparação entre aceite parcial e total (margem)

Indicadores (Milhares)	P_A	P_B	P_C	P_Média	T_A	T_B	T_C	T_Média
Margem Bruta Total	25.892	28.490	29.915	28.099	25.892	28.490	29.915	28.099
Margem Bruta Aceita	13.382	14.491	15.005	14.293	13.241	14.460	15.015	14.239
Custo de Reposição	318	463	491	424	245	521	563	443
Margem Líquida Aceita:	13.064	14.028	14.514	13.869	12.997	13.939	14.452	13.796
% Margem Líquida Aceita	50%	49%	49%	49%	50%	49%	48%	49%

Conforme a Tabela 5.19, o número de reposicionamentos foi, na média, superior nos problemas com aceite total. Mas o valor é pequeno em comparação ao número de contêineres aceitos para o transporte. Em média, os números de contêineres reposicionados representam 3% em relação ao número de contêineres selecionados, para ambos os tipos de problema. A ocupação dos navios, em média, também é muito próxima, na faixa de 45%. Mas os problemas com aceite parcial possuem maior ocupação dos navios, também em virtude da flexibilidade na utilização dos recursos quando as cargas podem ser aceitas parcialmente.

Tabela 5.19 – Comparação entre aceite parcial e total (reposicionamentos)

Indicadores	P_A	P_B	P_C	P_Média	T_A	T_B	T_C	T_Média
Reposicionamentos (TEUs)	250	333	345	309	187	361	398	315
Reposicionamentos/TEUs	2,1%	2,9%	3,0%	2,6%	1,6%	3,1%	3,4%	2,7%
Ocupação Média:	41,4%	44,4%	49,0%	44,9%	40,8%	43,8%	49,1%	44,6%
Ocupação Peso:	41,4%	44,4%	49,0%	44,9%	40,8%	43,8%	49,1%	44,6%
Ocupação Volume:	38,9%	42,0%	48,0%	43,0%	38,1%	41,9%	48,0%	42,7%

Em resumo, os problemas com aceite parcial apresentam melhores resultados em relação aos problemas que só permitem aceite total, além de necessitarem de tempos computacionais reduzidos para encontrar uma solução ótima. Para os problemas que necessitam de aceite total, na condição em que, numa tomada de decisão, uma solução próxima da otimalidade é suficiente, a aplicação do modelo com aceite parcial pode trazer ganhos de tempo computacional necessário para encontrar uma solução. Mas, algumas adequações na solução se tornam necessárias visto que algumas das cargas podem estar parcialmente selecionadas, necessitando do tomador de decisão interpretações importantes quanto as cargas a serem aceitas totalmente ou rejeitá-las, mesmo que isso ocasione a queda da

margem de contribuição obtida ou essa margem de contribuição não seja a solução ótima para um problema onde só são permitidos aceites de cargas na totalidade.

Em continuidade às análises, foram obtidos resultados de indicadores para diferentes tamanhos de demandas: 500, 600, 700, 800, 900 e 1000 cargas. Esses cenários foram nomeados com o prefixo “D” seguido do número de cargas demandadas. Para cada demanda, considerou-se a média de resultados gerados a partir de três sementes aleatórias. Conforme Tabela 5.20, é crescente o tempo de execução, provavelmente em virtude do aumento de demanda. Observa-se um aumento no número de cargas aceitas, mas o percentual de cargas selecionadas em relação à demanda total a ser transportada diminui. Isso pode ocorrer em virtude da dificuldade de atendimento de novas demandas com a utilização do mesmo número de recursos, que consiste em contêineres vazios nos portos e espaços nos navios.

Nos problemas tratados, em certos períodos do horizonte de planejamento, a falta de vazios é o principal limitante para o atendimento da demanda. Há situações em que a capacidade dos navios se torna um limitante. E, no inicio do horizonte de planejamento, os estoques iniciais que sofreram a perturbação quanto aos seus valores se torna também outro fator limitante, mas que, ao longo do horizonte de planejamento, o modelo busca ao equilíbrio da rede com relação à oferta e à demanda de contêineres.

Tabela 5.20 – Variação de demanda – Resultados de cargas e reposição

Indicadores	Cenários de Variação de Demanda – Resultados					
	D500	**D600**	**D700**	**D800**	**D900**	**D1000**
Tempo de solução	1,617	3,817	7,639	13,140	13,687	19,334
Número de cargas:	500	600	700	800	900	1000
Parcela das Cargas Aceitas:	333	396	440	474	472	515
Cargas Aceitas Totalmente:	326	388	428	461	459	497
Cargas Aceitas Parcialmente:	16	18	24	29	31	39
% Cargas Aceitas:	67%	66%	63%	59%	52%	52%
Numero de reposicionamentos:	260	353	297	330	452	309
Reposicionamentos/TEUs	3,6%	4,1%	3,1%	3,2%	4,3%	2,6%

Conforme a Tabela 5.20, o número de reposicionamentos, para esses casos, varia de maneira diferente à demanda. Possivelmente isso ocorre em virtude de que há um desequilíbrio na oferta e na demanda de contêineres quanto aos estoques iniciais, que ocasiona a necessidade de reposicionamentos para garantir o equilíbrio

inicial dos recursos disponíveis e, consequentemente, o melhor aproveitamento dos contêineres cheios, sem necessidades de reposicionamentos.

As ocupações médias dos navios estão apresentadas na Tabela 5.21. Observa-se que a ocupação média dos navios aumenta com o aumento da demanda. Verifica-se maior dificuldade de ocupação dos navios que possuem, a cada aumento do número de cargas, menos espaços disponíveis para novos atendimentos.

Tabela 5.21 – Variação da demanda – Resultados de ocupação

Indicadores	Cenários de Variação de Demanda – Resultados					
	D500	D600	D700	D800	D900	D1000
Ocupação média dos navios	27,4%	33,5%	37,5%	40,4%	40,9%	44,9%
Ocupação Média - NAV1	19,0%	21,6%	25,5%	26,6%	27,2%	29,1%
Ocupação Média - NAV2	21,0%	29,2%	32,3%	34,2%	31,7%	37,7%
Ocupação Média - NAV2	30,7%	36,5%	40,9%	44,0%	49,0%	52,2%
Ocupação Média - SSZ1	31,6%	35,3%	40,8%	45,0%	46,7%	60,8%
Ocupação Média - SSZ2	41,3%	51,4%	55,2%	58,5%	56,4%	58,1%
Ocupação Média - SSZ3	31,5%	41,5%	48,4%	52,2%	50,3%	57,6%

Em resumo, com o aumento da demanda, mantendo-se o mesmo número de recursos disponíveis, há uma redução do ritmo de aumento do percentual de cargas atendidas que tendem a uma estabilidade, quando os recursos disponíveis para o transporte se tornaram totalmente indisponíveis para novas demandas. A ocupação do navio, apesar de que, em média, abaixo de 60%, pode não permitir total ocupação, visto que há também as restrições de contêineres vazios nos portos. A cada aumento de demanda, há maior dificuldade de utilização dos recursos, sejam contêineres vazios ou espaço disponível no navio.

As principais restrições para o atendimento das cargas referem-se à disponibilidade de vazios nos portos e o espaço nos navios, desde que não exceda o peso máximo permitido. Os cenários a seguir, foram realizados de modo a analisar o comportamento dos indicadores com a variação dos parâmetros de tais restrições. Inicialmente, verificou-se a capacidade dos navios, variando de 80% a 120%, de acordo com a capacidade definida no problema inicial.

Estes problemas analisados possuem prefixo “N” seguido do percentual de capacidade dos navios em relação ao problema inicial, que varia de 80 a 120. Na Tabela 5.22, observa-se que a redução da capacidade nos navios em -10% (N80) e -20% (N90) reduz o número de cargas aceitas e, para essas, aumenta o número de

cargas parcialmente aceitas. Como é observado em problemas anteriores, quando há maior quantidade de carga, há maior atendimento parcial de carga. No caso da capacidade nos navios, quanto maior a capacidade dos navios, menor o atendimento parcial de carga. Quando não há espaço suficiente para o atendimento das cargas nas suas totalidades, busca-se o atendimento parcial de modo a aumentar a margem de contribuição. O espaço insuficiente pode aumentar quando há redução da capacidade dos navios, redução da disponibilidade de vazios ou aumento da demanda a uma mesma quantidade de recursos.

Tabela 5.22 – Variação da capacidade dos navios - Cargas

Indicadores	N80 (-20%)	N90 (-10%)	N100 (+0%)	N110 (+10%)	N120 (+20%)
Tempo de solução	299,939	213,527	163,234	25,522	15,241
Número de cargas:	1000	1000	1000	1000	1000
Parcela das Cargas Aceitas:	489	504	515	531	541
Cargas Aceitas Totalmente:	466	483	497	515	527
Cargas Aceitas Parcialmente:	45	43	39	37	35
% Cargas Aceitas:	49%	50%	52%	53%	54%

Verifica-se, também, na Tabela 5.22, o modelo tem maior dificuldade em resolver problemas com pouca capacidade nos navios, em relação ao tempo computacional, na busca de uma solução ótima. Na Tabela 5.23, observa-se que a demanda de contêineres atendida varia de acordo com a variação da capacidade dos navios.

Tabela 5.23 – Variação da capacidade dos navios – Oferta x Demanda

Indicadores	N80 (-20%)	N90 (-10%)	N100 (+0%)	N110 (+10%)	N120 (+20%)
Demanda de Contêineres:	24170	24170	24170	24170	24170
Contêineres aceitos:	11396	11618	11754	11904	12072
% Contêineres aceitos:	47%	48%	49%	49%	50%
Oferta de Vazios:	13282	13282	13282	13282	13282
%Oferta/Demanda	55%	55%	55%	55%	55%
%Oferta/TEUs Aceitos	117%	114%	113%	112%	110%

Com o aumento da demanda atendida, há um aumento da margem de contribuição gerada com esses atendimentos, conforme Tabela 5.24. Mas o número de reposicionamentos tende a reduzir com o a redução da capacidade dos navios, possivelmente em virtude da redução da disponibilidade de espaço nesses para o reposicionamento, visto que a prioridade na utilização dos navios fica a cargo dos cheios.

