

Análise de Regras de Atracação de navios em Terminais de Contêineres

Resumo

Este artigo apresenta um modelo de simulação para análise de regras de atracação de berços em terminais de contêineres. Trata-se de um modelo específico, elaborado com base na análise de dados reais de chegada de navios porta-contêineres em um terminal especializado em contêineres no porto de Santos. A finalidade do modelo de simulação é indicar qual a melhor janela de tempo de atracação a ser oferecida pelo terminal ao cliente armador, considerando um sistema total de custos dos navios em fila. Preliminarmente, é realizada uma apresentação da evolução do transporte marítimo containerizado, considerando a evolução do comércio internacional e, a adequação da indústria marítima ao crescimento dos navios e seus impactos nos terminais de contêineres. Uma revisão bibliográfica foi realizada com a finalidade de mostrar os cenários onde o modelo se enquadra e um estudo crítico dos métodos desenvolvidos. Essa análise busca demonstrar qual a melhor janela de atracação a ser oferecida ao cliente armador, para um determinado padrão de chegada pelo terminal de contêineres. Ao final da dissertação recomenda-se qual a melhor janela de tempo de atracação a ser oferecida ao armador pelo terminal, no sentido de minimizar os custos, de acordo com o tipo de distribuição.

Analysis if rules for the berthing of ships in container terminals

Abstract

This paper presents a simulation model for the analysis of rules for the berthing of ships in container terminals. It deals with a specific model, elaborated from the analysis of real data concerning the arrival of container carriers from a terminal that is specialized in containers at the port of Santos. An aims at indicating which time window berthing is the best one to be offered by the terminal to the shipowner, considering a total cost system of in-line ships. Preliminarily, a presentation of the evolution of the transportation of containers by sea is held, through the evolution of international trade and the adequacy of the sea industry to the growth of vessels and its impact on container terminals. A bibliographic review was performed aiming at showing the scenarios where the model fits into and a critical analysis of the methods developed. This analysis seeks to demonstrate the best time window berthing to be offered to the shipowner, for a determined arrival pattern by the container terminal. And at the end of this research it is recommended the best time window berthing to be offered to the shipowner by the terminal so as to minimize costs according to the kind of distribution.

Autores: Marcelo Patrício e Prof. Dr. Rui Carlos Botter

1 - Introdução

Este artigo tem como finalidade apresentar o problema atual de planejamento de berço em terminais de contêineres, por meio de análise de regras de atracação de dados reais de chegada de navios; buscar a melhor janela de tempo de atracação a ser oferecida pelo terminal ao cliente armador, considerando um sistema total de custos dos navios em fila. A evolução do comércio e da carga containerizada no mundo e no Brasil tem forte efeito na necessidade de aumento do tamanho e da quantidade de navios, que por sua vez produz impactos na infra-estrutura dos terminais de contêineres.

No caso específico do porto de Santos, há três terminais especializados de contêineres, o Terminal 37 da Libra Terminais, o Terminal de Contêineres da Margem Direita (TECONDI) e o terminal da Santos-Brasil/TECON, além de outros operadores portuários, tais como a Rodrimar e a Transchem que operam contêineres utilizando a limitada estrutura do cais público, competindo por berços nas reuniões de atracação da Autoridade Portuária e operando com guindastes de bordo dos navios ou com equipamentos do tipo MHC, o que restringe a performance das operações.

O volume de contêineres movimentado em 2004 no porto de Santos foi de 1.274.233 unidades, o que corresponde a 1.882.639 TEU; a taxa média de aumento anual dos últimos quatro anos foi de 20,87%.

Dessa forma, os terminais de contêineres terão de tomar diversas providências para atender o crescimento da demanda, tais como:

Aumento da capacidade nominal e operacional de armazenamento; uso de equipamentos de movimentação que permitam maior adensamento das pilhas nos pátios de armazenamento; redução do dwell time de contêineres na exportação e importação; aumento da capacidade de recebimento e entrega de contêineres através dos seus Gates; melhoria e regularidade da performance das operações de costado; aumento do número médio de contêineres por escala; aumento do número de contêineres movimentados por tampa removida; alteração do nível de serviço exigido pelos clientes, especialmente pelos armadores, que atualmente determinam o nível de serviço que deve ser oferecido pelo terminal; uso intensivo de ferramentas de tecnologia da informação para planejamento e gestão das atividades administrativas e operacionais de terminais de contêineres; tentativa de simplificação dos processos aduaneiros; maior acompanhamento sobre a chegada de navios e distribuição de janelas de tempo de atracação para evitar congestionamentos. Sobre a questão de acompanhamento das chegadas de navios e congestionamento, que são partes integrantes do escopo desta pesquisa, cabe ressaltar que terminais de contêineres são sistemas de filas em que os navios (clientes) são entidades atendidas com uma determinada distribuição de chegada e são alocados em berços especializados (servidores) que também atendem aos navios seguindo distribuições estatísticas e cuja disciplina de fila mais comum é FCFS.

Nesse caso a teoria de filas é clássica em afirmar (GONZALEZ; BOTTER, 2002) que para que ocorra a diminuição da fila deve-se atuar: no tempo de atendimento; no número de servidores; ou, na alteração do padrão de chegada.

