UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE MESTRADO EM ENGENHARIA DE SISTEMAS LOGÍSTICOS
JANAINA CARLI DE FREITAS

Proposta de dimensionamento de terminais modulares de contêineres dedicados à cabotagem no Brasil

São Paulo
2019

JANAINA CARLI DE FREITAS

Proposta de dimensionamento de terminais modulares de contêineres dedicados à cabotagem no Brasil

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

Área de Concentração:
Engenharia de Sistemas Logísticos

Orientador: Prof. Dr. Rui Carlos Botter

São Paulo
2019

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

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

São Paulo, _____ de _____ de _____

Assinatura do autor: _____

Assinatura do orientador: _____

Catalogação-na-publicação

Freitas, Janaina Carli
Proposta de dimensionamento de terminais modulares de contêineres dedicados à cabotagem no Brasil / J. C. Freitas -- versão corr. -- São Paulo, 2019.
83 p.

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

1.CABOTAGEM 2.SIMULAÇÃO 3.CONTÊINERES I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Produção II.t.

DEDICATÓRIA

À Neusa Maria Carli Moreira Freitas e ao
Alfredo Antônio de Freitas Neto, exemplos de
pais, vida e dedicação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, ao meu orientador Prof. Dr. Rui Carlos Botter, pela oportunidade, ensinamentos, convivência e pela confiança que sempre depositou em mim.

Aos professores da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo que desde a graduação se dedicaram à minha formação.

À todos do Centro de Inovação em Logística e Infraestrutura Portuária da Universidade de São Paulo pela ajuda, troca de experiências e suporte.

Aos meus amigos Júlia Coutinho Amaral, Renan Sallai Iwayama, Fábio Emanuel de Souza Morais e Maurício Vinícios Oliveira de Souza por toda a amizade, risadas, suporte e parceria durante o mestrado.

Ao Guilherme Bandones Corrêa que sempre esteve ao meu lado em todos os momentos, dando suporte e me fazendo acreditar que seria possível e que todo o esforço seria recompensado.

À minha família e amigos que sempre estiveram ao meu lado, acreditaram em mim e me apoiaram em todos os meus sonhos.

RESUMO

O Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) sinalizou a intenção de uma mudança substancial na matriz de transporte de cargas brasileira, com a diminuição do modal rodoviário e uma transição do modal aquaviário de 13 para 29% até 2025, o que só será possível com a ampliação da cabotagem. Desta forma, o presente trabalho dimensiona terminais "rápidos" de contêineres dedicados à cabotagem, que a partir de sua implantação possam ser ampliados gradativamente. Por meio de simulação de eventos discretos, o melhor *layout* modular, dimensionado por berço, foi definido de acordo com a demanda de contêineres movimentados e equipamentos utilizados, de forma a identificar gargalos e obter a melhor opção de modularização. Tal abordagem de terminais "rápidos" dedicados permitiria a desburocratização do sistema atual e a redução dos custos e tempos de transporte e armazenamento, tornando a cabotagem mais competitiva.

Palavras-chave: Terminal "rápido" de contêineres, cabotagem, simulação, *layout* modular.

ABSTRACT

The National Logistics and Transport Plan (PNLT) has the intention of a substantial change in the Brazilian cargo transportation matrix, with the reduction of the road modal and a transition from 13 to 29% in the waterway modal by 2025, which will only be possible with the increase of short sea shipping. Thus, the present work will size a modular “fast” containers terminal dedicated to short sea shipping, that when implemented could be gradually extended. Using discrete events simulation, the best modular layout, dimensioned by berths, was defined according to containers demand and chosen equipments, in order to identify bottlenecks and the best modularization option. Such an approach of dedicated "fast" terminals would allow the reduction of bureaucratization of the current system and transport and storage costs and times, making short sea shipping more competitive.

Keywords: “Fast” containers terminal, short sea shipping, simulation, modular layout.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Comparação do transporte terrestre versus o conceito “ideal” do *Motorways of the Sea* e a cabotagem convencional. 16

Figura 2 – Metodologia de Simulação. 18

Figura 3 – *Layout* geral de um terminal de contêineres. 21

Figura 4 – Rota entre portos em formato cíclico.....22

Figura 5 – Terminal de contêineres em uma abordagem sistêmica. 24

Figura 6 – Exemplo de Portêiner. 26

Figura 7 – Exemplo de MHC. 27

Figura 8 – Exemplo de chassis para contêineres de 20 e 40 pés. 28

Figura 9 – Exemplo de transtêiner RMG. 29

Figura 10 – Exemplo de transtêiner RTG. 30

Figura 11 – Exemplo de Reach Stacker – Modelo LRS645. 31

Figura 12 – Exemplo de Straddle Carrier. 32

Figura 13 – Evolução dos navios porta contêineres. 35

Figura 14 – Planta de um terminal de contêineres e seus equipamentos. 46

Figura 15 – Cenários do modelo de simulação. 47

Figura 16 – Ilustração de um pátio de contêineres com *layout* de blocos paralelo. ..47

Figura 17 – Modelo Conceitual. 56

Figura 18 – Vista das quadras de acordo com o equipamento de retaguarda. 70

Figura 19 – Vista em planta do terminal STS10, cais do Saboó – Porto de Santos. 76

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Curva típica de recebimento de contêineres.....51

Gráfico 2 – Curva ajustada de recebimento de caminhões – Movimentação 6000 TEU/navio. 51

Gráfico 3 – Curva ajustada de recebimento de caminhões – Movimentação 8000 TEU/navio. 52

Gráfico 4 – Número de replicações. 58

Gráfico 5 – Tempo de fila de (des)armazenamento de contêineres em minutos de acordo com o número de RTGs. 59

Gráfico 6 – Número máximo de caminhões em espera por porcentagem de carregamento e descarregamento/navio.....62

Gráfico 7 – Número máximo de caminhões em espera por porcentagem de carregamento e descarregamento/ navio.....62

Gráfico 8 – Número máximo de contêineres *standard* desembarcados – Movimentação 6000 TEU/navio. 63

Gráfico 9 - Número máximo de contêineres *standard* embarcados – Movimentação 6000 TEU/navio. 64

Gráfico 10 - Número máximo de contêineres vazios – Movimentação 6000 TEU/navio. 64

Gráfico 11 - Número máximo de contêineres especiais e refrigerados – Movimentação 6000 TEU/navio. 65

Gráfico 12 – Número máximo de contêineres *standard* desembarcados – Movimentação 8000 TEU/navio. 65

Gráfico 13 - Número máximo de contêineres *standard* embarcados – Movimentação 8000 TEU/navio. 66

Gráfico 14 - Número máximo de contêineres vazios – Movimentação 8000 TEU/navio. 66

Gráfico 15 - Número máximo de contêineres especiais e refrigerados – Movimentação 8000 TEU/navio. 67

Gráfico 16 – Armazenamento de contêineres *standard* desembarcados com o passar do tempo.. 68

Gráfico 17 – Área de armazenamento e estacionamento por porcentagem de carregamento e descarregamento direto. 69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Caracterização dos contêineres por cabotagem no Brasil. 20

Tabela 2 – Dimensões para contêineres de carga série 1. 33

Tabela 3 – Área necessária por TEU. 41

Tabela 4 - Caracterização dos contêineres. 49

Tabela 5 – Tempos de permanência dos contêineres nos terminais das diferentes regiões do globo. 50

Tabela 6 - Número de contêineres movimentados por navio. 54

Tabela 7 – Ocupação do berço e de equipamento de cais e retaguarda - Movimentação 6000 TEU/navio. 59

Tabela 8 – Ocupação do berço e de equipamento de cais e retaguarda - Movimentação 8000 TEU/navio. 60

Tabela 9 – Tempos médios de fila em horas - Movimentação 6000 TEU/navio.....60

Tabela 10 – Tempos médios de fila em horas - Movimentação 8000 TEU/navio.....61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Vantagens dos terminais “rápidos”. 15

Quadro 2 – Características de um terminal de contêineres rápido dedicado à cabotagem. 36

Quadro 3 – Revisão da literatura.....48

Quadro 4 – Dados de entrada. 53

Quadro 5 – Resultados esperados do modelo. 57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AASHTO: *American Association of Highway and Transportation Officials*
AGVs: *Automated Guidance Vehicles*
ANTAQ: Agência Nacional de Transportes Aquaviários
AS/RS: *High-Rise Automated Storage and Retrieval Structure*
CNT: Confederação Nacional do Transporte
DER/SP: Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DRMG: *Double Rail Mounted Gantry Crane*
GR: *Overhead Grid Rail System*
LMCS: *Linear Motor Conveyance System*
MHC: *Mobile Harbor Crane*
MoS: *Motorways of the Sea*
PNLT: Plano Nacional de Logística e Transportes
RMG: *Rail Mounted Gantry*
Ro-Ro: *Roll-on/roll-off*
RTG: *Rubber Tired Gantry*
SRMG: *Single Rail Mounted Gantry Crane*
STS: *Ship to Shore Crane*
TEU: *Twenty feet Equivalent Unit*
TriRMG: *Triple Rail Mounted Gantry Crane*
TRMG: *Twin Rail Mounted Gantry Crane*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14

1.1 Motivação 14

1.2 Objetivos 16

1.3 Metodologia de pesquisa 17

1.4 Delineamento do trabalho 19

2. CARACTERIZAÇÃO DE UM TERMINAL DE CONTÊINERES "RÁPIDO" 20

2.1 Sistema dedicado à cabotagem proposto 22

2.2 Subsistemas de um terminal de contêineres "rápido" 23

2.3 Equipamentos 25

2.4 Contêineres 33

2.5 Navios 34

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 37

3.1 Terminal de contêineres "rápido" 37

3.2 Dimensionamento e análise de *layouts* de terminais de contêineres 39

4. SIMULAÇÃO DO TERMINAL DE CONTÊINERES "RÁPIDO" 49

4.1 Concepção do modelo 49

4.1.1. Premissas adotadas 49

4.1.2. Dados de entrada 53

4.1.3. Modelo conceitual 54

4.1.4. Resultados esperados do modelo 57

4.2 Implementação e análise dos resultados do modelo 57

4.2.1. Número de replicações 57

4.2.2. Resultados 58

4.2.3. Validação do modelo 68

5. *LAYOUT* MODULAR 69

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES 77

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 79

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de dimensões continentais que concentra 60% de sua economia a menos de 250 km de sua costa e apresenta uma divisão desproporcional em sua matriz de transportes, que segundo dados da CNT, transporta 61% de sua carga pelo modal rodoviário.

Tais fatores de desproporcionalidade da matriz e distribuição territorial refletem a subutilização do modal aquaviário, mais econômico e sustentável, por consumir em média, segundo Teixeira *et al*. (2018), 4,1 litros de combustível para transportar uma tonelada por mil quilômetros e emitindo 20 g/TKU de gás carbônico, o que representa 27% do combustível utilizado e um quinto do gás carbônico emitido em média pelo modal rodoviário.

A implementação de terminais de contêineres dedicados à cabotagem aperfeiçoaria a cadeia logística, com redução dos custos de transporte, que segundo Teixeira *et al.* (2018) são em média de R$50,74/t por 1000 km para o modal cabotagem e R$239,74/t por 1000 km para o modal rodoviário, e diminuição do tempo de permanência da carga no terminal, uma vez que possibilitaria a diferenciação de tratamento entre cargas de cabotagem e cargas de importação e exportação, atualmente tratadas sob regras aduaneiras semelhantes, que impossibilitam a rápida liberação das cargas de cabotagem, sendo desta forma, necessárias mudanças na legislação vigente.

1.1 Motivação

O Plano Nacional de Logística e Transportes (PNLT) sinalizou a intenção de uma mudança substancial na matriz de transporte de cargas brasileira, com a diminuição do modal rodoviário e uma transição do modal aquaviário de 13 para 29% da matriz até 2025, o que só seria possível com a ampliação da cabotagem.

A cabotagem tem por definição legal, no art. 2º, IX da Lei Nº 9.432 (1997), a navegação realizada entre portos ou pontos do território brasileiro, utilizando a via

marítima ou esta e as vias navegáveis interiores.

Neste contexto de ampliação da cabotagem, e a fim de evitar a saturação de suas principais estradas e rotas, na Europa foi criada a “Motorways of the Sea”, que são corredores marítimos que atuam como uma alternativa competitiva em termos de preços e parâmetros de serviço ao modal rodoviário, com o uso de navios Ro-Ro para pequenas distâncias e navios porta contêineres para distâncias maiores.

Em tal conjuntura, a cabotagem tradicional se aprimorou com o uso de “terminais rápidos” dedicados, com requisitos de eficiência apresentados no quadro 1 a seguir:

Quadro 1 – Vantagens dos terminais “rápidos”.

Cabotagem convencional	**Terminais "rápidos"**
Carga de cabotagem e cargas de importação e exportação tratadas sob regras aduaneiras semelhantes.	Carga de cabotagem segregada das demais, simplificando processos administrativos e aduaneiros.
Longos tempos de permanência do contêiner no terminal, muitas vezes usado como área de estoque.	Diminuição do tempo de permanência do contêiner no terminal, com conexões rápidas entre modais e sistema automatizado de carga e descarga.
Pequena quantidade de rotas regulares e baixa frequência do serviço, diminuindo a atratividade da cabotagem e sobrecarregando o sistema rodoviário.	Infraestrutura de controle de tráfego, monitoramento de navios e carga fora dos portos, e transmissão eficiente e informatizada de dados, com altos níveis de confiabilidade e frequência do serviço.

Fonte: APP, 2007 adaptado.

De forma "ideal", este novo conceito permitiria uma continuidade entre modais, como indicado na Figura 1, que compara a cabotagem convencional, a “ideal” e o transporte terrestre, em que os fluxos de mercadorias se movem do mesmo modo que em uma rodovia, sem pontos que dificultam a mudança de modais, sem maiores burocracias, pontos de “fricção”, que induzem atrasos, custos adicionais de armazenagem ou avarias, em um sistema simplificado e dedicado, com disponibilidade de serviço quase imediata e com altos níveis de confiabilidade.

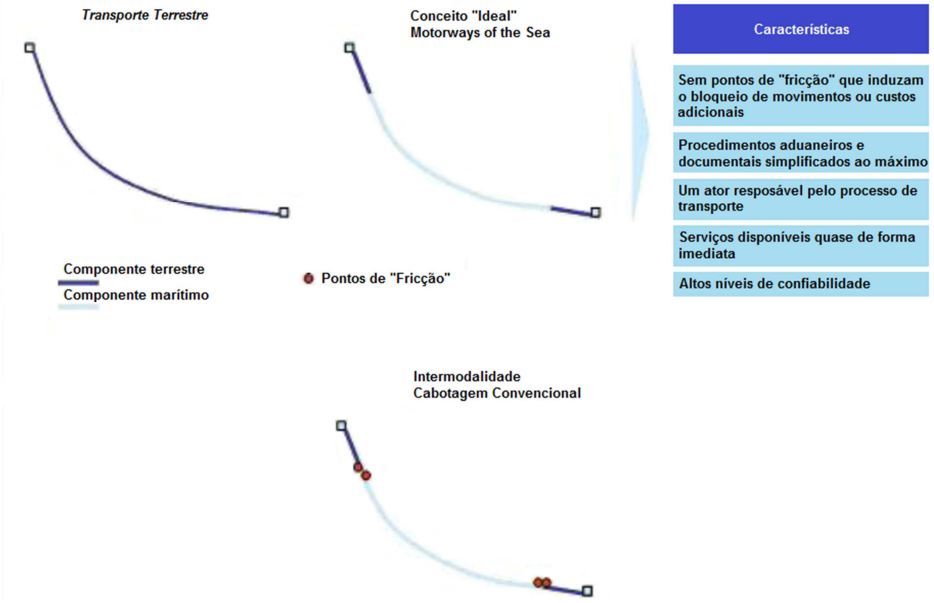


Figura 1 – Comparação do transporte terrestre versus o conceito "ideal" do *Motorways of the Sea* e a cabotagem convencional.
Fonte: APP (2007).

Desta forma, o crescimento do modal aquaviário na matriz de transportes do Brasil, mais econômico e ambientalmente sustentável, e a implantação e ampliação gradativa de terminais de contêineres dedicados, que eliminariam o excesso de burocracias e ampliariam a eficiência e eficácia da cadeia logística do país, são os fatores motivadores para a escolha do tema de pesquisa.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem por objetivo dimensionar as áreas de retaguarda de um "terminal rápido" de contêineres dedicado à cabotagem e obter *layouts* modulares, para a ampliação gradual do sistema, uma vez que este possibilitaria a mudança de parte da carga rodoviária para o modal cabotagem.

Os *layouts* modulares são uma opção de configuração do terminal "rápido" de contêineres, que possibilitam sua ampliação gradativa, uma vez que especificam suas áreas de retaguarda necessárias por berço, e que podem ser implementados tanto em terminais já existentes quanto em novos terminais exclusivos, desde que a carga de cabotagem se mantenha isolada das demais cargas. Tais terminais poderiam ser implementados tanto em portos organizados, em áreas de concessão, quanto em TUPs que estejam interessados.

Desta forma, esse trabalho pretende responder qual o número de equipamentos e qual a área de retaguarda, dentre vias internas, área adjacente ao berço e quadras de contêineres vazios, *standard* e especiais e refrigerados, necessários para uma dada movimentação de contêineres por berço.

Com a finalidade de posicionar o leitor no assunto, mesmo que este não apresente profundo conhecimento na área, o trabalho apresenta os aspectos básicos de um terminal de contêineres, abrangendo subsistemas, equipamentos e principais especificidades, delineando assim as principais atividades consideradas na simulação.

Em âmbito acadêmico, o trabalho possui o enfoque de entendimento e planejamento das áreas de retaguarda de um terminal “rápido” dedicado, com o uso eficiente de equipamentos e espaços, e uma curva de chegada de contêineres, que reflita a desburocratização do sistema, com transmissão de dados eficaz e informatizada, permitindo um fluxo eficiente de mercadorias, sem maiores atrasos e custos adicionais de armazenamento no terminal, diferenciando-se assim dos demais trabalhos por priorizar a competitividade da cabotagem perante o modal rodoviário, com a diminuição dos custos e tempos de transporte porta-a-porta, devido à redução do tempo de permanência do contêiner no porto.

1.3 Metodologia de pesquisa

Dado o objetivo de dimensionar as áreas de retaguarda de um terminal de contêineres dedicado e obter sua melhor opção de *layout* modular, dimensionado por berço, a metodologia de pesquisa operacional baseada em modelos quantitativos e simulação se mostra a mais eficiente.

Sendo a pesquisa operacional, segundo Miguel et al. (2012), uma abordagem científica que auxilia na tomada de decisão para melhor operar e planejar sistemas, alocando de forma eficiente recursos, seguindo as fases de definição do problema, construção do modelo matemático ou simulação, solução e validação do modelo e implementação da solução.

O uso de simulação computacional, de tipologia empírica descritiva, se justifica, para

o dimensionamento de terminais de contêineres, pois o problema em questão apresenta aleatoriedades e tem natureza complexa e dinâmica, além de permitir uma melhor compreensão do sistema por meio da análise de cenários que consideram diferentes métodos operacionais de forma simplificada, se comparada a modelos analíticos, para a modelagem de restrições e peculiaridades do processo.

Para o estudo, será utilizada a simulação de eventos discretos, em que a mudança de estado ocorre a partir de eventos em instantes discretos de tempo (BANKS et al., 2004), que indicam o início ou término de uma atividade. Sendo o modelo de simulação, como indicado na Figura 2, concebido por três grandes etapas, de acordo com Chwif e Medina (2010):

Figura 2 – Metodologia de Simulação.
Fonte: Chwif e Medina (2010).

- Concepção ou formulação do modelo: Entendimento do sistema a ser simulado e seus objetivos; definição do escopo do modelo, premissas e seu detalhamento (modelo abstrato); dados de entrada; e formulação do modelo conceitual.
- Implementação do modelo: Conversão do modelo conceitual para modelo computacional, avaliando se seu desempenho atende aos objetivos da etapa de concepção, por meio de alguns testes que verifiquem sua representação precisa da realidade em uma etapa intermediária de validação do modelo.
- Análise dos resultados do modelo: com a validação do modelo computacional, tem-se o modelo experimental ou operacional, em que são efetuadas “rodadas” que geram resultados, a serem analisados e documentados, para que fundamentem conclusões e recomendações sobre o sistema.

Caso necessário, o ciclo pode ser reiniciado, para que o problema seja mais bem entendido e identificado corretamente.

Premissas adotadas, especificações do modelo, seus dados de entrada, relativos à proporção de tipos de contêineres retirados do anuários da ANTAQ, curvas de chegada de caminhões ao porto, ajustadas de acordo com uma curva típica segundo Sá Peixoto (2005) e demais etapas da simulação estão descritos no capítulo 4, Simulação do Terminal de Contêineres “rápido”.

1.4 Delineamento do trabalho

A dissertação foi estruturada nos seguintes capítulos descritos a seguir:

No capítulo 1, é apresentada a caracterização do problema, sua justificativa, motivação, objetivos gerais e específicos e metodologia de estudo.

O capítulo 2 detalha um terminal de contêineres “rápido” de forma sistêmica, caracterizando seus subsistemas, equipamentos e especificidades.

O capítulo 3 apresenta o levantamento histórico de estudos com características de um terminal de contêineres “rápido” e de dimensionamento de terminais de contêineres, contendo desde fórmulas matemáticas para cálculo de áreas de retaguarda até normas técnicas de traçado viário.

No capítulo 4, é apresentada a simulação realizada, seguindo as etapas de concepção, implementação e análise dos resultados do modelo.

O capítulo 5 apresenta os *layouts* modulares gerados e o critério utilizado para sua seleção dentre os cenários analisados.

E por fim, o capítulo 7 apresenta as conclusões da dissertação e sugestões de trabalhos futuros.

2. CARACTERIZAÇÃO DE UM TERMINAL DE CONTÊINERES “RÁPIDO”

Iniciado em 1956 nos Estados Unidos e com o primeiro contêiner desembarcado no Brasil em 1965, o transporte marítimo de contêineres tem crescido substancialmente no Brasil e no mundo, tendo em vista que a conteinerização possibilita o aumento de produtividade dos terminais, facilita a transferência entre modais e diminui acidentes e perdas e avarias de carga, reduzindo assim custos logísticos e facilitando o transporte de bens.

Desta forma, o primeiro terminal especializado em contêineres do Brasil foi inaugurado em 1981, TECON, no Porto de Santos, sendo um terminal especializado na movimentação de carga unitizada, realizando a carga e a descarga de navios porta contêiner, o armazenamento de contêineres e serviços acessórios ligados à conteinerização.

No Brasil, segundo o anuário da ANTAQ de 2016, a carga de cabotagem movimentada por contêineres, divididos por diferentes tamanhos, tipos e cheios e vazios, conforme a tabela 1, foi de 2.250.882 TEU, distribuídos por 21 diferentes portos, sendo 9 desses portos responsáveis por 80% dessa carga.

Tabela 1 – Caracterização dos contêineres por cabotagem no Brasil.

Por Tamanho			
Contêineres de 40’ (%)		73,2	
Contêineres de 20’ (%)		25,7	
Outros contêineres (%)		1,0	
Cheios X Vazios			
Contêineres cheios (%)		57,3	
Contêineres vazios (%)		42,7	
Tipos de contêineres			
Convencional (%)	30,9	Opentop (%)	0,8
High cube (%)	20,9	Granel (%)	0,8
Ventilado high cube (%)	20,7	Tanque (%)	0,5
Refrigerado high cube (%)	8,9	Plataforma (%)	0,5
Ventilado (%)	7,2	Refrigerado outros (%)	0,2
Convencional outros (%)	6,8	Hardtop high cube (%)	0,1
Refrigerado Box (%)	1,6	Demais (%)	0,0

Fonte: Anuário ANTAQ (2016).

Segundo Teixeira (2018), a cabotagem por contêineres corresponde a aproximadamente 20% de toda a cabotagem realizada no país, sendo seu transporte, com pequena quantidade de rotas regulares e baixa frequência, feito por uma frota de doze navios porta contêineres, operados por quatro empresas, que totalizam uma capacidade de transporte de carga de 524,3 mil toneladas, por volta de 46 mil TEU.

