



Revista ADM.MADE

Revista do Mestrado em Administração e
Desenvolvimento Empresarial - Universidade
Estácio de Sá

Revista ADM.MADE, ano 9, v.13, n.3, p.23-39, setembro/dezembro, 2009

Revista do Mestrado em Administração e Desenvolvimento Empresarial da Universidade Estácio de Sá – Rio de Janeiro (MADE/UNESA). ISSN: 1518-9929

Editora responsável: Isabel de Sá Affonso da Costa

Organizadores do volume temático: Marco Aurélio Bouzada e Irene Troccoli (MADE/UNESA)

Concepção de um Terminal Regulador de Contêineres como Elemento Impulsionador da Intermodalidade na Região do Porto de Santos*

Thiago Barros Brito¹

Rui Carlos Botter²

Rodolfo Celestino dos Santos Silva³

Artigo recebido em 03/10/09. Aceito em 17/01/10. Artigo submetido a avaliação *double-blind*.

* Uma versão preliminar deste artigo foi apresentada e publicada nos Anais do XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, Salvador - BA, 06 a 09 de outubro de 2009, com o título *Modelagem e simulação de um terminal regulador de contêineres*.

¹ Graduado em Engenharia de Produção pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP). Mestrando em Engenharia de Sistemas Logísticos na Poli/USP. Endereço: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica - Av. Prof. Mello Moraes 2231 - Cidade Universitária - São Paulo - SP. CEP: 05508-030. E-mail: tbbrito@gmail.com.

² Doutor em Engenharia Naval pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP). Livre-docente em Transportes Marítimo e Fluvial, Planejamento Portuário e Logística pela Poli/USP. Professor titular da Poli/USP. Endereço: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica - Av. Prof. Mello Moraes 2231 - Cidade Universitária - São Paulo - SP. CEP: 05508-030. E-mail: rcbotter@usp.br.

³ Graduado em Engenharia Naval e Oceânica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (Poli/USP). Mestrando em Engenharia Naval e Oceânica na Poli/USP. E-mail: rodolfocs.silva@gmail.com.

Concepção de um Terminal Regulador de Contêineres como Elemento Impulsionador da Intermodalidade na Região do Porto de Santos

O rápido crescimento da movimentação de contêineres na região Sudeste do País contrasta com a intensificação dos problemas logísticos enfrentados pelo Porto de Santos, principal escoador de carga containerizada nacional. O comércio internacional brasileiro corre risco de sofrer perda de competitividade internacional caso um plano logístico emergencial não seja posto em prática. Este trabalho tem, como objetivo, verificar a viabilidade da concepção de um Terminal Regulador de Contêineres na região de Cubatão, próxima ao Porto de Santos, por meio da técnica de Modelagem e Simulação de Eventos Discretos. A função do terminal em estudo é atuar como um “pulmão” logístico, introduzindo melhorias operacionais que favoreçam o porto e a carga movimentada, além de funcionar como elemento integrador intermodal na Baixada Santista, oferecendo a opção de transbordo de cargas por meio de três modais: rodoviário, aquaviário e ferroviário. Para que o objetivo do trabalho fosse alcançado, foi necessário, primeiramente, tomar conhecimento de todas as peculiaridades que envolvem o sistema logístico da Baixada Santista. A partir daí foi possível a construção de modelo de simulação, validado em seguida. Com o modelo validado, foram testados diversos cenários, caracterizando as possíveis configurações de operação do terminal, tendo-se concluído que é viável a operação do terminal regulador utilizando-se apenas os modais marginalizados atualmente pelo sistema logístico da Baixada Santista (ferroviário e aquaviário), eliminando-se a utilização do modal rodoviário para realizar a ligação até o Porto de Santos.

Palavras-chave: modelagem; simulação; terminais multimodais.

Keywords: modeling, simulation, multimodal terminals.

Configuration of a Container Regulator Terminal as an Instrument of Multimodality Development Booster at Port of Santos Zone

The fast growing of container usage in Brazil southeast region contrasts with the intensification of logistics problems faced by the Port of Santos, main national container port. Brazilian international trade is under serious risk regarding international competitiveness and the development of an emergency logistic plan is imperative. This study aims to study the viability of the implementation of a Container Regulator Terminal, in the region of Cubatão, 30 km away from the Port of Santos, through the Modeling and Discrete Simulation technique. The terminal, beyond its port's “logistic lung” function, introduces logistics operational improvements, especially regarding cargo transportation inter-modality (road, railroad and waterway). It was first necessary to build a solid base of information about the Baixada Santista (Cubatão Region) logistic system peculiarities. From this point on, it was possible to build an operational model for the proposed terminal. With the validated model, diverse scenarios have been simulated, characterizing most of the possible operational configurations. Results show the feasibility of the operation of the regulator terminal with only the utilization of the currently marginalized modals by the Port of Santos logistics system (rail and waterway), eliminating the utilization of the road transportation system to make the connection to the Port of Santos.

1. Introdução

A questão do transporte de carga, assim como o restante dos aspectos referentes ao sistema de transporte na Região Metropolitana da Baixada Santista, é tema constata de abordagens acadêmicas e profissionais. Muitos desses estudos, entretanto, são centrados em questões específicas. Visam a identificar, a isolar e a propor soluções para problemas particulares e pontuais. Claro, há tentativas na intenção de agregar esforços para

Revista ADM.MADE, ano 9, v.13, n.3, p.23-39, setembro/dezembro, 2009.

elaboração de projetos que deixem de lado a visão pontual dos problemas do sistema de transporte da Baixada Santista e passem a tratá-los como um problema único.

Uma dessas tentativas para tentar visualizar de forma mais integrada os problemas logísticos da Baixada Santista é a proposta de implementação de um terminal regulador de contêineres na região de Cubatão, tema desse trabalho.