Neste artigo serão tratadas as regras de atracação que alteram diretamente o padrão de chegada dos navios, visto que o tratamento dos outros dois fatores citados anteriormente, isto é, o número de postos de servidores e o tempo de atendimento, estão restritos não apenas pelo emprego de tecnologia, mas pela necessidade de alteração de processos operacionais dos terminais, tais como: a melhoria e regularidade na performance de movimentação de descarga e embarque dos berços, o aumento da capacidade nominal e

operacional de armazenamento de pátio, redução do índice de ocupação de berços, e por restrições físicas e contratuais postadas pelos programas de arrendamento das áreas. Sobre a redução no tempo de atendimento, deve-se considerar alguns fatores de influência do cliente armador, tais como: a elaboração de um plano de bordo que permita uma divisão igualitária dos contêineres nos ternos de trabalho e equipamentos alocados no navio; isso evita situações de concentração de carga do tipo: um terno de trabalho com 80 movimentos, espelhados entre dois a cinco porões e um segundo com 420 movimentos, concentrados em dois porões; alterações nos planos de descarga e embarque; redução do número de remoções via bordo e terra; a programação de recebimento de combustível e suprimentos do navio quando atracado; a necessidade de eventuais reparos a bordo; vistorias da seguradora, do afretador e de autoridades. São também considerados outros elementos inerentes à operação de navios como a peação a bordo, possíveis avarias, trimming do navio, manobras no canal, maré e condições climáticas que interferem nas operações, como neblina e vento forte.

2 – Regras de chegada de navios nos terminais

Para que o terminal de contêineres possa atender aos diversos clientes armadores que utilizam suas instalações com o nível de serviço desejado, diferentes questões de níveis de planejamento devem ser consideradas para cada um dos seus subsistemas ou áreas de operações.

Os níveis de planejamento e aspectos de tomada de decisão relacionados ao subsistema ou área de operações de navios, na divisão de planejamento de atracação e desatracação podem ser divididos em:

Estratégico: definição da quantidade de berços a serem disponibilizados e tamanho de cais; profundidade e calado de projeto dos berços; forma de construção e projetos de ampliação de cais.

Tático: o acompanhamento do crescimento do calado de navios que operam nos tráfegos atendidos pelo terminal; assim como avaliação conjunta com os clientes armadores de suas perspectivas de evolução no tamanho dos navios futuros, seguindo as tendências de ampliação do comércio internacional; manutenção da profundidade do berço por meio de acompanhamento dos programas de dragagem alinhados com os dados fornecidos pelos armadores e informações técnicas de projeto.

Operacional: a alocação dos navios aos berços de acordo com as regras de atracação definidas entre o terminal e o armador. Essas regras de atendimento são normalmente FCFS, contudo o uso de janelas de tempo de atracação é cada vez mais solicitado pelos clientes e fornecido pelos terminais, o que permite melhor organização da distribuição de berços, equipamentos e ternos de trabalho. A área de armazenamento da carga do navio em questão e da ocupação linear de cais dos berços pelos navios em operação deve ser considerada.

Sobre os aspectos mencionados acima no nível de planejamento operacional, devem-se tecer algumas considerações, especialmente sobre a aleatoriedade nas chegadas dos navios que, por razões contratuais, são atendidos na maioria das vezes por meio da disciplina FCFS e também sobre a alocação de navios por metro linear de cais, tanto dos navios que irão atracar como dos navios que estão atracados.

Tais atracações sejam em cais públicos ou privativos, procuram respeitar a ordem de chegada dos navios, sua prioridade e condição de atracação, isto é, janela de tempo estabelecida entre o armador e o terminal e ocupação linear de cais.

Em algumas situações, os berços ocupados pelos navios que estão em operação não permitem a atracação do primeiro navio em fila, nesses casos, o que normalmente ocorre é a tentativa de violação ou relaxação da fila. O terminal procura um dos navios em fila que atenda à condição de comprimento de berço e cuja somatória de tempos (navegação, manobra, atracação, operação e desatracação) seja menor ou igual ao do navio atracado, o que restringe a atracação do primeiro navio em fila.

3 – Cenários do Estudo

O objetivo deste artigo é apresentar o problema de planejamento de berço em terminais de contêineres por meio de uma análise de regras de atracação de dados reais de chegada de navios e introduzir um estudo de janela de tempo oferecida pelo terminal ao armador, considerando um sistema total de custos dos navios em fila.

Janela de tempo de atracação é um período de tempo em horas oferecido pelo terminal ao armador num determinado dia para que este atraque o seu navio com a garantia de reserva de berço para atracação. Isso garante o pagamento de penalidades pelo terminal caso o navio chegue na janela determinada e não possa atracar em virtude de não haver berço ou espaço de cais disponível.

As situações contempladas na análise de regras de atracação de dados reais de chegada dos navios, no modelo a ser apresentado, são as seguintes:

O navio chega antes da janela de tempo acordada. Nesse caso, armador arcará com todos os custos de espera até o início de sua janela de tempo, e o terminal poderá ou não atendê-lo antes do início da sua janela de tempo, dependendo da disponibilidade e da programação de seus berços.