Na Tabela 5.24, são apresentados os resultados de ocupação média dos navios para os problemas que variam a capacidade disponível nos mesmos para o transporte de contêineres. Há situações em que a ocupação será parcial em virtude da falta de contêineres nos portos para o atendimento das cargas. Com o aumento da capacidade dos navios, aumenta-se a ocupação, mas essa tende a ser limitada pela falta de contêineres vazios.

Tabela 5.24 – Variação da capacidade dos navios

Indicadores	N80 (-20%)	N90 (-10%)	N100 (+0%)	N110 (+10%)	N120 (+20%)
Margem Bruta Total	28.099.063	28.099.063	28.099.063	28.099.063	28.099.063
Margem Aceita Total	13.616.287	13.997.148	14.292.656	14.638.320	14.889.869
Custo de Reposição	364.179	413.298	423.712	466.915	496.797
Margem Líquida Total	13.252.108	13.583.850	13.868.945	14.171.405	14.393.073
% Margem Liquida Total	47%	48%	49%	50%	51%
Número de reposicionamentos	281	314	309	344	352
Reposicionamentos/TEUs	2,5%	2,7%	2,6%	2,9%	2,9%
Ocupação Média:	50,4%	47,7%	44,9%	42,1%	39,8%
Ocupação Peso:	50,4%	47,7%	44,9%	42,1%	39,8%
Ocupação Volume:	48,9%	46,0%	43,0%	40,1%	37,4%

Seguindo o mesmo raciocínio com a variação da capacidade dos navios, verificam-se os resultados quanto à variação da oferta de vazios de 80% a 120% com relação à oferta do cenário inicial. Os cenários foram definidos com prefixo “S”. Verifica-se, na Tabela 5.25, que o número de cargas aceitas diminui com a redução da oferta de vazios, como ocorre com a redução das capacidades dos navios. O número de cargas parcialmente aceitas, ao contrário, aumenta, pois nos casos em que não há vazios disponíveis para o atendimento total da carga, verifica-se a possibilidade de atendimento parcial, se esse atendimento ocasionar melhoria na margem de contribuição. Portanto, para esses problemas, a maior restrição é a falta de vazios para o atendimento.

Tabela 5.25 – Variação da oferta de vazios – Cargas

Indicadores	**V80 (-20%)**	**V90 (-10%)**	**V100 (+0%)**	**V110 (+10%)**	**V120 (+20%)**
Tempo de solução	22,615	113,896	171,544	36,650	18,294
Número de cargas	1000	1000	1000	1000	1000
Parcela das Cargas Aceitas	490	512	515	523	532
Cargas Aceitas Totalmente	472	494	497	507	516
Cargas Aceitas Parcialmente	40	37	39	34	36
% Cargas Aceitas	49%	51%	52%	52%	53%

Quanto à oferta e à demanda de contêineres, a Tabela 5.26 apresenta os indicadores para cada número de vazios. Verifica-se que o percentual de contêineres aceitos aumenta a um ritmo cada vez menor com o aumento da quantidade de vazios disponíveis no sistema. Possivelmente, apesar desse aumento, há também a restrição de capacidade nos navios, que se mantém constante para todos os problemas, conforme o problema inicial. Dessa maneira, o aumento de vazios será limitado à capacidade dos navios. Também isso ocorre ao contrário, quando o aumento de capacidade dos navios será limitado à quantidade de vazios.

Tabela 5.26 – Variação da oferta de vazios – Oferta e Demanda

Indicadores	V80	V90	V100	V110	V120
Demanda de Contêineres	24170	24170	24170	24170	24170
Contêineres aceitos	10993	11432	11754	11994	12199
% Contêineres aceitos	45%	47%	49%	50%	50%
Oferta de Vazios	11140	12216	13282	14356	15419
%Oferta/Demanda	46%	51%	55%	59%	64%
%Oferta/TEUs Aceitos	101%	107%	113%	120%	126%

De acordo com o aumento dos contêineres aceitos para o transporte, a margem de contribuição líquida também cresce, conforme a Tabela 5.27. O número de reposicionamentos sobre os contêineres aceitos cresce, com o aumento do número de vazios disponíveis para o transporte. A ocupação dos navios também cresce com o aumento do número de vazios, mas esse crescimento é menor para os cenários V110 e V120 em relação aos cenários V80 e V90, ou seja, há uma limitação da capacidade dos navios, que permanece constante entre os cenários.

Tabela 5.27 – Variação da oferta de vazios

Indicadores	V80	V90	V100	V110	V120
Margem Bruta Total	28.099.063	28.099.063	28.099.063	28.099.063	28.099.063
Margem Aceita Total	13.825.071	14.097.093	14.292.656	14.477.889	14.607.201
Custo de Reposição	362.188	399.127	423.712	459.612	490.537
Margem Líquida Total	13.462.882	13.697.966	13.868.945	14.018.277	14.116.665
% Margem Liquida Total	48%	49%	49%	50%	50%
Número de reposicionamentos	262	291	309	337	352
Reposicionamentos/TEUs	2,4%	2,5%	2,6%	2,8%	2,9%
Ocupação Média	43,5%	44,2%	44,9%	45,4%	45,8%
Ocupação Peso	43,5%	44,2%	44,9%	45,4%	45,8%
Ocupação Volume	41,1%	42,1%	43,0%	43,7%	44,3%

6. CONCLUSÕES

Esta pesquisa trata da modelagem matemática para um problema integrado de seleção de cargas e reposicionamento de contêineres vazios, propondo um modelo baseado num problema de fluxo em rede multi-produto em uma rede espaço-tempo. Foi desenvolvida uma formulação matemática inédita que garante a seleção de cargas a serem transportadas e a movimentação de contêineres vazios em diferentes portos com objetivo de maximizar a margem de contribuição líquida total, respeitando as restrições de capacidades de transporte dos navios, de armazenagem nos portos e de equilíbrio do sistema.

Consideram-se no modelo, dados e características observados no planejamento realizado por companhias de navegação que enfrentam esse problema de seleção de cargas e reposicionamento de contêineres vazios, além de dados obtidos da literatura. Adicionalmente, foram consideradas restrições, tais como de calado nos portos e capacidade unitária por tipo de contêiner, além de características importantes relativas aos tempos livres antes do embarque e depois do desembarque dos contêineres cheios, decisões de aceite parcial e de aceite total das cargas, condições de estado inicial e final dos navios, dentre outras.

Para a solução do modelo matemático proposto foi desenvolvido um SAD, tendo como componentes uma interface desenvolvida em planilha eletrônica para entrada de dados e interpretação de resultados, um programa em linguagem C++ para construção do modelo e otimização via pacote Gurobi 4.0. Através de experimentos computacionais realizados em cenários reduzidos pode-se verificar a correta implementação do modelo, em termos tanto do funcionamento do SAD quanto das restrições da modelagem matemática proposta, o que permitiu a posterior aplicação do mesmo considerando cenários de grande porte, mais realísticos, de 500 a 1.000 cargas, requisitando de 10 a 25 mil contêineres a serem transportados. Comparou-se o modelo proposto com uma heurística implementada por Cuoco (2008), que considera o mesmo problema, porém de forma mais simplificada, que utiliza uma abordagem heurística para sua solução. Identificou-se com o resultado, que o modelo proposto possui eficácia na resolução de problemas de diversos portes, encontrando resultados ótimos em tempos computacionais reduzidos. Também se

aplicou o modelo a novas características tratadas neste trabalho, como por exemplo, decisões de aceite total e parcial de carga, custos de reposicionamento e tempos livres antes do embarque e depois do desembarque, reforçando sua aplicabilidade a problemas de grande porte, normalmente enfrentados pelas companhias de navegação, em termos de navios, rotas, quantidade de contêineres, perfil de carga, dentre outros.

Observou-se que o modelo resolve com maior facilidade problemas com cargas que permitem aceite parcial, sendo que, para os problemas tratados, os cenários com aceite parcial obtiveram resultados melhores, mais próximos dos problemas que admitem somente o aceite ou a rejeição total das cargas. O aumento da demanda é restrito aos recursos disponíveis, como as capacidades dos navios e as disponibilidades de contêineres vazios. Considerando uma mesma demanda, a aceitação de cargas pode ser dificultada pela maior ou menor disponibilidade de contêineres vazios.

Por fim, o modelo se comportou como o esperado, considerando as diversas variações de parâmetros. Com os problemas propostos que procuraram representar a realidade que ocorre nas companhias de navegação, também foi possível demonstrar a aplicabilidade do modelo aos problemas de grande porte, em ordem de grandeza aos problemas reais observados. Acredita-se que o desempenho observado no modelo para problemas de grande porte tornou-se possível em virtude da metodologia adotada com a abordagem de um modelo de fluxo em rede, em conjunto com um SAD que permita troca eficiente de informações entre os componentes de interface e de otimização, quanto para preparação dos problemas e interpretação dos resultados, permitindo suas rápidas resoluções. Sugere-se, como possíveis extensões da presente pesquisa:

1. Nova abordagem do problema proposto, permitindo não somente que as cargas sejam selecionadas, mas também que sejam definidos os portos de origem e de destino, bem como das datas de embarque e desembarque, não restringindo o transporte dessa carga somente a um navio.
2. Considerar, como decisão do modelo, a definição das rotas dos navios, decidindo qual a melhor composição de paradas dos navios nos portos para o atendimento das cargas e o reposicionamento dos contêineres vazios.

REFERÊNCIAS

ABRACHE, J. CRAINIC, T.G. GENDREAU, M. (1999) A new decomposition algorithm for the deterministic dynamic allocation of empty containers. **Technical Report of Centre for Research on Transportation**, CRT 99-49, Universite de Montreal.