Um *layout* geral de um terminal de contêineres é apresentado na figura 3, nele consta uma área adjacente ao berço, onde equipamentos de cais operam, áreas de armazenamento de contêineres *standard*, contêineres vazios e contêineres especiais, podendo ser refrigerados ou de carga perigosa, por exemplo, além de uma área de chegada e saída de veículos terrestres.

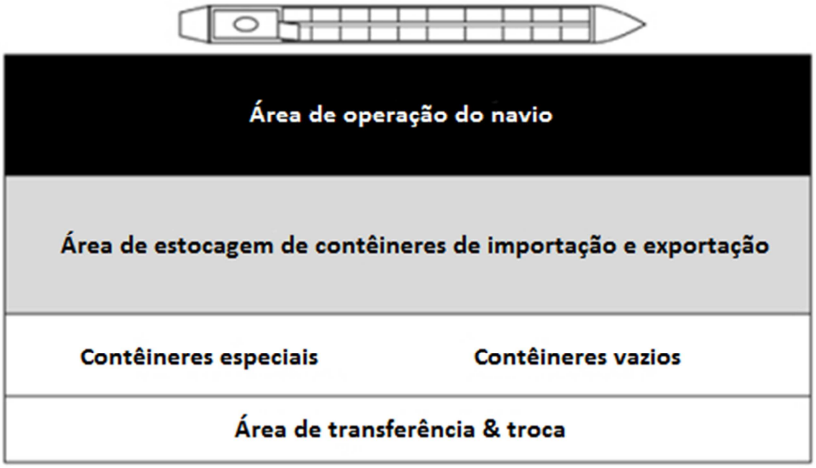


Figura 3 – *Layout* geral de um terminal de contêineres.
Fonte: Alderton, A. (2008).

Os contêineres que passam por um terminal de contêineres podem ser desembarcados, embarcados ou de transbordo, sendo movimentados de acordo com seu destino.

Os contêineres desembarcados são aqueles que aguardam sua retirada por via terrestre, os contêineres embarcados e de transbordo são aqueles que aguardam seu embarque por via marítima, tendo chegado ao terminal por via terrestre e via marítima, respectivamente.

O armazenamento de contêineres na retaguarda é organizado conforme regras de armazenagem, que para contêineres embarcados, por exemplo, seguem requisitos tais como o navio de embarque, porto de destino, tipo de contêiner e sua classe de peso, com a formação de pilhas em quadras, dimensionadas de acordo com o

equipamento de retaguarda usado. Essa organização permite uma melhor ocupação do espaço, melhoria na produtividade dos equipamentos, com a diminuição de movimentos desnecessários e uma maior fluidez da operação.

Desta forma, um terminal de contêineres relaciona seu *layout* à demanda de carga que movimenta e às características dos equipamentos, contêineres e embarcações que utiliza.

2.1 Sistema dedicado à cabotagem proposto

Como estudado por Corrêa *et al*. (2016), o sistema dedicado à cabotagem proposto se baseia em rotas próprias e específicas entre portos, com formato cíclico, sendo espressa por uma frequência média.

Um exemplo de rota cíclica é apresentado na figura 4, que em formato de oito, inicia a rota em Santos, seguindo para Suape, Santos, Rio Grande e retorna para Santos, onde o ciclo se reinicia.

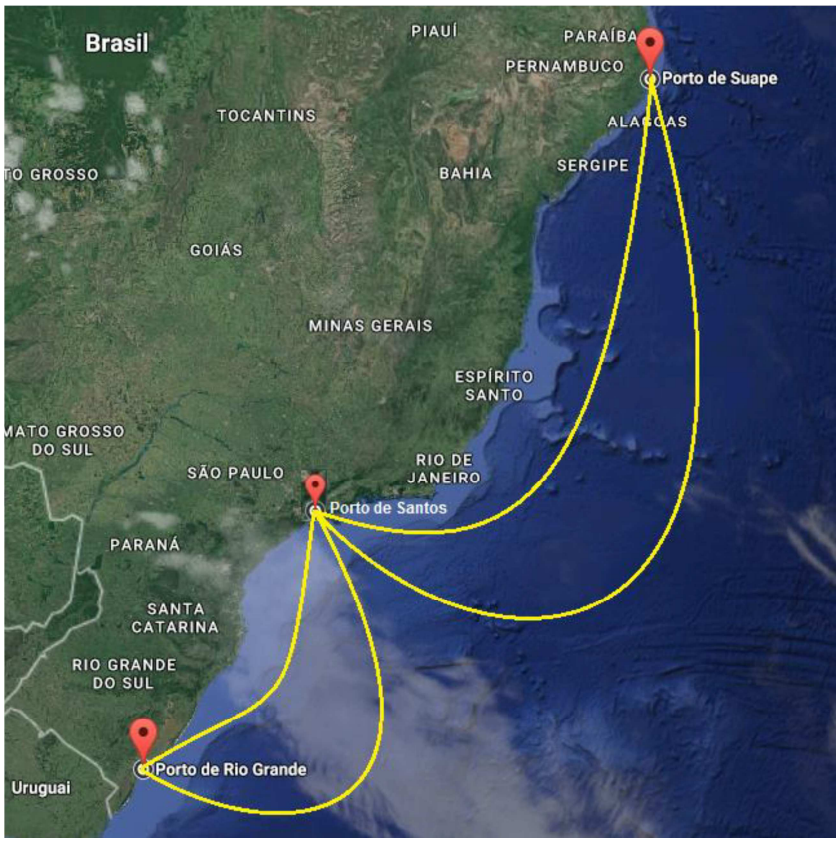


Figura 4 – Rota entre portos em formato cíclico.
Fonte: Corrêa (2016).

Sendo importante salientar que o presente trabalho não estuda uma rota cíclica específica, mas sim adota uma frequência média para a chegada de navios de forma a maximizar a ocupação do sistema para o dimensionamento da área de retaguarda em seu limite de operação.

Tais rotas cíclicas são importantes para que haja disponibilidade e frequência do serviço de cabotagem, possibilitando que parte da carga atualmente transportada pelo modal rodoviário seja transferida gradativamente para o modal cabotagem à medida que novas rotas são criadas e novos terminais “rápidos” dedicados à cabotagem são implementados.

2.2 Subsistemas de um terminal de contêineres “rápido”

A fim de melhor compreender o dimensionamento das áreas de retaguarda de um terminal de contêineres dedicado à cabotagem e possibilitar sua modelagem, de acordo com a capacidade associada a níveis de serviço, foi adotada uma abordagem sistêmica, em que o sistema terminal de contêineres foi dividido em subsistemas, de acordo com a figura 5.

Subsistema costado: Caracterizado pela atracação e desatracação de navios no terminal, com disponibilidade de serviço e altos níveis de confiabilidade, de acordo com a curva de chegada de navios e número de berços disponíveis, ditado pela demanda por contêineres no terminal.

Subsistema operação: Responsável pelo descarregamento (contêineres desembarcados) e carregamento (contêineres embarcados) de contêineres nos navios, tendo sua janela de operação compatível com a disponibilidade de contêineres e equipamentos de cais.

Subsistema movimentação: Responsável pela movimentação de contêineres entre navios, retaguarda e veículos terrestres, em que a decisão entre o armazenamento de contêineres de forma empilhada e a sua transição direta entre modais estabelecerá as áreas necessárias para o dimensionamento da retaguarda do terminal.

Subsistema terrestre: Caracteriza a chegada e a saída de veículos terrestres com sistema de agendamento, de forma simplificada, com redução do tempo de permanência da carga no terminal, sem excesso de burocracia, e dedicada à cabotagem, possibilitando um fluxo eficiente de bens conteinerizados, de acordo com a curva de chegada de veículos terrestres.

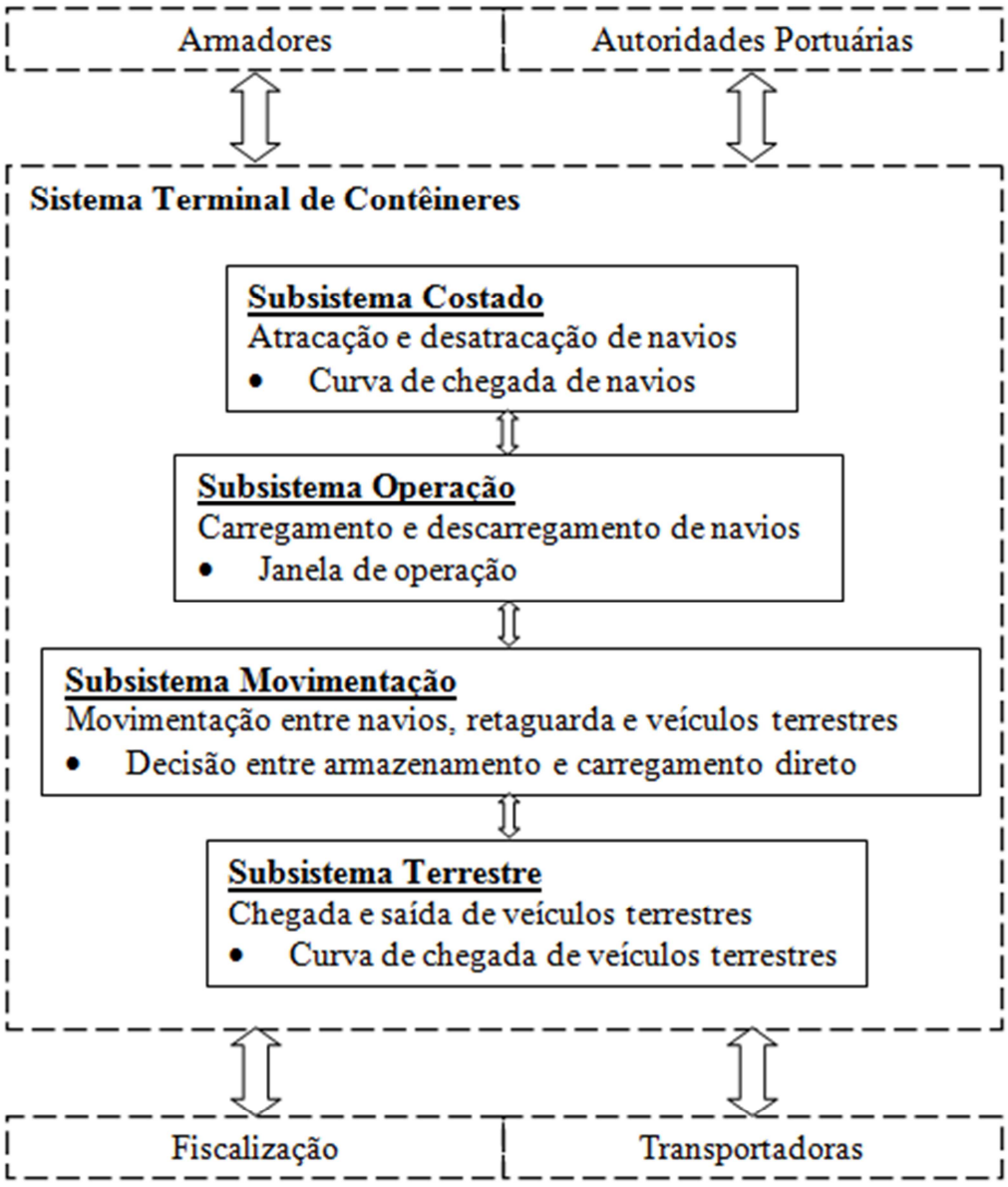


Figura 5 – Terminal de contêineres em uma abordagem sistêmica.
Fonte: A autora.

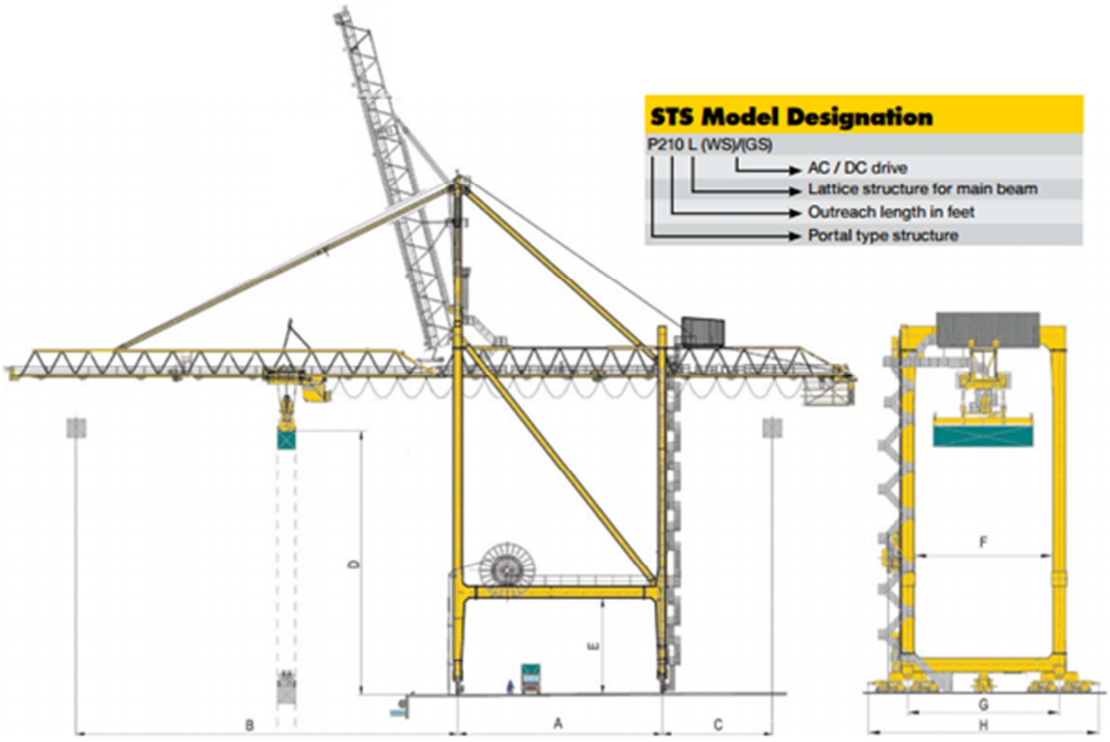
Tal abordagem, segundo Gualda (1995), possibilita atingir a demanda desejada para o sistema com o balanceamento das capacidades dos subsistemas, por meio da diminuição de excessos ou aumento de componentes restritivos.

2.3 Equipamentos

Os equipamentos utilizados em um terminal de contêineres são diretamente relacionados à sua produtividade, ocupação, área e configuração de *layout* e vias internas, podendo ser classificados de acordo com seu local de operação, em equipamentos de cais e retaguarda. Os equipamentos mais utilizados são descritos a seguir:

O *ship to shore crane* (STS) é um equipamento de cais movido à energia elétrica, apresenta a função de carregar e descarregar o navio, por meio de uma lança em balanço e trilhos, tendo seu alcance relacionado ao tipo de navio que podem operar, sendo ele do tipo Feeder, Panamax, Post-Panamax e Super Post-Panamax. Segundo Thoresen (2003) apresenta velocidade de carregamento entre 30 e 40 contêineres por hora.

A figura 6 apresenta exemplos de STS das classes Feeder a Super Post-Panamax, que possuem um alcance de lança que varia de 30 a mais de 70m, atingindo fileiras de 13 a mais de 20 contêineres no navio.



Typical Design Parameters*	
Classification according to F.E.M.	U7-Q2-A7
In service wind speed	72 km/h (20 m/s)
Out of service wind speed	151.2 km/h (42 m/s)
Ambient temperature range	-40° to 50°C
Frequency	50 Hz to 60 Hz
Voltage	3.3 kV to 20 kV

*Other features, dimensions and design parameters also available

Typical Feeder - Panamax Crane*	
B: Outreach	30 - 40 m
D: Lift height	24 - 30 m
SWL	40/50 t single | 65 t twin
Hoisting speed	50/125 m/min
Trolley speed	150 - 180 m/min
Travel speed	45 m/min
Wheel load**	30 - 45 t per metre

**Based on 8 wheels per corner at 1 m spacing

Typical Post Panamax Crane*	
B: Outreach	40 - 45 m
D: Lift height	30 - 35 m
SWL	40/50 t single | 65 t twin
Hoisting speed	60/150 m/min
Trolley speed	180 - 210 m/min
Travel speed	45 m/min
Wheel load**	40 - 55 t per metre

**Based on 8 wheels per corner at 1 m spacing

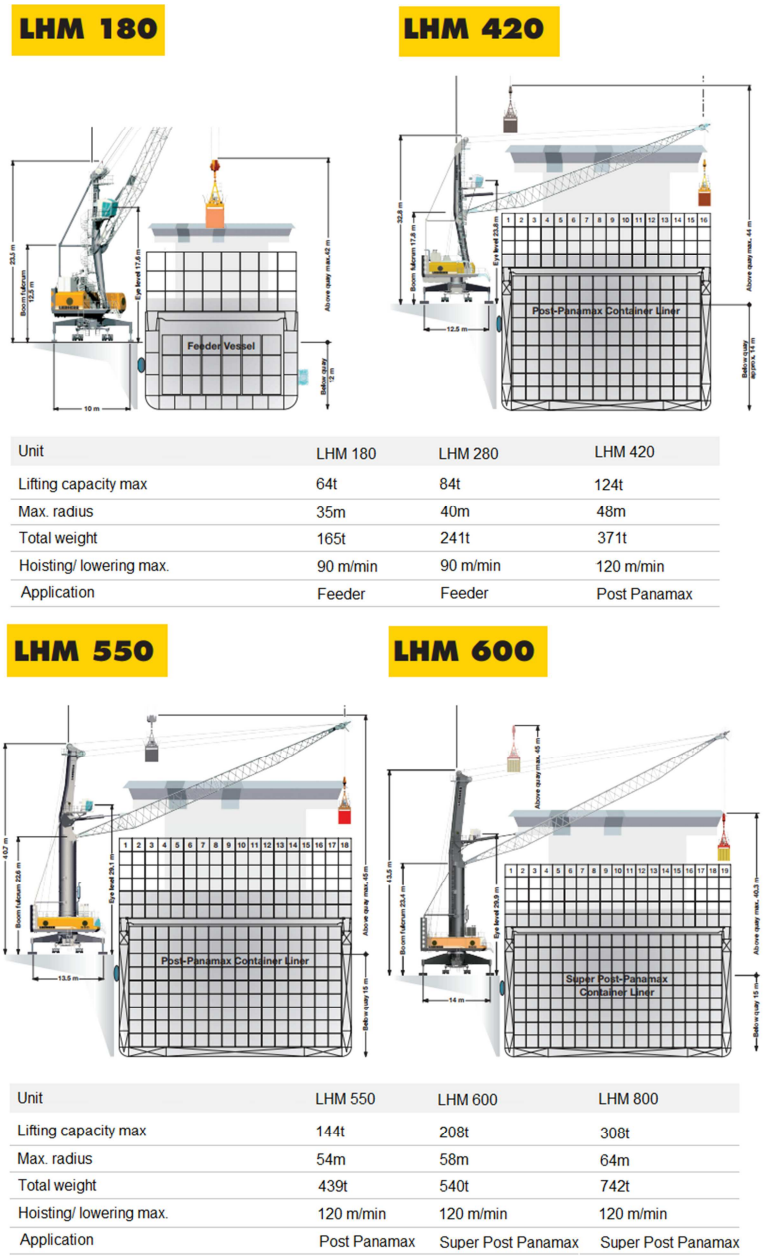
Typical Super Post Panamax/ Megamax Crane*	
B: Outreach	46 - 70+ m
D: Lift height	30 - 49 m
SWL	65 t twin | 80 t tandem
Hoisting speed	70/175 m/min
Trolley speed	210 - 240 m/min
Travel speed	45 m/min
Wheel load**	60 - 80 t per metre

**Based on 8 wheels per corner at 1 m spacing

Figura 6 – Exemplo de Portêiner.
Fonte: http://www.liebherr.com.br - Agosto/2017.

Uma alternativa ao STS é o guindaste móvel sobre pneus ou *mobile harbor crane* (MHC), que apresenta maior mobilidade por estar apoiado sobre pneus, porém uma menor produtividade. Segundo Thoresen (2003) apresenta velocidade de carregamento entre 15 e 25 contêineres por hora.

A figura 7 apresenta exemplos de MHCs que atendem de navios Feeder a Super Post-Panamax, que possuem um alcance de lança que varia de 35 a 64m, atingindo fileiras de 8 a 22 contêineres no navio.



Unit	LHM 180	LHM 280	LHM 420
Lifting capacity max	64t	84t	124t
Max. radius	35m	40m	48m
Total weight	165t	241t	371t
Hoisting/ lowering max.	90 m/min	90 m/min	120 m/min
Application	Feeder	Feeder	Post Panamax

Unit	LHM 550	LHM 600	LHM 800
Lifting capacity max	144t	208t	308t
Max. radius	54m	58m	64m
Total weight	439t	540t	742t
Hoisting/ lowering max.	120 m/min	120 m/min	120 m/min
Application	Post Panamax	Super Post Panamax	Super Post Panamax

Figura 7 – Exemplo de MHC.
Fonte: http://www.liebherr.com.br - Agosto/2017.

Os caminhões/*chassis* ou semirreboques, figura 8, que transitam tanto nos subsistemas terrestre, movimentação e operação, com velocidade entre 25 e 30 km/h, são estruturas sobre rodas preparadas para transportar contêineres de 20 e 40 pés. Quando utilizados como transição direta entre modais, ou seja, sem o armazenamento de contêineres em pilhas, apresenta grande agilidade, possibilitando uma maior eficiência e eficácia da cadeia de transportes, sem maiores atrasos, custos adicionais de armazenagem ou avarias em sua movimentação.