O navio chega dentro (durante) da janela de tempo. Nessa situação, o terminal deve conceder a atracação imediata do navio em um berço que atenda às suas características de comprimento (LOA) e calado. Se não for possível a atracação do navio em virtude de problemas operacionais (exemplos: atraso nas programações do navio atracado, falta de carga no costado, quebra de equipamento de operação de cais ou retaguarda) com os navios anteriores, todos os custos da espera do navio da vez são de responsabilidade do terminal, independente do ocorrido.

Por último, quando o navio chega após a janela de tempo estipulada, o terminal está livre das penalidades de espera e atenderá esse navio quando houver espaço na programação dos berços ou for possível violar ou relaxar a fila, isto é, atracar o navio desde que atenda às condições de comprimento de berço e cuja somatória de tempos seja menor ou igual à do navio atracado.

Não serão consideradas como restrição no modelo as condições de calado ou situações em que o armador chega antes ou dentro da janela e solicita esperar na barra, em virtude de estar aguardando carga de exportação programada e ainda não depositada no terminal pelo exportador.

O conceito de janela de tempo apresentado e suas conseqüentes regras de atracação visam a estabelecer uma adequação dos navios a um novo padrão de chegadas, cujo intervalo entre navios consecutivos apresente menor dispersão de desvio.

Reportando novamente à teoria de filas, esta proposta pretende que a distribuição de chegadas de navios busque ou se aproxime de um valor determinístico.

O objetivo é testar por meio de modelagem o que foi descrito anteriormente, buscando demonstrar qual a janela ótima para diferentes tipos de distribuição de chegadas de navios, tais como: Exponencial, Erlang 2, Erlang 3, Erlang 4, normal, triangular e uniforme.

Além da indicação de qual a janela de tempo ótima, busca-se indicar também os custos dos navios em fila para o terminal e para o armador do navio.

4- Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica apresentada neste artigo ateu-se ao planejamento de berços e simulação de terminais. Outros assuntos, tais como programação de navios, não foram incluídos tendo em vista que o foco da pesquisa e o oferecimento de janela de tempo de atracação pelo terminal ao cliente (navio).

HENESEY, DAVIDSSON e PERSSON (2004) investigaram o uso de simulação como base para um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para análise da distribuição de berços de atracação no Terminal de Contêiner de Skandia Harbour, porto de Gotemburgo, na Suécia. Analisaram as diversas restrições e de duas políticas de decisão de gerenciamento de atracação chamadas de *Shortest Turn-Around Time Policy (STTP)* e *Berth Closest to Stack Policy (BCSP)*, ou Política de Menor Tempo de Estadia e a Política de atracação mais perto da área de armazenamento.

Apresentaram um Sistema de Gerenciamento de Planejamento de Atracação chamado BAMS - Berth Allocation Management System, desenvolvido em Linguagem Java e que consiste em dois componentes: um modelo de simulação de gerenciamento das operações de um terminal de contêineres e um modelo de simulação das várias entidades físicas envolvidas na alocação de navios porta-contêineres nos berços, como: navios, portêineres, etc., que se comunicam por meio de RMI.

PIAW (2003) discorre sobre o sistema de planejamento de berço da Autoridade Portuária de Cingapura (Port Singapore Authority - PSA), sobre os tempos e a posição exata de cada navio no cais, assim como os recursos alocados no processo. Diversas variáveis foram levadas em consideração, tais como: LOA e ATA do navio, quantidade de contêineres a serem operados na descarga e embarque e as áreas de armazenamento de exportação e buffer de importação.

A proposta de PIAW é de um planejamento de berço “robusto”, desde que o ATA do navio varie substancialmente da previsão. Isso é particularmente importante para navios de clientes prioritários que possuem berço garantido na chegada (ou no intervalo máximo de duas horas) de acordo com seus contratos com a PSA.

NISHIMURA, IMAI e PAPADIMITRIOU (2001) apresentam o problema de distribuição dinâmica de berço (*Dynamic Berth Allocation Problem – DBAP*) com serviços simultâneos em um sistema de porto público (e não especificamente para terminais de contêineres) em portos japoneses por meio de uma heurística baseada em Algoritmo Genético (*Genetic Algorithm – GA*), que se mostrou uma boa solução, adaptável a aplicações reais e com pequenos esforços computacionais.

De maneira similar, NISHIMURA, IMAI e PAPADIMITRIOU (2001) estudaram a alocação e otimização de berço, usando heurística baseada em programação inteira mista (*Mixed-Integer Programming – MIP*), formulando as versões estáticas (*SBAP*) e dinâmicas (*DBAP*) do problema de alocação de berço e suas relaxações lagrangeanas.

Esses mesmos autores, em 2003, desenvolveram uma heurística baseada em Algoritmo Genético para resolver problemas não-lineares de alocação de berços para navios com diferentes prioridades.

Soluções por meio de Algoritmo Genético já foram utilizadas por LIM e GOH (2000), que trataram o Problema de Atracação de Navio (*Ship Berthing Problem – SBP*) como um problema da categoria NP-hard.

KIM e MOON (2003) formularam um modelo de programação inteira mista (*Mixed Integer Program - MIP*) para determinar tempos e posições de navios em terminais de contêineres com atracação em berço dedicado, por meio de algoritmos *Simulated Annealing (SA)*.

GUAN e CHEUNG (2004) consideraram o problema de alocação de berços para navios com objetivo de minimizar o tempo total. Foram consideradas duas formulações matemáticas: uma desenvolveu um procedimento de busca em árvore (*Tree search*) enquanto a outra era utilizada em um limite inferior para acelerar o procedimento de busca em árvore.