ABRATEC, Associação Brasileira de Terminais de Contêineres de Uso Público (2010). **Relatório de Desempenho de Terminais de Contêineres.**

ARGAWAL, R., ERGUN, O. (2008). Ship Scheduling and Network Design for Cargo Routing in Liner Shipping. **Transportation Science** 42 (2): 175-196.

BANDEIRA, D. L. (2005). **Alocação e movimentação de contêineres vazios e cheios - Um modelo integrado e sua aplicação**. Escola de Administração. Rio Grande do Sul, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Doutorado.

BARCO, B. L. (1998) **A logística do contêiner vazio.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

CHEUNG, R. K., CHECN, C. Y. (1998) A Two-Stage Stochastic Network Model and Solution Methods for the Dynamics Empty Container Allocation Problem. **Transportation Science** 32(2): 142-162.

COSTA, G. A. A. D. (2006) **Modelo de margem de contribuição aplicado ao planejamento de marketing no tranporte marítimo regular de contêineres.** Dissertação de Mestrado. Engenharia Naval e Oceânica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

CRAINIC, T.G., DELORME, L. (1993) Dual-ascent procedure for multicommodity location-allocation problems with balancing requirements. **Transportation Science** 27, 90-101.

CRAINIC, T.G., GENDREAU, M. (1993) Dynamic and Stochastic Models for the Allocation of Empty Containers. **Operations Research** 41(1): 102-126.

CUOCO, M. (2008) **Otimização da seleção e alocação de cargas em navios de contêineres.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia de Sistemas Logísticos. Escola Politécnica da USP. São Paulo.

GENDRON, B., CRAINIC, T.G. (1995) A branch-and-bound algorithm for depot location and container fleet management. **Location Science** 3, 39-53.

GOLDBARG, M. C. E LUNA, H. P. L. (2000), **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos.** Editora Campus Elsevier, Rio de Janeiro.

HERER, Y. T. e TZUR, M. (2003) Optimal and heuristic algorithms for the multi-location dynamic transshipment problem with fixed transshipment costs. **IIE Transactions** 35(5). 419-432.

LAI, K.K., LAM, K.K., CHAN, W.K. (1995) Shipping container logistics and allocation. **Journal of the Operational Research Society** 46, 687-697.

MAKOTO, M., TAKUJI, N. (1998) Messene Twister. **ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation**, 8 (1), 3-30.

MARANHÃO Filho, E. A. (2009) **Alocação e movimentação dinâmica de contêineres: Um modelo integrado de escalonamento.** Tese de Doutorado. Escola de Administração. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

NOBRE, M. (2006) **A gestão logística do contêiner vazio.** Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Santos. Santos.

PRESTON, P., KOZAN, E. (2001). A Tabu search technique applied to scheduling container transfers. **Transportation Science** 24 (2): 135-153.

REZENDE, L. B. D. (2003) **A logística do contêiner vazio, uma nova abordagem.** Dissertação de Mestrado. Departamento de Engenharia Naval. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo.

SOUZA, F. C. G. (2001) **Procedimentos para alocação de contêineres vazios no transporte marítimo.** Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

VALOR. (2010) **Jornal Valor Econômico. Versão Online. "**Contêineres baterão recorde em 2010". São Paulo, 25-mar-2010.

W3C. (1998) **Extensible Markup Language (XML) 1.0.** W3C Recommendation 26 November 2008. Disponível em http://www.w3.org/TR/2008/REC-xml-20081126. Acessado em 29 de Julho de 2010.

WAGNER, H. e WHITIN, T. (1958) Dynamic version of the economic lot size model. **Manager Science** 5: 89-96.

WHITE, W. W. (1972). Dynamic transshipment networks: An algorithm and its application to the distribution of empty containers. **Networks** 2(3): 211-236.

WILSON, I. D., ROACH, P. A. (2000). Container stowage planning: a methodology for generating computerised solutions. **The Journal of the Operational Research Society** 51 (11): 1248.

TOYODA,Y.(1975) A simplified algoritm for obtaining approximate solution to zero-one programming problems. **Management Science** 21, p. 1417-1427.

ZAMBUZI, N. D. C. (2010) **Modelo de decisão para o planejamento da movimentação de contêineres vazios.** Dissertação de Mestrado. Programa de Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos. Escola Politécnica da USP. São Paulo.

ANEXO 1 – *"Extensible Markup Language"* (XML)

A.1. Introdução

Este anexo apresenta informações adicionais sobre Linguagem de Marcação Estendida (*"Extensible Markup Language"*, XML), que se define como um subconjunto do SGML de acordo com as normas da ISSO 8879. As informações contidas neste anexo foram obtidas de acordo com as últimas recomendações de W3C (2010), referentes à versão 1.0 da linguagem XML.

W3C (2010) recomendada utilização de arquivos com linguagem XML para comunicação entre aplicações que necessitam transferir informações DE diferentes tipos de dados permitindo que tais informações sejam organizadas de modo eficiente e rápido.

A.2. Origem e Objetivos

XML foi inicialmente desenvolvida por "*XML Working Group"* (originalmente conhecido como *"SGML Editorial Review Board"*), constituído no *"World Wide Web Consortium (W3C)*" em 1996. Os objetivos principais na criação da linguagem XML foram:

1. XML deve ser diretamente utilizável pela Internet;

2. XML deve suportar uma ampla variedade de aplicações;

3. XML deve ser compatível com SGML;

4. XML deve ser de fácil implementação nos programas que o suportam;

6. Documentos XML devem ser humano-legíveis e razoavelmente claros;

7. O projeto deverá ser preparado rapidamente;

8. O projeto de XML deve ser formal e conciso;

9. Os documentos XML devem ser fáceis de criar;

10. Concisão na marcação em XML é de importância mínima;

A.3. Estruturação do Arquivo

Um arquivo XML possui inúmeras estruturas, cada uma com seus objetivos específicos para organização da informação pretendida. Um objeto textual em XML é bem estruturado se:

1. Reúne todas as limitações para uma boa estruturação dada nas especificações do XML, conforme W3C (2010).

2. Cada uma das entidades analisadas, que está diretamente relacionada direta ou indiretamente ao documento é bem-estruturada.

A produção do documento XML implica em:

1. Conter um ou mais elementos;

2. Existir um elemento, denominado raiz, ou elemento do documento, que não aparece como conteúdo (sub-elemento) de qualquer outro elemento do documento. Todos os elementos, exceto elemento raiz, devem estar contidos, direto ou indiretamente, dentro do elemento raiz;

Os elementos podem ter conteúdos ou ser de conteúdo vazio. Estes conteúdos são definidos por outros elementos, que podem ser textuais ou de quaisquer outros tipos de elementos definidos.

Os elementos devem possuir um rótulo de início (*"start-tag"*) logo antes de apresentar seu conteúdo e um rótulo final (*"end-tag"*) logo após a apresentação do conteúdo. Toda a informação contida dentro do rótulo de inicio e rótulo final é considerada conteúdo do elemento. Para elementos que não possuem conteúdo, é possível definir um único rótulo vazio (*"empty-tag"*).

Todos os rótulos dos elementos possuem um nome que é delimitado pelos caracteres “<” e “>”, exceto os elementos vazios que são delimitados pelos caracteres “<” e “/>”. Os elementos, incluído os elementos vazios, podem possuir atributos que são dispostos no rótulo de início do elemento e separados por espaços. Tais atributos possuem um nome e um valor. Separa-se o nome do atributo e seu valor por um símbolo de igualdade (“=”). Em caso de atributo com informação textual, o mesmo pode ser delimitado por aspas duplas, no início e no fim da sentença.

```
<Clientes>
 <cliente id=1 revenue=1000>
  <container id=”20DC” quantity=100/>
  <container id=”40RF” quantity=20/>
 </cliente>
 <cliente id=2 revenue=1500>
  <container id=”20DC” quantity=10/>
 </cliente>
 <cliente/>
</Clientes>
```

Figura 6.1 – Exemplo de estrutura de arquivo XML

No exemplo da Figura 1, podemos observar uma estrutura de um arquivo XML. Neste exemplo, o elemento raiz foi denominado “Clientes”, contendo três elementos “cliente”, sendo que cada elemento possui um atributo “id” e um atributo “revenue”, exceto último elemento “cliente”. Os dois primeiros elementos “cliente” possuem elementos “container”, definidos com atributos “id” e “quantity”, e estes elementos “container” não possuem conteúdo, ou seja, possuem um rótulo vazio. O último cliente também possui um rótulo vazio, só que neste caso não possui nem mesmo atributos definidos.

A.4. Considerações Finais

O XML apresenta-se como uma solução viável para organização de informações de diferentes tipos de dados, permitindo fácil compreensão de dados. A aplicação desta solução no modelo proposto parte do princípio de que as instâncias utilizadas na implementação e aplicação do modelo proposto possuem características e tipos dados muito distintos.

O gerenciamento destas instâncias por arquivos XML permite tanto para administração dos dados de entrada para o modelo, bem como para reporte de resultados de saída. Também é utilizado para informações gerais das instâncias, parâmetros específicos e histórico de execuções, sendo todas essas informações armazenadas em um único arquivo, junto com os dados de entrada e de saída, permitindo melhor controle das instâncias.

A utilização deste tipo de arquivo para a implementação do modelo proposto mostrou-se bastante eficaz no sentido de desempenho e organização no carregamento dos dados e leitura de resultados, principalmente.