A idéia da concepção de um terminal regulador de contêineres na região da Baixada Santista é combater os problemas logísticos da região por duas frentes: a primeira, e mais significativa, é criando rotas alternativas multimodais, oferecendo, dentro do próprio terminal, transferência intermodal, com o recebimento de carga de caminhões que a princípio desceriam até os terminais do Porto de Santos, e oferecimento, a partir do terminal, de possibilidade de expedição dessa carga via modal ferroviário ou aquaviário. Há, portanto, o esforço deliberado para o desenvolvimento da multimodalidade na região do Porto de Santos, tão dependente atualmente do modal rodoviário, e vítima dos efeitos colaterais provocados pela conciliação dessa dependência com a falta de elementos de planejamento.

A segunda frente tem como objetivo proporcionar ganhos territoriais ao Porto de Santos, que hoje apresenta a maioria de seus terminais afogados, sem disponibilidade de espaço físico que possibilite uma operação logística portuária eficiente. O Porto de Santos, em eterna e intensa luta contra o ambiente urbano dos municípios que o cercam, busca novas áreas para armazenagem. A intenção do terminal regulador é também servir como espaço intermediário de armazenagem e contribuir com a manutenção da área contígua ao cais como área de estocagem rápida, reduzindo estoques nesse ponto da cadeia logística.

2. Objetivos do Trabalho

O escopo do trabalho é apresentar uma modelagem válida, a ser desenvolvida em software especializado, do já citado Terminal Regulador para contêineres, cuja função é servir como apoio aos terminais de contêiner do Porto de Santos, oferecendo novas possibilidades de intermodalidade à movimentação de cargas no porto.

A simulação do modelo busca a obtenção de respostas que permitam estabelecer uma boa configuração operacional para o terminal. Serão analisadas variáveis como a quantidade de contêineres movimentados por ano, a utilização do pátio estático, o percentual movimentado por cada tipo de modal (ferroviário e aquaviário) até o Porto de Santos, o dimensionamento e utilização dos equipamentos internos de movimentação, o dimensionamento e movimentação dos recursos referentes aos modais em estudo, as filas para carregamento e descarregamento no terminal e outros pontos mais que certamente surgirão pelo caminho.

3. Métodos e Técnicas

Optou-se pela escolha da técnica de modelagem e simulação para análise do problema proposto uma vez que os sistemas logísticos, de uma forma geral, são sistemas dinâmicos e complexos, envolvendo diversos elementos interagindo entre si e influenciados por efeitos de natureza aleatória. O terminal regulador proposto não é

excessão. Situações como esta impõem sérias dificuldades para um estudo analítico do problema, tornando a técnica de modelagem e simulação computacional uma forte aliada.

Definido o método, há que se defrontar com as suas demandas. O processo de modelagem e simulação tem como pré-requisito fundamental a necessidade de uma ótima compreensão do problema em estudo. É preciso uma percepção crítica dos elementos que são realmente necessários à confecção do modelo. Um modelo deve ser a representação de um sistema real, mas há necessidade prévia de estipular quais são as partes e características suficientes do sistema real a serem modeladas para que o resultado desejado seja atingido.

4. Revisão Bibliográfica

4. 1. Modelagem e simulação

Simulação nada mais é do que a tentativa de imitar o comportamento de algo ou alguma coisa. No contexto do presente trabalho, podemos definir simulação como uma vasta coleção de métodos e aplicações para imitar o comportamento de um sistema do mundo real. As definições de Schriber (1974), personagem principal no desenvolvimento do GPSS (*General Purpose Simulation System*) – primeira linguagem computacional comercial voltada à simulação de sistemas e Shannon (1975) permitem situar a simulação como processo anterior à implementação do sistema, e que permite a aceleração dessa etapa, uma vez que é capaz de prever falhas que só ocorreriam quando o sistema fosse implementado efetivamente. As técnicas de simulação permitem assim interferência direta ou indireta sobre diversas atividades do sistema, tais quais: identificação de gargalos, determinação da capacidade, remodelagem de operações, realocação de recursos temporais, financeiros ou de processo, balanceamento de equipamentos, etc.

A simulação de modelos permite ao observador (ou ao analista ou a qualquer outro) realizar estudos explorando o conceito de análises *what-if*. Isso quer dizer que o usuário é capaz de responder questões pertinentes ao funcionamento do sistema no cenário atual e como ele poderia vir a funcionar em cenários hipotéticos. “O que aconteceria se...” é a frase que melhor ilustra a finalidade da simulação de um sistema. Esse é, sem dúvida, o principal apelo para o uso dessa ferramenta. A simulação computacional permite então que o sistema seja estudado sem que o sistema real sofra qualquer tipo de perturbação. O analista pode supor a situação que julgar conveniente, seja ela possível ou não, e analisar o comportamento do sistema sob tais circunstâncias. Mais do que isso, permite que os estudos sejam conduzidos sobre sistemas que sequer existem (FREITAS FILHO, 2001).

4.2. Simulação em terminais de contêiner

A escolha da simulação computacional como método de solução é recorrente à diversos autores da mesma área. O uso de modelos de simulação é a escolha favorita no caso de estudos que requerem maior detalhamento e cujo objetivo é identificar falhas, gargalos e possíveis pontos de melhorias em um sistema logístico portuário, uma vez que as possibilidades para análise de sensibilidade do sistema são milhares.

Darzentas (1996) justifica ainda a escolha da simulação como instrumento remetendo-se aos elevados custos das operações portuárias e aos vultosos investimentos

necessários para sua realização. Assim, torna-se essencial a utilização eficiente dos recursos disponíveis e somente a simulação é capaz de lidar simultaneamente com a complexidade do sistema real, traduzindo-o verossimilmente.