LAI e SHIH (1992) propuseram heurísticas para o problema de alocação de berços, motivados pelo uso mais eficiente de berços no terminal HIT de Hong Kong e assumiram a estratégia de disciplina de fila FCFS.

IMAI, NAGAIWA e CHAN (1997) consideram o problema de alocação de berço para portos comerciais, onde a maioria das filas de navios é atendida de forma FCFS e concluem que portos de elevada movimentação devem buscar a alocação ótima de navio-berço sem considerar a disciplina FCFS; muito embora isso possa resultar na insatisfação de alguns navios que observam a seqüência de atracação.

LI, CAI e LEE (1998) discutem o problema de atracação de maneira geral, programação de múltiplas tarefas e um processador (*scheduling with multiple-job-on-one-processor pattern*), na qual navios representam tarefas e o processador pode ser interpretado como o berço. Experiências computacionais demonstraram eficácia da heurística com resultados próximos do ótimo.

LIM (1998) reformularam o problema como uma forma restrita de duas dimensões do problema de *Packing* e exploram a representação gráfica teórica. Esse problema específico de planejamento de berço é mostrado como um NP-hard completo e para sua solução do problema é proposta a aplicação de heurística a dados estatísticos históricos.

PARK e KIM (2002) estabeleceram um método para planejamento de berço baseado nos horários e posições de atracação dos navios porta-contêineres em terminais, onde o planejamento de berço realizado deve satisfazer as solicitações dos armadores e minimizar os esforços de movimentação durante a operação do navio. Uma programação inteira mista (*Mixed Integer Program - MIP*) foi formulada para a resolução do problema, contudo, a fim de sobrepor os problemas computacionais à formulação anterior, foi convertida em programação linear inteira e o modelo de Relaxação Lagrangeana do modelo discreto foi resolvido com o uso da técnica de otimização subgradiente.

Os mesmos PARK e KIM (2003) discutiram um método de seqüenciamento (*scheduling*) de berços e portêineres, que são recursos críticos em um terminal de contêineres. Foi formulado um modelo de programação inteira que considerou várias restrições práticas e foi sugerido um procedimento de solução em duas fases para o modelo matemático. A primeira fase determina a posição e o horário de cada navio, assim como o número de portêineres determinados para cada segmento de hora e a segunda fase é uma programação detalhada de cada portêiner, baseada na escolha da primeira fase. A técnica de otimização de subgradiente é aplicada para a obtenção da solução próxima do ótimo na primeira fase. Na resolução da segunda fase foi aplicada a técnica de programação dinâmica.

MOON (2000) discute a alocação de berço e posição de chegada dos navios quando berço é um gargalo nos terminais. Utilizando dados reais do Terminal de Contêineres de Pusan (*Pusan East Container Terminal - PECT*) formulou uma programação linear inteira e resolveu o problema com o auxílio do software LINDO®. Contudo, o tempo de processamento no LINDO® cresce rapidamente quando o número de navios era superior a sete e o horizonte de planejamento excedia 72 horas.

CHEN e HSIEH (2001) desenvolveram um modelo de alocação de berço utilizando uma rede modificada de tempo-espaço (*modified time-space network*) para tomada de decisão, utilizando dados do Porto de Keeling.

Esse modelo leva em consideração o LOA, horário de atracação e desatracação de cada navio para gerar um problema de fluxo de rede generalizado e suas restrições. Todavia, o problema foi resolvido com programação inteira e utilização de algoritmo *Branch and Bound*.

HANSEN e OGUZ (2003), baseados nos estudos do Problema de Alocação Dinâmica de Berço (DBAP) de NISHIMURA, IMAI e PAPADIMITRIOU (2001), propuseram, após correção, um modelo equivalente mais compacto, e estenderam a acomodação de tamanho das restrições, devido às datas dos navios e ao horizonte de planejamento. Foram realizados experimentos computacionais com CPLEX, nos quais o primeiro modelo de DBAP foi capaz de resolver problemas de 10 berços e 50 navios, enquanto o modelo compacto de DBAP não foi tão eficiente em virtude das limitações do grande M's.

Desta forma pode-se concluir que o problema de planejamento de berço deve ser tratado como uma atividade de extrema importância nos processos dos terminais de contêineres, não apenas no âmbito operacional, na designação do navio ao berço, de acordo com contratos, prioridades ou pela sua ordem de chegada; mas em nível estratégico, na definição do tamanho de cais e do número de berços necessários para atender a demanda projetada ou na distribuição dos tempos de janela de tempo de atracação entre os diversos serviços e armadores, buscando a redução dos tempos de fila dos navios e reduzindo possíveis congestionamentos.

Esse problema foi tratado por vários autores e por meio de diversas heurísticas e modelos, desde a simples análise de chegadas até o uso de algoritmos genéticos para sua resolução, que em muitos casos violam a seqüência de atendimento dos navios em função direta da ordem de chegada, o que é um item contratual, o qual não permite a violação ou relaxação da fila a menos que o navio que violou a ordem de atendimento libere o cais antes do término das operações do outro navio atracado.