ANEXO 2 – Tabela de resultados comparativos do modelo proposto

Seed	Demanda Total			Demanda Aceita			Tempo Exec (s)	Reposição de TEUs	Custo de Reposição
	Cargas	TEUs	Receita Total	Cargas	TEUs	Receita Total			
45	100	427	168.092	100	427	168.092	0,08	8,00	16,00
45	200	881	333.905	200	881	333.905	0,05	108,00	216,00
45	300	1240	467.248	299	1217	460.093	0,11	222,00	444,00
45	400	1459	551.823	394	1394	533.342	0,13	284,00	568,00
45	500	1868	705.920	486	1769	676.517	0,31	541,00	1.082,00
45	600	2159	816.571	566	2006	769.838	0,33	641,00	1.282,00
45	700	2565	970.720	612	2265	872.565	0,72	701,00	1.402,00
45	800	2847	1.073.526	678	2377	919.530	0,81	671,00	1.342,00
45	900	3177	1.201.467	738	2546	989.694	1,33	657,00	1.314,00
45	1000	3524	1.341.365	799	2756	1.078.346	1,40	717,00	1.434,00
68	100	297	112.193	100	297	112.193	0,02	-	-
68	200	685	259.463	200	685	259.463	0,02	67,00	134,00
68	300	1027	384.887	297	1012	379.926	0,05	151,00	302,00
68	400	1360	511.231	397	1312	495.149	0,06	273,00	546,00
68	500	1683	639.010	486	1596	611.887	0,08	365,00	730,00
68	600	2088	795.058	570	1930	745.000	0,16	448,00	896,00
68	700	2510	951.863	619	2239	862.597	0,22	435,00	870,00
68	800	2793	1.059.360	692	2435	940.627	0,22	420,00	840,00
68	900	3197	1.219.712	732	2573	1.001.404	0,45	443,00	886,00
68	1000	3532	1.350.254	820	2759	1.074.247	0,42	502,00	1.004,00
368	100	419	160.497	100	419	160.497	0,03	3,00	6,00
368	200	705	271.393	200	705	271.393	0,05	71,00	142,00
368	300	1061	415.989	300	1061	415.989	0,05	156,00	312,00
368	400	1439	561.946	381	1375	541.580	0,09	306,00	612,00
368	500	1830	706.639	477	1757	682.178	0,11	304,00	608,00
368	600	2267	869.921	550	2105	812.293	0,45	373,00	746,00
368	700	2628	1.008.343	627	2340	907.838	0,31	422,00	844,00
368	800	3075	1.180.581	705	2550	1.002.069	0,69	616,00	1.232,00
368	900	3368	1.293.840	761	2732	1.078.197	0,48	589,00	1.178,00
368	1000	3784	1.451.890	806	2975	1.174.272	0,47	627,00	1.254,00
998	100	273	106.083	100	273	106.083	0,02	24,00	48,00
998	200	540	208.683	200	540	208.683	0,03	39,00	78,00
998	300	960	366.080	300	960	366.080	0,03	139,00	278,00
998	400	1292	498.485	400	1292	498.485	0,03	184,00	368,00
998	500	1560	602.694	500	1560	602.694	0,03	304,00	608,00
998	600	1911	736.148	598	1899	732.894	0,08	455,00	910,00
998	700	2223	858.491	667	2140	831.859	0,11	614,00	1.228,00
998	800	2560	986.896	716	2311	906.388	0,22	630,00	1.260,00
998	900	2848	1.095.090	774	2494	975.504	0,27	634,00	1.268,00
998	1000	3213	1.230.588	814	2682	1.043.093	0,39	562,00	1.124,00

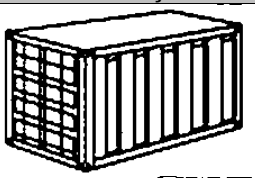
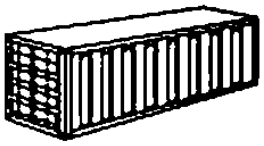
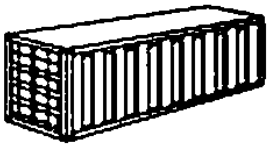
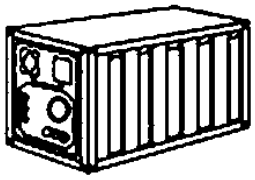
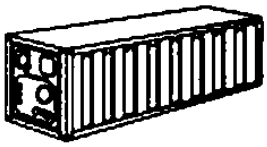
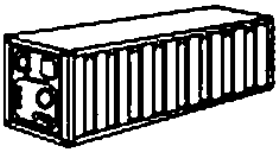
Seed	Demanda Total			Demanda Aceita			Tempo Exec (s)	Reposição de TEUs	Custo de Reposição
	Cargas	TEUs	Receita Total	Cargas	TEUs	Receita Total			
1252	100	264	101.919	100	264	101.919	0,05	10,00	20,00
1252	200	625	241.889	200	625	241.889	0,02	61,00	122,00
1252	300	926	354.414	300	926	354.414	0,05	129,00	258,00
1252	400	1259	480.543	400	1259	480.543	0,08	173,00	346,00
1252	500	1545	592.256	492	1531	587.638	0,14	313,00	626,00
1252	600	1798	687.818	583	1764	677.396	0,17	411,00	822,00
1252	700	2241	854.353	665	2089	799.484	0,47	456,00	912,00
1252	800	2477	946.965	723	2240	861.556	0,22	457,00	914,00
1252	900	2932	1.119.043	769	2433	940.124	0,58	435,00	870,00
1252	1000	3309	1.262.258	817	2654	1.025.131	1,16	560,00	1.120,00
3421	100	235	93.097	100	235	93.097	0,03	-	-
3421	200	557	220.303	200	557	220.303	0,03	55,00	110,00
3421	300	914	356.489	300	914	356.489	0,05	65,00	130,00
3421	400	1329	509.550	400	1329	509.550	0,05	175,00	350,00
3421	500	1688	647.444	500	1688	647.444	0,06	381,00	762,00
3421	600	2002	770.312	578	1962	758.606	0,09	465,00	930,00
3421	700	2403	925.902	643	2241	871.329	0,28	475,00	950,00
3421	800	2762	1.064.825	702	2388	938.237	0,64	451,00	902,00
3421	900	3046	1.172.154	760	2503	986.622	0,67	428,00	856,00
3421	1000	3444	1.327.034	796	2652	1.051.722	0,55	449,00	898,00

ANEXO 3 – Tabela de resultados comparativos do modelo de Cuoco (2008)

Seed	Demanda Total			Demanda Aceita			Tempo Exec (s)	Reposição de TEUs	Custo de Reposição
	Cargas	TEUs	Receita Total	Cargas	TEUs	Receita Total			
45	100	427	168.092	100	427	168.092	0,08	8,00	16,00
45	100	427	168.092	100	427	168.090	0,08	8,00	16,00
45	200	881	333.905	200	881	333.903	0,05	108,00	216,00
45	300	1240	467.248	299	1217	460.093	0,11	222,00	444,00
45	400	1459	551.823	394	1394	533.342	0,13	284,00	568,00
45	500	1868	705.920	486	1769	676.517	0,31	541,00	1.082,00
45	600	2159	816.571	566	2006	769.838	0,33	641,00	1.282,00
45	700	2565	970.720	612	2265	872.565	0,72	701,00	1.402,00
45	800	2847	1.073.526	678	2377	919.530	0,81	671,00	1.342,00
45	900	3177	1.201.467	738	2546	989.694	1,33	657,00	1.314,00
45	1000	3524	1.341.365	799	2756	1.078.346	1,40	717,00	1.434,00
368	100	419	160.497	100	419	160.497	0,03	3,00	6,00
368	200	705	271.393	200	705	271.391	0,05	71,00	142,00
368	300	1061	415.989	300	1061	415.987	0,05	156,00	312,00
368	400	1439	561.946	381	1375	541.580	0,09	306,00	612,00
368	500	1830	706.639	477	1757	682.178	0,11	304,00	608,00
368	600	2267	869.921	550	2105	812.293	0,45	373,00	746,00
368	700	2628	1.008.343	627	2340	907.838	0,31	422,00	844,00
368	800	3075	1.180.581	705	2550	1.002.069	0,69	616,00	1.232,00
368	900	3368	1.293.840	761	2732	1.078.197	0,48	589,00	1.178,00
368	1000	3784	1.451.890	806	2975	1.174.272	0,47	627,00	1.254,00
1252	100	264	101.919	100	264	101.919	0,05	10,00	20,00
1252	200	625	241.889	200	625	241.887	0,02	61,00	122,00
1252	300	926	354.414	300	926	354.412	0,05	129,00	258,00
1252	400	1259	480.543	400	1259	480.543	0,08	173,00	346,00
1252	500	1545	592.256	492	1531	587.638	0,14	313,00	626,00
1252	600	1798	687.818	583	1764	677.396	0,17	411,00	822,00
1252	700	2241	854.353	665	2089	799.484	0,47	456,00	912,00
1252	800	2477	946.965	723	2240	861.556	0,22	457,00	914,00
1252	900	2932	1.119.043	769	2433	940.124	0,58	435,00	870,00
1252	1000	3309	1.262.258	817	2654	1.025.131	1,16	560,00	1.120,00
3421	100	235	93.097	100	235	93.097	0,03	-	-
3421	200	557	220.303	200	557	220.301	0,03	55,00	110,00
3421	300	914	356.489	300	914	356.487	0,05	65,00	130,00
3421	400	1329	509.550	400	1329	509.546	0,05	175,00	350,00
3421	500	1688	647.444	500	1688	647.444	0,06	381,00	762,00
3421	600	2002	770.312	578	1962	758.606	0,09	465,00	930,00
3421	700	2403	925.902	643	2241	871.329	0,28	475,00	950,00
3421	800	2762	1.064.825	702	2388	938.237	0,64	451,00	902,00
3421	900	3046	1.172.154	760	2503	986.622	0,67	428,00	856,00
3421	1000	3444	1.327.034	796	2652	1.051.722	0,55	449,00	898,00