Fernandes (2001), em seu trabalho sobre a construção de um modelo econômico-operacional para terminais de contêineres, realiza uma pesquisa bastante ampla sobre trabalhos cujo tema envolve simulação em sistemas portuários.

Tondo (1984) desenvolve um modelo de simulação para um terminal de contêineres em GPSS (*General Purpose Simulation System*) com a finalidade avaliar a eficiência e a utilização desse terminal, identificando os recursos ociosos e limitantes no processo de operação (tais como portêineres, empilhadeiras, caminhões, etc). Ele realiza o estudo porém sem encaminhar, paralelamente, um modelo econômico para o terminal em estudo, o que o impede de avaliar a possibilidade de retorno financeiro das propostas geradas através da identificação dos problemas operacionais. Além disso, a baixa capacidade de processamento computacional da época não permitiu que o modelo construído representasse uma cópia fiel do sistema real, desvirtuando, em termos, o estudo realizado.

Nevins, Macal e Love (1998) realizam em seu trabalho um estudo de simulação discreta de terminais de contêineres e veículos. Os autores usaram como trunfo principal do trabalho a visualização da operação através de animação 3D. Evidentemente, torna-se muito mais atrativo acompanhar o processo de simulação, permitindo inclusive que os usuários acostumados com o sistema real consigam compreender o que se passa. Fica evidente no trabalho a importância de uma boa interface gráfica, elemento esse que permite uma melhor verificação e acompanhamento do modelo.

Gambardella, Rizzoli e Zaffalon (1998) trabalham também a modelagem e simulação de um terminal portuário. O fazem porém com a utilização conjunta de outras técnicas e teorias, para facilitar o processo de tomada de decisão, como programação linear, análise estatística de dados, teoria de filas, etc. Destaca-se no trabalho a importância da utilização de outras ferramentas aliadas à simulação para que seja possível avaliar um modelo altamente complexo e que conta com a variação de muitos parâmetros simultaneamente.

Lima Júnior (1988) foge um pouco do tema portuário, mas apresenta a proposição de uma metodologia para concepção e dimensionamento de terminais multimodais, buscando compatibilizar flexibilidade, eficiência operacional e economia financeira.

Fernandes (2001), realiza um estudo que integra todos os subsistemas de um terminal portuário de contêineres, dando ênfase ao dimensionamento de equipamentos e identificação de gargalos. O foco do trabalho é o completo entendimento das operações para sua posterior otimização. Além disso, o autor cria um modelo econômico para avaliar, simultaneamente a viabilidade financeira de cada proposta.

4.3 Conclusões sobre a revisão bibliográfica

As diversas avaliações dos trabalhos realizados sobre terminais de contêiner confirmam a idéia que a utilização das técnicas de modelagem e simulação é realmente a maneira mais eficiente a ser utilizada. Um aspecto a ressaltar é a inexistência de obras que tratem o dimensionamento de terminais reguladores, como o proposto pelo trabalho.

Nota-se também que poucos trabalhos, mesmo sobre terminais de contêiner, realizam uma abordagem mais abrangente, com a inclusão de diversos sub-sistemas que compõe o terminal. A maior parte dos trabalhos está preocupada em dimensionar e avaliar sub-sistemas específicos, como berços, acesso, operações internas, etc. O presente trabalho propõe também esse tipo de abordagem mais abrangente, objetivando a construção de um modelo que integre os diversos sistemas modais que servem o terminal.

5. Cenário do Problema

O Porto de Santos está localizado no centro do litoral do estado de São Paulo, estendendo-se ao longo de um estuário limitado pelas ilhas de São Vicente e Santo Amaro. Distante 65 quilômetros da maior cidade do Brasil, está muito próximo dos distritos industriais da Grande São Paulo e do complexo industrial de Cubatão, servindo a maior parcela do PIB nacional.

São notórios os problemas logísticos que assombram o Porto de Santos, tornando-o um estorvo para todos os envolvidos nas cadeias logísticas que o utilizam. O estudo de implantação e dimensionamento de um terminal regulador de cargas na região da Baixada Santista representa projeto cuja importância não pode ser medida apenas em termos financeiros ou econômicos. Deve sê-lo também em termos estratégicos e referenciais para a manutenção do Porto de Santos como o mais importante porto brasileiro e do estado de São Paulo, referência nacional de potencial econômico e de eficiência.

5.1. Caracterização do sistema multimodal da Baixada Santista

5.1.1. Modal rodoviário

O modal rodoviário é, com grande vantagem, o modal mais utilizado para o acesso ao Porto de Santos. Em contrapartida, a consolidação de um sistema viário de alta capacidade para este acesso, capaz de proporcionar rotas seguras e confortáveis para os veículos de carga e para o ambiente urbano, é uma realidade distante. A convivência entre a cidade e o movimento portuário é um transtorno. Quase 9.000 caminhões chegam diariamente ao Porto de Santos, onde permanecem estacionados, em média, por quatro dias. Esse enorme volume de tráfego e de caminhões estacionados gera problemas como insegurança, poluição, degradação urbana e destruição ambiental.

5.1.2. Modal ferroviário

A malha ferroviária da Baixada Santista, apesar de ter sido desenvolvida para atender ao movimento portuário em Santos, hoje é responsável por apenas 13,5% do total da movimentação portuária. De certa forma, uma das causas desse baixo percentual de atividade é a configuração da malha ferroviária do Planalto Paulista, incapaz de proporcionar integração operacional entre as duas regiões. Além da dificuldade da circulação inter-malhas, há a questão da adoção de trajetos incompatíveis a trens de carga, como, por exemplo, a transposição da Estação da Luz em São Paulo. Aspectos políticos, como o privilégio à indústria rodoviária nacional durante seguidas décadas, também contribuíram para o “esquecimento” da malha ferroviária.