Contudo, em nenhuma bibliografia pesquisada foi tratado o problema da janela ótima de tempo de atracação fornecida pelo terminal ao armador. Nesta pesquisa ela é tratada por meio de simulação discreta.

5 – Descrição do Modelo

Buscou-se modelar as chegadas de um terminal de contêineres por simulação, visto ser esta uma técnica consagrada e sugerida por diversos autores que foram revisados e, especialmente, pela facilidade de se representar com mais detalhes as operações de atracação e operação dos navios.

No âmbito desta pesquisa, representar a ocupação do cais por metro linear em função do tamanho dos navios só é possível com emprego de simulação. Foi utilizada uma interface feita em EXCEL, e o software ARENA para a modelagem dos dados iniciais.

O tempo disponível para atracação é dividido em janelas de tempo, isto é, um período de tempo em horas oferecido pelo terminal ao armador num determinado dia para que este atraque o seu navio com a garantia de reserva de berço para atracação ou o pagamento de penalidades pelo terminal caso este chegue na janela determinada e não possa atracar em virtude de não haver berço ou espaço de cais disponível.

Os navios chegam segundo uma distribuição estatística, cujo intervalo médio de chegadas é o período em análise (aproximadamente nove meses de chegadas reais de navios disponibilizado por um terminal de contêineres do Porto de Santos) dividido pelo número

gerado por intervalo de tempo; as chaves de permissão de violação ou relaxação da fila, se for 0 não ocorre a violação ou relaxação da fila e se for 1 a violação é permitida.

A violação ou relaxação de fila ocorre quando os berços ocupados pelos navios que estão em operação não permitem a atracação do primeiro navio em fila, nesses casos, o terminal, por meio de tentativa, procura um dos navios em fila que atenda a condição de comprimento de berço e cuja somatória de tempos (navegação, manobra, atracação, operação e desatracação) seja menor ou igual ao do navio atracado, o que restringe a atracação do primeiro navio em fila; contudo, na prática, há riscos de ocorrer algum problema de ordem operacional com esse navio que violou a fila e o terminal acaba penalizando o primeiro navio da fila e gerando custos.

Ainda sobre o primeiro bloco, que é o responsável pela leitura das características dos navios e de sua colocação em fila, existem outras características como: o intervalo de navios (em minutos) quando a chave do modelo é do tipo 1, isto é, gerada por intervalo; a distância entre cada um dos navios, 10 metros para cada um, quando a chave do tipo do modelo é 0; o número de berços, para quando a chave do tipo de modelo for igual a 1; tamanho de cais (em metros) quando a chave do tipo do modelo for igual a 0; o número de navios a serem lidos do banco de dados; o tamanho da janela de tempo (em minutos) quando o tipo de chegada de navios for igual a 1, isto é, gerado por intervalo de tempo; o coeficiente de variação da distribuição do intervalo entre navios, quando o tipo de chegada dos navios for igual a 1; o custo diário do navio estipulado em US\$ 40.000,00 e a penalidade horária de US\$ 1.200,00 paga em caso de espera do navio por responsabilidade do terminal.

A figura 2 representa a interface do modelo e a descrição das variáveis e chaveamentos deste.

Dados Iniciais - Características	Variável Interna do ARENA
Duração da Simulação (minutos)	tempo_simulacao
Tipo de modelo	chave_tipo_modelo
Tipo de chegada de navios	tipo_chegada
Quando fora fila resposta horário de término do navio já atracado	chave_ufica
Intervalo entre navios (minutos) - quando tipo chegada é igual a 1	int_nav
Distância entre navios (m) quando chave tipo modelo é igual a 0	espaco_entre
Número de berços - quando chave tipo modelo é igual a 1	num_bercos
Tamanho do cais (m) quando chave tipo modelo é igual a zero	tam_cais
Número de navios a serem lidos do banco de dados	num_navios
Tamanho da janela de Tempo (min.) quando tipo chegada é igual a 1	janela
Tipo de distribuição do intervalo entre navios - quando tipo chegada é igual a 1	tipo_distribuciao_cheg_navios
Coefficiente de variação da distribuição do intervalo entre navios - quando tipo chegada é igual a 1	cv_distribuciao_int_navios
Custo diário do navio	custo_nav_dia
Penalidade horária paga terminal	penalidade_hora

0 = tamanho de cais - 1 = número de berço
0 = lê dados do arquivo - 1 = gerado por intervalo
0 = sem relaxação de fila - 1 = com relaxação de fila

Figura 2 - Descrição das variáveis e chaveamentos do modelo

5.1 – Operacionalização do modelo de simulação

Foi desenvolvida uma interface, a qual exporta os dados reais de 685 navios: data/hora de atracação (ATB), data/hora de saída do navio (ATD), o LOA do navio; a movimentação de descarga, embarque, remoções e o total de movimentos. Os dados relacionados ao tempo são mostrados sempre em minutos.

A rigor, o modelo usará somente os dados sobre chegada e atendimento (desatracação e atracação). O tempo de fila dos 685 navios da base de dados servirá para base de validação do modelo de simulação. As movimentações de contêineres realizadas devem ser alvo de análise futura.

O menu da interface desenvolvida, a descrição das variáveis e os possíveis chaveamentos, para o tipo de modelo, tipo de chegadas de navios e quando há violação da fila e restrição de término do navio.