Seed	Demanda Total			Demanda Aceita			Tempo Exec (s)	Reposição de TEUs	Custo de Reposição
	Cargas	TEUs	Receita Total	Cargas	TEUs	Receita Total			
68	100	297	112.193	100	297	112.193	0,02	-	-
68	200	685	259.463	200	685	259.463	0,02	67,00	134,00
68	300	1027	384.887	297	1012	379.926	0,05	151,00	302,00
68	400	1360	511.231	397	1312	495.149	0,06	273,00	546,00
68	500	1683	639.010	486	1596	611.887	0,08	365,00	730,00
68	600	2088	795.058	570	1930	745.000	0,16	448,00	896,00
68	700	2510	951.863	619	2239	862.597	0,22	435,00	870,00
68	800	2793	1.059.360	692	2435	940.627	0,22	420,00	840,00
68	900	3197	1.219.712	732	2573	1.001.404	0,45	443,00	886,00
68	1000	3532	1.350.254	820	2759	1.074.247	0,42	502,00	1.004,00
998	100	273	106.083	100	273	106.083	0,02	24,00	48,00
998	200	540	208.683	200	540	208.681	0,03	39,00	78,00
998	300	960	366.080	300	960	366.080	0,03	139,00	278,00
998	400	1292	498.485	400	1292	498.481	0,03	184,00	368,00
998	500	1560	602.694	500	1560	602.694	0,03	304,00	608,00
998	600	1911	736.148	598	1899	732.894	0,08	455,00	910,00
998	700	2223	858.491	667	2140	831.859	0,11	614,00	1.228,00
998	800	2560	986.896	716	2311	906.388	0,22	630,00	1.260,00
998	900	2848	1.095.090	774	2494	975.504	0,27	634,00	1.268,00
998	1000	3213	1.230.588	814	2682	1.043.093	0,39	562,00	1.124,00

ANEXO 4 – Tipos de contêineres dos problemas de análise

Ilustração	Descrição
	**Nome**: Padrão de 20 pés **Código**: 20DC **Dimensões**: 5,9m x 2,35m x 2,393m **Tara**: 2.350kg **Capacidade Máxima:** 28.250kg **Equivalência**: 1 contêiner 20DC = 1 TEU
	**Nome**: Padrão de 40 pés **Código**: 40DC **Dimensões**: 12,032m x 2,35m x 2,392m **Tara**: 3.720kg **Capacidade Máxima:** 28.750kg **Equivalência**: 1 contêiner 40DC = 2 TEU's
	**Nome**: *"HC"* de 40 pés **Código**: 40HC **Dimensões**: 12,032m x 2,352m x 2,698m **Tara**: 3.900kg **Capacidade Máxima:** 28.600kg **Equivalência**: 1 contêiner 40HC = 2 TEU's
	**Nome**: Refrigerado de 20 pés **Código**: 20RF **Dimensões**: 5,444m x 2,294m x 2,276m **Tara**: 2.920kg **Capacidade Máxima:** 27.400kg **Equivalência**: 1 contêiner 20RF = 1 TEU
	**Nome**: Refrigerado de 40 pés **Código**: 40RF **Dimensões**: 11,561m x 2,268m x 2,249m **Tara**: 4.800kg **Capacidade Máxima:** 27.700kg **Equivalência**: 1 contêiner 40RF = 2 TEU's
	**Nome**: Refrig. *"HC"* de 40 pés **Código**: 40HR **Dimensões**: 11,561m x 2,268m x 2,249m **Tara**: 4.265kg **Capacidade Máxima:** 27.700kg **Equivalência**: 1 contêiner 40HR = 2 TEU's

ANEXO 5 – Tabelas de resultados dos problemas de análise

Indicadores	**D500A**	**D500A**	**D500C**	**D600A**	**D600B**	**D600C**
Tempo de solução	0,655	2,371	1,825	1,077	5,21	5,163
Número de cargas	500	500	500	600	600	600
Parcela das Cargas Aceitas	355,25	335,72	306,93	409	379	400
Cargas Aceitas Totalmente	349	331	297	400	372	393
Cargas Aceitas Parcialmente	14	14	20	20	14	20
% Cargas Aceitas	71%	67%	61%	68%	63%	67%
Demanda de Contêineres	11478	11841	11543	14247	14090	13968
Contêineres aceitos	7384	7817	6256	8683	8670	8737
% Contêineres aceitos	64%	66%	54%	61%	62%	63%
Oferta de Vazios	12418	13379	14050	12418	13379	14050
%Oferta/Demanda	108%	113%	122%	87%	95%	101%
%Oferta/TEUs Aceitos	168%	171%	225%	143%	154%	161%
Margem Bruta Total	11.864.953	12.794.318	14.433.473	14.916.593	15.334.200	17.224.013
Margem Aceita Total	8.204.202	8.839.708	8.731.829	9.674.293	10.018.317	11.135.447
Custo de Reposição	422.120	418.515	460.055	460.500	395.760	520.285
Margem Líquida Total	7.782.082	8.421.193	8.271.774	9.213.793	9.622.557	10.615.162
% Margem Liquida Total	66%	66%	57%	62%	63%	62%
Número de reposicionamentos	274	240	266	387	268	405
Reposicionamentos/TEUs	3,7%	3,1%	4,3%	4,5%	3,1%	4,6%
Ocupação Média:	26,0%	27,8%	28,4%	31,1%	31,4%	38,0%
Ocupação Peso:	26,0%	27,8%	28,4%	31,1%	31,4%	38,0%
Ocupação Volume:	25,1%	26,4%	26,2%	29,3%	30,0%	33,3%
Ocupação Média - NAV1	15,6%	13,3%	27,9%	18,1%	15,3%	31,3%
Ocupação Média - NAV2	22,8%	15,6%	24,6%	26,9%	21,2%	39,5%
Ocupação Média - NAV2	23,5%	30,3%	38,2%	31,8%	33,1%	44,7%
Ocupação Média - SSZ1	31,2%	40,6%	22,9%	35,0%	45,5%	25,5%
Ocupação Média - SSZ2	48,1%	49,6%	26,3%	51,4%	52,6%	50,4%
Ocupação Média - SSZ3	29,0%	38,9%	26,6%	39,3%	46,6%	38,4%
Ocupação Peso - NAV1	15,6%	12,8%	27,9%	18,1%	14,7%	31,3%
Ocupação Peso - NAV2	21,8%	15,6%	24,6%	26,6%	19,7%	39,5%
Ocupação Peso - NAV2	23,5%	30,3%	38,2%	31,8%	33,1%	44,7%
Ocupação Peso - SSZ1	31,2%	40,6%	22,9%	35,0%	45,5%	25,5%
Ocupação Peso - SSZ2	48,1%	49,6%	26,3%	51,4%	52,6%	50,4%
Ocupação Peso - SSZ3	29,0%	38,9%	26,6%	39,3%	46,6%	38,4%
Ocupação Volume - NAV1	14,7%	13,3%	25,4%	17,2%	15,3%	27,4%
Ocupação Volume - NAV2	22,8%	15,3%	23,2%	26,9%	21,2%	35,9%
Ocupação Volume - NAV2	22,3%	29,1%	33,0%	28,3%	31,3%	39,4%
Ocupação Volume - SSZ1	29,2%	36,4%	22,9%	33,2%	41,7%	21,7%
Ocupação Volume - SSZ2	45,0%	46,2%	25,5%	47,1%	47,6%	41,1%
Ocupação Volume - SSZ3	27,7%	34,0%	25,0%	35,8%	40,2%	35,2%

Indicadores	D700A	D700B	D700C	D800A	D800B	D800C
Tempo de solução	3,214	8,049	11,653	8,86	9,375	21,185
Número de cargas	700	700	700	800	800	800
Parcela das Cargas Aceitas	464	410	447	495	437	489
Cargas Aceitas Totalmente	454	397	434	480	424	479
Cargas Aceitas Parcialmente	22	25	26	33	29	24
% Cargas Aceitas	66%	59%	64%	62%	55%	61%
Demanda de Contêineres	16279	16567	16746	18549	19304	18883
Contêineres aceitos	9884	9560	9657	10522	10342	10487
% Contêineres aceitos	61%	58%	58%	57%	54%	56%
Oferta de Vazios	12418	13379	14050	12418	13379	14050
%Oferta/Demanda	76%	81%	84%	67%	69%	74%
%Oferta/TEUs Aceitos	126%	140%	145%	118%	129%	134%
Margem Bruta Total	17.082.451	18.256.261	21.279.810	19.627.566	22.991.096	23.710.356
Margem Aceita Total	10.956.382	11.077.720	12.826.817	11.792.066	12.553.559	13.537.464
Custo de Reposição	486.360	417.840	358.685	425.370	408.870	435.015
Margem Líquida Total	10.470.022	10.659.880	12.468.132	11.366.696	12.144.689	13.102.449
% Margem Liquida Total	61%	58%	59%	58%	53%	55%
Número de reposicionamentos	373	273	245	362	299	329
Reposicionamentos/TEUs	3,8%	2,9%	2,5%	3,4%	2,9%	3,1%
Ocupação Média	35,4%	34,5%	42,8%	37,5%	39,0%	44,6%
Ocupação Peso	35,4%	34,5%	42,8%	37,5%	39,0%	44,6%
Ocupação Volume	33,4%	33,4%	37,1%	35,1%	36,5%	38,8%
Ocupação Média - NAV1	22,0%	18,9%	35,4%	23,7%	20,0%	36,1%
Ocupação Média - NAV2	29,8%	24,4%	42,7%	30,7%	29,5%	42,3%
Ocupação Média - NAV2	39,2%	38,2%	45,4%	39,9%	45,3%	46,7%
Ocupação Média - SSZ1	39,8%	47,4%	35,1%	43,2%	52,2%	39,6%
Ocupação Média - SSZ2	54,7%	53,5%	57,4%	59,4%	54,9%	61,2%
Ocupação Média - SSZ3	41,6%	54,9%	48,6%	43,8%	58,8%	54,0%
Ocupação Peso - NAV1	22,0%	16,8%	35,4%	23,7%	20,0%	36,1%
Ocupação Peso - NAV2	28,9%	22,1%	42,7%	30,7%	27,4%	42,3%
Ocupação Peso - NAV2	39,2%	38,2%	45,4%	39,9%	45,3%	46,7%
Ocupação Peso - SSZ1	39,8%	47,4%	35,1%	43,2%	52,2%	39,6%
Ocupação Peso - SSZ2	54,7%	53,5%	57,4%	59,4%	54,9%	61,2%
Ocupação Peso - SSZ3	41,6%	54,9%	48,6%	43,8%	58,8%	54,0%
Ocupação Volume - NAV1	21,2%	18,9%	30,9%	22,5%	19,6%	31,7%
Ocupação Volume - NAV2	29,8%	24,4%	38,6%	30,3%	29,5%	38,3%
Ocupação Volume - NAV2	34,0%	36,5%	38,2%	33,8%	41,7%	39,9%
Ocupação Volume - SSZ1	37,4%	43,7%	28,3%	40,8%	46,3%	32,0%
Ocupação Volume - SSZ2	50,9%	48,1%	48,8%	56,3%	49,0%	51,5%
Ocupação Volume - SSZ3	39,0%	46,5%	46,0%	40,8%	49,5%	50,8%