5.1.3. Modal aquaviário

A idéia difundida hoje é que o modal aquaviário só é atraente economicamente para transporte de cargas de baixo valor agregado e para grandes distâncias. O fato é que essa noção já está ultrapassada. Basta observarmos o exemplo da Europa. Hoje são transportados, pelos grandes corredores aquaviários europeus (Reno, Danúbio, Ruhr), por distâncias por vezes não superiores a 50 km, diversos bens de alto valor agregado, como combustíveis líquidos e sólidos, aço e ferro, produtos siderúrgicos, produtos químicos, equipamentos industriais e mercadorias containerizadas. O que se observa, então, é um ambiente favorável ao desenvolvimento do transporte aquaviário para todos os tipos de carga.

O custo é outro fator que pesa favoravelmente ao transporte aquaviário. Uma visão tradicionalista é comparar os custos dos modais de acordo com a seguinte escala: modal aquaviário = 1; modal ferroviário = 2; modal rodoviário = 3. Essa relação foi comprovada por meio de diversos estudos, dentre os quais podemos citar o Plano Diretor Desenvolvimento dos Transportes - PDDT, do Departamento Hidroviário da Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo, de 2004.

Ainda há outros elementos que merecem serem citados, como a comparação da utilização de solo e de infra-estrutura entre os modais. Um exemplo simples é a utilização de uma barcaça que comporta 72 TEUs, com 60 metros de comprimento, capaz de substituir cerca de 50 caminhões que, dispostos em linha reta e separados pela devida distância de segurança, formariam fila de cerca de 9 km em uma rodovia.

5.2. A hidrovia e o Porto de Santos

O Porto de Santos encontra-se em um generoso estuário que adentra o continente, criando diversas ramificações, canais, rios e largos, até o município de Cubatão. Essa riqueza de extensão de águas é elemento crucial no desenvolvimento de projetos de expansão portuária. Assim, a utilização de barcaças por meio de uma hidrovia planejada, que conta com boas alternativas de traçado, surge como alternativa ao desenvolvimento da intermodalidade no transporte de carga entre o terminal regulador de carga em estudo e os terminais portuários.

Figura 1: Alternativas de Traçado da Hidrovia (em azul)



Fonte: A autoria própria.

6. Descrição do Modelo

6.1. Entidades do modelo

Uma definição inicial e primordial a ser tomada para a construção do modelo é a escolha das entidades que o constituirão. O que ocorre em diversos modelos de simulação portuária é a determinação do contêiner como entidade básica, considerando os outros elementos móveis como transportadores. No caso, como o modelo trata de um terminal multimodal, e a intenção é dimensionar a capacidade da intermodalidade, a escolha foi incluir, como entidades, as unidades básicas de cada modal representado (caminhão, trem e barcaça).

6.2. Layout do terminal

A preocupação principal do modelo não é exatamente o dimensionamento estrutural do terminal, mas sim a determinação de sua capacidade de recebimento e de expedição de carga. Assim, optou-se pela não inclusão de alguns aspectos estruturais, tais quais:

- *layout* das pilhas de contêineres (adensamento, configuração do pátio);
- *layout* interno dos modais (*layout* das posições de estacionamento de caminhões, do ramal ferroviário, e da posição de atracação das barcaças);
- sistemas internos de controle de contêineres (pesagem, verificação sanitária, limpeza, reforma).

A configuração do pátio de contêiner foi simplificada pela determinação de duas pilhas de contêineres, tratadas como variáveis globais no modelo: as pilhas de exportação e de importação, que são carregadas e descarregadas pelos modais que freqüentam o terminal regulador. As pilhas de exportação contêm contêineres que se destinam à exportação via Porto de Santos, divididas de acordo com o terminal de destino. A pilha de importação contêm contêineres oriundos do processo de importação, que aguardam para ser retirados do terminal regulador. Associada às pilhas apresentadas, foi incluída no modelo outra variável global, que indica a capacidade estática total do terminal e que é fator limitante para sua operação.

6.2.1. Equipamentos internos de movimentação

O outro aspecto do *layout* interno do terminal considerado no modelo foram os equipamentos de movimentação internos. Foi adotada, na concepção do terminal, a utilização apenas de equipamentos do tipo *reach stacker*. Esse tipo de equipamento oferece grande flexibilidade em comparação a outros métodos de movimentação, pois conta com elevada capacidade de deslocamento, combinada à velocidade de operação de carga e de descarga de contêineres. Como o equipamento a ser escolhido deve ser partilhado entre todos os modais dentro do pátio regulador, o *reach stacker* apresenta-se como boa solução.

Os *reach stacker* foram inseridos no modelo como transportadores. O controle dos transportadores no modelo é efetuado a partir de um estacionamento inicial, modelado como uma estação. É a partir desse estacionamento inicial que os transportadores efetuam o deslocamento até o ponto do terminal onde há demanda por movimentação de

contêineres. Os possíveis pontos de geração de demanda são os pontos onde há transferência de contêiner entre o pátio do terminal regulador e os modais que a ele servem. Tais pontos também foram configurados no modelo como estações, com a determinação de rotas conectando-as, permitindo o fluxo dos transportadores.