A duração da simulação neste estágio da pesquisa é correspondente a 395.000 minutos, o que representa a base de dados. A interface permite utilizar o modelo que simula a ocupação linear do cais ou simula a ocupação de um número fixo de berços.

O usuário pode ler as chegadas e demais características de um banco de dados ou gerar as chegadas fornecendo um intervalo entre navios; nesse caso o modelo utilizará a janela de tempo indicada e no caso de esta ser igual a zero, gerará navios com espaçamento constante de tempo.

O usuário poderá ainda optar se, quando houver a violação ou relaxação da fila, ele respeitará ou não o horário de término do navio já atracado.

São ainda registrados os resultados da simulação dos navios gerados, dos navios atendidos, navios em fila ao final da simulação, tempo médio em horas dos navios em fila, o tempo médio em horas dos navios em fila sem elementos com tempo zero de horas em fila, o número médio de navios em fila, utilização do cais, o número de navios em fila 1 que chegaram antes da janela de tempo, o número de navios em fila 2 que chegaram dentro da janela de tempo e o número de navios em fila 3 que chegaram após a janela de tempo estipulada.

São também registrados os custos de navio em fila para as três situações descritas anteriormente; quando o navio chega antes (custo navio fila 1) ou depois (custo navio fila 3) da janela de tempo e os custos são pagos pelo armador, e quando o navio chega durante a janela de tempo e não é atendido (custo navio fila 2), os custos são pagos pelo terminal. A figura 3 demonstra estes dados.

	A	B	C	D	E	F	G	H
5								
6	RESULTADOS							
7	Navios Gerados	685,0	navios_gerados	Menu				
8	Navios Atendidos	683,0	navios_atendidos					
9	Fila de navios ao final da simulação	0,0	NOI(fila_navios.Queue)					
10	Tempo médio dos navios em fila (hs)	5,6	TAVG(fila_navios.Queue.WaitingTime)/60					
11	Tempo médio dos navios em fila sem elementos com tempo zero de fila (hs)	14,6	soma_tempo_navios_em_fila(navios_que_ficaram_em_fila*60)					
12	Número médio de navios em fila	0,6	DAVG(fila_navios.Queue.NumberInQueue)					
13	Utilização do cais	0,7	DAVG(berco.utilization)					
14	navio em fila 1	675,0	conta_navio(1)					
15	tempo médio fila 1	54,4	media_fila_navio(1) (hs)					
16	navio em fila 2	683,0	conta_navio(2)					
17	tempo médio fila 2	5,6	media_fila_navio(2) (hs)					
18	navio em fila 3	1,0	conta_navio(3)					
19	tempo médio fila 3	0,0	media_fila_navio(3) (hs)					
20	custo_navio_fila_1	61224603,6	custo_navio_fila_1					
21	custo_navio_fila_2	27306650,6	custo_navio_fila_2					
22	custo_navio_fila_3	0,0	custo_navio_fila_3					
23	custo_navio_fila_total	88531254,1	custo_navio_fila_total					
24								
25								
26								

Figura 3 – Resultados da simulação

Nessa interface são registrados os resultados de log dos navios, além das informações mencionadas anteriormente, tais como: seqüência, LOA do navio, dados de chegada, atracação, operação e desatracação em minutos, quantidade de navios em fila, tempos de fila e custos dos navios em fila.

Os dados dos cenários que foram realizados também são guardados com as características iniciais, como o tempo de duração da simulação em minutos; o tipo de modelo, o tipo de chegada de navios, quando ocorre a violação da fila e respeita o término do navio atracado; o intervalo entre navios em minutos, quando o tipo de chegada é igual 1; a distância em metros entre navios quando a chave do modelo é igual a 0; o número de berços quando a chave do modelo é igual 1; o tamanho de cais em metros quando a chave tipo do modelo é igual a zero; o número de navios a serem lidos; tamanho da janela de tempo em minutos; o tipo de distribuição do intervalo entre navios, quando o tipo de chegada é igual 1; o coeficiente de variação da distribuição do intervalo entre navios; o custo diário do navio e a penalidade horária paga pelo terminal.

O número de navios gerados e atendidos, a fila de navio ao final da simulação, tempo médio dos navios em fila, tempo médio dos navios em fila sem elementos com tempo zero de filas em horas, o número médio de navios em fila, utilização de cais e custos recorrentes da chegada do navio antes, durante ou depois da janela de tempo estipulada entre o terminal e o armador.

5.2 – Análise dos dados

A análise dos dados realizada neste estudo compreende basicamente três itens: os intervalos de chegada, os tempos de atendimento e a análise por meio de gráficos dos resultados das simulações.

5.2.1 – Intervalos de chegada

Os intervalos entre as chegadas dos 685 navios da base de dados foram analisados por meio do Input Analyser do programa ARENA e em consonância ao apresentado por BOTTER (2002).

Os resultados demonstram que nos dois testes de aderência realizados: “Qui-quadrado” e “Kolmogorov-Smirnov” não pode ser rejeitada a hipótese de que a distribuição entre chegadas seja exponencial.

O valor de “p-value” encontrado em ambos os testes supera valores convencionais de 10% de significância para testes de hipóteses. A figura 4 representa o gráfico dos intervalos de chegada.