Indicadores	D900A	D900B	D900C	D1000A	D1000B	D1000C
Tempo de solução	11,201	10,046	19,813	26,489	27,222	4,29
Número de cargas	900	900	900	1000	1000	1000
Parcela das Cargas Aceitas	489	419	508	527	506	513
Cargas Aceitas Totalmente	478	407	492	512	486	492
Cargas Aceitas Parcialmente	28	29	35	34	41	42
% Cargas Aceitas	54%	47%	56%	53%	51%	51%
Demanda de Contêineres	21415	21747	21572	23956	24208	24347
Contêineres aceitos	11127	9315	11277	11969	11666	11627
% Contêineres aceitos	52%	43%	52%	50%	48%	48%
Oferta de Vazios	12418	13379	14050	12418	13379	14050
%Oferta/Demanda	58%	62%	65%	52%	55%	58%
%Oferta/TEUs Aceitos	112%	144%	125%	104%	115%	121%
Margem Bruta Total	22.507.490	25.867.484	26.591.419	25.892.365	28.490.306	29.914.518
Margem Aceita Total	12.365.090	11.676.355	14.483.776	13.382.189	14.490.873	15.004.907
Custo de Reposição	589.930	714.980	471.750	317.845	462.625	490.665
Margem Líquida Total	11.775.160	10.961.375	14.012.026	13.064.344	14.028.248	14.514.242
% Margem Liquida Total	52%	42%	53%	50%	49%	49%
Número de reposicionamentos	480	535	340	250	333	345
Reposicionamentos/TEUs	4,3%	5,7%	3,0%	2,1%	2,9%	3,0%
Ocupação Média	39,7%	35,2%	47,8%	41,4%	44,4%	49,0%
Ocupação Peso	39,7%	35,2%	47,8%	41,4%	44,4%	49,0%
Ocupação Volume	37,1%	34,0%	41,0%	38,9%	42,0%	48,0%
Ocupação Média - NAV1	19,5%	19,3%	42,6%	20,9%	23,0%	43,3%
Ocupação Média - NAV2	27,7%	23,7%	43,5%	28,5%	38,7%	45,9%
Ocupação Média - NAV2	49,2%	48,1%	49,8%	52,5%	51,7%	52,4%
Ocupação Média - SSZ1	51,7%	44,2%	44,2%	54,1%	54,7%	73,7%
Ocupação Média - SSZ2	61,2%	48,9%	59,2%	60,1%	57,4%	56,8%
Ocupação Média - SSZ3	46,8%	44,7%	59,3%	50,1%	69,7%	53,1%
Ocupação Peso - NAV1	19,5%	19,3%	42,6%	20,9%	23,0%	43,3%
Ocupação Peso - NAV2	27,7%	21,8%	43,5%	28,5%	36,2%	45,9%
Ocupação Peso - NAV2	49,2%	48,1%	49,8%	52,5%	51,7%	52,4%
Ocupação Peso - SSZ1	51,7%	44,2%	44,2%	54,1%	54,7%	48,7%
Ocupação Peso - SSZ2	61,2%	47,9%	59,2%	60,1%	57,4%	56,8%
Ocupação Peso - SSZ3	46,8%	44,7%	59,3%	50,1%	69,7%	53,1%
Ocupação Volume - NAV1	19,4%	16,9%	36,6%	20,7%	22,1%	37,9%
Ocupação Volume - NAV2	27,0%	23,7%	39,1%	27,8%	38,7%	41,1%
Ocupação Volume - NAV2	41,5%	46,3%	41,3%	44,7%	46,9%	43,8%
Ocupação Volume - SSZ1	48,6%	41,7%	35,3%	51,2%	49,1%	73,7%
Ocupação Volume - SSZ2	59,8%	48,9%	50,0%	59,5%	55,2%	51,3%
Ocupação Volume - SSZ3	42,4%	36,9%	55,0%	45,8%	59,2%	50,8%

Indicadores	**T_A**	**T_B**	**T_C**	**P_A**	**P_B**	**P_C**
Tempo de solução	19,937	352,047	2955,189	26,489	27,222	429,658
Número de cargas	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Parcela das Cargas Aceitas	529	526	519	527	506	513
Cargas Aceitas Totalmente	529	526	519	512	486	492
Cargas Aceitas Parcialmente	0	0	0	34	41	42
% Cargas Aceitas	53%	53%	52%	53%	51%	51%
Demanda de Contêineres	23956	24208	24347	23956	24208	24347
Contêineres aceitos	11787	11655	11562	11969	11666	11627
% Contêineres aceitos	49%	48%	47%	50%	48%	48%
Oferta de Vazios	12418	13379	14050	12418	13379	14050
%Oferta/Demanda	52%	55%	58%	52%	55%	58%
%Oferta/TEUs Aceitos	105%	115%	122%	104%	115%	121%
Margem Bruta Total	25.892.365	28.490.306	29.914.518	25.892.365	28.490.306	29.914.518
Margem Aceita Total	13.241.457	14.459.874	15.015.264	13.382.189	14.490.873	15.004.907
Custo de Reposição	244.655	520.608	563.450	317.845	462.625	490.665
Margem Líquida Total	12.996.802	13.939.266	14.451.814	13.064.344	14.028.248	14.514.242
% Margem Liquida Total	50%	49%	48%	50%	49%	49%
Número de reposicionamentos	187	361	398	250	333	345
Reposicionamentos/TEUs				2,1%	2,9%	3,0%
Ocupação Média	40,8%	43,8%	49,1%	41,4%	44,4%	49,0%
Ocupação Peso	40,8%	43,8%	49,1%	41,4%	44,4%	49,0%
Ocupação Volume	38,1%	41,9%	48,0%	38,9%	42,0%	48,0%
Ocupação Média - NAV1	20,6%	22,9%	42,7%	20,9%	23,0%	43,3%
Ocupação Média - NAV2	27,2%	38,7%	45,8%	28,5%	38,7%	45,9%
Ocupação Média - NAV2	52,7%	52,9%	53,2%	52,5%	51,7%	52,4%
Ocupação Média - SSZ1	53,9%	52,8%	72,5%	54,1%	54,7%	73,7%
Ocupação Média - SSZ2	60,0%	56,0%	56,1%	60,1%	57,4%	56,8%
Ocupação Média - SSZ3	47,5%	63,7%	54,1%	50,1%	69,7%	53,1%
Ocupação Peso - NAV1	20,6%	22,9%	42,7%	20,9%	23,0%	43,3%
Ocupação Peso - NAV2	27,2%	36,1%	45,8%	28,5%	36,2%	45,9%
Ocupação Peso - NAV2	52,7%	52,9%	53,2%	52,5%	51,7%	52,4%
Ocupação Peso - SSZ1	53,9%	52,8%	49,1%	54,1%	54,7%	48,7%
Ocupação Peso - SSZ2	60,0%	56,0%	56,1%	60,1%	57,4%	56,8%
Ocupação Peso - SSZ3	47,5%	63,7%	54,1%	50,1%	69,7%	53,1%
Ocupação Volume - NAV1	20,3%	22,7%	37,4%	20,7%	22,1%	37,9%
Ocupação Volume - NAV2	25,3%	38,7%	41,2%	27,8%	38,7%	41,1%
Ocupação Volume - NAV2	44,9%	48,0%	44,6%	44,7%	46,9%	43,8%
Ocupação Volume - SSZ1	51,0%	48,4%	72,5%	51,2%	49,1%	73,7%
Ocupação Volume - SSZ2	59,3%	54,8%	51,2%	59,5%	55,2%	51,3%
Ocupação Volume - SSZ3	44,1%	53,6%	51,7%	45,8%	59,2%	50,8%