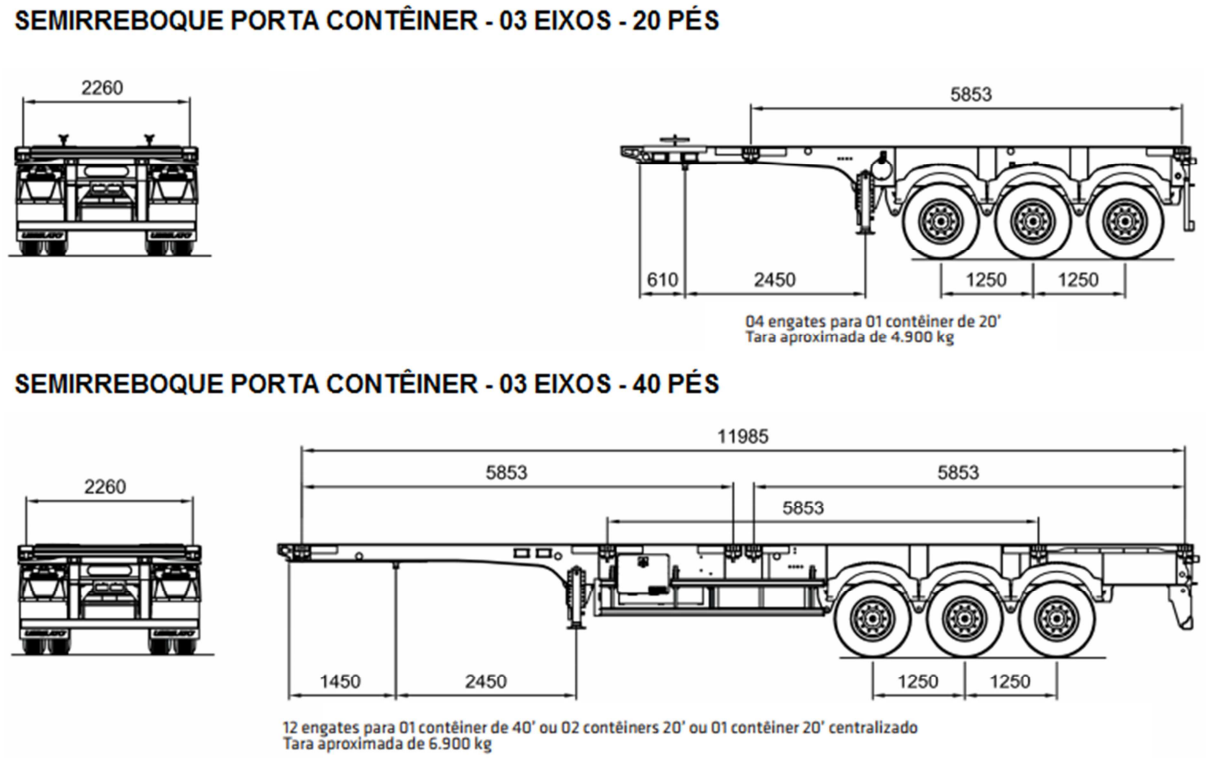
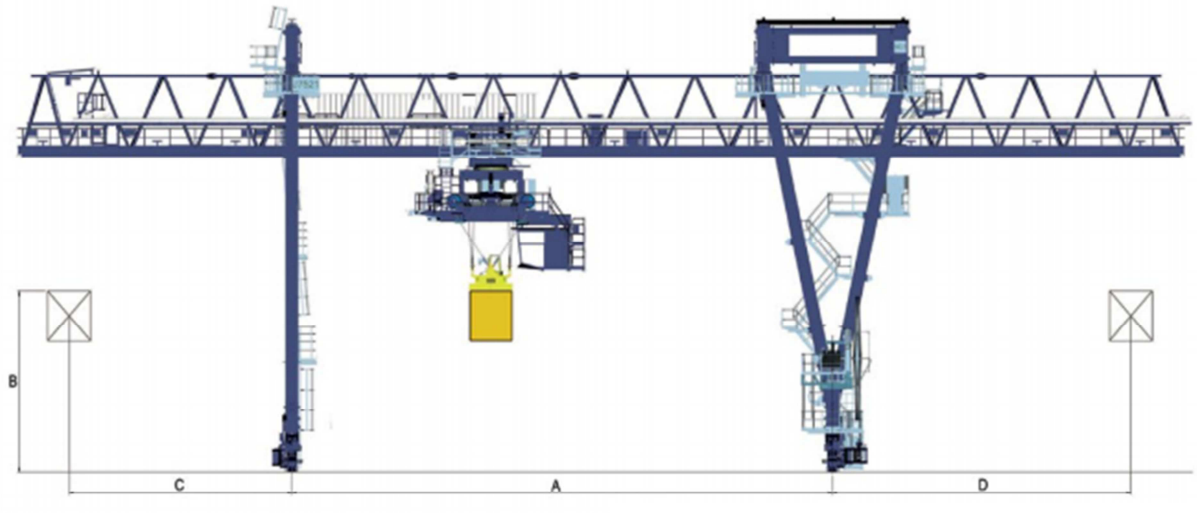


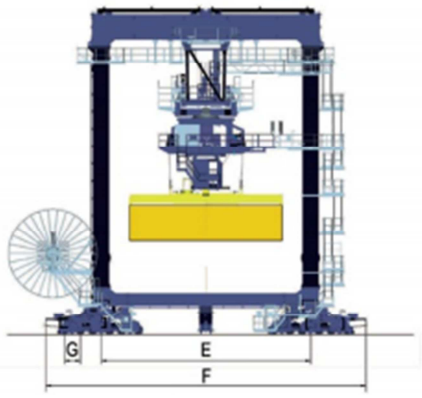
Figura 8 – Exemplo de chassis para contêineres de 20 e 40 pés.
Fonte: http://www.librelato.com.br/upload/produtos/130.pdf - Agosto/2017

Os transtêineres, equipamentos de retaguarda, que podem operar tanto por trilhos, *rail mounted gantry* (RMG), quanto sobre rodas, *rubber tired gantry* (RTG), são guindastes em pórtico que fazem a movimentação dos contêineres no pátio de armazenamento, os retirando ou posicionando em pilhas nas quadras. Segundo Petering (2009) apresentam velocidade de carregamento de 25 contêineres por hora.

O RMG permite dimensões maiores de altura e comprimento e movimenta-se em linha, já que é apoiado sobre trilhos, já o RTG, apresenta maior mobilidade, transladando em linha e mudando perpendicularmente entre quadras quando necessário, por estar apoiado sobre rodas que possibilitam um giro de 90 graus.

A figura 9 apresenta um exemplo de transtêiner RMG que pode cobrir vãos de 22 a 70m e alturas de até 26,9m, com um empilhamento de até 9 contêineres.





Typical RMG Model Range*	
A: Gantry span	22 - 70 m
B: Lifting Height	From 9.2 m for 1 over 2
	Up to 26.9 for 1 over 8
C: Cantilever	0 - 20 m
D: Cantilever	0 - 20 m
E: Travel wheel guage	16.5 m - 18.2 m
F: Buffer to buffer	23.2 m - 25.5 m
G: Wheel spacing	1 m - 2 m dependant on wheel loads
Wheels per corner	6 - wide leg
	4 - narrow leg
SWL	40.6 - 50 t single | 50 - 65 t twin
*Other features and dimensions also available	

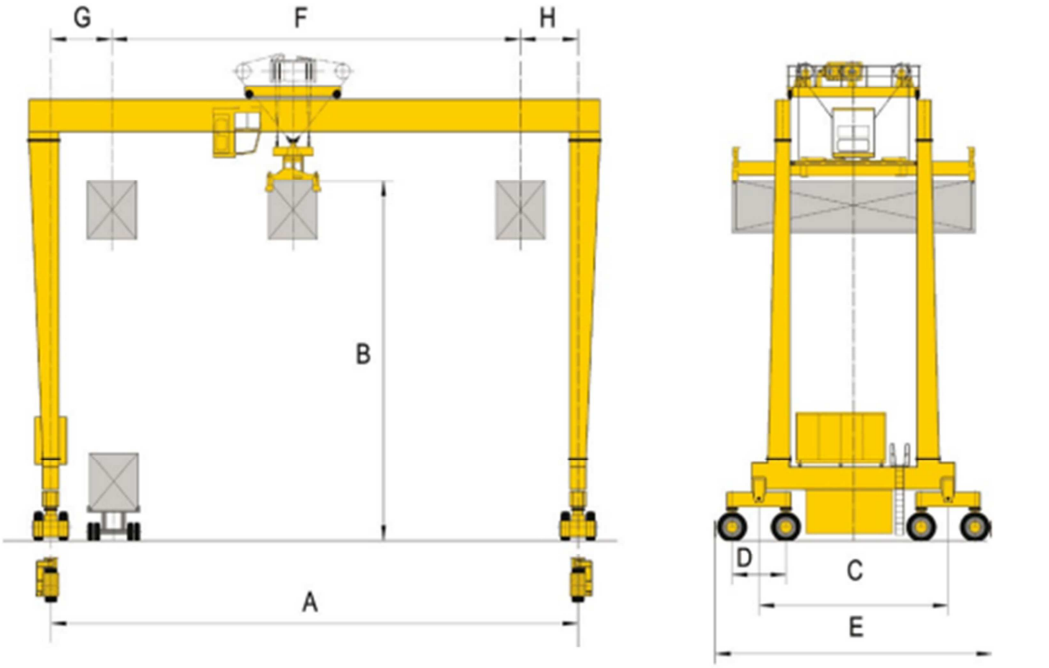
Typical Design Parameters*	
Classification according to F.E.M.	U7-Q2-A7 (Single lift)
In service wind speed	72 km/h (20 m/s)
Out of service wind speed	151.2 km/h (42 m/s)
Ambient temperature range	-45°C to + 45°C

RMG Model Designation	
S190 L (MT) / (RT)	
	Rotating machinery trolley (optional)
	Machinery trolley
	Lattice structure for main beam
	Hoist motor size

Working Speeds**	
Hoisting with no load	56 m/min
Hoisting with rated load	28 m/min
Trolley travel (with and without load)	70 m/min
Gantry travel without load	130 m/min
Slewing ± 190° (optional)	1.2 RPM

Figura 9 – Exemplo de transtêiner RMG.
Fonte: http://www.liebherr.com.br - Agosto/2017.

A figura 10 apresenta um exemplo de transtêiner RTG que pode cobrir vãos de 20,8 a 28,5m, atendendo até 7 fileiras de contêineres mais uma faixa de caminhão e alturas de até 21m, com um empilhamento de até 7 contêineres.



RTG Model Designation

7 / 5 / 4 WS

AC drive	
4 wheels per corner	
1 over 5 high stacking	
7 containers wide + truck lane	

RTG Model Range*

A Typical gantry span	20.8 m for 5 wide + truck lane
	23.6 m for 6 wide + truck lane
	26.5 m for 7 wide + truck lane
B Lifting Heights	12.3 m for 1 over 3
	15.2 m for 1 over 4
	18.2 m for 1 over 5
	21 m for 1 over 6
SWL	40.6 - 50 t single | 50 - 65 t twin
C Travel wheel gauge	9.2 m
D Rocker length	2.5 m
E Length over travel guards	13.3 m for 4 wheels per corner
	13.7 m for 2 wheels per corner
F Trolley travel	Gantry span minus end approach
G Trolley end approach	2.4 m
H Trolley end approach	2.25 m

*Other features and dimensions also available

Typical Design Parameters

Classification according to F.E.M.	U7-Q2-A7 (Single lift)
In service wind speed	72 km/h (20 m/s)
Out of service wind speed	151.2 km/h (42 m/s)
Maximum yard slope	1:100 in either direction
Self weight (model dependant)	116 t to 138 t

Working Speeds**

Hoisting with no load	56 m/min
Hoisting with rated load	28 m/min
Trolley travel (with and without load)	70 m/min
Gantry travel without load	130 m/min
Gantry travel with rated load	70 m/min
Stack transfer without load	70 m/min

**Alternative speeds also available

Wheel Dimensions and Loading

Tyre size (8 wheel)	18.00 - 25 / 21.00 - 25
Tyre size (16 wheel)	14.00 - 24 / 16.00 - 25
Avg./Max. wheel load (model 7/5/2)	24.5 t / 34.8 t
Avg./Max. wheel load (model 7/5/4)	12.2 t / 17.2 t

Generator Set

Engine type	Scania / Cummins / Volvo
Alternator type	Marelli / Stamford
Diesel fuel tank capacity	1000 l / 1500 l
Operating voltage / frequency	480 V / 60 Hz
Generator set rating, continuous	400 kVA

Drive Power

Hoist unit (40.6 t)	1 X 190 kW AC
Trolley unit	2 X 18 kW AC
Gantry travel unit (8 wheels)	4 X 35 kW AC
Gantry travel unit (16 wheels)	4 X 35 kW AC

Drive Power

Switchgear / control system designed and built by Liebherr using well proven robust components and CMS system in accordance with IEC 61131

Figura 10 – Exemplo de transtêiner RTG.
Fonte: http://www.liebherr.com.br - Agosto/2017.

A *Reach Stacker*, que movimenta contêineres na retaguarda, é um veículo sobre pneus e possui uma lança que permite empilhar e desempilhar contêineres com facilidade, além de movimentar-se rapidamente. Segundo Sarmiento *et al*. (2016), seu tempo de movimentação de um contêiner (movimento produtivo ou improdutivo)

é normalmente distribuído, com média de 2,5 minutos e desvio padrão de 0,1667.

A figura 11 apresenta um exemplo de *Reach Stacker*, que pode atingir vãos de até 3 contêineres e alturas de até 6 contêineres.

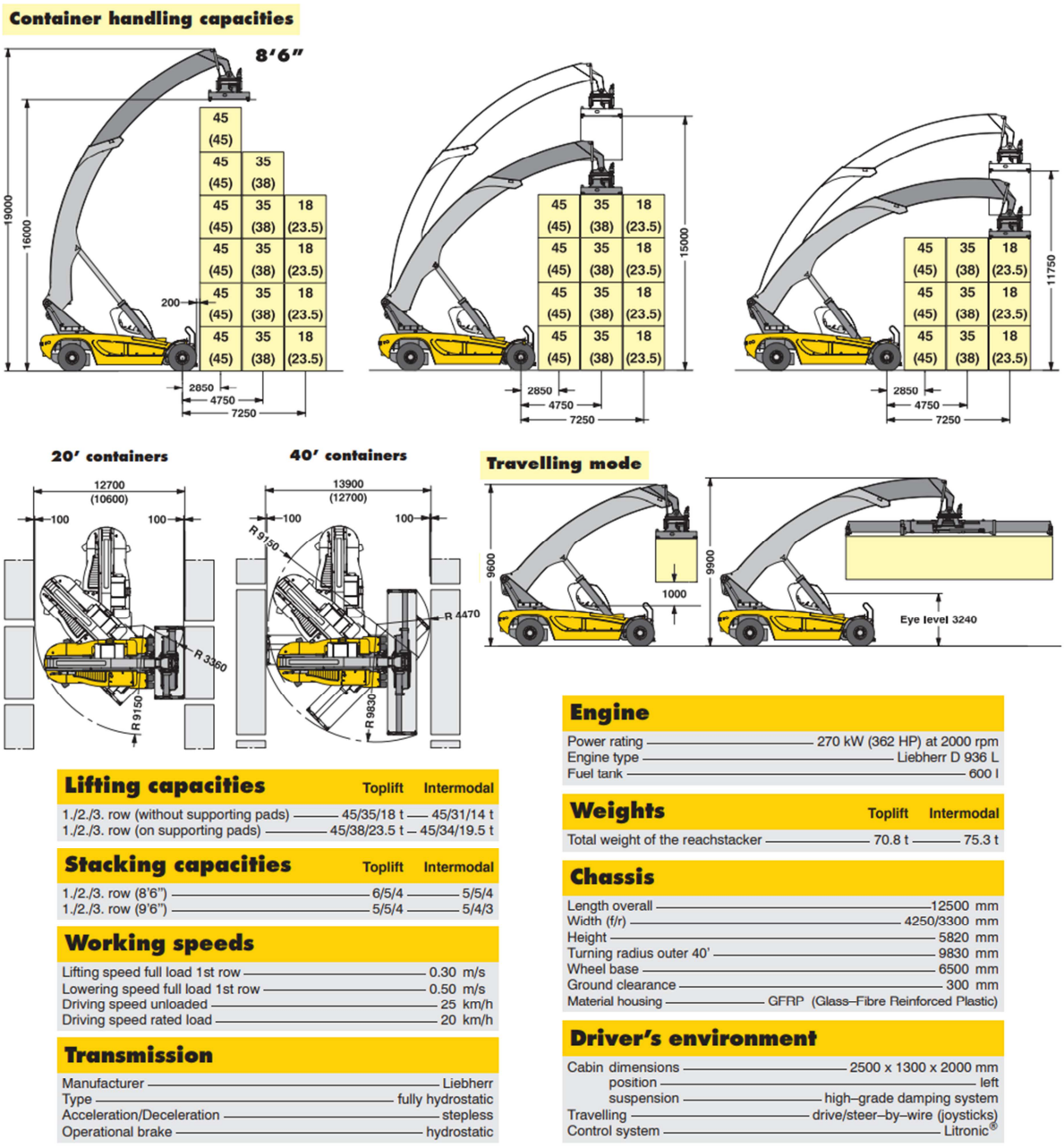
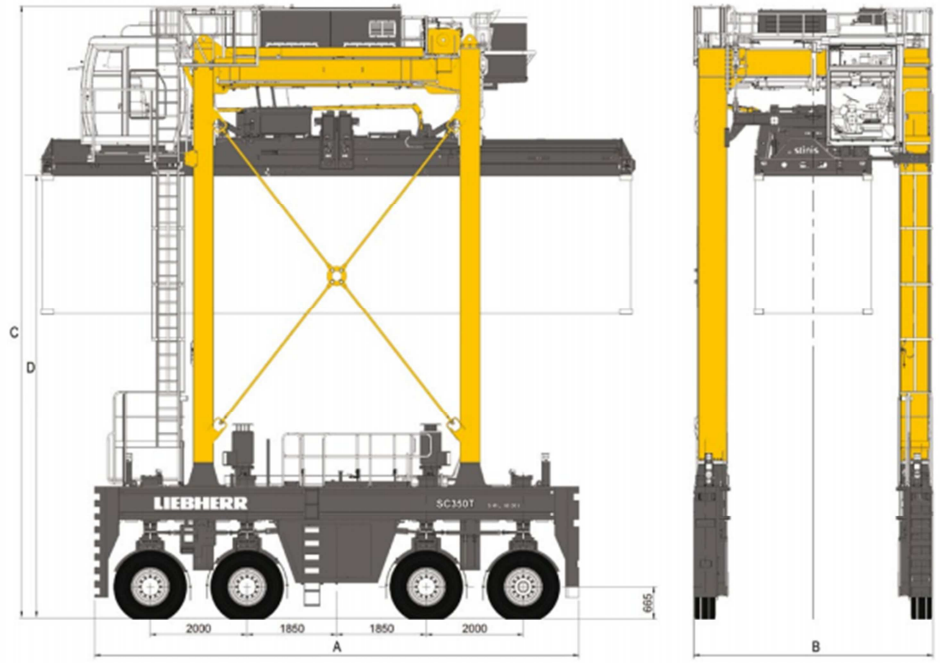


Figura 11 – Exemplo de Reach Stacker – Modelo LRS645.
Fonte: http://www.liebherr.com.br - Agosto/2017.

A *Straddle Carrier* é um veículo de pórtico elevatório sobre pneus que transporta e empilha contêineres da retaguarda ao cais sem a necessidade do uso de *chassis*,

desvinculando assim seu uso dos demais equipamentos de retaguarda. Segundo Thoresen (2003) apresenta velocidade de carregamento de até 40 contêineres por hora.

A figura 12 apresenta um exemplo de *Straddle Carrier*, que pode acessar alturas de até 4 contêineres.



Straddle Carrier Features

- Drive, steer and brake by wire
- Electric AC Inverter drives
- Rope winch hoist with external disc brake
- Electric power regeneration on hoist lowering
- Hydraulic spreader
- Diesel engine with insulated enclosure
- Ergonomically designed cabin

Straddle Carrier Model Designation

SC 3 40 S

	Single lift
	Safe working load (SWL), tonnes
	3 high stacking (1 over 2)
	Straddle carrier

Straddle Carrier Model Range

	1 over 2	1 over 3
A: Length	10,000 mm	10,000 mm
B: Width	4,940 mm	4,940 mm
C: Height	12,700 mm	15,600 mm
D: Height under spreader	9,200 mm	12,000 mm
Stacking capacity	3 high	4 high
Total empty self weight	62 t	64 t
	All Models	
Wheel base	2000 / 3700 / 2000 mm	
Turning radius	9610 mm	
Lifting capacity	40 t single lift | 50 t twin lift	

Working Speeds

Lifting speed full load	18 m/min
Lifting speed empty	26 m/min
Driving speed full load	30 km/h (25 km/h - 4 high)
Driving speed empty	30 km/h (25 km/h - 4 high)

Transmission

Control system	Liebherr
Type	AC electric drive
Operational brake	Electric and hydraulic
Tyre size	16.00 R25

Engine - Generator

Power rating	340 kW
Engine type	Volvo-Penta
Fuel Tank	2 X 750 l

Driver's Environment

Cabin dimensions	2,100 X 1,500 X 2,000
Standard position	Front left, inset

Figura 12 – Exemplo de Straddle Carrier.
Fonte: http://www.liebherr.com.br - Agosto/2017.

2.4 Contêineres

Os contêineres são caixas modulares e padronizadas, resistentes e de fácil manuseio que são utilizadas para o transporte unitizado de mercadorias por qualquer modal de transporte, evitando que a carga sofra avarias e perdas.

Os contêineres mais utilizados são os de 20 e 40 pés do tipo *Dry*, correspondentes a 1 TEU e 2 TEU (*twenty feet equivalent unit*) respectivamente, destinados à carga geral, e alguns outros tipos especiais de contêineres são o *High Cube*, com altura de 2896 mm; *Open Top*, com abertura na face superior do contêiner e coberto por uma lona; *Flat Rack*, que não possui as faces laterais longitudinais e teto, para transporte de cargas com dimensões fora do padrão; *Reffer*, para carga refrigerada; *Ventilated*, que possui pequenas aberturas para que a carga respire; *Tank*, para cargas líquidas; e *Bulk*, para cargas secas a granel. As dimensões mais usuais para contêineres estão listadas na tabela 2.

Tabela 2 – Dimensões para contêineres de carga série 1.

Designação do contêiner de carga	Comprimento		Altura			Largura	
	mm	ft	mm	ft	in	mm	ft
1AAA	12192	40	2896	9	6	2438	8
1AA			2591	8	6	2438	8
1A			2438	8	-	2438	8
1AX			< 2438	< 8	-	2438	8
1BBB	9125	30	2896	9	6	2438	8
1BB			2591	8	6	2438	8
1B			2438	8	-	2438	8
1BX			< 2438	< 8	-	2438	8
1CC	6058	20	2591	8	6	2438	8
1C			2438	8	-	2438	8
1CX			< 2438	< 8	-	2438	8
1D	2991	10	2438	8	-	2438	8
1DX			< 2438	< 8	-	2438	8

Fonte: NBR ISSO 668:2010 – Contêineres série 1 – Classificação, dimensões e capacidades.

2.5 Navios

Os navios especializados no transporte de carga por contêineres são chamados navios porta contêineres, que são classificados de acordo com suas dimensões e capacidade de transporte em TEU. A boca do maior navio atendido no terminal influenciará diretamente na escolha dos equipamentos de cais utilizado nesse terminal.

Segundo Alderton (2008), os navios Feeder apresentam capacidade de transporte de até 499 TEU, os navios Feedermax entre 500 e 999 TEU, os navios Handy entre 1000 e 1999 TEU e os navios Sub-Panamax entre 2000 e 2999 TEU.

Segundo *The World Bank* (2007), um típico navio porta contêiner Panamax apresenta boca de 32,2 m, possibilitando 13 fileiras de contêineres, comprimento de 290 m, calado de 13 metros e capacidade de transporte de até 4800 TEU; o Post Panamax apresenta boca de 42,8 m, possibilitando 17 fileiras de contêineres, calado de 13,5 a 14 m e capacidade de transporte entre 5000 e 10000 TEU; e o Super Post Panamax apresenta boca de 44 a 46 m, acomodando de 18 a 23 fileiras de contêineres, calado de 14 a 15 m e capacidade de transporte entre 10000 e 15000 TEU.

As nomenclaturas para os tipos de navios existentes podem variar de acordo com o autor, entretanto suas dimensões e capacidade de transporte se mantêm correspondentes, como pode ser visto na figura 13, em que as dimensões são apresentadas em metros.

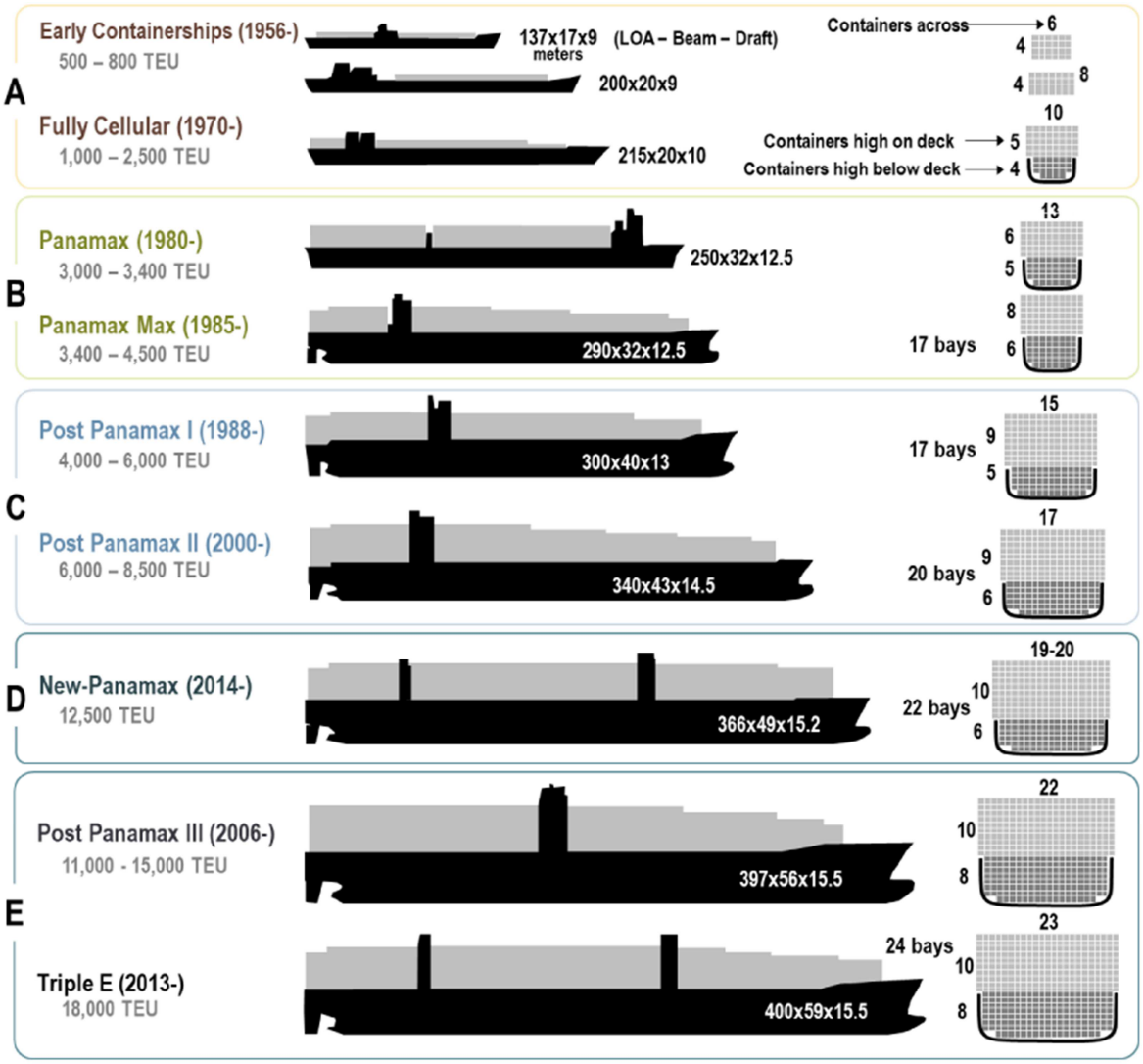


Figura 13 – Evolução dos navios porta contêineres.
Fonte: Ashar e Rodrigue (2012) - Agosto/2017.