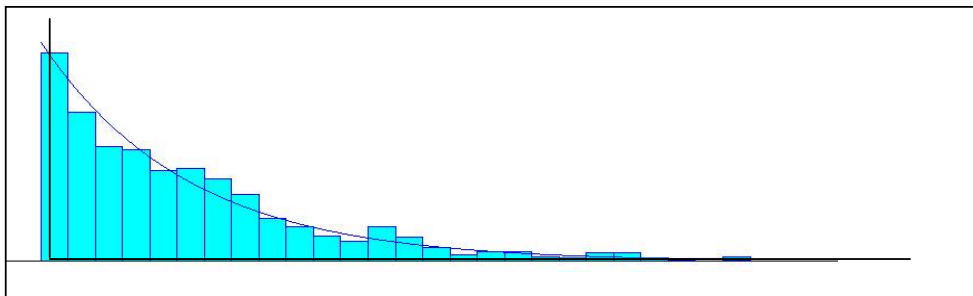


Figura 4 – Gráfico dos intervalos de chegada

5.2.2 – Tempos de atendimento

Da mesma forma que no item 5.2.1- Intervalo de chegadas, os tempos de atendimento foram analisados e conclui-se que a melhor distribuição teórica aderida “Gamma” não é aceitável, em virtude de seus valores de “p-value” serem muito baixos.

Optou-se, portanto, por utilizar os tempos observados dos 685 navios, pois uma consulta ao terminal que os disponibilizou não recomendou o expurgo de qualquer valor, especialmente os valores altos.

5.2.3 – Análise dos resultados das simulações

Nesta seção serão analisados os resultados das simulações, realizadas comparações entre os tipos de chegada, podendo ser esses dados lidos diretamente do arquivo (chave 0) e dados gerados por intervalo (chave 1).

Dessa forma, as comparações serão realizadas conforme as tabelas 1 e 2 abaixo:

Tabela 1 – Comparação entre cenários lidos do arquivo

Dados Iniciais	Cenário 1	Cenário 2
Tipo do modelo	0	0
Tipo de chegada	0	0
Violação de fila	0	1

Tabela 2 - Comparação entre cenários gerados pelo modelo

Dados Iniciais	Cenário 3	Cenário 4
Tipo do modelo	0	0
Tipo de chegada	1	1
Violação de fila	0	1

As chaves do tipo do modelo são 0 para tamanho de cais e 1 para o número de berço; o tipo de chegada de navios, que é 0 quando os dados são lidos do arquivo e 1 quando é gerado por intervalo de tempo; as chaves de permissão de violação ou relaxação da fila, se forem 0 não ocorre a violação ou relaxação da fila e se forem 1 a violação é permitida. O tamanho da janela de tempo estipulada nas simulações variaram de 30 a 600 minutos com intervalos de 30 minutos. Foram simulados diversos tipos de distribuição do intervalo de navios, conforme tabela 3 abaixo.

Tabela 3 - Relação do valor da chave e do tipo de distribuição

Valor da chave	Tipo de distribuição
1	Exponencial
2	Erlang 2
3	Erlang 3

4	Erlang 4
5	Média (determinístico)
6	Normal
7	Triangular
8	Uniforme

5.2.3.1 – Análise dos resultados das simulações de dados lidos do arquivo

O resultado das simulações de dados lidos do arquivo com tipo de distribuição exponencial estão representados na tabela 4.

Nessas simulações não ocorreram variações de valores dos custos dos navios em fila; não importou a variação do tipo de distribuição, os resultados foram os mesmos para Erlang 2, Erlang 3, Erlang 4, Média, Normal, Triangular e Uniforme; portanto será apresentado apenas os dados e gráficos da distribuição exponencial.

Tabela 4 - Custos do navio por conta do armador e do terminal na simulação de dados lidos do arquivo e tipo de distribuição exponencial

000			001		
min. custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3	custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3
30 66.588.810,62	0,00	0,00	66.588.810,62	0,00	0,00
60 66.305.477,29	0,00	0,00	66.305.477,29	0,00	0,00
90 66.022.143,96	0,00	0,00	66.022.143,96	0,00	0,00
120 65.738.810,62	0,00	0,00	65.738.810,62	0,00	0,00
150 65.455.544,61	4.562.922,77	0,00	65.455.544,61	6.765.829,64	0,00
180 65.172.627,94	4.563.232,70	0,00	65.172.627,94	6.766.139,56	0,00
210 64.890.096,31	4.563.832,70	0,00	64.890.096,31	6.766.739,56	0,00
240 64.607.596,31	4.564.610,95	0,00	64.607.596,31	6.767.517,81	0,00
270 64.325.457,02	27.267.050,51	0,00	64.325.457,02	40.433.698,98	0,00
300 64.043.373,68	27.270.650,51	0,00	64.043.373,68	40.437.298,98	0,00
330 63.761.290,35	27.274.250,51	0,00	63.761.290,35	40.440.898,98	0,00
360 63.479.207,02	27.277.850,51	0,00	63.479.207,02	40.444.498,98	0,00
390 63.197.123,68	27.281.450,51	0,00	63.197.123,68	40.448.098,98	0,00
420 62.915.040,35	27.285.050,51	0,00	62.915.040,35	40.451.698,98	0,00
450 62.632.957,02	27.288.650,51	0,00	62.632.957,02	40.455.298,98	0,00
480 62.350.873,68	27.292.250,51	0,00	62.068.879,76	40.462.498,98	0,00
510 62.068.879,76	27.295.850,51	0,00	62.068.879,76	40.462.498,98	0,00
540 61.787.213,10	27.299.450,51	0,00	61.787.213,10	40.466.098,98	0,00
570 61.505.853,61	27.303.050,51	0,00	61.505.853,61	40.469.698,98	0,00
600 61.224.603,61	27.306.650,51	0,00	61.224.603,61	40.473.298,98	0,00

Analisando os resultados da tabela 4, nota-se que a melhor faixa para a oferta da janela de tempo de atracação pelo terminal, nesta comparação de dados da simulação lidos diretamente do arquivo, encontra-se entre 150 e 240 minutos.