Indicadores	N80_A	N90_A	N100_A	N110_A	N120_A
Tempo de solução	74,990	28,704	26,926	18,283	8,845
Número de cargas	1000	1000	1000	1000	1000
Parcela das Cargas Aceitas	494	516	527	544	558
Cargas Aceitas Totalmente	478	500	512	530	545
Cargas Aceitas Parcialmente	38	39	34	38	35
% Cargas Aceitas	49%	52%	53%	54%	56%
Demanda de Contêineres	23956	23956	23956	23956	23956
Contêineres aceitos	11385	11807	11969	12185	12436
% Contêineres aceitos	48%	49%	50%	51%	52%
Oferta de Vazios	12418	12418	12418	12418	12418
%Oferta/Demanda	52%	52%	52%	52%	52%
%Oferta/TEUs Aceitos	109%	105%	104%	102%	100%
Margem Bruta Total	25.892.365	25.892.365	25.892.365	25.892.365	25.892.365
Margem Aceita Total	12.501.361	13.048.706	13.382.189	13.697.349	13.983.351
Custo de Reposição	289.385	354.215	317.845	320.175	372.045
Margem Líquida Total	12.211.976	12.694.491	13.064.344	13.377.174	13.611.306
% Margem Liquida Total	47%	49%	50%	52%	53%
Número de reposicionamentos	229	286	250	252	294
Reposicionamentos/TEUs	2,0%	2,4%	2,1%	2,1%	2,4%
Ocupação Média	47,3%	44,4%	41,4%	38,8%	36,6%
Ocupação Peso	47,3%	44,4%	41,4%	38,8%	36,6%
Ocupação Volume	44,7%	41,9%	38,9%	36,3%	34,0%
Ocupação Média - NAV1	26,9%	23,9%	20,9%	18,7%	17,1%
Ocupação Média - NAV2	35,7%	31,7%	28,5%	25,9%	23,7%
Ocupação Média - NAV2	57,6%	54,4%	52,5%	49,0%	45,7%
Ocupação Média - SSZ1	58,5%	57,4%	54,1%	51,5%	49,9%
Ocupação Média - SSZ2	64,8%	63,4%	60,1%	60,0%	58,8%
Ocupação Média - SSZ3	60,3%	55,5%	50,1%	45,9%	41,8%
Ocupação Peso - NAV1	26,7%	23,7%	20,9%	18,7%	17,1%
Ocupação Peso - NAV2	35,7%	31,7%	28,5%	25,9%	23,7%
Ocupação Peso - NAV2	57,6%	54,4%	52,5%	49,0%	45,7%
Ocupação Peso - SSZ1	58,5%	57,4%	54,1%	51,5%	49,9%
Ocupação Peso - SSZ2	64,8%	63,4%	60,1%	60,0%	58,8%
Ocupação Peso - SSZ3	60,3%	55,5%	50,1%	45,9%	41,8%
Ocupação Volume - NAV1	26,9%	23,9%	20,7%	18,5%	17,0%
Ocupação Volume - NAV2	34,5%	31,1%	27,8%	25,2%	22,7%
Ocupação Volume - NAV2	50,0%	46,7%	44,7%	41,7%	39,0%
Ocupação Volume - SSZ1	55,4%	54,4%	51,2%	48,5%	46,4%
Ocupação Volume - SSZ2	63,7%	62,6%	59,5%	58,2%	56,3%
Ocupação Volume - SSZ3	55,7%	50,9%	45,8%	42,0%	38,3%

Indicadores	N80_B	N90_B	N100_B	N110_B	N120_B
Tempo de solução	27,721	26,083	27,347	17,004	24,071
Número de cargas	1000	1000	1000	1000	1000
Parcela das Cargas Aceitas	486	497	506	524	527
Cargas Aceitas Totalmente	461	474	486	506	513
Cargas Aceitas Parcialmente	47	44	41	39	35
% Cargas Aceitas	49%	50%	51%	52%	53%
Demanda de Contêineres	24208	24208	24208	24208	24208
Contêineres aceitos	11391	11548	11666	11937	11979
% Contêineres aceitos	47%	48%	48%	49%	49%
Oferta de Vazios	13379	13379	13379	13379	13379
%Oferta/Demanda	55%	55%	55%	55%	55%
%Oferta/TEUs Aceitos	117%	116%	115%	112%	112%
Margem Bruta Total	28.490.306	28.490.306	28.490.306	28.490.306	28.490.306
Margem Aceita Total	14.047.901	14.279.814	14.490.873	14.785.350	14.954.699
Custo de Reposição	498.225	487.140	462.625	491.830	440.455
Margem Líquida Total	13.549.676	13.792.674	14.028.248	14.293.520	14.514.244
% Margem Liquida Total	48%	48%	49%	50%	51%
Número de reposicionamentos	368	359	333	373	314
Reposicionamentos/TEUs	3,2%	3,1%	2,9%	3,1%	2,6%
Ocupação Média	50,1%	47,3%	44,4%	41,3%	38,6%
Ocupação Peso	50,1%	47,3%	44,4%	41,3%	38,6%
Ocupação Volume	47,9%	44,9%	42,0%	39,0%	36,2%
Ocupação Média - NAV1	27,2%	25,0%	23,0%	20,4%	18,6%
Ocupação Média - NAV2	46,4%	42,6%	38,7%	35,0%	30,9%
Ocupação Média - NAV2	56,1%	53,8%	51,7%	48,6%	47,0%
Ocupação Média - SSZ1	60,1%	57,3%	54,7%	50,9%	48,9%
Ocupação Média - SSZ2	60,9%	59,2%	57,4%	55,7%	53,9%
Ocupação Média - SSZ3	83,9%	77,1%	69,7%	64,7%	56,1%
Ocupação Peso - NAV1	27,2%	25,0%	23,0%	20,4%	18,6%
Ocupação Peso - NAV2	43,4%	39,8%	36,2%	32,8%	29,0%
Ocupação Peso - NAV2	56,1%	53,8%	51,7%	48,6%	47,0%
Ocupação Peso - SSZ1	60,1%	57,3%	54,7%	50,9%	48,9%
Ocupação Peso - SSZ2	60,9%	59,2%	57,4%	55,7%	53,9%
Ocupação Peso - SSZ3	83,9%	77,1%	69,7%	64,7%	56,1%
Ocupação Volume - NAV1	26,2%	24,1%	22,1%	19,8%	18,0%
Ocupação Volume - NAV2	46,4%	42,6%	38,7%	35,0%	30,9%
Ocupação Volume - NAV2	51,6%	49,2%	46,9%	43,9%	42,0%
Ocupação Volume - SSZ1	54,2%	51,6%	49,1%	46,0%	43,8%
Ocupação Volume - SSZ2	59,9%	57,5%	55,2%	52,7%	50,4%
Ocupação Volume - SSZ3	71,7%	65,7%	59,2%	55,0%	47,4%

Indicadores	**N80_C**	**N90_C**	**N100_C**	**N110_C**	**N120_C**
Tempo de solução	797,106	585,795	435,430	41,278	12,807
Número de cargas	1000	1000	1000	1000	1000
Parcela das Cargas Aceitas	487	500	513	525	539
Cargas Aceitas Totalmente	460	476	492	509	524
Cargas Aceitas Parcialmente	49	45	42	35	34
% Cargas Aceitas	49%	50%	51%	53%	54%
Demanda de Contêineres	24347	24347	24347	24347	24347
Contêineres aceitos	11411	11498	11627	11589	11801
% Contêineres aceitos	47%	47%	48%	48%	48%
Oferta de Vazios	14050	14050	14050	14050	14050
%Oferta/Demanda	58%	58%	58%	58%	58%
%Oferta/TEUs Aceitos	123%	122%	121%	121%	119%
Margem Bruta Total	29.914.518	29.914.518	29.914.518	29.914.518	29.914.518
Margem Aceita Total	14.299.598	14.662.924	15.004.907	15.432.262	15.731.558
Custo de Reposição	304.927	398.540	490.665	588.740	677.890
Margem Líquida Total	13.994.671	14.264.384	14.514.242	14.843.522	15.053.668
% Margem Liquida Total	47%	48%	49%	50%	50%
Número de reposicionamentos	245	297	345	406	448
Reposicionamentos/TEUs	2,1%	2,6%	3,0%	3,5%	3,8%
Ocupação Média	53,8%	51,3%	49,0%	46,2%	44,1%
Ocupação Peso	53,8%	51,3%	49,0%	46,2%	44,1%
Ocupação Volume	54,1%	51,0%	48,0%	44,9%	42,0%
Ocupação Média - NAV1	51,4%	47,2%	43,3%	38,3%	34,9%
Ocupação Média - NAV2	48,5%	47,2%	45,9%	44,4%	43,2%
Ocupação Média - NAV2	53,7%	52,9%	52,4%	50,6%	50,7%
Ocupação Média - SSZ1	86,0%	79,8%	73,7%	67,2%	61,2%
Ocupação Média - SSZ2	60,3%	58,7%	56,8%	56,1%	53,6%
Ocupação Média - SSZ3	62,9%	58,0%	53,1%	48,1%	43,3%
Ocupação Peso - NAV1	51,4%	47,2%	43,3%	38,3%	34,9%
Ocupação Peso - NAV2	48,5%	47,2%	45,9%	44,4%	43,2%
Ocupação Peso - NAV2	53,7%	52,9%	52,4%	50,6%	50,7%
Ocupação Peso - SSZ1	55,2%	51,9%	48,7%	45,2%	42,1%
Ocupação Peso - SSZ2	60,3%	58,7%	56,8%	56,1%	53,6%
Ocupação Peso - SSZ3	62,9%	58,0%	53,1%	48,1%	43,3%
Ocupação Volume - NAV1	45,1%	41,4%	37,9%	33,5%	30,5%
Ocupação Volume - NAV2	43,9%	42,4%	41,1%	39,5%	38,3%
Ocupação Volume - NAV2	45,8%	44,8%	43,8%	42,5%	41,7%
Ocupação Volume - SSZ1	86,0%	79,8%	73,7%	67,2%	61,2%
Ocupação Volume - SSZ2	57,7%	54,8%	51,3%	50,1%	45,5%
Ocupação Volume - SSZ3	60,4%	55,6%	50,8%	45,6%	41,1%