Desta forma, um terminal rápido de contêineres dedicado à cabotagem, foco deste estudo, é caracterizado por movimentar apenas contêineres com carga de cabotagem, provenientes de rotas próprias e específicas entre terminais, com frequência constante do serviço, sistema de agendamento para a chegada e retirada de contêineres por caminhões e redução do tempo de permanência da carga de cabotagem no terminal, como apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Características de um terminal de contêineres rápido dedicado à cabotagem.

Terminal "rápido" dedicado à cabotagem	
Carga de cabotagem	Com a segregação da carga de cabotagem das demais, o que possibilita a mudança da legislação atual, esta deixaria de ser tratada sob regras aduaneiras semelhantes às utilizadas com cargas de importação e exportação, refletindo a desburocratização do sistema, diminuindo o tempo de mudança entre modais e o tempo de permanência da carga no terminal.
Rotas próprias e específicas entre terminais	Possibilitam a disponibilidade e frequência do serviço, com o objetivo de transferir gradativamente parte da carga atualmente transportada pelo modal rodoviário para o modal cabotagem.
Sistema de agendamento para a chegada e retirada de contêineres por caminhões	Possibilita um fluxo eficiente de carga no terminal, sendo o agendamento realizado pela própria empresa de navegação.
Redução do tempo de permanência do contêiner no terminal	Conexões rápidas entre modais, com diminuição do tempo de armazenamento, não permitindo que o terminal seja usado como área de estoque.

Fonte: A autora.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para a pesquisa bibliográfica buscou-se reunir publicações que abordem o dimensionamento e definição de *layouts* de terminais de contêineres, assim como o entendimento de seus subsistemas, equipamentos e requisitos necessários a um terminal “rápido” dedicado à cabotagem.

3.1 Terminal de contêineres “rápido”

As referências utilizadas nesse item apresentam requisitos para a operação de terminais “rápidos” de contêineres dedicados à cabotagem e aspectos de caracterização dos subsistemas de um terminal de contêineres, que deram suporte às premissas adotadas na simulação, formulação das características do *layout* de quadras e vias internas do terminal e a muitos dos pontos abordados nos capítulos 1 e 2.

APP (2007) conceitua a *Motorways of the Sea* (MoS), terminais rápidos Europeus, e pontua seus requisitos chave para o projeto de organização e configuração de ações piloto para sua implantação em Portugal, tendo processos administrativos e aduaneiros reduzidos ao mínimo, conexões rápidas entre modais, infraestrutura de controle de tráfego, transmissão de dados eficiente e informatizada, compatibilidade entre terminais e navios e sistemas automatizados para carga e descarga, eliminando assim gargalos que comprometam a eficiência e eficácia da cadeia de transportes.

Valois (2014) propõe requisitos para operação da cabotagem de carga conteinerizada em terminais rápidos no Brasil, tendo como referência para o desenvolvimento de sua proposta o projeto europeu *Motorways of the Sea* e fundamentando sua metodologia em entrevistas semiestruturadas com usuários da cabotagem no Brasil, questionários com especialistas e utilizando simulação de eventos discretos para análise comparativa entre terminais convencionais e terminais compatíveis com o modelo do projeto MoS.

Os principais requisitos propostos por Valois (2014) envolvem a simplificação das inspeções e liberação de carga nos terminais, a redução do frete porta-a-porta, a disponibilidade de acessos terrestres e equipamentos para os terminais e a minimização dos tempos de operação no terminal e de transporte porta-a-porta.

Alderton (2008) apresenta, em seu livro, uma explanação geral sobre gestão e operações portuárias, abordando a história da conteinerização, o desenvolvimento dos navios porta contêineres, os equipamentos de cais e retaguarda, e o dimensionamento e *layout* de quadras e vias internas de terminais de contêineres.

Segundo Alderton (2008) um dos principais problemas enfrentados pela gestão de um terminal de contêineres é reduzir movimentos improdutivos em sua retaguarda, o que pode ser evitado com a diminuição do excesso de burocracia logística e o controle, por meio de um sistema informatizado, da chegada antecipada, mais de uma semana, e da retirada tardia de contêineres, adotando-se uma política de preços que impeça essa permanência prolongada.

Thoresen (2003) apresenta, em seu livro, um capítulo dedicado a terminais de contêineres, em que divide o terminal em três áreas, área adjacente ao berço, o pátio primário ou área de armazenamento de contêineres e o pátio secundário, composto pela entrada, estacionamento, escritórios, armazenamento de contêineres vazios, áreas de reparo, entre outras; e discorre sobre equipamentos de cais e sistemas mais usais de equipamentos de retaguarda, empilhadeira e *reach stacker*, *straddle carrier*, *rubber tired gantry* (RTG) e/ou *rail mounted gantry* (RMG) e uma mistura desses sistemas, descrevendo sua operação, recomendações e características de empilhamento e produtividade.

A velocidade de carregamento de um navio é abordada por Thoresen (2003) de acordo com a evolução do tamanho dos navios porta contêineres, em que a economia de escala gerada por esses supernavios demanda que haja agilidade nas operações de carga e descarga nos portos. Sendo sugerida uma configuração de *layout* para o berço, a partir dos navios *Super Post Panamax*, que envolva ambos os lados da embarcação, para maximizar o uso simultâneo de portêineres.

Steenken, Voß e Stahlbock (2004) apresentam uma visão geral dos terminais de contêineres, classificando suas operações por meio dos equipamentos utilizados e características de armazenamento, abrangendo equipamentos tradicionais e suas

novas opções automatizadas, além do uso de sistemas que comunicam agentes internos e externos ao terminal, possibilitando uma melhor organização e otimização do fluxo de contêineres.

A respeito das diferentes combinações possíveis de equipamentos de retaguarda, Steenken, Voß e Stahlbock (2004) destacam dois sistemas principais, comuns na Europa e na Ásia, o uso de *straddle carriers* e o uso de transtêineres, sendo a escolha baseada em diferentes fatores, como restrições de espaço e razões históricas e econômicas. Os transtêineres são indicados quando o espaço de armazenamento é restrito e a adoção de veículos autônomos ou *automatic guided vehicles* (AVG) em conjunto com transtêineres automatizados pode ser uma opção quando os custos com mão de obra são altos e quando se pretende construir um novo terminal. Ainda é citado um terceiro sistema, que armazena contêineres sobre *chassis* ao invés de empilhá-los, sendo um sistema exigente em termos de espaço e muitas vezes utilizado na América do Norte.

Steenken, Voß e Stahlbock (2004) também apresentam uma lista considerável de referências sobre informações técnicas de equipamentos, melhorias na operação e performance, comparativos e dimensionamentos realizados em terminais de contêineres, incluindo métodos exatos, heurísticas e abordagens baseadas em simulação.

Para um correto dimensionamento das vias internas do terminal de contêineres, respeitando a velocidade e largura máxima dos veículos e equipamentos que ali transitam e o *layout* de quadras desenvolvido serão consultados o manual de projeto geométrico de rodovias rurais do DNER (1999), as instruções de projeto geométrico do DER/SP (2005) e as políticas de projeto geométrico de estradas e ruas da AASHTO (2004), que apresentam os procedimentos, critérios e padrões necessários para o desenvolvimento de projetos de traçado geométrico de sistemas viários.

3.2 Dimensionamento e análise de *layouts* de terminais de contêineres

As referências citadas nesse item apresentam desde o cálculo de áreas por equações matemáticas simples até formulações mais complexas para o

dimensionamento e análise de terminais de contêineres por simulação estratégica, aplicada a estudos que decidam o melhor *layout* e equipamentos de acordo com o nível de serviço desejado e baixos custos.

Alderton (2008) apresenta, em seu livro, uma estimativa da área necessária de armazenamento em um terminal de contêineres, equações 1 e 2, considerando, para o seu cálculo, a demanda do terminal e os equipamentos de retaguarda utilizados:

$$GYA = TGS \times e \tag{1}$$

$$TGS = \frac{\frac{15{,}25 \times Dr \times Dt}{Pf}}{Sh} \tag{2}$$

Em que: GYA: área total do pátio de contêineres [m²];

TGS: área de estocagem [m²];

Dr: demanda diária de contêineres no terminal [TEU/d];

Dt: tempo médio de armazenamento do contêiner [d];

Pf: fator de pico, limite superior para condições de pico, usualmente 0,75;

Sh: altura de empilhamento, expresso em número de contêineres na pilha; e

e: fator de uso do pátio de acordo com o equipamento utilizado, onde:

e = 1,8 para *Straddle Carriers*;

e = 1,3 para Transtêineres;

e = 3,9 para Empilhadeiras;

e = 2,3 para *Reach Stackers*.

Thoresen (2003) apresenta, em seu livro, uma fórmula para estimar a área de retaguarda de um terminal de contêineres, que engloba o pátio primário e secundário, considerando entre suas variáveis, os fatores de forma do terminal e estoque de apoio, dada pela equação 3:

$$A_T = \frac{C_{TEU} \times D \times A_{TEU} \times (1+\beta_f)}{365 \times H \times N \times L \times S} = \frac{A_N}{N \times L \times S} \tag{3}$$

Em que: A_T: área total de retaguarda;

A_N: área de armazenamento de contêineres;

A_{TEU}: área necessária/TEU dependendo do sistema de equipamento utilizado para armazenagem, de acordo com a tabela 3;

C_{TEU}: contêineres movimentados por ano;

H: multiplicativo para adequar a altura média das pilhas de contêineres, variando usualmente de 0,5 a 0,8, de forma a evitar movimentos desnecessários em excesso de contêineres de exportação;

D: média de dias que um contêiner permanece no terminal. Se a informação não estiver disponível, pode-se utilizar 7 dias para contêineres de importação e 5 dias para contêineres de exportação;

β_f: fator de estoque de apoio, área extra em frente a área de empilhamento, variando entre 0,005 e 0,1;

N: percentual que o pátio primário ocupa em relação à área total de retaguarda, usualmente variando de 0,6 a 0,75;

L: fator de layout devido à forma do terminal, variando entre 0,7 para forma triangular e 1 para retangular;

S: fator de segregação devido diferentes destinos de contêineres, procedimentos, etc., variando entre 0,8 e 1.

Tabela 3 – Área necessária por TEU.

Sistema de equipamento de retaguarda	Altura de empilhamento de contêineres	A_{TEU} em m²/TEU incluindo vias internas				
		1	2	5	7	9
Chassis	1	65				
Front-lift truck/ Reach stackers	1	72	72			
	2		36			
	3		24			
	4		18			
Straddle carriers	1 over 1	30				
	1 over 2	16				
	1 over 3	12				
Rubber-tyre gantries/Rail-mounted gantries	1 over 2			21	18	15
	1 over 3			14	12	10
	1 over 4			11	9	8
	1 over 5			8	7	6

Fonte: Thoresen (2003).

É ainda apresentado um percentual de área para os diferentes espaços que compõem a retaguarda de um terminal de contêineres, divididas em áreas de armazenamento de contêineres ou pátio primário e pátio secundário, composto pela entrada, estacionamento, escritórios, armazenamento de contêineres vazios, áreas de reparo, entre outras. Sendo:

$$A_T = A_{PY} + A_{CFS} + A_{EC} + A_{ROP} \quad (4)$$

Em que: A_T: área total de retaguarda;

APY: área do pátio primário ou de armazenamento de contêineres, com de 50 a 75% da área total;

ACFS: área de consolidação/ desconsolidação da carga, onde os contêineres são preenchimento/ esvaziamento, com de 15 a 30% da área total;

AEC: área para armazenamento de contêineres vazios e manutenção e reparo de contêineres, com de 10 a 20% da área total;

A_{ROP}: área de entrada, escritório, estacionamento, instalações alfandegárias, entre outros, com de 5 a 15% da área total.

Gambardella et al. (1996), com o objetivo de avaliar propostas alternativas de carregamento e descarregamento de navios, alocação de recursos e diferentes políticas de armazenamento, em termos de espaço e custo, desenvolve uma metodologia que integra simulação, previsão e planejamento para embasar decisões de curto e longo prazo em terminais de contêineres.

O módulo de simulação, em um cenário de longo prazo, avalia a ocupação do pátio de contêineres e políticas alternativas de equipamentos, e em um cenário de curto prazo, avalia as operações de carga e descarga do dia a dia, utilizando uma função de custo. Desta forma, o módulo de simulação é um fator chave, sendo alimentado pelo módulo de previsão, que estima a entrada e saída de contêineres de acordo com um banco de dados coletado durante os anos de funcionamento do terminal, usando métodos de análise multivariada, análise de séries temporais e redes neurais, e fornecendo informações ao módulo de planejamento, que define e otimiza

políticas de controle de operação do terminal e escolha de *layout* e equipamentos do pátio de armazenamento, em termos de custo e tempo operacional.

Zhang et al. (2003) estuda o problema de alocação de espaço em terminais de contêineres, relacionando todos os recursos operacionais de um terminal, tais como espaço de armazenamento e equipamentos de cais e retaguarda, em uma abordagem sequencial (*rolling horizon approach*), em que são formulados modelos matemáticos para cada horizonte de planejamento, decompostos em dois níveis.

No primeiro nível, a demanda total de contêineres do terminal é dividida em blocos de acordo com o horizonte de tempo planejado, a fim de equilibrar a carga de trabalho de portêineres e transtêineres. Já no segundo nível, é determinado o número de contêineres associados a cada navio, que constituem o número total de contêineres em cada bloco em cada período, a fim de minimizar a distância total de transporte entre blocos e navio alocado ao berço.

Aplicado a um típico terminal de Hong Kong por um período de 180 dias divididos em 6 períodos por dia, o método se mostrou eficiente, obtendo uma solução próxima ao ótimo, reduzindo significativamente o desbalanceamento de carga de trabalho dos equipamentos de retaguarda e evitando gargalos nas operações do terminal.

Yun e Choi (1999) desenvolvem um modelo de simulação para análise das operações, movimentação de equipamentos e contêineres, de um típico terminal de contêineres da Coréia, usando uma abordagem orientada a objeto (*object-orientes approch*), com o software Simple++.

Para a modelagem, o terminal foi dividido em três subsistemas, portão de entrada, pátio de contêineres e berço, considerando as operações de recebimento, entrega, carregamento e descarregamento de contêineres e utilizando como equipamentos, portêineres, transtêineres e caminhões, tendo como saída, para avaliação da efetividade do sistema e análise da operação, indicadores de utilização de portêineres, transtêineres e caminhões, taxa de ocupação do pátio de contêineres e tempo médio de espera do navio.

Murty (2007) tem o objetivo de otimizar a operação de um terminal de contêineres, maximizando a taxa de portêineres, número de movimentos por hora de um portêiner, que é influenciada por muitos fatores estocásticos do dia a dia do terminal.

Desta forma, o terminal é tratado com um problema multi-objetivo, que otimiza o congestionamento no pátio de armazenamento, e a movimentação entre quadras, movimentos conjuntos e a operação de transtêineres, na região dedicada a contêineres de exportação.

De forma a otimizar o uso dos portêineres, Murty (2007) promove discussões sobre a organização ideal do pátio de contêineres, com regras para alocação dos contêineres, agendamento detalhado dos movimentos dos transtêineres, políticas para despacho dos caminhões e *layout* com blocos de 40 contêineres de comprimento, compartilhados por transtêineres que se movimentem entre fileiras pré-fixadas, afim de minimizar interferências entre pilhas.

Kim e Kim (2002) desenvolvem um método para determinar o ótimo de espaço de armazenamento e número de transtêineres para movimentação de contêineres de importação, em que a tomada de decisão pode ser tomada pela minimização do custo do operador do terminal, sem considerar o nível de serviço para os clientes, ou pela minimização do custo total do operador e dos clientes do terminal.

Para tanto, dois modelos são desenvolvidos, um determinístico para minimizar o custo do operador e outro estocástico para minimizar o custo total, relacionando custos de espaço, aquisição e operação de transtêineres e operação de caminhões, na busca por um ótimo que integre densidade de armazenamento, acessibilidade, custo de investimento e nível de serviço.

Liu, Jula e Ioannou (2002) projetam, analisam e avaliam quatro conceitos distintos de terminais de contêineres automatizados, baseados em veículos autônomos ou automated guidance vehicles (AGVs), em um sistema linear de transporte ou linear motor conveyance system (LMCS), em um sistema de grelha suspensa de transporte ou overhead grid rail system (GR) e uma estrutura de acondicionamento automatizada de alta elevação ou high-rise automated storage and retrieval structure (AS/RS).

Com o uso de um modelo de custo, simulação microscópica e uma projeção de demanda futura foram avaliados o desempenho e custos dos diferentes cenários, com configurações, equipamentos e operações distintas, que apresentaram resultados semelhantes de desempenho, apenas diferindo na capacidade de armazenamento por área, uma vez que o sistema AS/RS possibilita uma maior altura

de empilhamento. Uma diferença significativa, de fato, ocorre no custo médio por contêiner em que o sistema AGV se mostra mais rentável, reduzindo a média de custo por contêiner de 140 a 200 dólares, da maioria dos terminais, para 77 dólares, além de aumentar a produtividade dos equipamentos de cais para uma movimentação média de 28 a 40 contêineres por hora por portêiner.

Kemme (2012) analisa o desempenho de diferentes sistemas de transtêineres sobre trilhos automatizados ou *automated rail mounted gantry cranes* em um estudo que simula a operação de um terminal de contêineres com variação de quatro sistemas de RMG e 385 *layouts* de pátio de contêineres, diferindo a altura, comprimento e largura de suas quadras. Sendo os quatro sistemas de transtêineres sobre trilhos automatizados identificados como único ou *single* (SRMG), gêmeo ou *twin* (TRMG), duplo ou *double* (DRMG), e triplo ou *triple* (TriRMG), operando um RMG, dois RMGs idênticos, dois RMGs e três RMGs por quadra respectivamente.

Por meio de simulação, utilizando o *software Tecnomatix Plant Simulation 8.2*, reproduzindo o ambiente e operação de um terminal de contêineres com múltiplos berços, e análise de regressão, Kemme (2012) obteve que o TriRMG apresenta melhor performance para a maioria dos *layouts* estudados, que o SRMG apresenta o pior desempenho e que o TRMG e o DRMG apresentam desempenhos intermediários, havendo uma melhor performance do TRMG em quadras de maior largura, se comparado ao DRMG.

Petering (2009) avalia o efeito da largura das quadras e do *layout* de um pátio de contêineres no desempenho, número de movimentos por hora de um portêiner, de um terminal, em um estudo que varia a largura das quadras de duas a quinze fileiras de contêineres e considera quatro configurações de terminais e dezenas de configurações de pátios de armazenamento por meio de simulação de eventos discretos em um terminal de contêineres com múltiplos berços e que utiliza *chassis* e RTGs como equipamentos de retaguarda, figura 14.

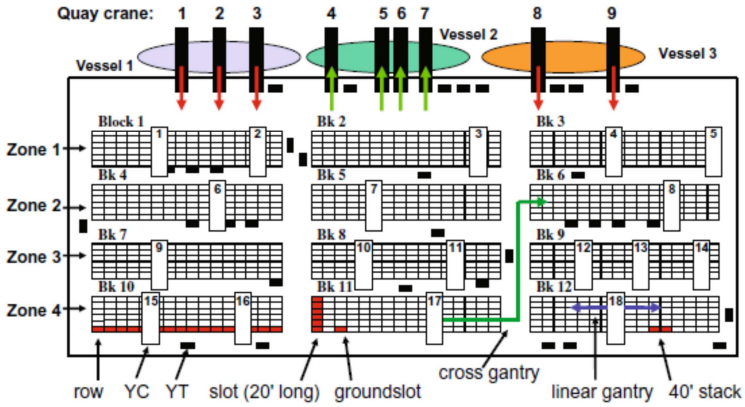


Figura 14 – Planta de um terminal de contêineres e seus equipamentos.
Fonte: Petering (2009).

Em seu modelo, Petering (2009) permite uma comparação direta entre projetos de terminais e sistemas de controle de pátio, mede o desempenho do terminal de acordo com a taxa de portêineres, considera os principais equipamentos de cais e retaguarda, aprecia distribuições estocásticas e tempos de viagem dos equipamentos, propaga atrasos realisticamente e modela a movimentação dos contêineres explicitamente.

Tendo como resultados que o desempenho geral do modelo melhora com um terminal de formato quadrangular e que a largura ideal do bloco varia de seis a doze linhas, dependendo da quantidade de equipamentos e do tamanho, forma e capacidade do terminal, em que uma largura de 10 contêineres é a melhor opção quando são utilizados menos *chassis* e RTGs e que uma largura de 6 a 8 contêineres se apresenta melhor quando utilizados mais equipamentos.

Kia*, Shayan e Ghotb* (2002) avaliam, usando simulação, o congestionamento e a capacidade de um terminal portuário por meio da alteração de seu *layout* e método operacional, figura 15, em que o modal ferroviário passa a ser o principal meio para chegada e saída de contêineres do porto e os contêineres de importação são descarregados diretamente sobre o trem, sendo enviados a centros de distribuição rapidamente após sua chegada ao terminal.

Como resultado, os autores obtiveram que tal alteração aprimora a operação do terminal, reduzindo seu congestionamento, criando um maior espaço de armazenamento e aumentando a disponibilidade dos berços, uma vez que o tempo de carga e descarga do navio diminui.

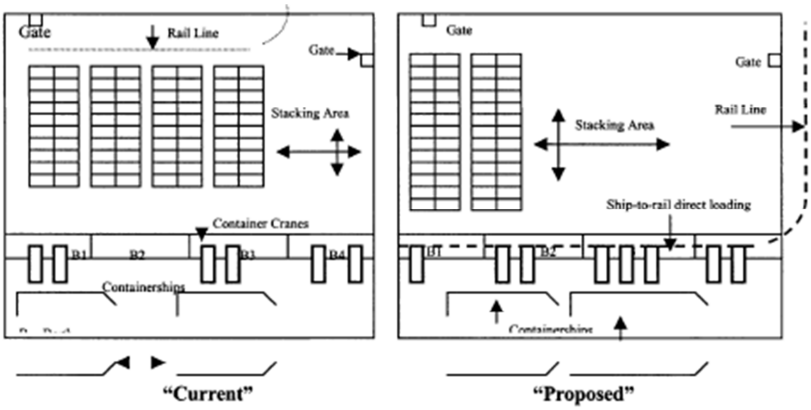


Figura 15 – Cenários do modelo de simulação.
Fonte: Kia, Shayan e Ghotb (2002).