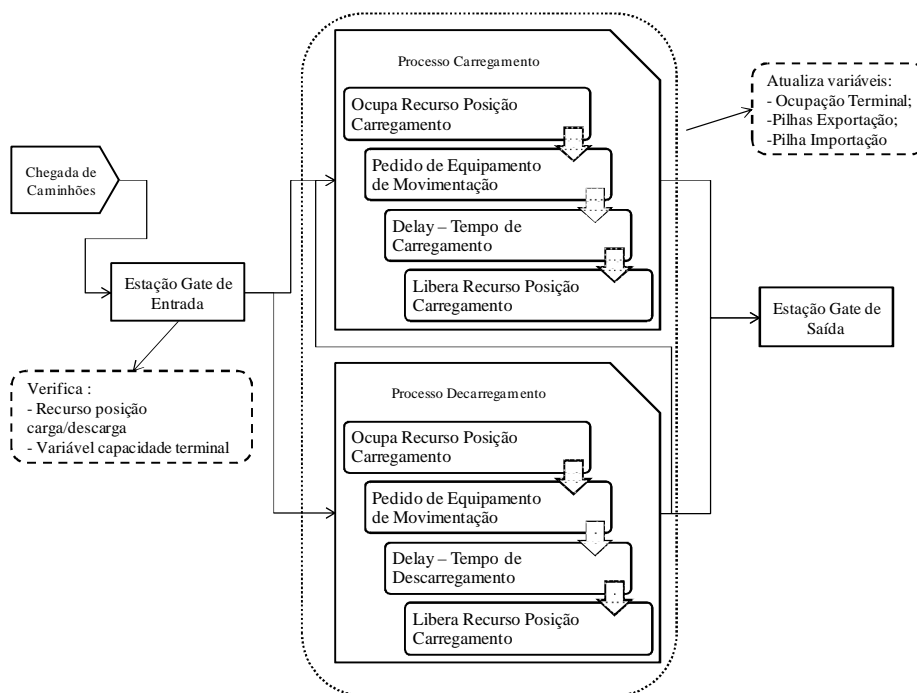
6.3. Operação interna do modal rodoviário

Não é intenção do projeto do terminal absorver a demanda total dos caminhões de contêineres que descem a serra rumo ao Porto de Santos. O planejamento inicial do projeto prevê absorção entre 5% e 10%.

Para representar e controlar a entrada e a saída dos caminhões no terminal, foram inseridas, no modelo, estações correspondentes aos *gates* de entrada e de saída, sem preocupações de natureza estrutural. Todos os caminhões, no momento em que chegam ao terminal, devem esperar, em fila, por condições apropriadas para adentrá-lo. A primeira das condições é o não esgotamento da variável capacidade estática do terminal. A segunda diz respeito à capacidade do terminal em realizar operações simultâneas de carga e de descarga.

Uma vez dentro do terminal, é desempenhado o controle de carga e/ou descarga dos caminhões. Há caminhões que realizam apenas o descarregamento do contêiner, outros apenas o carregamento, e outros, ainda, as duas opções. As operações de carga e de descarga foram representadas por processos, que utilizam os recursos posição específica para carga ou descarga. O dimensionamento de tais recursos, que atuam como gargalos operacionais do terminal, fica sob responsabilidade do programador. A execução de tais processos é ainda dependente da disponibilidade de transportadores no pátio do terminal regulador. Ou seja, no momento em que o recurso posição de carga ou de descarga é ocupado, há a geração de um pedido pela disponibilização de um transportador para a conclusão da operação. Uma vez realizadas as operações de carga/descarga, o caminhão deixa o terminal e retorna ao ponto de origem do sistema.

A avaliação dos tempos das operações de carregamento e descarregamento foi feita por meio de estudos comparativos à operação hoje realizada em terminais portuários especializados. Foram analisados dados referentes às duas operações em condições semelhantes àquelas esperadas para operação do terminal regulador.

Figura 2: Diagrama do modelo da operação interna do modal rodoviário

Fonte: Autoria própria.

6.3.1. Geração de caminhões e de rotas rodoviárias

Os caminhões do modelo são tratados como entidades, e são gerados por meio de módulo de criação de entidades. Sua geração é um processo contínuo. Por meio dos dados coletados junto à administradora do maior complexo rodoviário que serve a Baixada Santista, foi possível estabelecer uma distribuição de intervalo entre chegadas para os caminhões. Para a determinação do padrão de chegada dos caminhões também foram levados em consideração índices de sazonalidades mensal e diária, e horário.

Para a modelagem física do modal rodoviário, foram estabelecidas outras estações referenciais do sistema:

- Estação Descida da Serra: ponto onde são criados, no sistema, os caminhões que seguem até o terminal regulador;
- Estação Terminal Regulador: representa o complexo do terminal regulador;
- Estação Subida da Serra: fisicamente, coincide com a Estação Descida da Serra, mas representa o ponto onde os caminhões são eliminados do modelo.

Essas estações são conectadas por meio de rotas, também configuradas no modelo em desenvolvimento. Por meio da avaliação da extensão das rotas e de avaliações das condições de tráfego e de velocidade média, foi determinado o tempo de percurso das rotas apresentadas.