Indicadores	V80_A	V90_A	V100_A	V110_A	V120_A
Tempo de solução	13,603	213,145	27,518	25,226	10,936
Número de cargas	1000	1000	1000,000	1000,000	1000
Parcela das Cargas Aceitas	508	532	526,823	532,362	537
Cargas Aceitas Totalmente	488	518	512,000	520,000	524
Cargas Aceitas Parcialmente	42	32	34,000	33,000	31
% Cargas Aceitas	51%	53%	0,527	0,532	54%
Demanda de Contêineres	23956	23956	23956,000	23956,000	23956
Contêineres aceitos	11307	11651	11969,000	12153,000	12330
% Contêineres aceitos	47%	49%	0,500	0,507	51%
Oferta de Vazios	10437	11432	12418,000	13406,000	14388
%Oferta/Demanda	44%	48%	0,518	0,560	60%
%Oferta/TEUs Aceitos	92%	98%	104%	110%	117%
Margem Bruta Total	25.892.365	25.892.365	25.892.365	25.892.365	25.892.365
Margem Aceita Total	13.086.003	13.219.172	13.382.189	13.574.175	13.632.852
Custo de Reposição	232.960	234.020	317.845	450.160	476.165
Margem Líquida Total	12.853.043	12.985.152	13.064.344	13.124.015	13.156.687
% Margem Liquida Total	50%	50%	50%	51%	51%
Número de reposicionamentos	176	178	250	349	363
Reposicionamentos/TEUs	1,6%	1,5%	2,1%	2,9%	2,9%
Ocupação Média	40,4%	40,9%	41,4%	42,0%	42,3%
Ocupação Peso	40,4%	40,9%	41,4%	42,0%	42,3%
Ocupação Volume	37,8%	38,2%	38,9%	39,6%	39,9%
Ocupação Média - NAV1	20,2%	20,2%	20,9%	21,5%	21,9%
Ocupação Média - NAV2	26,7%	26,8%	28,5%	30,6%	30,9%
Ocupação Média - NAV2	51,9%	52,1%	52,5%	52,2%	52,4%
Ocupação Média - SSZ1	53,7%	53,8%	54,1%	53,9%	54,1%
Ocupação Média - SSZ2	59,8%	61,4%	60,1%	61,2%	61,5%
Ocupação Média - SSZ3	47,4%	49,9%	50,1%	51,0%	51,5%
Ocupação Peso - NAV1	20,2%	20,2%	20,9%	21,3%	21,8%
Ocupação Peso - NAV2	26,7%	26,8%	28,5%	30,6%	30,9%
Ocupação Peso - NAV2	51,9%	52,1%	52,5%	52,2%	52,4%
Ocupação Peso - SSZ1	53,7%	53,8%	54,1%	53,9%	54,1%
Ocupação Peso - SSZ2	59,8%	61,4%	60,1%	61,2%	61,5%
Ocupação Peso - SSZ3	47,4%	49,9%	50,1%	51,0%	51,5%
Ocupação Volume - NAV1	20,1%	20,1%	20,7%	21,5%	21,9%
Ocupação Volume - NAV2	25,1%	25,2%	27,8%	29,6%	30,0%
Ocupação Volume - NAV2	44,0%	44,3%	44,7%	44,7%	45,0%
Ocupação Volume - SSZ1	50,9%	51,1%	51,2%	51,2%	51,4%
Ocupação Volume - SSZ2	59,1%	60,3%	59,5%	60,4%	60,7%
Ocupação Volume - SSZ3	43,5%	45,8%	45,8%	46,5%	46,8%

Indicadores	V80_B	V90_B	V100_B	V110_B	V120_B
Tempo de solução	27,331	27,768	27,909	22,964	12,292
Número de cargas	1000	1000	1000,000	1000,000	1000
Parcela das Cargas Aceitas	470	497	505,541	522,477	529
Cargas Aceitas Totalmente	455	480	486,000	505,000	512
Cargas Aceitas Parcialmente	39	35	41,000	35,000	39
% Cargas Aceitas	47%	50%	0,506	0,522	53%
Demanda de Contêineres	24208	24208	24208,000	24208,000	24208
Contêineres aceitos	10936	11487	11666,000	11941,000	12142
% Contêineres aceitos	45%	47%	0,482	0,493	50%
Oferta de Vazios	11208	12300	13379,000	14460,000	15541
%Oferta/Demanda	46%	51%	0,553	0,597	64%
%Oferta/TEUs Aceitos	102%	107%	115%	121%	128%
Margem Bruta Total	28.490.306	28.490.306	28.490.306	28.490.306	28.490.306
Margem Aceita Total	13.911.864	14.298.670	14.490.873	14.643.671	14.802.384
Custo de Reposição	331.485	461.885	462.625	436.490	480.680
Margem Líquida Total	13.580.379	13.836.785	14.028.248	14.207.181	14.321.704
% Margem Liquida Total	48%	49%	49%	50%	50%
Número de reposicionamentos	261	340	333	318	334
Reposicionamentos/TEUs	2,4%	3,0%	2,9%	2,7%	2,8%
Ocupação Média	42,6%	43,6%	44,4%	44,9%	45,2%
Ocupação Peso	42,6%	43,6%	44,4%	44,9%	45,2%
Ocupação Volume	40,3%	41,4%	42,0%	42,5%	42,9%
Ocupação Média - NAV1	21,1%	21,9%	23,0%	24,1%	24,6%
Ocupação Média - NAV2	35,5%	38,5%	38,7%	38,6%	38,9%
Ocupação Média - NAV2	51,3%	51,4%	51,7%	52,6%	52,4%
Ocupação Média - SSZ1	52,5%	52,9%	54,7%	54,4%	54,6%
Ocupação Média - SSZ2	56,4%	56,7%	57,4%	57,4%	58,1%
Ocupação Média - SSZ3	65,8%	67,8%	69,7%	70,9%	72,0%
Ocupação Peso - NAV1	21,1%	21,9%	23,0%	24,1%	24,6%
Ocupação Peso - NAV2	33,4%	36,0%	36,2%	36,2%	36,3%
Ocupação Peso - NAV2	51,3%	51,4%	51,7%	52,6%	52,4%
Ocupação Peso - SSZ1	52,5%	52,9%	54,7%	54,4%	54,6%
Ocupação Peso - SSZ2	56,4%	56,7%	57,4%	57,4%	58,1%
Ocupação Peso - SSZ3	65,8%	67,8%	69,7%	70,9%	72,0%
Ocupação Volume - NAV1	20,2%	21,3%	22,1%	23,1%	24,0%
Ocupação Volume - NAV2	35,5%	38,5%	38,7%	38,6%	38,9%
Ocupação Volume - NAV2	46,0%	46,3%	46,9%	48,1%	48,2%
Ocupação Volume - SSZ1	47,7%	48,3%	49,1%	48,8%	48,9%
Ocupação Volume - SSZ2	54,5%	54,5%	55,2%	55,2%	55,7%
Ocupação Volume - SSZ3	56,7%	58,3%	59,2%	60,0%	60,9%

Indicadores	V80_C	V90_C	V100_C	V110_C	V120_C
Tempo de solução	26,910	100,776	459,205	61,760	31,653
Número de cargas	1000	1000	1000,000	1000	1000
Parcela das Cargas Aceitas	492	507	512,972	514	530
Cargas Aceitas Totalmente	472	484	492,000	495	512
Cargas Aceitas Parcialmente	40	44	42,000	35	37
% Cargas Aceitas	49%	51%	0,513	51%	53%
Demanda de Contêineres	24347	24347	24347,000	24347	24347
Contêineres aceitos	10736	11158	11627,000	11889	12126
% Contêineres aceitos	44%	46%	0,478	49%	50%
Oferta de Vazios	11776	12916	14050,000	15201	16329
%Oferta/Demanda	48%	53%	0,577	62%	67%
%Oferta/TEUs Aceitos	110%	116%	121%	128%	135%
Margem Bruta Total	29.914.518	29.914.518	29.914.518	29.914.518	29.914.518
Margem Aceita Total	14.477.345	14.773.437	15.004.907	15.215.820	15.386.369
Custo de Reposição	522.120	501.475	490.665	492.185	514.765
Margem Líquida Total	13.955.225	14.271.962	14.514.242	14.723.635	14.871.604
% Margem Liquida Total	47%	48%	49%	49%	50%
Número de reposicionamentos	350	354	345	345	358
Reposicionamentos/TEUs	3,3%	3,2%	3,0%	2,9%	3,0%
Ocupação Média	47,6%	48,1%	49,0%	49,3%	50,0%
Ocupação Peso	47,6%	48,1%	49,0%	49,3%	49,7%
Ocupação Volume	45,4%	46,7%	48,0%	49,0%	50,0%
Ocupação Média - NAV1	41,8%	41,9%	43,3%	43,6%	43,8%
Ocupação Média - NAV2	45,2%	45,4%	45,9%	46,0%	46,7%
Ocupação Média - NAV2	51,4%	50,5%	52,4%	51,7%	51,6%
Ocupação Média - SSZ1	64,7%	69,3%	73,7%	77,2%	80,9%
Ocupação Média - SSZ2	55,6%	56,4%	56,8%	58,5%	58,8%
Ocupação Média - SSZ3	49,2%	52,7%	53,1%	54,4%	57,1%
Ocupação Peso - NAV1	41,8%	41,9%	43,3%	43,6%	43,8%
Ocupação Peso - NAV2	45,2%	45,4%	45,9%	46,0%	46,7%
Ocupação Peso - NAV2	51,4%	50,5%	52,4%	51,7%	51,6%
Ocupação Peso - SSZ1	47,0%	48,5%	48,7%	48,9%	49,2%
Ocupação Peso - SSZ2	55,6%	56,4%	56,8%	58,5%	58,8%
Ocupação Peso - SSZ3	49,2%	52,7%	53,1%	54,4%	57,1%
Ocupação Volume - NAV1	36,5%	36,7%	37,9%	38,2%	38,4%
Ocupação Volume - NAV2	40,3%	40,6%	41,1%	41,1%	41,7%
Ocupação Volume - NAV2	42,5%	43,0%	43,8%	44,3%	44,5%
Ocupação Volume - SSZ1	64,7%	69,3%	73,7%	77,2%	80,9%
Ocupação Volume - SSZ2	50,4%	51,2%	51,3%	52,4%	52,5%
Ocupação Volume - SSZ3	45,5%	50,1%	50,8%	52,7%	54,8%