Kim, Park e Jin (2008) apresentam um modelo para projetar o *layout* de pátios de contêineres, que utilizam transtêineres e *chassis* como equipamentos de retaguarda, sugerindo seu formato e número de corredores verticais e horizontais, considerando dois *layouts* retangulares típicos, um em que as quadras são dispostas paralelamente ao portão ou ao berço e outro que são dispostas perpendicularmente, para estimar o efeito das variáveis de projeto em termos de custo operacional, minimizando distâncias de viagem dos caminhões e número de movimentos dos transtêineres.

Como resultado, em análises de terminais de contêineres reais, o *layout* das quadras paralelo ao cais ou a entrada, figura 16, apresenta um menor custo total de operação, obtendo uma menor distância de viagem dos caminhões tanto para os mesmos parâmetros de *layout* quanto para o melhor conjunto de parâmetros.

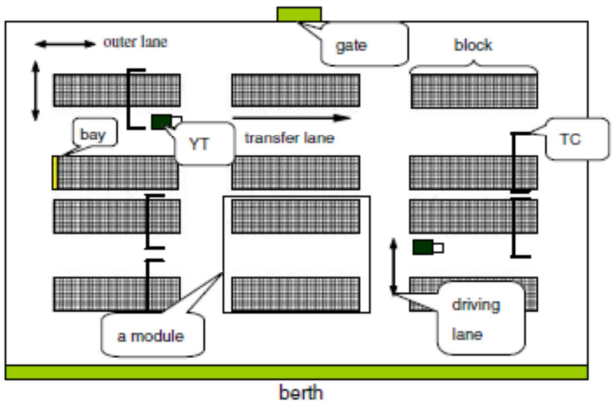


Figura 16 – Ilustração de um pátio de contêineres com *layout* de blocos paralelo.
Fonte: Kim, Park e Jin (2008).

Mathias (2017) faz o pré-dimensionamento de um novo terminal de contêineres localizado no Porto de Leixões, utilizando simulação de eventos discretos para determinar os fluxos de carga e equipamentos, a fim de validar que o terminal é capaz de movimentar 600000 TEU com taxas de utilização aceitáveis na área disponível.

Na revisão da literatura pode-se constatar que o dimensionamento de terminais de contêineres pode seguir diferentes linhas de pesquisa, com o uso de equações matemáticas simples, programação matemática, simulação e modelos híbridos, quadro 3, de acordo com o grau de especificidade e realidade pretendido.

Quadro 3 – Revisão da literatura

Equações matemáticas	Thoresen (2003) Alderton (2008)
Modelos matemáticos	Kim e Kim (2002) Zhang et al. (2003) Murty (2007) Kim, Park e Jin (2008)
Simulação	Gambardella et al. (1996) Yun e Choi (1999) Kia*, Shayan e Ghotb* (2002) Petering (2009) Kemme (2012) Mathias (2017)
Modelos híbridos	Liu, Jula e Ioannou (2002)

Fonte: A autora.

Para o presente trabalho, a simulação de eventos discretos será utilizada, tendo em vista que com o uso de uma abordagem estocástica, aleatoriedades do sistema serão consideradas, possibilitando a identificação de gargalos, filas e interferências, além de permitir a análise de diferentes cenários, para uma melhor compreensão do sistema e posterior elaboração de um *layout* modular.

Desta forma, o presente trabalho se diferencia dos demais por dimensionar um novo sistema, dedicado à cabotagem, com frequência de navios constante e curvas de chegada de caminhões que permitam um transporte eficiente e competitivo, com um tempo reduzido de permanência dos contêineres no terminal, havendo uma rápida transição entre modais.

4. SIMULAÇÃO DO TERMINAL DE CONTÊINERES “RÁPIDO”

Para o estudo, foi utilizado o *software* Simul8 e o modelo de simulação foi concebido seguindo as etapas de concepção, implementação e análise dos resultados do modelo, figura 2.

4.1 Concepção do modelo

A concepção do modelo abrange o entendimento do sistema a ser simulado, suas premissas, coleta de dados de entrada e formulação do modelo conceitual, como dispostos a seguir.

4.1.1. Premissas adotadas

A fim de delimitar áreas no terminal, com carga exclusivamente de cabotagem, relativas a contêineres vazios, *standard* e refrigerados e especiais de 20’ e 40’, foram feitas simplificações relativas aos tipos de contêineres movimentados, como especificados na Tabela 4.

Tabela 4 - Caracterização dos contêineres.

Por Tamanho	
Contêineres de 40’ (%)	74
Contêineres de 20’ (%)	26
Cheios X Vazios	
Contêineres cheios (%)	57
Contêineres vazios (%)	43
Tipos de contêineres	
Standard (%)	87
Refrigerado e especial (%)	13

Fonte: Anuário ANTAQ (2016) adaptado.

Para evitar movimentos desnecessários e assim maximizar a produtividade dos equipamentos de retaguarda, foi adotado que contêineres cheios, com carga de cabotagem, são armazenados em pilhas distintas segundo o destino do contêiner,

saída por via terrestre ou marítima, chamados neste trabalho de contêineres desembarcados e embarcados respectivamente, sendo apenas os contêineres vazios tratados indistintamente, por serem *commodities*.

Desta forma, a simulação conterá pilhas relativas a contêineres vazios, contêineres refrigerados e especiais desembarcados, ou seja, contêineres com carga de cabotagem refrigerada e especial com saída do terminal por via terrestre, contêineres refrigerados e especiais embarcados, ou seja, contêineres com carga de cabotagem refrigerada e especial com saída do terminal por via marítima, contêineres *standard* desembarcados e contêineres *standard* embarcados.

Os contêineres vazios serão operados por *reach stackers*, demais contêineres por trantêineres RTG e o STS será o equipamento de cais utilizado. Tal divisão entre equipamentos de retaguarda se mostra eficiente, pois maximiza a produtividade da *reach stacker*, por eliminar movimentos desnecessários, já que os contêineres vazios são vistos como *commodities*.

Para a chegada de veículos terrestres será adotada a variação de uma curva típica de recebimento de contêineres, gráfico 1, adequada ao tempo de permanência do navio no terminal, com cenários de movimentação de 6000 e 8000 TEU/navio, ou seja, movimentados por navios com capacidade de 3000 e 4000 TEU respectivamente, com redução do tempo de armazenagem, *dwell time*, em uma abordagem de terminais “rápidos”, com tempos máximos de permanência dos contêineres nos terminais de 2,5 dias para contêineres desembarcados e 5 dias para contêineres embarcados. Tempos indicados por Sá Peixoto (2005) como tempos médios de permanência praticados no Porto de Santos, como visto na Tabela 5.

Tabela 5 – Tempos de permanência dos contêineres nos terminais das diferentes regiões do globo em dias.

Região	Importação	Exportação
América do Norte	7,0	Nd
Norte da Europa	6,5	Nd
Sul da Europa (Portos concentradores)	4,4	4,4
Sul da Europa (Portos convencionais)	10,5	6,2
Sudeste Asiático	5,0	3,5
América do Sul	6,5	3,5
Oceania	2,5	Nd
Leste Europeu	9,0	Nd
Porto de Santos	2,5	5,0

Fonte: Sá Peixoto, 2005.

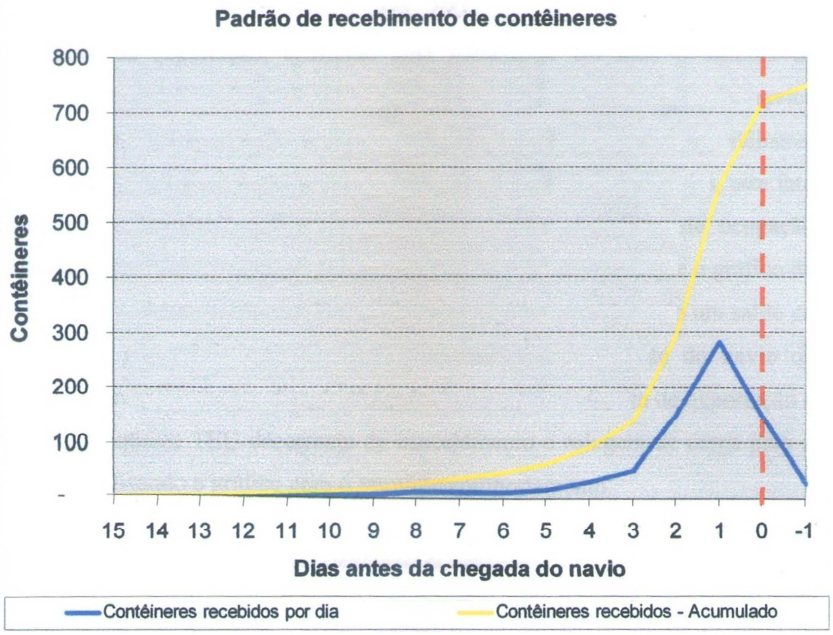


Gráfico 1 – Curva típica de recebimento de contêineres.
Fonte: Sá Peixoto (2005).

Resultando em curvas ajustadas indicadas abaixo, gráficos 2 e 3, com tempos ajustados de acordo com a carga movimentada pelo navio, em seu carregamento e descarregamento, totalizando 6000 e 8000 TEU respectivamente.

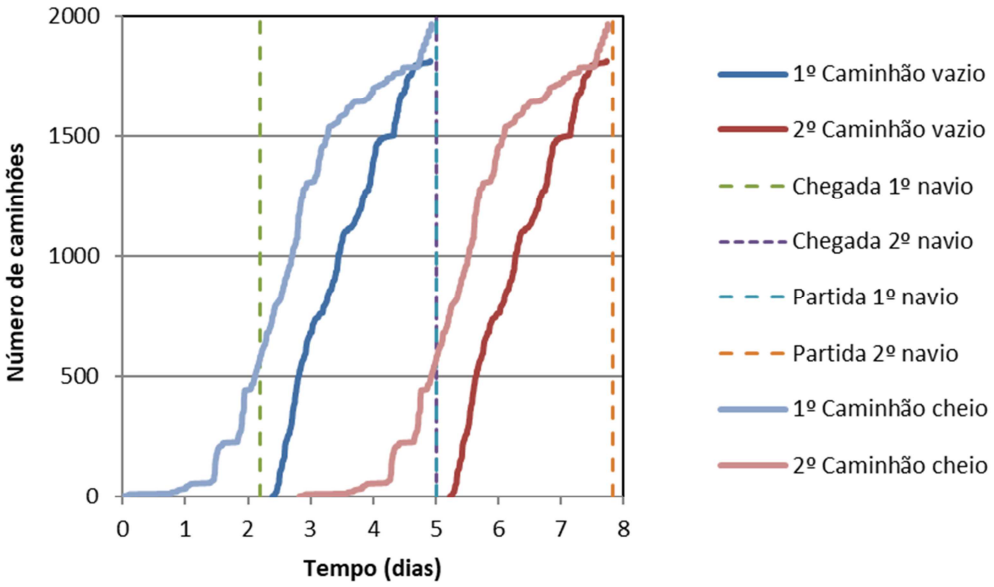


Gráfico 2 – Curva ajustada de recebimento de caminhões – Movimentação 6000 TEU/navio.
Fonte: A autora.

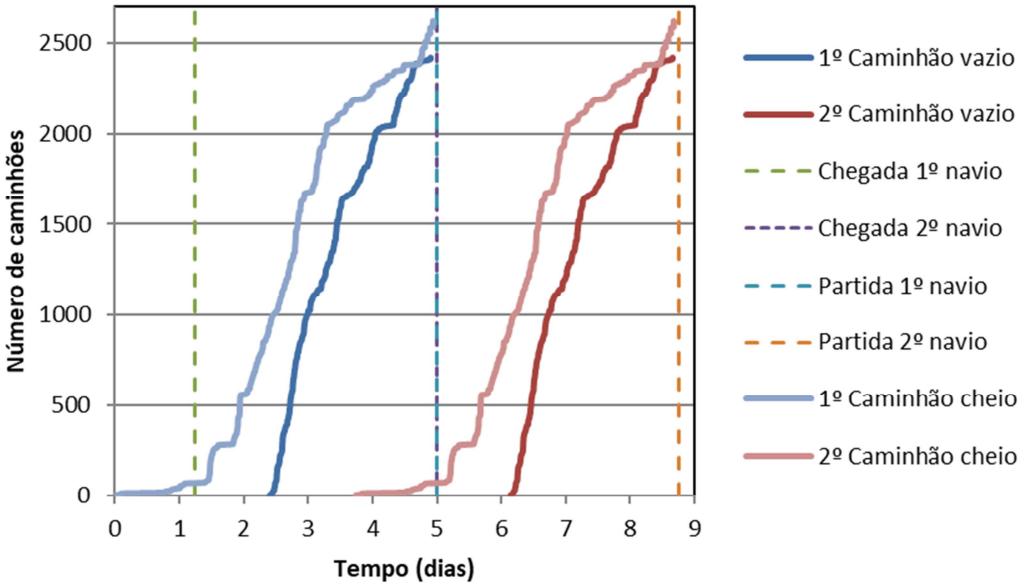


Gráfico 3 – Curva ajustada de recebimento de caminhões – Movimentação 8000 TEU/navio.
Fonte: A autora.

Para os caminhões que efetuam carregamento e descarregamento direto, ou seja, que carregam ou descarregam o contêiner diretamente do navio, sem passar pela atividade de armazenamento ou desarmazenamento do contêiner na área de retaguarda, a chegada ao terminal apenas será liberada quando o navio estiver atracado, e realizando tais atividades.

Para a chegada de navios será adotada uma frequência média, que maximize a ocupação do sistema, a fim de estressar o terminal para o dimensionamento de equipamentos e área de armazenamento em seu limite de operação. Sendo importante ressaltar que não se espera que o terminal sempre opere em sua envoltória superior, mas que esse critério de projeto foi adotado para garantir que a área de retaguarda também esteja preparada para essa situação.

Para os equipamentos de cais e retaguarda serão adotadas distribuições triangulares, utilizando os intervalos de dados de produtividade obtidos na literatura, e referenciados na seção 2.3 “Equipamentos”, considerando limites superior e inferior de 10% em relação à moda, em uma simplificação à distribuição normal, que é normalmente utilizada para o carregamento e descarregamento de navios segundo Dragovic *et al.* (2005).

Para os tempos de liberação dos caminhões na portaria, foram adotadas distribuições triangulares com no máximo cinco minutos, tempo indicado por Valois

(2014) como tempo máximo permitido para um bom desempenho do terminal na área de fluxo de informação e documentação, critério que reflete a desburocratização do sistema, sendo a carga de cabotagem tratada por regras aduaneiras diferentes das demais cargas de importação e exportação diferentemente do que ocorre hoje em dia.

4.1.2. Dados de entrada

Os dados de entrada que alimentam um modelo são parte fundamental da concepção e resultados gerados por uma simulação, sendo necessária uma coleta adequada a fim de se assegurar a qualidade do modelo, sendo a expressão *garbage in, garbage out* aplicável a essa metodologia.

Para o modelo computacional foram considerados os dados de entrada listados no quadro 4 a seguir:

Quadro 4 – Dados de entrada.

Subsistema	**Dados de entrada**
Costado	Chegada de navios Demanda de contêineres
Operação	Tempos de operação de equipamentos de cais Número de equipamentos disponíveis
Movimentação	Tempos de operação de equipamentos de retaguarda Número de equipamentos disponíveis
Terrestre	Chegada de veículos terrestres Tempo de conferência documental e pesagem Tempo de vistoria

Fonte: A autora.

Para o cálculo da demanda de contêineres movimentados por navio e quantidades relativas à chegada por via marítima e terrestre, Tabela 6, foram consideradas as porcentagens de contêineres de 20’ e 40’, a carga movimentada por navio e porcentagens de contêineres embarcados e desembarcados, de 52% e 48% respectivamente, segundo o anuário da ANTAQ.

Tabela 6 - Número de contêineres movimentados por navio.

Carga movimentada por navio (TEU)	Total de contêineres movimentados	Contêineres desembarcados	Contêineres embarcados
6000	3782	1815	1967
8000	5041	2420	2621

Fonte: A autora.

Calculando a frequência média do tempo de chegada entre navios, a fim de estressar o sistema utilizando duas STSs, que operam 80% do tempo com 35 movimentos por hora, foram obtidos 2,82 e 3,75 dias para uma movimentação de carga por navio, descarregamento e carregamento, de 6000 e 8000 TEU respectivamente.

4.1.3. Modelo conceitual

O modelo conceitual contempla o sistema terminal de contêineres, subdividido em quatro sistemas, costado, operação, movimentação e terrestre, onde são realizadas as atividades de pré e pós-operação marítima e terrestre, carga e descarga de navios e movimentação de contêineres na retaguarda do terminal.

No subsistema costado, por frequência média, há a geração de navios, que quando chegam ao terminal esperam em fila pela atracação, de acordo com a disponibilidade de berços, e após a conclusão da operação realizam a desatracação, desocupando o recurso berço.

No subsistema operação, caminhões esperam em fila pelo descarregamento de contêineres desembarcados advindos dos navios, assim como esperam em fila para o carregamento de contêineres embarcados advindos do pátio de retaguarda ou pela transição direta entre modais, segundo a disponibilidade dos equipamentos de cais regidos por uma distribuição probabilística de tempos de operação.

No subsistema movimentação, caminhões contendo contêineres, que não serão embarcados diretamente, aguardam em filas a disponibilidade de equipamentos de retaguarda, regidos por distribuições probabilísticas de tempos, para que sejam armazenados em áreas específicas de contêineres embarcados de acordo com o

tipo de contêiner (vazio, refrigerado ou *standard*), assim como caminhões contendo contêineres desembarcados, que aguardarão sua retirada, esperam em filas para o seu armazenamento em áreas específicas de contêineres desembarcados, conforme o tipo de contêiner.

No subsistema terrestre, por meio de uma distribuição, gráficos 2 e 3, há a geração de veículos carregados, que esperam em fila por sua entrada no terminal, passando por conferência documental e pesagem, sendo posteriormente fracionados em veículos que esperarão em fila para vistoria ou inspeção de carga e posterior espera para armazenagem ou transição direta entre modais, ou veículos que esperarão em fila para armazenagem ou transição direta entre modais, com posterior espera para saída.

Já os veículos terrestres vazios gerados, com a função de retirada de contêineres, após sua espera em fila e entrada, são fracionados em veículos que aguardam em fila para retirada de contêineres armazenados ou de forma direta, seguido por espera para vistoria e espera para saída ou veículos que depois de carregados apenas aguardam em fila sua saída.

Um esquema do modelo conceitual é apresentado na figura 17 a seguir:

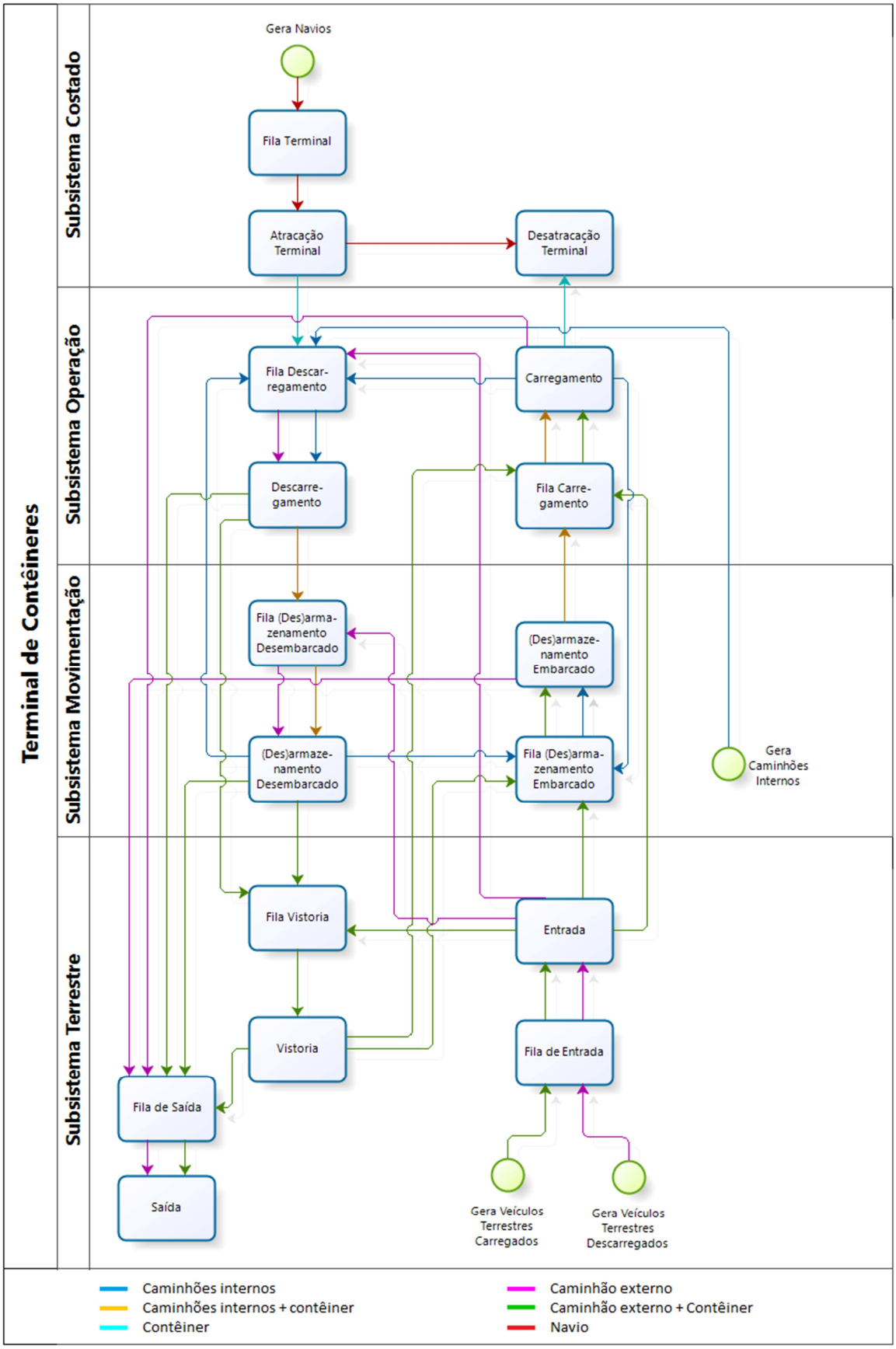


Figura 17 – Modelo Conceitual.
Fonte: A autora.

4.1.4. Resultados esperados do modelo

Os dados de saída ou resultados esperados do modelo, a fim de posteriormente obter-se a melhor opção de *layout* modular, de acordo com os cenários simulados e normas técnicas de traçado viário, estão listados no quadro 5 a seguir:

Quadro 5 – Resultados esperados do modelo.

Subsistema	**Resultados esperados**
Costado	Número de navios atendidos por ano Fila do terminal Ocupação do sistema
Operação	Ocupação dos equipamentos de cais Fila de descarregamento Fila de carregamento
Movimentação	Ocupação dos equipamentos de retaguarda Número máximo de contêineres armazenados
Terrestre	Número de veículos atendidos Fila de entrada Fila de saída

Fonte: A autora.

4.2 Implementação e análise dos resultados do modelo

Para o dimensionamento do terminal de contêineres proposto foi desenvolvido um modelo computacional e diferentes cenários, variando o percentual de carregamento e descarregamento direto de contêineres, além da carga movimentada por navio em seu carregamento e descarregamento, de 6000 e 8000 TEU, para navios com capacidade de 3000 e 4000 TEU respectivamente.

4.2.1. Número de replicações

A fim de obter significância estatística, garantindo a convergência dos resultados obtidos pela simulação, foi analisado o número de replicações necessárias para a modelo, como visto no gráfico 4 abaixo:

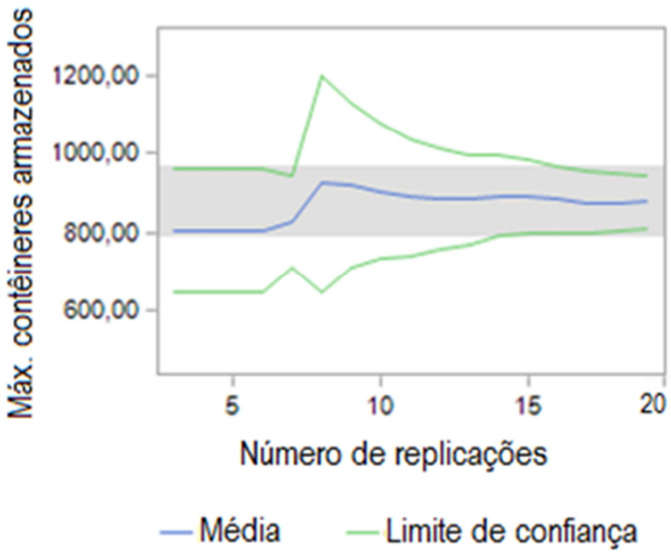


Gráfico 4 – Número de replicações.
Fonte: A autora.