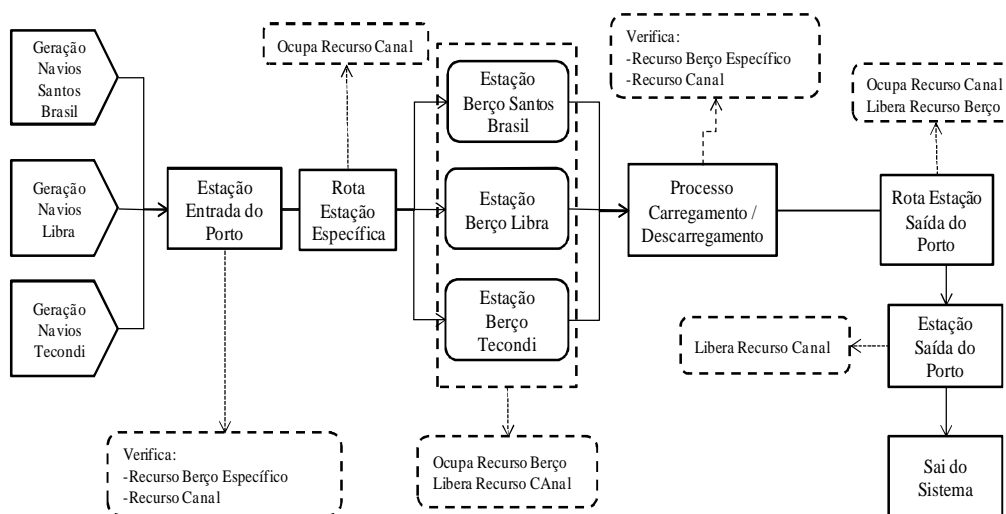
6.4. Modal aquaviário

A operação do modal aquaviário é influenciada, prioritariamente, pela chegada de navios de contêineres ao porto. Isso porque os terminais, que contam hoje com berços de atracação limitados, não estão, a princípio, dispostos a ceder tempo durante o qual poderiam receber navios de grande porte para a operação das barcaças. Assim, a realização da operação das barcaças fica restrita à disponibilidade de janelas nas operações dos navios de contêineres.

A primeira etapa da modelagem do modal aquaviário envolve a modelagem do padrão de chegada de navios, para posterior geração das janelas de atracação nos terminais de contêiner. A geração de navios no modelo e o tempo médio de ocupação dos berços dos navios são baseados em dados obtidos junto à administração portuária de Santos.

Por meio do módulo de criação de entidades, serão gerados os navios correspondentes a cada terminal de contêiner. No momento em que são gerados, os navios dirigem-se à estação entrada do porto, onde formam fila e aguardam pela liberação do recurso berço, associado a cada terminal. Após a liberação do berço, o navio adentra no porto, ocupando o recurso canal durante a rota até a estação a que se destina. No mesmo instante em que adentra no canal, o navio já ocupa o recurso berço específico de cada estação, reservando-o para sua operação. Ao atracar, o navio libera o recurso canal, permitindo a navegação de outras embarcações, e permanece atracado realizando as operações de carga e de descarga. Ao final das operações, o navio aguarda pela liberação do recurso canal para deixar o porto. Quando o canal encontra-se livre, o navio então libera o recurso berço em que está atracado, e segue em rota rumo à estação saída do porto, que equivale fisicamente à estação entrada do porto.

Figura 3: Diagrama do modelo para controle das janelas de tempo de atracação das barcaças



Fonte: Autoria própria.

6.4.1. Barcaças

A criação das barcaças ocorre por meio de um módulo de criação. Uma vez gerada, a barcaça encaminha-se para a estação Cais do Terminal Regulador, localizada fisicamente junto ao Terminal Regulador, em um braço do Rio Cubatão, onde ocupa o recurso cais do terminal regulador, que será mais tarde associado ao processo de carga e de descarga.

Ao chegar ao cais, há a verificação da variável global Capacidade do Terminal Regulador. Se há capacidade disponível para o descarregamento completo da barcaça, há então a requisição de equipamento de movimentação (transportadores inseridos no modelo) para iniciar o processo de carregamento e de descarregamento da barcaça; caso contrário, a barcaça aguarda em módulo de espera até que haja capacidade estática disponível. O carregamento e o descarregamento das barcaças são tratados no modelo como processos. Ao finalizar o processo de carregamento e de descarregamento, a barcaça libera o recurso berço associado ao cais de atracação do terminal regular, e inicia sua rota para um terminal de contêiner específico.

Após a determinação do terminal de destino da barcaça, inicia-se a navegação, dividida em duas etapas, definidas por meio de rotas: do cais de atracação no terminal regulador até o Largo do Canéu, por meio do Rio Cubatão, e do Largo do Canéu até o terminal de contêiner. Antes de percorrer as rotas que ligam o Largo do Canéu aos berços dos terminais de contêiner, é necessário que haja a verificação do recurso canal e do recurso berço associado ao terminal específico a que se destina a barcaça. Uma vez que estejam livres o canal do porto e o berço a que se destina a barcaça, ela pode executar a segunda parte da rota.

Chegando ao terminal de destino, a barcaça ocupa o recurso disponível berço, e inicia o processo de carregamento e de descarregamento da barcaça, que tem duração determinística idêntica ao processo equivalente realizado no terminal regulador. Finalizado o processo, a barcaça inicia os procedimentos de retorno ao terminal regulador. Para tal, verifica a utilização do recurso canal, aguardando, se necessário, sua liberação. Com o canal liberado, a barcaça libera o recurso berço e inicia a rota até o Largo do Canéu, e, na seqüência, até o Terminal Regulador, onde inicia o processo novamente.

6.5. Modal ferroviário

A operação do modal ferroviário será gerenciada pela avaliação da ocupação atual da linha férrea. A escolha por esse tipo de abordagem se deu devido à pouca disponibilidade de dados referentes à chegada de trens na Baixada Santista. Por outro lado, se não é possível configurar um padrão de chegada de trens, baseando-se em dados das administradoras das ferrovias é possível avaliar diversas características operacionais, tais como tamanho médio da composição, número total de composições, tonelagem média das composições, e tempo de viagens. Com isso, criam-se ocupações "virtuais" médias para a linha férrea. É nas janelas de tais ocupações virtuais que será efetuada a movimentação ferroviária do terminal regulador. As composições serão inseridas no modelo como entidades, e serão responsáveis por ocupar a via ferroviária, realizando a rota entre o terminal regulador e os terminais santistas.

As locomotivas pertencentes ao terminal regulador e responsáveis por puxar os vagões de contêiner também serão inseridas no modelo como entidades. Já com relação aos vagões puxados pelas locomotivas, que efetivamente carregam os contêineres, estes

serão inseridos no modelo como variáveis. A operação de montagem das composições no terminal regulador ocorre em um pátio auxiliar, contíguo ao terminal, definido como uma estação no modelo. Lá, a composição a ser formada tem seu destino e suas características (comprimento, quantidade de vagões) definidas por módulos *assign*.