O gráfico apresenta a variação da máxima quantidade de contêineres *standard* embarcados armazenados com o aumento do número de replicações, sendo observado que a curva se estabiliza a partir da décima terceira replicação, com um intervalo de confiança de 10%.

4.2.2. Resultados

Para o dimensionamento do terminal de contêineres dedicado à cabotagem proposto, com um berço e trabalhando em sua envoltória superior de forma a maximizar a ocupação do sistema, foram estabelecidos cenários para uma movimentação total de carga, descarregamento e carregamento do navio, de 6000 e 8000 TEU, com o aumento gradativo do carregamento e descarregamento direto.

De acordo com o tempo de fila para o armazenamento e desarmazenamento de contêineres nas quadras, foi feito o dimensionamento dos transtêineres RTG e *reach stackers*, evitando filas que dificultam a realização de atividades e circulação de equipamentos no terminal, como indicado no gráfico 5, em que 4 transtêineres RTG foram escolhidos.

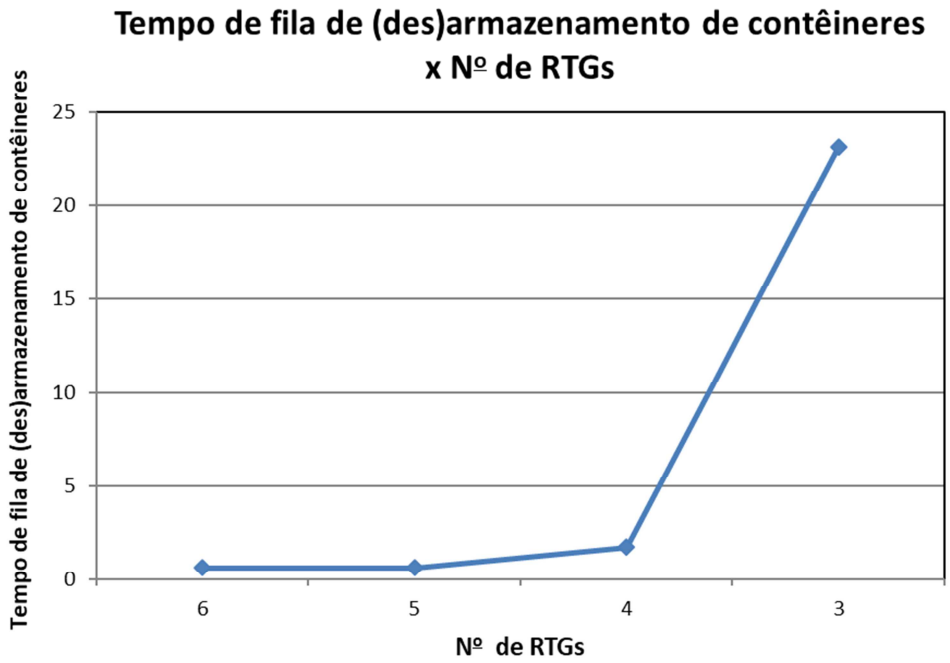


Gráfico 5 – Tempo de fila de (des)armazenamento de contêineres em minutos de acordo com o número de RTGs. Fonte: A autora.

Nota-se que com a redução para três transtêineres RTG o tempo de fila cresce substancialmente, cerca de 10 vezes o tempo de quatro transtêineres RTG, o que ocorre, pois o número de RTGs é discreto e a demanda de contêineres constante, fazendo com que a fila para o atendimento de caminhões se acumule rapidamente pela falta do recurso.

Desta forma, minimizando filas nas atividades, foram dimensionados o número de equipamentos e sua ocupação, dispostos nas tabelas 7 e 8 de acordo com a porcentagem de carregamento e descarregamento direto.

Tabela 7 – Ocupação do berço e de equipamento de cais e retaguarda - Movimentação 6000 TEU/navio.

Carreg./ descarreg. direto	Ocupação do sistema	Caminhões internos	Número STS	Ocupação STS	Número RTG	Ocupação RTG	Número Reach Stacker	Ocupação Reach Stacker
0%	98.8%	14	2	80%	6	43%	4	50%
7%	98.9%	14	2	80%	5	48%	4	46%
14%	98.8%	14	2	80%	5	44%	4	43%
21%	98.8%	14	2	80%	4	51%	4	39%
28%	98.7%	14	2	80%	4	46%	3	48%
35%	98.7%	14	2	80%	4	42%	3	43%
43%	98.5%	14	2	80%	4	36%	3	38%
53%	96.8%	18	2	80%	4	30%	3	31%

Fonte: A autora.

Tabela 8 – Ocupação do berço e de equipamento de cais e retaguarda - Movimentação 8000 TEU/navio.

Carreg./ descarreg. direto	Ocupação do sistema	Caminhões internos	Número STS	Ocupação STS	Número RTG	Ocupação RTG	Número Reach Stacker	Ocupação Reach Stacker
0%	99.6%	14	2	81%	6	43%	4	50%
6%	99.6%	14	2	81%	5	48%	4	47%
13%	99.6%	14	2	81%	5	45%	3	57%
21%	97.9%	14	2	81%	4	51%	3	52%
29%	96.7%	15	2	81%	4	46%	3	47%
37%	96.4%	22	2	81%	4	40%	3	42%
47%	97.0%	24	2	81%	4	34%	3	35%
58%	95.1%	24	2	81%	3	37%	2	42%

Fonte: A autora.

Pode-se observar nas tabelas acima, que a ocupação dos STSs se manteve por volta de 80% para uma ocupação dos sistema de aproximadamente 99%, o que ratifica as pesquisas de Thoresen (2003) que afirmam que o equipamento opera cerca de 80% do tempo que o navio fica ancorado.

Já as ocupações dos equipamentos de retaguarda variam proporcionalmente ao aumento do carregamento e descarregamento direto e a diminuição do número de equipamentos disponíveis. Comportamento já esperado, uma vez que mesmo com o aumento do carregamento e descarregamento direto, espera-se um aumento da ocupação dos equipamentos quando esse recurso é reduzido.

Nas tabelas 9 e 10 são apresentados os tempos médios de fila no terminal, nos *gates* e no carregamento e descarregamento do navio:

Tabela 9 – Tempos médios de fila em horas - Movimentação 6000 TEU/navio.

Carreg./ descarreg. direto	Tempo médio Fila Terminal	Tempo médio Fila Carreg.	Tempo médio Fila Descarreg.	Tempo médio Fila Entrada	Tempo médio Fila Saída
0%	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
7%	0.0	0.0	0.0	0.2	0.0
14%	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0
21%	0.1	0.0	0.1	0.2	0.0
28%	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0
35%	0.0	0.1	0.2	0.2	0.0
43%	0.0	0.3	0.2	0.2	0.0
53%	0.0	0.5	0.7	0.2	0.0

Fonte: A autora.

Tabela 10 – Tempos médios de fila em horas - Movimentação 8000 TEU/navio.

Carreg./ descarreg. direto	Tempo médio Fila Terminal	Tempo médio Fila Carreg.	Tempo médio Fila Descarreg.	Tempo médio Fila Entrada	Tempo médio Fila Saída
0%	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
6%	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
13%	0.5	0.0	0.1	0.0	0.0
21%	0.8	0.0	0.1	0.0	0.0
29%	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0
37%	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0
47%	0.0	0.2	0.9	0.0	0.0
58%	0.0	0.5	1.9	0.0	0.0

Fonte: A autora.

Pode-se observar que os tempos médios de fila de carregamento e descarregamento apresentam uma tendência de crescimento com o aumento das porcentagens de carregamento e descarregamento direto do navio, o que indica acumulo de caminhões em espera para essas atividades.

Como todos os caminhões vazios, ou seja, que serão carregados com contêineres desembarcados chegam durante o tempo de permanência do navio no terminal, gráficos 2 e 3, e a liberação de caminhões diretos só acontece quando o navio já está atracado e realizando essas atividades, há mais caminhões que realizam descarregamento direto do que carregamento direto, o que implica em tempos de fila de descarregamento superiores aos de carregamento com o aumento das porcentagens de carregamento e descarregamento direto do navio.

Observa-se também que o tempo médio da fila de saída de caminhões do terminal se mantem bastante reduzido, não havendo acumulo de caminhões no terminal que dificultariam a realização de atividades e circulação de equipamentos.

O tempo médio da fila de entrada de caminhões no terminal se mantem constante, tendo em vista que a sua curva não se altera com o aumento do carregamento e descarregamento direto, havendo alterações apenas nas atividades desempenhadas pelos caminhões dentro do terminal.

Ainda sobre a fila de entrada de caminhões no terminal, para uma movimentação de 6000 TEU/navio, há uma maior sobreposição da curva de chegada de caminhões com contêineres para embarque no navio seguinte do que para uma movimentação

de 8000 TEU/navio, gráficos 2 e 3, o que gera maiores filas.

Já o tempo médio de fila do terminal apresenta tal comportamento pois varia de acordo com a ocupação do sistema, porcentagem de carregamento e descarregamento direto e número de caminhões internos disponíveis no terminal.

Os gráficos 6 e 7, a seguir, apresentam o número máximo de caminhões em espera para o carregamento ou descarregamento do navio com o aumento da porcentagem de carregamento e descarregamento direto.

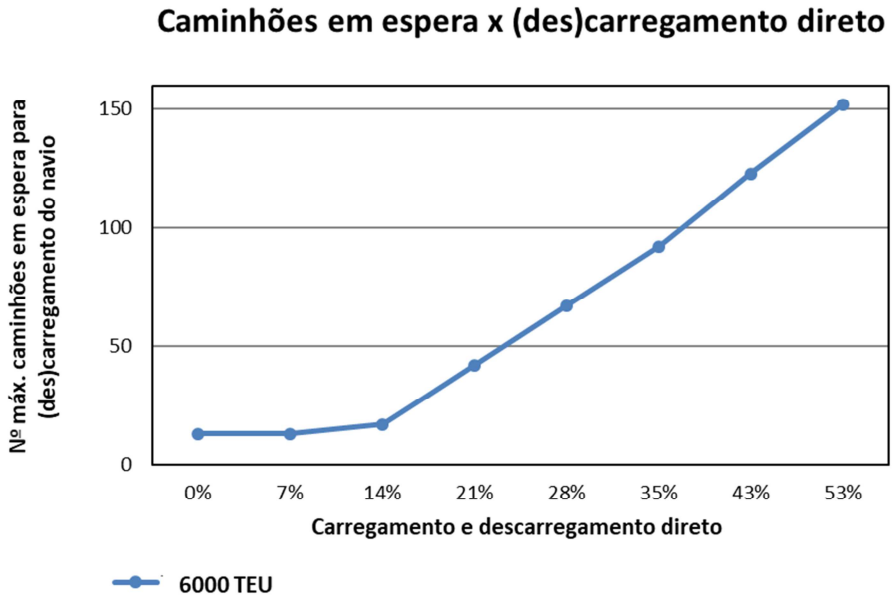


Gráfico 6 – Número máximo de caminhões em espera por porcentagem de carregamento e descarregamento/navio. Fonte: A autora.

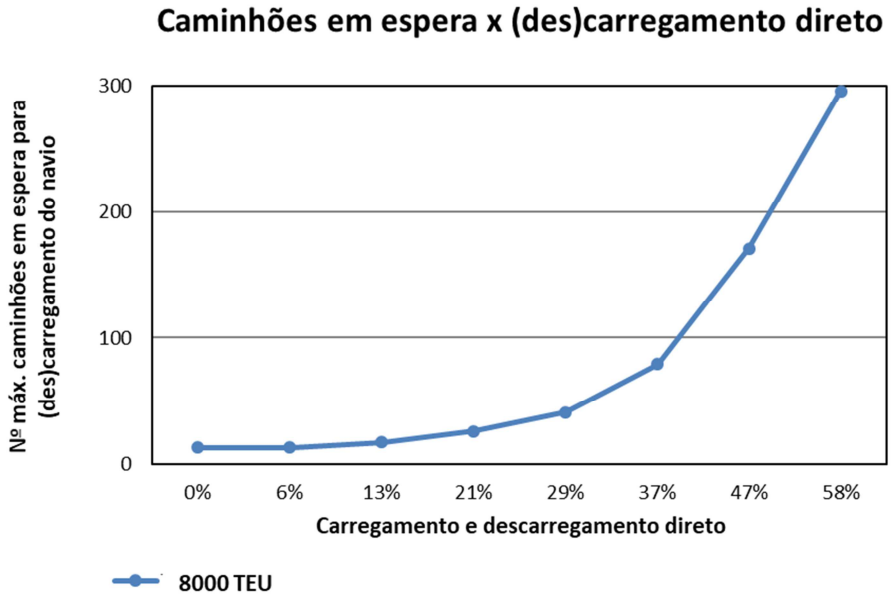


Gráfico 7 – Número máximo de caminhões em espera por porcentagem de carregamento e descarregamento/ navio. Fonte: A autora.

Como indicado pelas filas de carregamento e descarregamento e nos gráficos 6 e 7 acima, pode-se constatar que com o aumento do número de caminhões efetuando o carregamento e descarregamento direto do navio, há uma tendência de crescimento exponencial do número máximo de caminhões em fila de espera para tais atividades, o que denota um ponto negativo para esse incremento, pois em contrapartida a redução da área de armazenamento de contêineres, apresenta-se a necessidade de um estacionamento destinado para a espera pela atividade.

Os gráficos 8 a 15 apresentam o dimensionamento das quadras de contêineres de acordo com o seu tipo, além de conter o número máximo de contêineres armazenados nessas quadras.

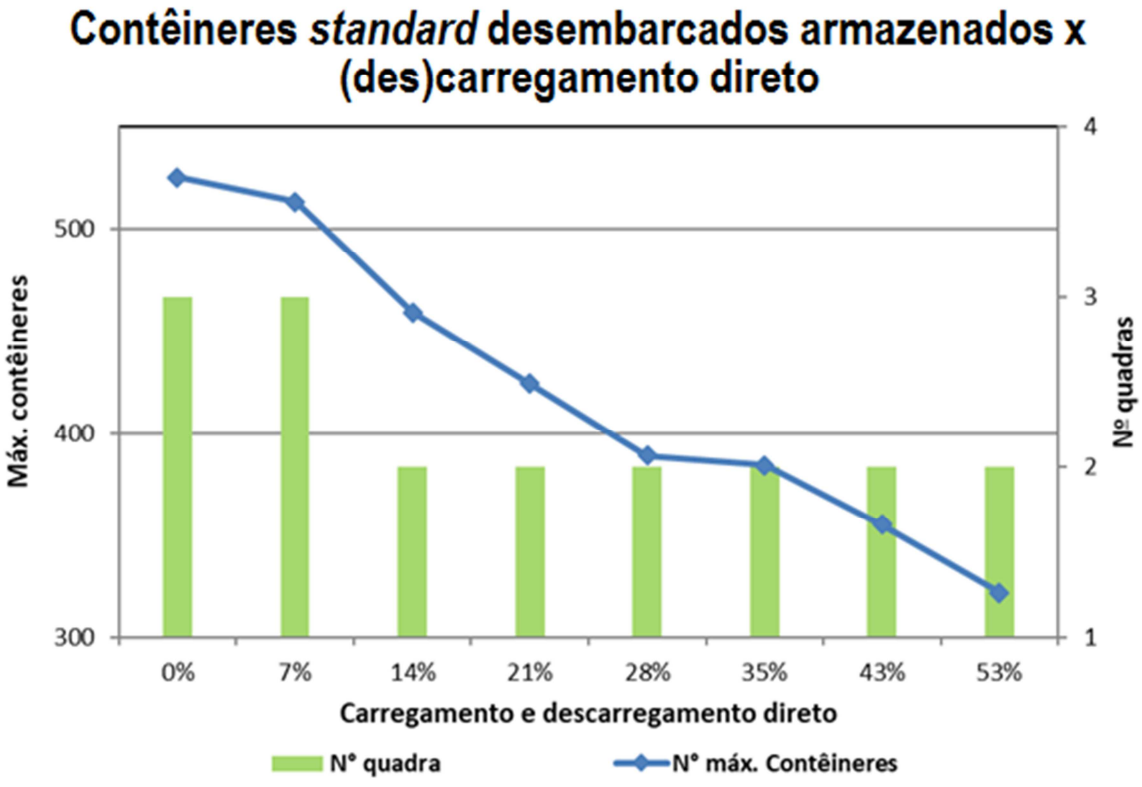


Gráfico 8 – Número máximo de contêineres *standard* desembarcados – Movimentação 6000 TEU/navio. Fonte: A autora.

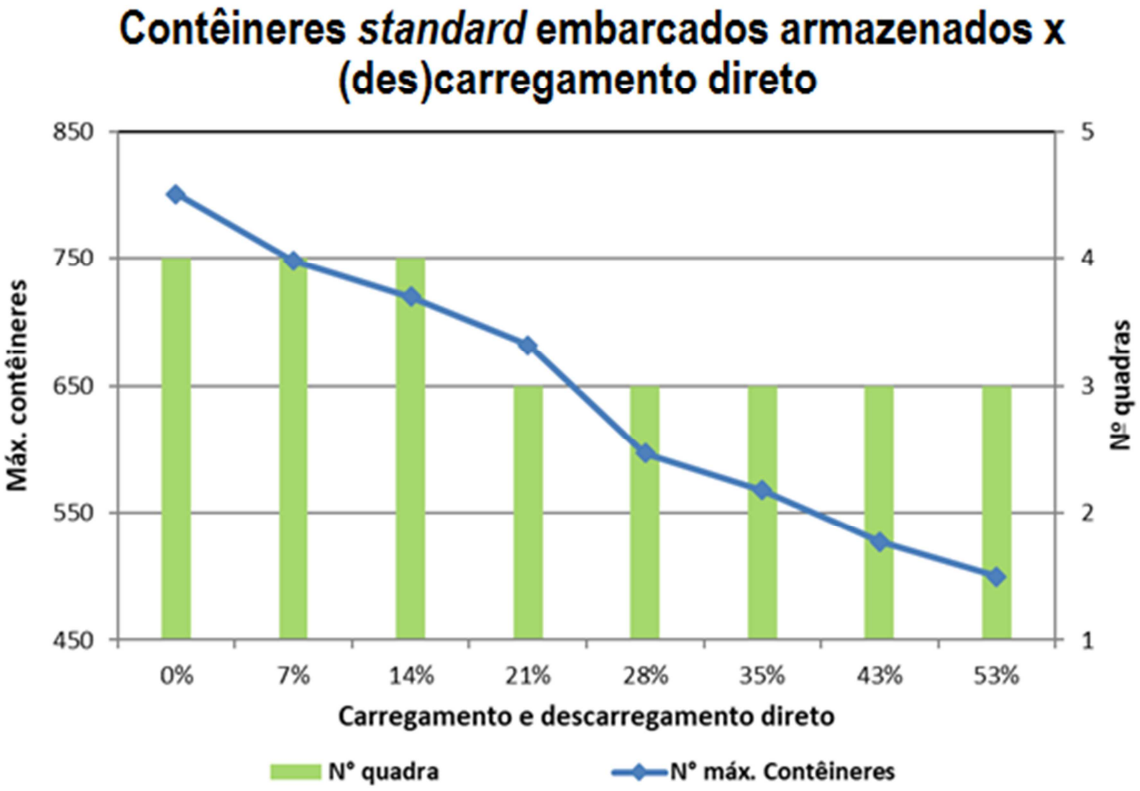


Gráfico 9 - Número máximo de contêineres *standard* embarcados – Movimentação 6000 TEU/navio.
Fonte: A autora.

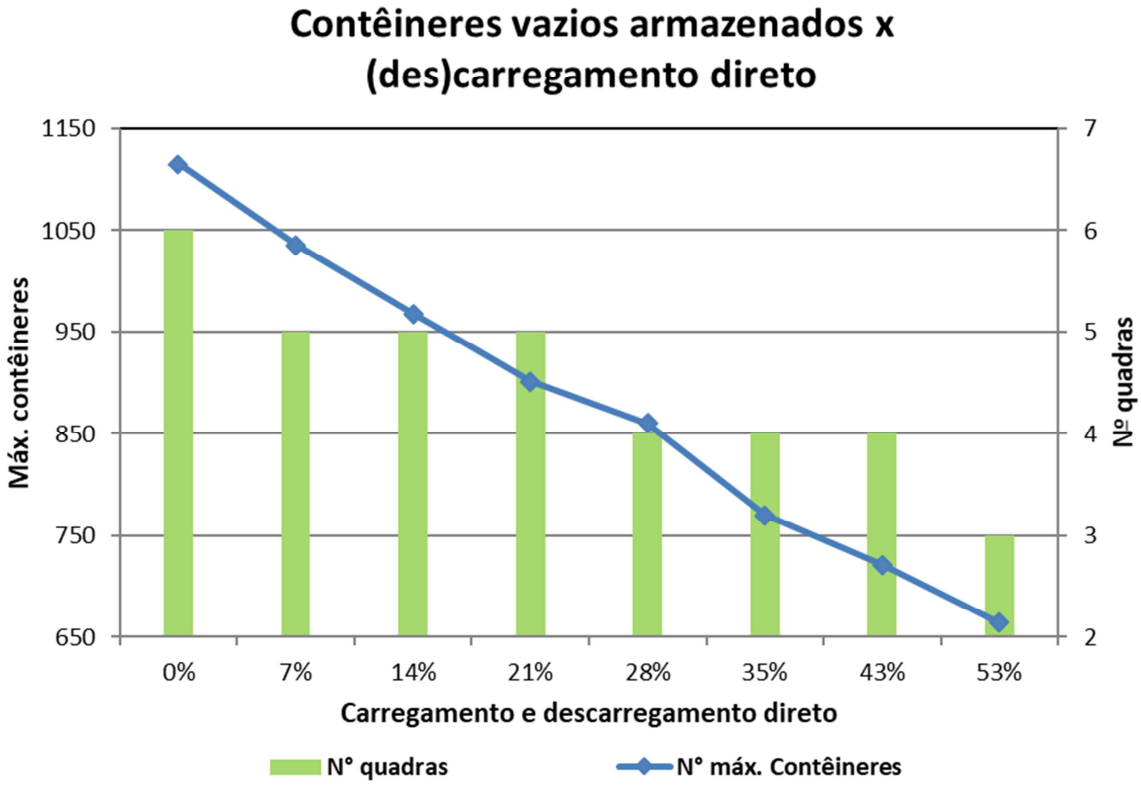


Gráfico 10 - Número máximo de contêineres vazios – Movimentação 6000 TEU/navio.
Fonte: A autora.