Surge, então, a necessidade de transporte de contêineres entre o pátio principal do terminal regulador e o pátio auxiliar para formação da composição. Cria-se novamente uma demanda pela utilização dos transportadores inseridos no modelo e disponíveis no pátio do terminal regulador, responsáveis pelo fluxo interno dos contêineres. Assim que a composição é formada, ela aguarda por uma janela de desocupação da linha férrea para iniciar seu trajeto até o terminal de destino.

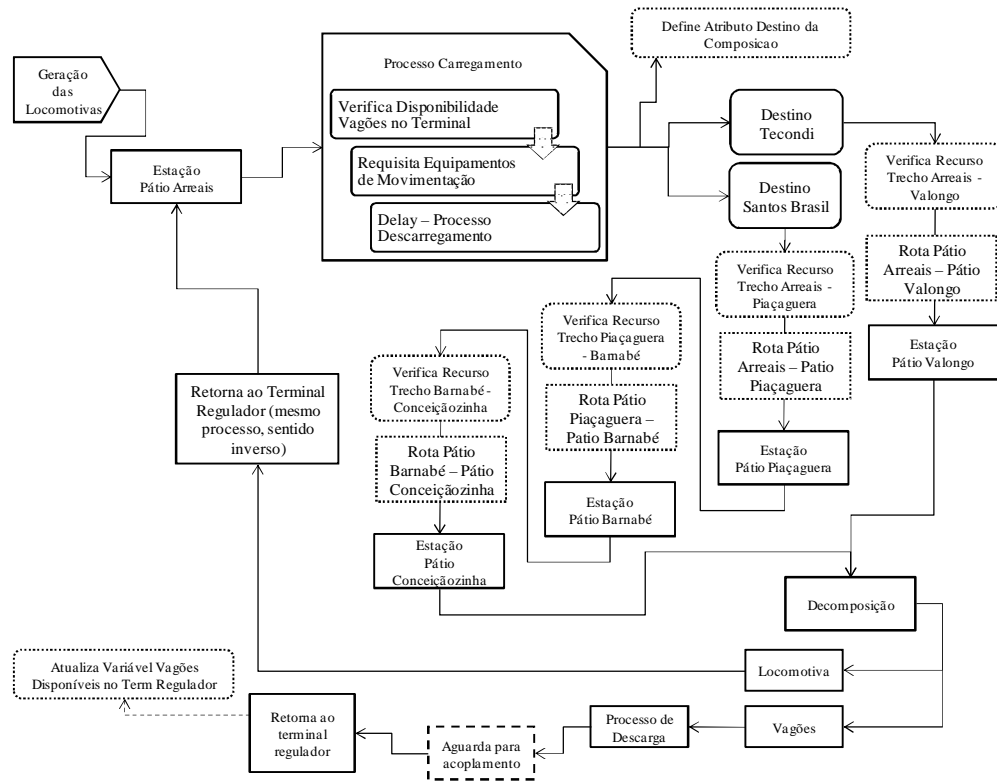
6.5.1. Rotas ferroviárias

Para determinação das rotas ferroviárias entre o terminal regulador e os terminais de contêineres de Santos foi necessária a inserção dos pátios ferroviários como estações, baseando-se no esquema ferroviário da Baixada Santista. As estações propostas foram conectadas por meio de rotas, e o cálculo da extensão de tais rotas, associado à informação da administradora ferroviária sobre a velocidade média dos trens nos trilhos da Baixada Santista, permitiu o cálculo básico do tempo de viagem das composições entre os pátios de interesse ao modelo.

As rotas de interesse ao modelo são compostas por vias singelas, não permitindo o cruzamento de composições. A realização das viagens ferroviárias entre o terminal regulador e os terminais de contêiner de Santos depende, então, da desocupação das rotas estabelecidas entre eles. Para que essa avaliação pudesse ser feita no modelo, as rotas foram definidas como recursos do sistema. Assim, enquanto alguma composição ocupa determinada rota, nenhuma outra pode utilizá-la, devendo aguardar em fila pela sua vez.

Chegando ao terminal de destino, a composição é desfeita. A entidade locomotiva inicia imediatamente o trajeto de volta ao terminal regulador. As variáveis vagões, "abandonadas" nos terminais de contêiner para efetuação do procedimento de descarregamento dos contêineres, retornam ao terminal regulador acopladas a outras composições, posteriormente.

Figura 4: Diagrama da modelagem do modal ferroviário



Fonte: Autoria própria.

7. Apresentação e Análise dos Resultados

Com a utilização do modelo de simulação desenvolvido, foi possível a determinação de possíveis configurações para a operação do terminal regulador. O principal problema encontrado foi a manutenção do equilíbrio entre os fluxos de saída e de entrada de contêineres no terminal. Com o estabelecimento inicial da perspectiva de absorção de 5% do tráfego rodoviário, foi necessária a realização de algumas rodadas do modelo. Isso permitiu o dimensionamento que tornasse a operação equilibrada do número de equipamentos internos de movimentação e da quantidade de locomotivas e de barças a servir o terminal, garantindo resultados satisfatórios para o modelo.

Assim, a configuração proposta pelo modelo, obtida por meio desse processo iterativo, conta com nove equipamentos internos de movimentação, duas barças e três locomotivas para movimentação dos contêineres, além de sete posições tanto para carregamento como para descarregamento simultâneo dos caminhões que acessam o terminal. A utilização dos equipamentos citados fica estabelecida conforme as Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Quantidade e utilização dos recursos disponíveis no terminal regulador

Recurso	Quantidade	Utilização (%)
Posição de Carregamento Rodoviário	7	80,42
Posição de Descarregamento Rodoviário	7	93,57
Equipamento Interno de Movimentação	9	90,22

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2: Quantidade e tempo médio de ciclo (terminal-porto) dos modais disponíveis no terminal regulador

Recurso	Quantidade	Tempo de ciclo médio (h)
Barcaça	2	17,4
Locomotiva	3	18,9

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3: Utilização dos recursos ligados aos modais aquaviários e ferroviários

Recurso	Utilização média (%)
Cais terminal regulador	84,4
Hidrovia	26,2
Trechos ferroviários	32,1
Posição locomotivas	78,2

Fonte: Autoria própria.

Com relação à movimentação total de contêineres, o terminal atingiu o patamar de 160 mil contêineres movimentados/ano (ver Tabela 4).

Tabela 4: Movimentação Anual de Contêineres por Sentido e Corrente de Movimentação (em unidades de contêineres)

Movimento	Exportação	Importação	Total
Recebimento	51.223	28.994	80.217
Expedição	50.835	28.684	79.519
Total	102.058	57.678	159.736

Fonte: Autoria própria.

Outro resultado a ser discutido é a verificação da viabilidade da operação intermodal do terminal. Como já citado, a configuração de operação do terminal foi estabelecida com a utilização de duas barcaças e de três locomotivas, realizando o trajeto entre o terminal regulador e o Porto de Santos ininterruptamente. A utilização alternativa dos modais aquaviário e ferroviários para o transporte de contêineres evitou que aproximadamente 63 mil caminhões adentrassem a região portuária por ano - número correspondente ao fluxo de caminhões que o terminal absorveu.

Foi dimensionada também a operação do terminal com a manutenção de uma frota de caminhões especializada no transporte de contêineres entre o terminal e o porto, sem utilização das outras alternativas modais (aquaviário e ferroviário). Para viabilidade operacional do terminal, obteve-se uma necessidade de frota de 22 caminhões especializados, realizando a rota entre o terminal e porto ininterruptamente (ver Tabela 5).

Tabela 5: Utilização dos recursos ligados ao modal rodoviário

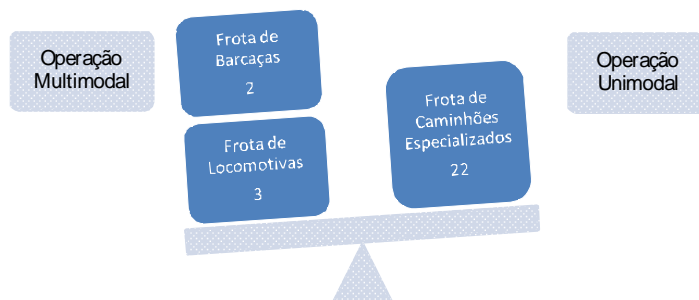
Recurso	Quantidade	Tempo de ciclo médio (h)
Caminhões especializados	22	9,6

Fonte: Autoria própria.

A operacionalidade do terminal é, portanto, viabilizada por meio das duas configurações apresentadas: com a rota multimodal (utilizando barcaças e trens) entre o terminal regulador e o porto, ou apenas com a ligação rodoviária.

A comparação entre as duas configurações estabelecidas é sintetizada na Figura 5.

Figura 5: Equilíbrio entre as operações modais



Fonte: Autoria própria.

8. Conclusão

Conclui-se então que o terminal regulador precisa, para ter sua operação viabilizada, equilibrar os fluxos de entrada e de saída de contêineres. Tal equilíbrio só é possível por meio principalmente do balanceamento da capacidade de movimentação das frotas de barcaças e de locomotivas, e da demanda de caminhões a ser absorvida pelo terminal.

Outra conclusão importante é a confirmação da viabilidade da operação do terminal regulador utilizando-se apenas os modais marginalizados atualmente pelo sistema logístico da Baixada Santista (ferroviário e aquaviário), eliminando-se a utilização

do modal rodoviário para realizar a ligação até o Porto de Santos. Com relação ao modal aquaviário, a principal desconfiância era que as barcaças atravancariam as operações dos navios contêineres nos terminais santistas, mas verificou-se que o impacto de sua operação não é nocivo aos terminais. Já com relação ao modal ferroviário, havia o temor de que as diversas restrições operacionais da linha da Baixada Santista provocassem uma operação demasiadamente lenta. Os cenários, entretanto, não acusaram lentidão exagerada causada pelo compartilhamento da linha férrea, revelando operação com resultados acima da expectativa.

Ressalta-se também que a técnica de modelagem e de simulação confirmou-se como uma excelente ferramenta de apoio para a análise e para a avaliação de tomada de decisão com relação a sistemas logísticos complexos como o estudado.

Referências

- DARZENTAS, J.; SPYROU, T. Ferry traffic in the Aegean Islands: A simulation study. **Journal of the Operational Research Society**, v.47, pp. 203–216, 1996.
- FERNANDES, M.G. **Modelo econômico-operacional para análise e dimensionamento de terminais de contêiner e veículos**, 2001, 128p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.
- FREITAS FILHO, P.J. **Introdução à modelagem e simulação de sistemas**. Florianópolis: Visual Books, 2001.
- GAMBARDELLA, L.M., RIZZOLI, A. e ZAFFALON, M. Simulation and planning for intermodal container terminal. **Simulation**, v.71, n.2, p.107-116, 1998.
- LIMA JÚNIOR, A. **Dimensionamento de terminais rodo-ferro-fluviais na hidrovía Tietê-Paraná**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1988.
- NEVINS, M.R., MACAL, C.M. e LOVE, J.C. A discrete-event simulation model for seaport operations. **Simulation**, v.70, n.4, p.213-223, 1998.
- SHANNON, R.E. **Systems simulation: the art and science**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1975.
- SCHRIBER, T.J. **Simulation using GPSS**. New York: Wiley, 1974.
- TONDO, C.M. Simulação e análise operacional do terminal de contêineres do Porto de Santos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Naval) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1984.