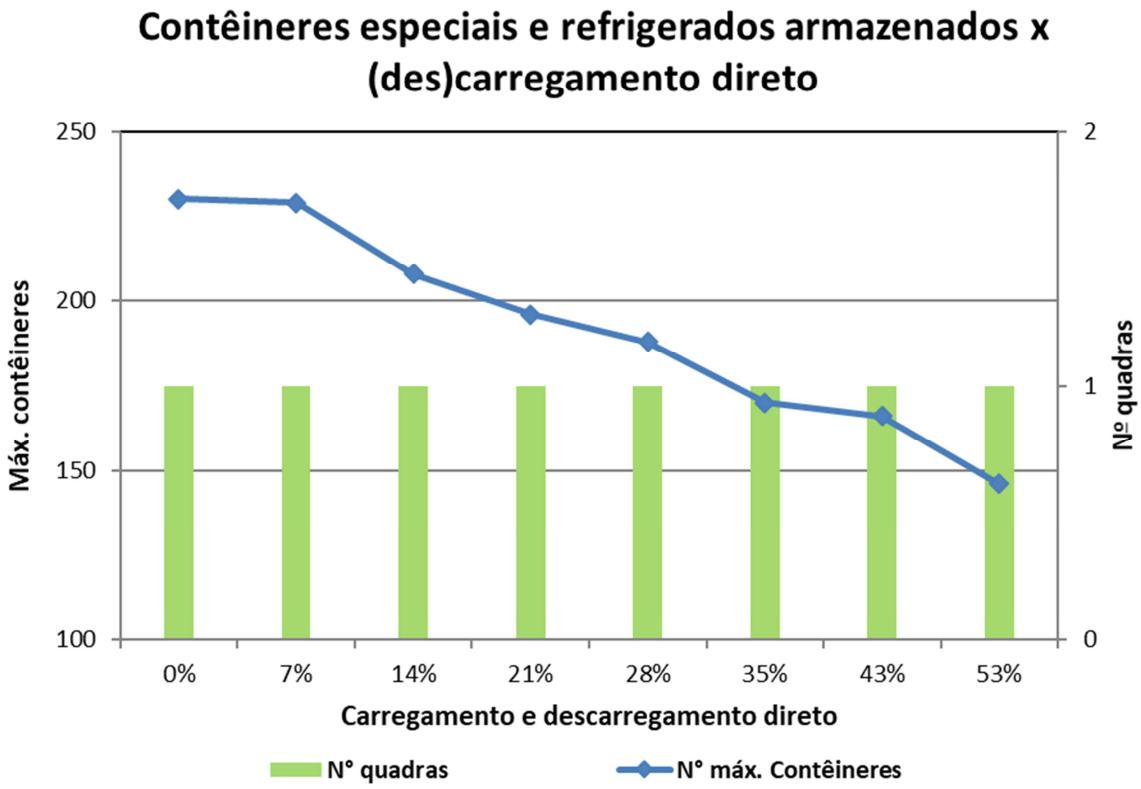


Gráfico 11 - Número máximo de contêineres especiais e refrigerados – Movimentação 6000 TEU/navio.
Fonte: A autora.

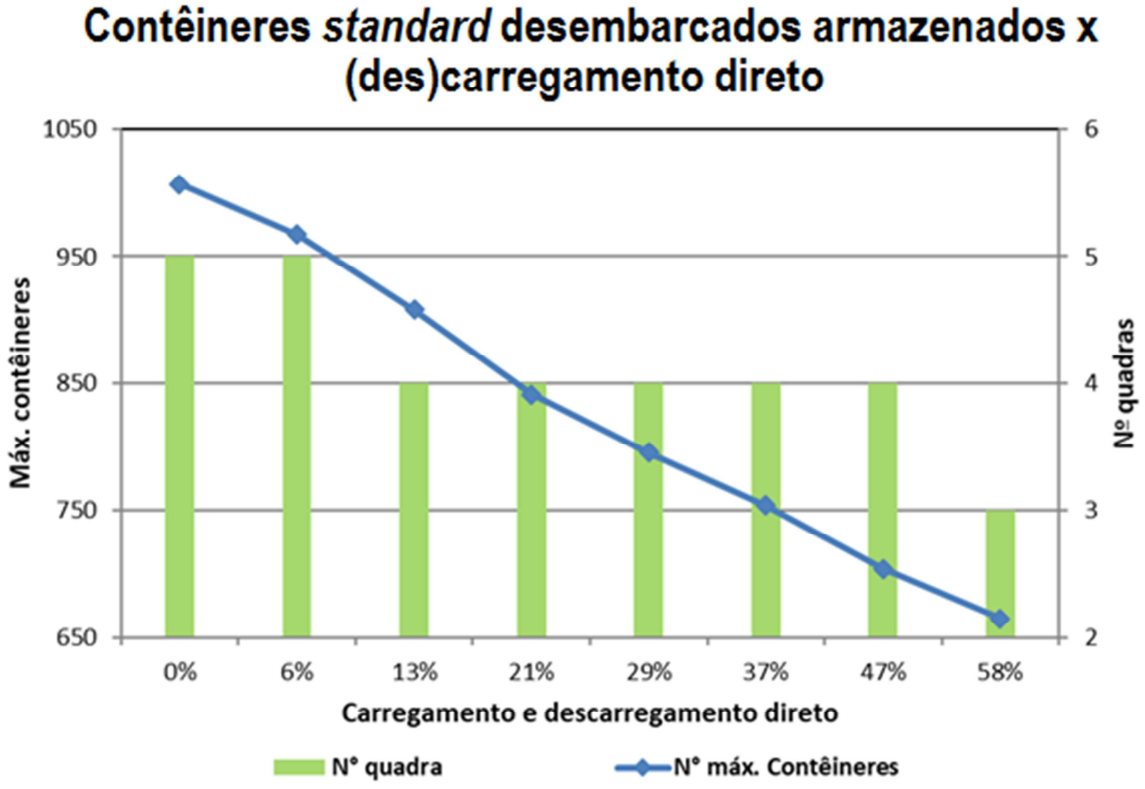


Gráfico 12 – Número máximo de contêineres *standard* desembarcados – Movimentação 8000 TEU/navio.
Fonte: A autora.

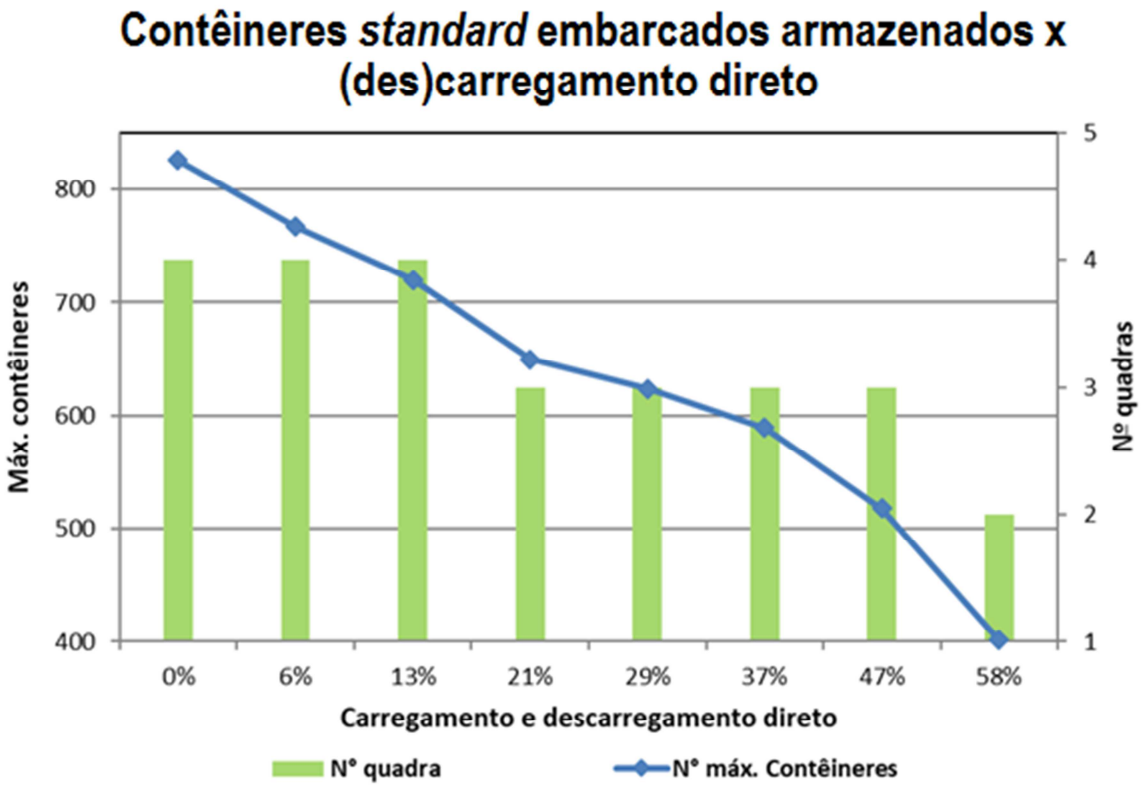


Gráfico 13 - Número máximo de contêineres *standard* embarcados – Movimentação 8000 TEU/navio.
Fonte: A autora.

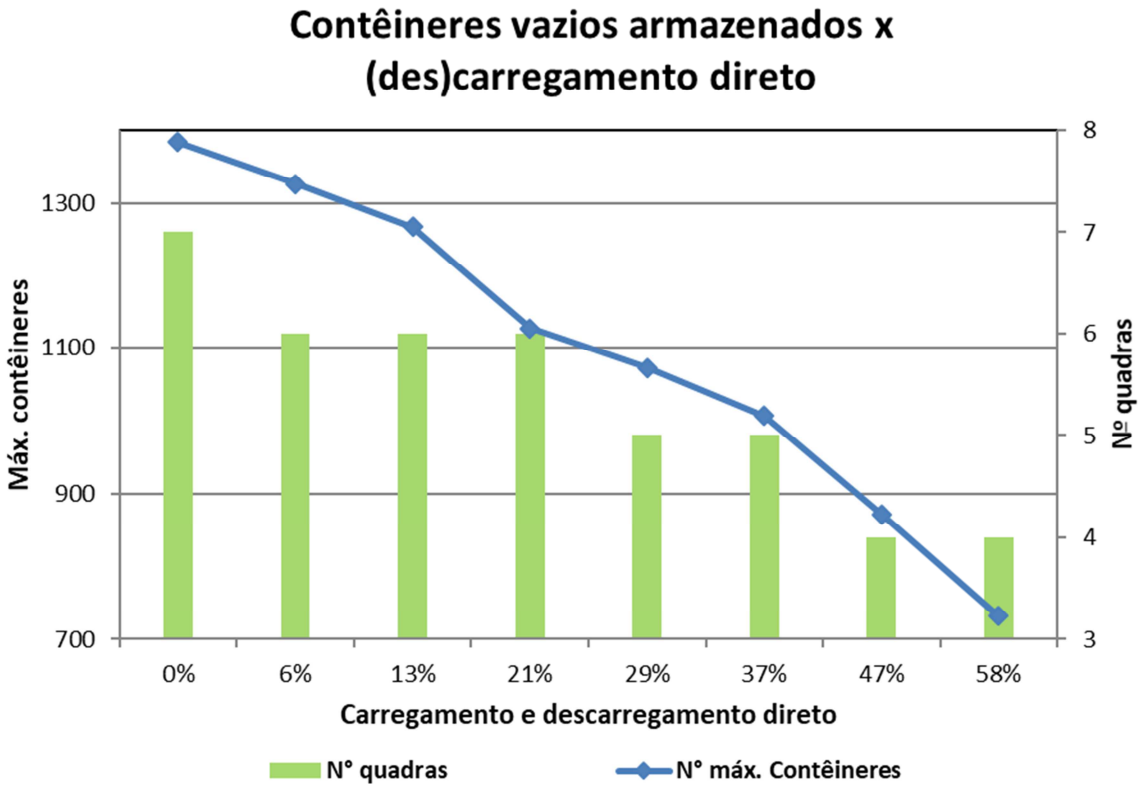


Gráfico 14 - Número máximo de contêineres vazios – Movimentação 8000 TEU/navio.
Fonte: A autora.

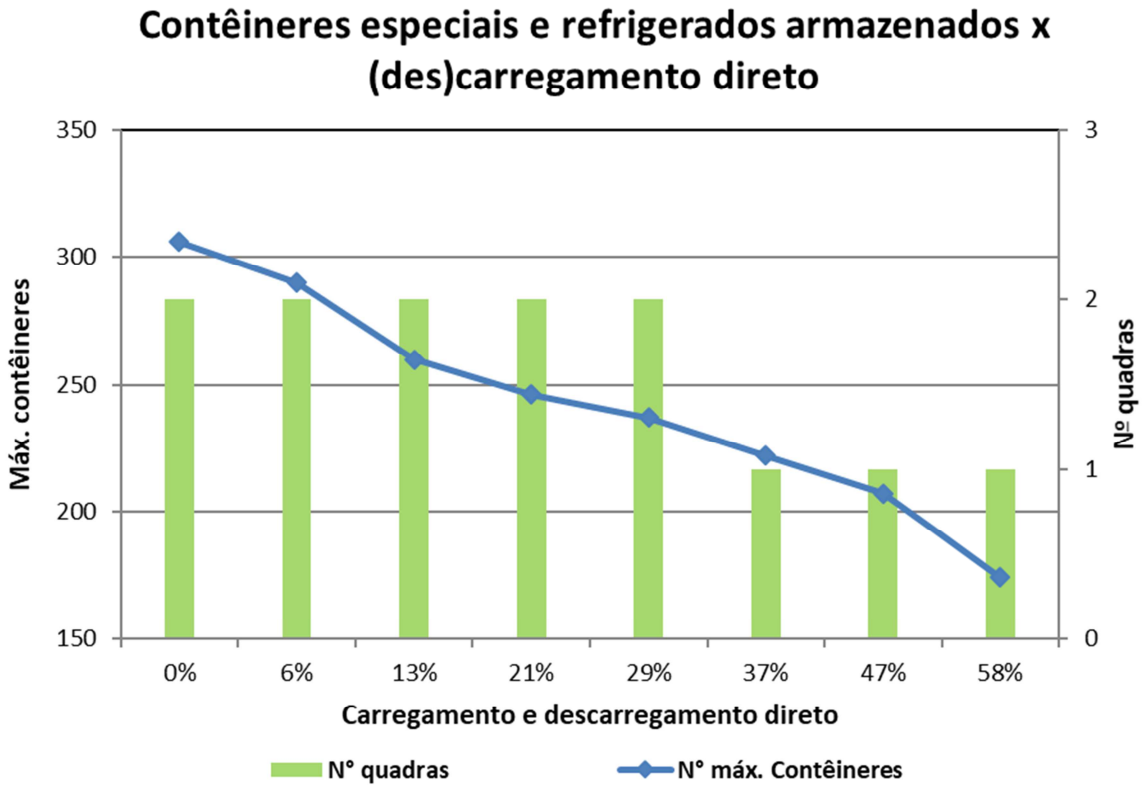


Gráfico 15 - Número máximo de contêineres especiais e refrigerados – Movimentação 8000 TEU/navio. Fonte: A autora.

Como visto na sequência de gráficos apresentados, o comportamento das curvas de armazenamento dos diversos tipos de contêineres com o aumento gradativo do carregamento e descarregamento de contêineres diretos é decrescente, resultando na diminuição gradual de quadras necessárias para seu armazenamento.

Pode-se notar também que tal comportamento não é linear, pois com o aumento de caminhões diretos, há uma redução tanto no número de caminhões que irão armazenar quanto no número de caminhões que irão desarmazenar contêineres nas quadras, o que não produz uma compensação direta do número de contêineres que deixam de ser armazenados pelo carregamento direto, pois esse efeito é reduzido pela diminuição do número de caminhões que operam nas quadras.

Outra saída do modelo, referente a envoltória máxima de produção, se refere ao número de navios atendidos pelo terminal em um ano, sendo 130 e 98 navios para movimentações de 6000 e 8000 TEU/navio, o que totalizam 780000 e 784000 TEU/ano respectivamente.

4.2.3. Validação do modelo

Alguns comportamentos esperados em um terminal de contêineres bem dimensionado, como o armazenamento e desarmazenamento das quadras de contêineres a cada atracação do navio e o aumento da necessidade de vagas de estacionamento à medida que o carregamento e descarregamento direto crescem, gráficos 6 e 7, são verificados no modelo e o validam.

No gráfico 16, o preenchimento e esvaziamento periódico, a cada atracação e desatracação de um navio, das quadras de contêineres *standard* desembarcados pode ser visto no decorrer de um ano de atividade do terminal.

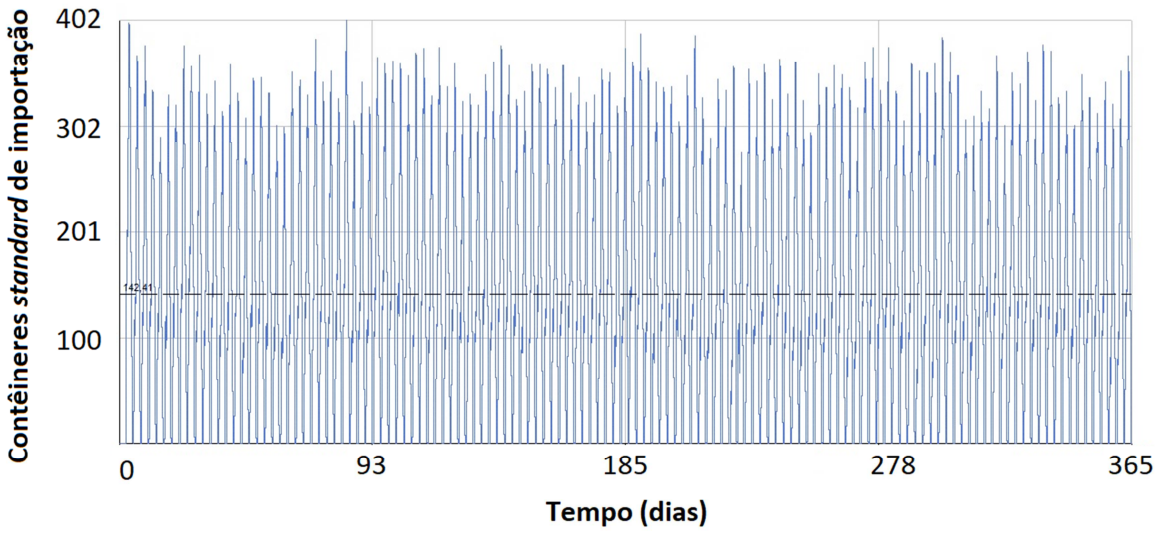


Gráfico 16 – Armazenamento de contêineres *standard* desembarcados com o passar do tempo.
Fonte: A autora.

5. *LAYOUT* MODULAR

Após o dimensionamento do terminal por berço e em sua envoltória superior de produção, para diferentes movimentações de carga por navio e porcentagens de carregamento e descarregamento direto, fez-se um *layout* modular para cada uma das diferentes movimentações de carga, considerando o *trade-off* entre áreas necessárias de armazenamento de contêineres e área necessária de estacionamento para espera nas filas de carregamento e descarregamento direto.

Sendo essa área calculada pela somatória da área correspondente às quadras operadas por *reach stackers* e transtêineres RTG, com 1127 e 965 m^2/quadra respectivamente, acrescida da área de estacionamento de 100 m^2/vaga para cada uma das variações de cenários analisados.

Desta forma, foram adotadas as porcentagens de carregamento e descarregamento direto de 14%, movimentando 6000 TEU/navio, e 13%, movimentando 8000 TEUS/navio, para a criação dos *layouts* modulares em estudo, sendo o critério de seleção, a menor área de retaguarda necessária para quadras de contêineres e estacionamento de caminhões em espera, gráfico 17.

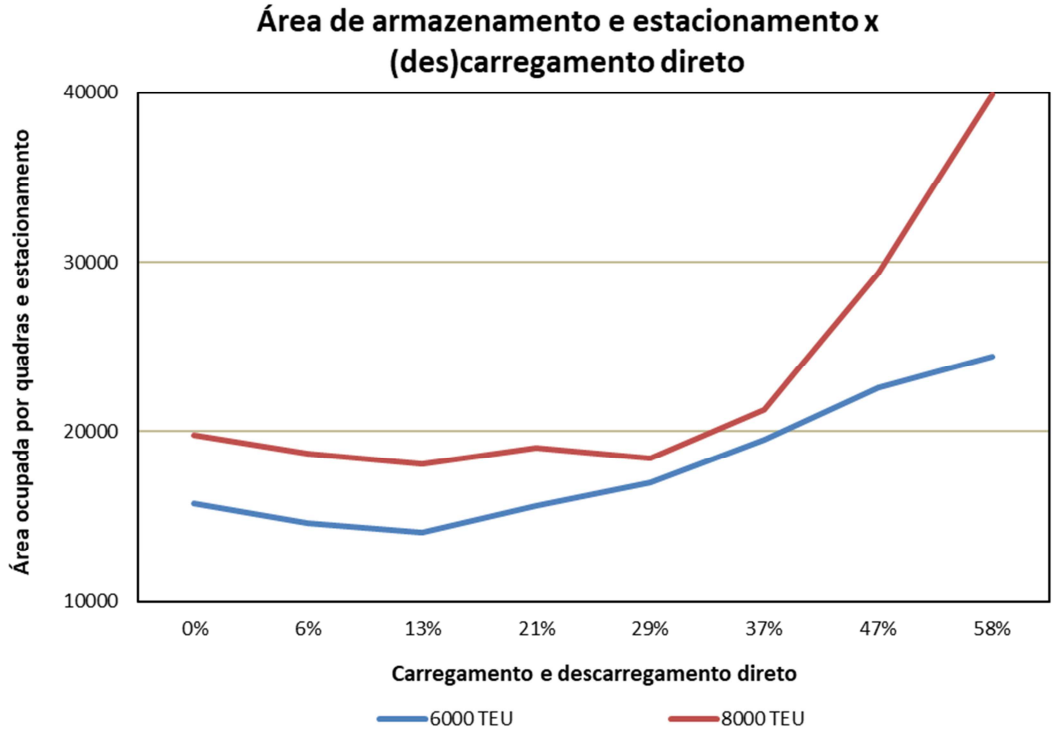


Gráfico 17 – Área de armazenamento e estacionamento por porcentagem de carregamento e descarregamento direto. Fonte: A autora.

Cabe ressaltar, que outro critério de seleção a ser avaliado pelo tomador de decisão consideraria o custo de equipamentos e da área do terminal no local de implementação. Desta forma, para a movimentação de 8000 TEU/navio, a diferença de custo entre as áreas referentes a 13% e 29% de carregamento e descarregamento direto do navio, que apresentam uma pequena variação de área entre si, como visto no gráfico 17, deve ser avaliada em conjunto com a diminuição de um transtêiner RTG.

Já para a movimentação de 6000 TEU/navio, as diferenças de custo entre as áreas referentes a 14%, 21% e 28% de carregamento e descarregamento direto do navio devem ser avaliadas em conjunto com a diminuição de um transtêiner RTG para 21% e um transtêiner RTG e uma *reach stacker* para 28%.

Tais *layouts* modulares, dimensionados por berço, se apresentam como uma opção de ampliação gradativa do sistema, de acordo com o crescimento da demanda por transporte de carga unitizada por cabotagem, e trazem uma possibilidade de configuração do terminal, de acordo com características de empilhamento dos equipamentos e normas técnicas de traçado viário.

Para tanto, foram considerados quadras de largura 6, comprimento 10 e altura 6 contêineres de 20', totalizando 360 TEU para transtêineres RTG, e quadras de largura 7, comprimento 10 e altura 5 contêineres de 20', totalizando 350 TEU para *reach stackers*, figura 18.

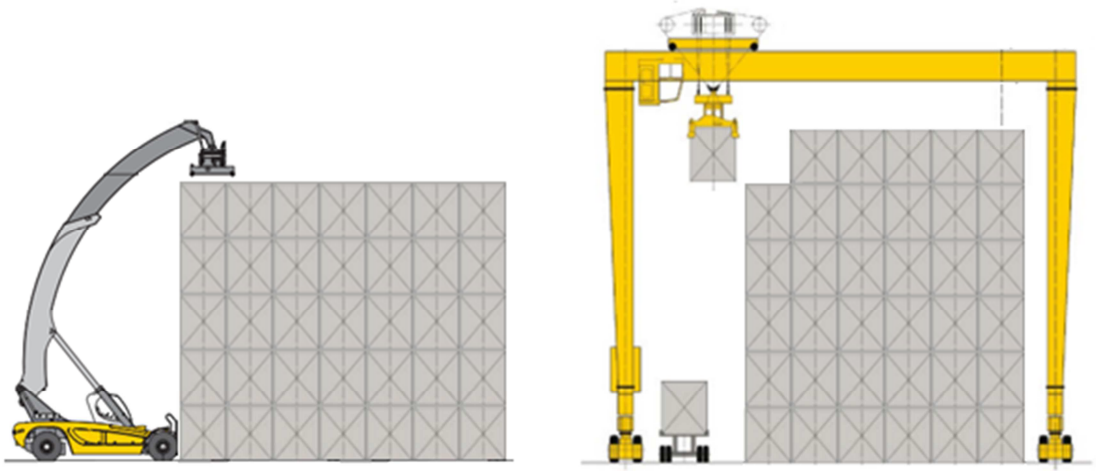
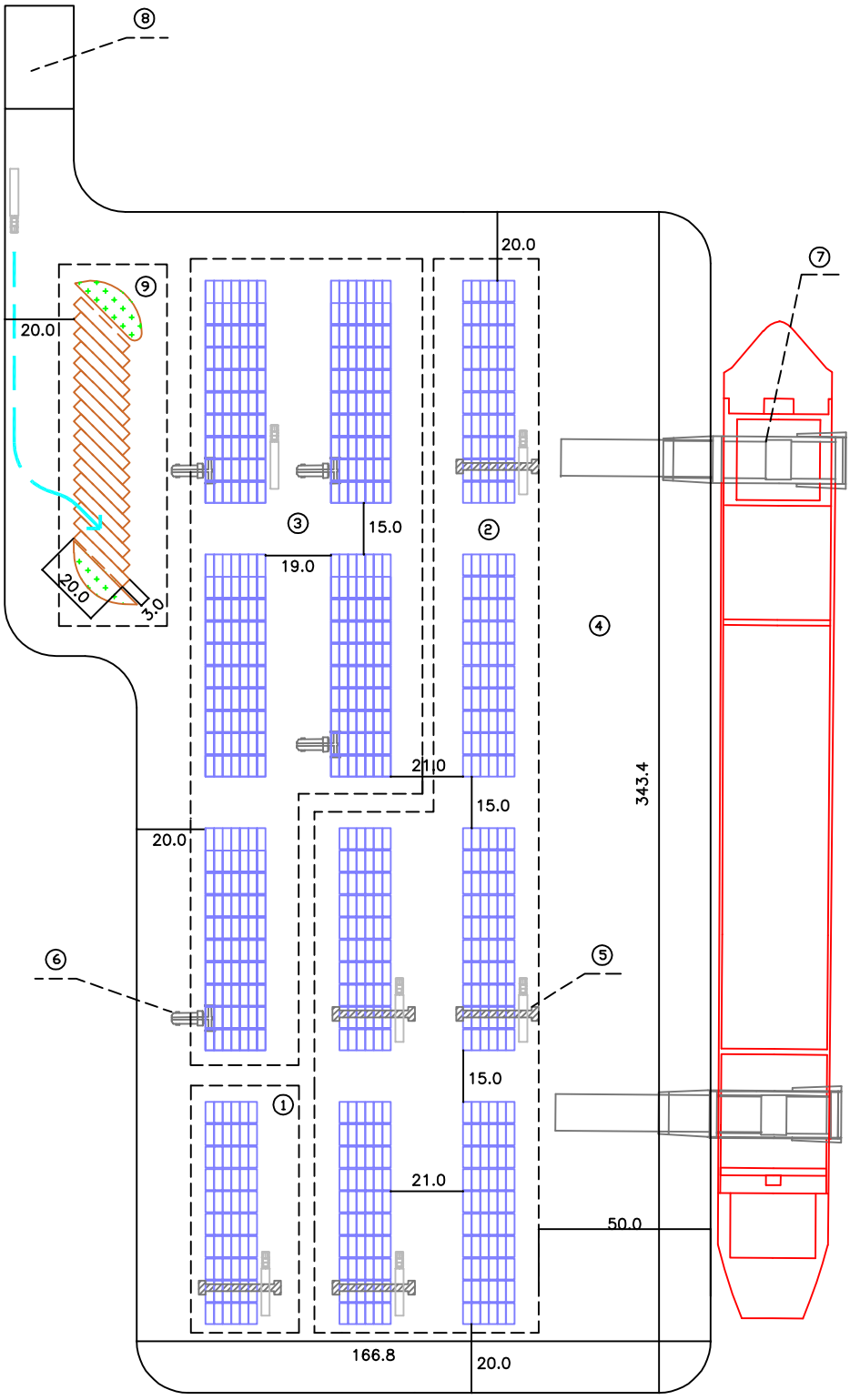


Figura 18 – Vista das quadras de acordo com o equipamento de retaguarda.
Fonte: Liebherr adaptado.

Também foram considerados dois equipamentos de cais, STS, por berço e 50 m de largura para a área adjacente ao berço. Para a distância entre quadras de contêineres *standard* e refrigerados e especiais, que utilizam transtêineres RTG, a distância entre quadras considera 4 metros para parte dos pórticos, Figura 10, uma faixa para caminhões de 5 metros contida no vão interno da RTG e uma faixa adicional para circulação de caminhões de 5 metros, totalizando 14 metros entre quadras.

Já para a distância entre quadras de contêineres vazios, que utilizam *reach stackers*, além da distância de 14 metros necessária para a circulação e manobras do equipamento, Figura 11, foi adicionada uma faixa de 5 metros para circulação de caminhões, totalizando 19 metros, com o objetivo de permitir que caminhões circulem mesmo com o equipamento em operação, evitando interrupções no fluxo de caminhões e perda de produtividade.

Para as vias internas, foi considerado um raio de curvatura mínimo de 15 metros para que os caminhões transitem com segurança. Os *layouts* resultantes podem ser vistos abaixo:



LEGENDA

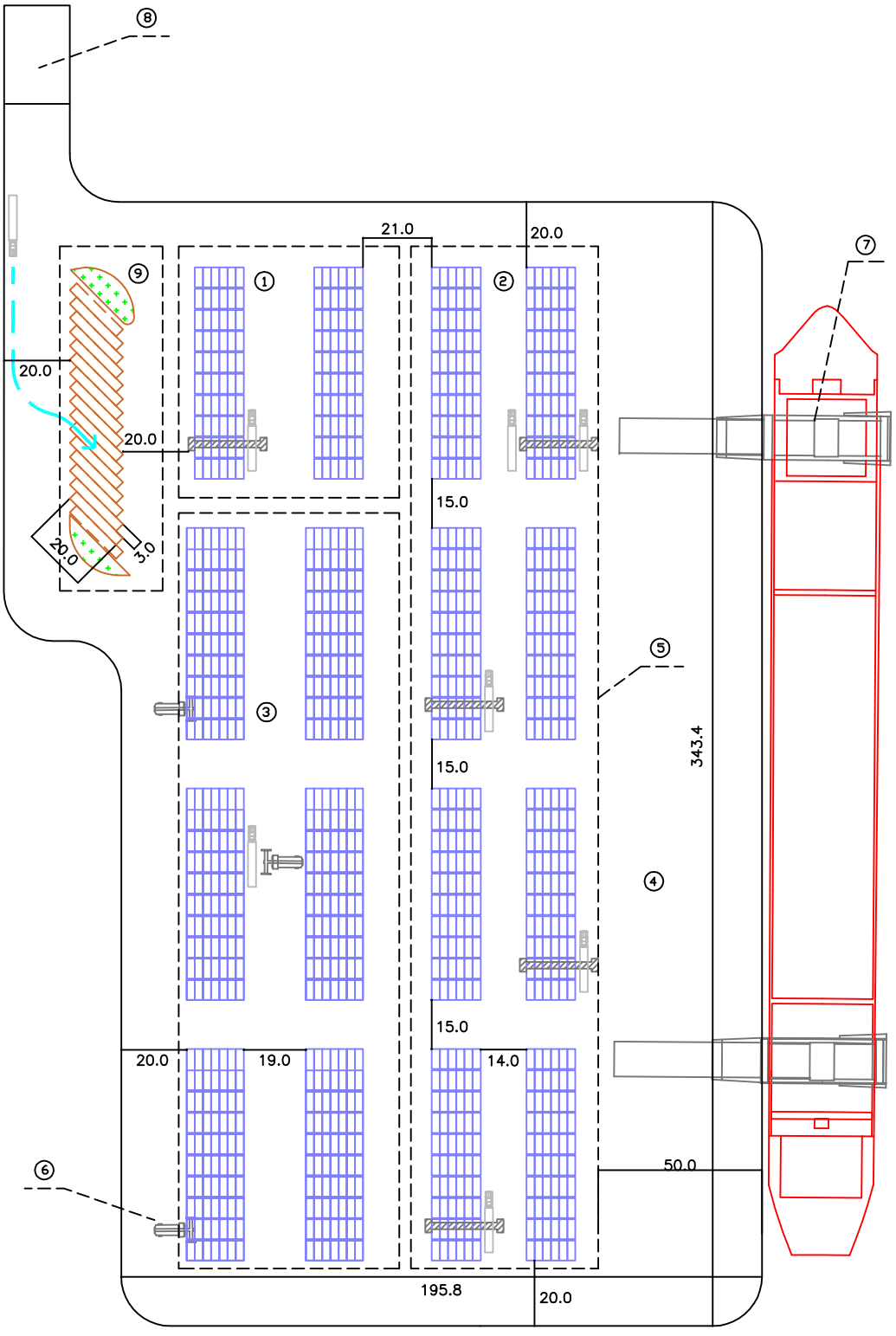
① Armazenamento contêineres especiais e refrigerados
② Armazenamento contêineres standard
③ Armazenamento contêineres vazios
④ área adjacente ao berço
⑤ RTG
⑥ Reach stacker
⑦ STS
⑧ Gates, balanças e vistoria
⑨ Estacionamento

TÍTULO: Layout Modular Terminal "Rápido"

ASSUNTO: Movimentação 6000 TEUS/navio

ESCALA: 1:200

FOLHA: 01/02



LEGENDA

① Armazenamento contêineres especiais e refrigerados
② Armazenamento contêineres standard
③ Armazenamento contêineres vazios
④ área adjacente ao berço
⑤ RTG
⑥ Reach stacker
⑦ STS
⑧ Gates, balanças e vistoria
⑨ Estacionamento

TÍTULO: Layout Modular Terminal "Rápido"

ASSUNTO: Movimentação 8000 TEUS/navio

ESCALA: 1:200

FOLHA: 02/02

Nos *layouts* apresentados, que têm a menor área como critério de seleção, constam a área adjacente ao berço, áreas de armazenamento de contêineres especiais e refrigerados, contêineres *standard*, contêineres vazios, área de estacionamento e vias internas.

A área adjacente ao berço é a área onde os equipamentos de cais, STSs, operam, efetuando o carregamento e descarregamento dos navios, sendo necessária uma largura de 50 metros nessa área devido o comprimento da lança e largura entre trilhos do equipamento.

A área de armazenamento de contêineres especiais e refrigerados é preparada com a infraestrutura necessária para o recebimento desse tipo de contêiner, possuindo pontos de energia elétrica, por exemplo, e onde transtêineres RTG operam, efetuando o armazenamento e desarmazenamento desses contêineres.

A área de armazenamento de contêineres *standard* também opera com transtêineres RTG, que efetuam o armazenamento e desarmazenamento desses contêineres, tendo quadras separadas para contêineres desembarcados e embarcados a fim de facilitar estratégias de formação de pilhas que evitem movimentos desnecessários e facilitem o carregamento dos navios e desarmazenamento dos contêineres desembarcados.

A área de armazenamento de contêineres vazios é operada por *reach stackers*, que efetuam o armazenamento e desarmazenamento desses contêineres, não fazendo distinção entre eles, uma vez que para o balanceamento de contêineres vazios no sistema, é necessário que esses também sejam movimentados entre terminais.

A área de estacionamento é uma área destinada para caminhões que esperam a disponibilidade dos equipamentos de cais para realizar as atividades de carregamento ou descarregamento direto dos navios, uma vez que esses contêineres não passam por atividades intermediárias de armazenamento no pátio do terminal. Tendo suas vagas de estacionamento posicionadas à 45 graus da via, facilitando a entrada e saída dos caminhões nas vagas.

E por fim, as vias internas, que possibilitam que os equipamentos transitem entre os diferentes subsistemas do terminal, apresentam largura compatível à circulação de caminhões com semirreboque para contêineres de 40’, com um raio de curvatura

mínimo de 15 metros, além de permitirem o livre deslocamento e manobras realizadas por *reach stackers*, com uma faixa adicional para a circulação de caminhões, evitando interrupções no fluxo e perda de produtividade.

No *layout* que possibilita a movimentação de 6000 TEU/navio, constam:

- 17 vagas de estacionamento;
- cinco quadras de contêineres vazios;
- seis quadras de contêineres *standard*, sendo duas quadras de contêineres desembarcados e quatro quadras de contêineres embarcados;
- e uma quadra de contêineres especiais e refrigerados, separados em contêineres desembarcados e embarcados apenas por sua posição na quadra, uma vez que a quantidade de contêineres movimentada não justifica sua separação por quadras.

Já no *layout* que possibilita a movimentação de 8000 TEU/navio constam:

- 17 vagas de estacionamento;
- seis quadras de contêineres vazios;
- oito quadras de contêineres *standard*, sendo quatro quadras de contêineres desembarcados e quatro quadras de contêineres embarcados;
- e duas quadras de contêineres especiais e refrigerados, sendo uma quadra de contêineres desembarcados e uma quadra de contêineres embarcados.

Desta forma, uma possível área de implantação para os *layouts* apresentados, seria o terminal STS10, localizado no cais do Saboó, no porto de Santos, área que atualmente a Codesp prepara o lançamento de edital de arrendamento. Destinado a carga geral e contêinerizada, este terminal, figura 19, apresenta 236 mil metros quadrados, dois berços e acesso ferroviário, apresentando desta forma área e infraestrutura suficientes para a implantação de um terminal “rápido” de contêineres dedicado à cabotagem, fruto deste estudo.

Figura 19 – Vista em planta do terminal STS10, cais do Saboó – Porto de Santos.
Fonte: ANTAQ.

6. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Com os resultados apresentados, pode-se concluir que a simulação de eventos discretos é uma ferramenta adequada para o dimensionamento de um terminal de contêineres, sendo eficiente e obtendo resultados satisfatoriamente validados.

Nota-se que a estratégia de carregamento e descarregamento direto de contêineres do navio é eficiente para a otimização da área do terminal e combinada à demanda de contêineres movimentados por navio possibilita a escolha por um serviço com maior frequência e menores áreas de armazenamento, mas um maior custo de viagem por TEU transportado ou uma menor frequência de viagens e maiores áreas de armazenamento, mas um menor custo por TEU transportado. Contribuindo assim para a formação de estratégias de implementação de um terminal “rápido”.

Outro ponto estudado que contribui para o plano de implementação do sistema, é sua ampliação gradativa por meio de possíveis *layouts* modulares dimensionados por berço, à medida que a demanda por esse transporte cresce.

Observa-se também que a redução do tempo de permanência dos contêineres no terminal se mostra praticável, desde que aliada a um sistema de planejamento de chegada de caminhões que garanta a sua frequência, respeitando o plano de carga do navio quando direcionados para o carregamento direto.

A simulação também se mostra uma ferramenta adequada para dimensionar os equipamentos necessários no terminal, tais como STS, transtêiner RTG, *reach stacker* e caminhões internos, além das quadras necessárias para o armazenamento de contêineres.

É importante salientar que a atratividade da cabotagem não se baseia apenas no menor custo do frete e vantagens ambientais e operacionais se comparado ao transporte rodoviário, existem obstáculos logísticos e culturais que podem dificultar sua viabilidade e implementação.

O desafio logístico se refere à mudança de frequência no envio e recebimento de carga, impactando no gerenciamento de estoque das empresas. Já o desafio cultura se refere à mudança dos trajetos realizados por modal rodoviário, que se concentrariam no transporte entre terminal e cliente, reduzindo significativamente a

distância percorrida pelas transportadoras e caminhoneiros autônomos, o que pode gerar resistência dessas categorias.

Também é importante ressaltar, que a cabotagem por ser mais segura e ambientalmente sustentável que o transporte rodoviário, justifica incentivos do governo, tais como subsídios e isenções fiscais, para viabilizar sua implementação, tal como ocorrido na Itália no *Motorway of the sea*, uma vez que reduz acidentes e a emissão de gases poluentes.

Como recomendações para trabalhos futuros, pode-se citar o dimensionamento do terminal para diferentes movimentações de carga do navio, variações dos equipamentos de retaguarda e número de equipamentos de cais, além de diferentes configurações de blocos de armazenamento.

Outro estudo futuro seria o desenvolvimento de novos *layouts* considerando o acréscimo do custo de área em diferentes localidades de terminais e o decréscimo do custo de equipamentos com o aumento da porcentagem de carregamento e descarregamento direto, como sugerido no ítem 5, "*Layout* modular".

Além do levantamento dos custos de ambos os terminais e cálculo de frete, comparado aos diferentes modais, dando suporte à viabilidade do sistema e apresentando o terminal "rápido" de contêineres proposto como uma alternativa para a ampliação do modal aquaviário na matriz de transportes brasileira.

Outra pesquisa futura poderia abordar a integração do terminal ao seu entorno, considerando filas relativas à outros terminais do porto e à cidade em que está localizado, o que afetaria a chegada de caminhões ao terminal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDERTON, A. **Port Management and Operations**. 3rd ed. London: Lloyd´s Practical Shipping Guides, 2008, 429 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS - ANTAQ. **Anuário 2016**. Disponível em: <http://web.antaq.gov.br/anuario/>. Acesso em: Set. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 668:** Contêineres série 1: Classificação, dimensões e capacidades. Rio de Janeiro, 2010. 5 p.

ASSOCIAÇÃO DOS PORTOS DE PORTUGAL - APP. **Project for the organization and configuration of pilot actions for the development of motorways of the sea in Portugal**. Portugal: Fordesi, 2007. 66 p.

ASHAR, A.; RODRIGUE, J. P. **The Geography of Transport Systems**, New York: Hofstra University, Department of Geography, 2012. Disponível em: <https://people.hofstra.edu/geotrans/eng/ch3en/conc3en/containerships.html>. Acesso em: Agosto/2017.

AMERICAN ASSOCIATION OF HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS - AASHTO. **A Policy on Geometric Design of Highways and Streets**. Washington DC: AASHTO, 2004. 896 p.

BANKS, J.; CARSON II, J. S.; NELSON, B. L. E NICOL, D. M. (2004) **Discrete-event System Simulation.** 4th ed. Upper Sandle River: Prentice Hall International Series in Industrial and System Engineering, 2004, 622 p.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos, Teoria & Prática**, 3ª ed. São Paulo: Elsevier, 2010, 320 p.

CORRÊA, G. B.; FREITAS, J. C.; AMARAL, J. C.; SOUZA, M. V. O.; BOTTER, R. C. Simulação de um Sistema de Transporte Aquaviário Dedicado à Cabotagem, In: SOBENA, 26., 2016, Rio de janeiro.

DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DE SÃO PAULO - DER/SP. **Instrução de Projeto Geométrico**. São Paulo: DER/SP, Diretoria de Engenharia, 2005. 36 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM - DNER. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro: DNER, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Divisão de Capacitação Tecnológica, 1999, 195 p.

DRAGOVIC, B.; PARK, N. K.; RADMILOVIC, Z.; MARAS, V. Simulation modelling of ship-berth link with priority service. **Maritime Economics & Logistics**, v.7, n. 4, p. 316–355, 2005.

GAMBARDELLA, L. M.; BONTEMPI, G.; TAILLARD, E.; ROMANENGO, D.; RASO, G.; PIERMARI, P. Simulation and forecasting in intermodal container terminal. In: European Simulation Symposium, 8., 1996. Harbour Simulation, ESS: Genoa, p. 626–630, 1996.

GUALDA, N. D. F. **Terminais de Transportes: Contribuição ao Planejamento e ao Dimensionamento Operacional.** 1995. 277 f. Tese (Livre Docência em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

KEMME, N. Effects of storage block layout and automated yard crane systems on the performance of seaport container terminals. **OR Spectrum**, v. 34, n. 3, p. 563–591, 2012.

KIA, M.; SHAYAN, E.; GHOTB, F. Investigation of port capacity under a new approach by computer simulation. **Computers & Industrial Engineering**, v. 42, n. 2-4, p. 533–540, 2002.

KIM K. H., KIM H. B. The optimal sizing of the storage space and handling facilities for import containers. **Transportation Research**, v. 36, n. 9, p. 821–835, 2002.

KIM, K. H.; PARK, Y. M.; JIN, M. J. An optimal layout of container yards. **OR Spectrum**, v. 30, n. 4, p. 675–695, 2008.

LIU, C. I.; JULA, H.; IOANNOU, P. A. Design, simulation, and evaluation of automated container terminals. **IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems**, v.3, n. 1, p. 12–26, 2002.

MATHIAS, N. A. V. S. S. **Analysis of the Container Terminal at the Port of Leixões Using Simulation Approach**. 2017. 100 f. Thesis (Master Degree in Naval Architecture and Marine Engineering). Técnico Lisboa. Lisboa, 2017.

MIGUEL, P. A. C.; FLEURY, A.; MELLO, C. H. P; NAKANO, D. N.; LIMA, E. P.; TURRIONI, J. B.; HO, L. L.; MORABITO, R.; MARTINS, R. A.; SOUSA, R.; COSTA, S. E. G.; PUREZA, V. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações,** 2ª. ed. São Paulo: Elsevier. 2012, 260 p.

MURTY, K. G. Yard crane pools and optimum layouts for storage yards of container terminals. **Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 1, n. 3, p. 190–199, 2007.

PETERING, M. E. H. Effect of block width and storage yard layout on marine container terminal performance. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 45, n. 4, p. 591–610, 2009.

SÁ PEIXOTO, G. S. **Modelo para Seleção de Equipamentos de Retaguarda e Estratégias de Formação de Pilhas na Armazenagem em Terminais de Contêineres**. 2005. 204 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.

SARMIENTO, M. G. C.; EPPRECHT, E. K.; OLIVEIRA, F. L. C.; JUNIOR, A. T. S. R. Simulação Aplicada ao Despacho de Contêineres de Importação em Terminais Portuários. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 48., Vitória, ES, 2018.

STEENKEN, D., VOß, S., STAHLBOCK, R. Container terminal operations and operations research: a classification and literature review. **OR Spectrum**, v. 26, n. 1, p. 3- 49, 2004.

TEIXEIRA, C. A. N.; ROCIO, M. A. R.; MENDES, A. P. A.; D'OLIVEIRA, L. A. S. Navegação de Cabotagem Brasileira. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 391-436, 2018.

THE WORLD BANK. **The Evolution of Ports in a Competitive World – Module 2**, 2007 Disponível em: <https://ppiaf.org/sites/ppiaf.org/files/documents/toolkits/ Portoolkit/ Toolkit/pdf/modules/02_TOOLKIT_Module2.pdf>. Acesso em: Ago. 2017.

THORESEN, C. A. **Port Designer's Handbook: Recommendations and Guidelines**, 2nd ed. London: Thomas Telford Books, 2003, 549 p.

VALOIS, N. A. L. **Requisitos para Modelo de Operação da Cabotagem de Cargas Conteinerizadas no Brasil: A Utilização de Terminais Rápidos**. 2014. 315 f. Tese (Doutorado em Engenharia Naval). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2014.

YUN, W. Y.; CHOI, Y. S. A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach. **International Journal of Production Economics**, v.59, n. 1-3, p. 221–230, 1999.

ZHANG C.; LIU J.; WAN Y. W.; MURTY K. G.; LINN R. J. Storage space allocation in container terminals. **Transportation Research Part B: Methodological**,v.37, n.10, p. 883–903, 2003.

GLOSSÁRIO

Carregamento ou descarregamento direto – Carregamento ou descarregamento de contêineres do navio feito diretamente dos caminhões que chegam ao terminal, sem haver uma etapa intermediária de armazenamento desses contêineres em quadras.

Contêineres embarcados – Contêineres com carga de cabotagem que chegam ao terminal por via terrestre, e que aguardam seu embarque em um navio.

Contêineres desembarcados – Contêineres com carga de cabotagem que chegam ao terminal por via marítima, e que aguardam sua retirada por via terrestre.

Layout modular – Configuração do terminal "rápido" de contêineres que possibilita sua ampliação gradativa, uma vez que especifica as áreas de retaguarda necessárias por berço, podendo ser implementado tanto em terminais já existentes quanto em novos terminais exclusivamente dedicados à cabotagem, desde que a carga de cabotagem se mantenha isolada das demais cargas.

Terminal "rápido" – Terminal de contêineres dedicado à cabotagem que por meio de simplificações de processos administrativos e aduaneiros, transmissão eficiente e informatizada de dados, automatização, diminuição do tempo de permanência do contêiner no terminal e frequência constante de navios, provê serviços com altos níveis de confiabilidade e eficiência, tornando a cabotagem competitiva frente o modal rodoviário.