O período de 150 minutos proporciona o menor custo do navio em fila a ser pago pelo terminal e o de 240 minutos o menor custo pelo armador e também o menor custo total do navio em fila.

As faixas anteriores a 150 minutos são curtas, o que faz com que o armador raramente chegue dentro da janela, arcando dessa forma com todo o custo em fila.

A faixa entre 270 e 600 minutos não representa uma redução significativa para os custos em fila a serem pagos pelo armador, contudo apresenta um aumento de praticamente seis vezes dos custos em fila a serem pagos pelo terminal.

No momento em que o terminal aumenta a faixa de tempo da janela de atracação, melhora o seu nível de serviço, porém os navios começam a chegar com mais frequência dentro da janela. Esse fato é comprovado pelo custo do navio em fila 3 ser igual a zero.

É importante notar também que há um aumento na diferença entre os cenários com ou sem violação de fila. No cenário em que ocorre a violação de fila, há um aumento do custo total dos navios em fila entre as janelas de 150 a 240 minutos e um aumento de entre o intervalo de janela de tempo de 270 a 600 minutos.

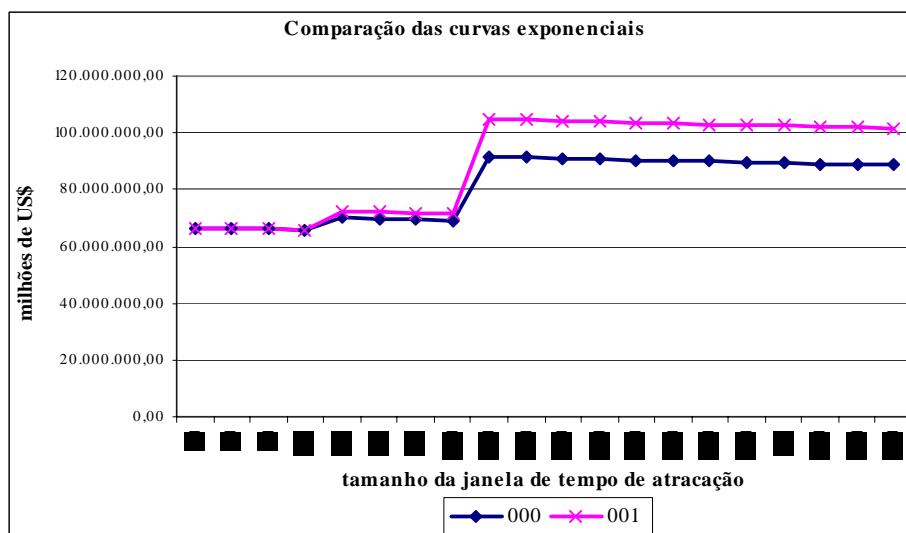


Figura 5 – Comparação das curvas exponenciais para dados lidos do arquivo

A figura 5, acima, representa a comparação das curvas exponenciais para os dados lidos diretamente do arquivo. Nesse gráfico é possível visualizar o aumento na diferença entre os cenários com ou sem violação de fila e o aumento do custo total dos navios em fila quando a faixa de tempo da janela supera os 240 minutos.

5.1.3.2 Análise dos resultados das simulações de dados gerados

Para os dados gerados na simulação, foram utilizados os mesmos tipos de distribuição do intervalo de navios conforme a tabela 3, mostrada anteriormente no item 5.2.3.

Deve-se destacar que os valores da simulação para as distribuições normal, triangular e uniforme apresentaram os mesmos resultados.

Na tabela 5 são apresentados os dados referentes aos custos do navio por conta do armador e do terminal na simulação de dados gerados das distribuições: normal, triangular e uniforme. Observa-se que todos os custos do navio em fila serão por conta do terminal.

Tabela 5 – Custos do navio por conta do armador e do terminal na simulação de dados gerados para as distribuições: normal, triangular e uniforme

	010			011		
	min custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3	custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3
.						
30	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
60	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
90	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
120	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
150	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
180	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
210	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
240	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
270	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
300	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
330	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
360	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
390	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
420	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
450	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
480	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
510	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
540	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
570	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	
600	0,00	149.861.594,0	0,00	0,00	242.698.475,6	0,00
		1			2	

A tabela 6 apresenta os resultados dos custos do navio em fila por conta do armador e do terminal na simulação de dados gerados para distribuição do tipo exponencial.

Estes dados serão foco de análise comparativa futura entre dados lidos diretamente do arquivo e dados gerados na simulação.

De acordo com os dados da tabela 6, na próxima página, verifica-se que a melhor faixa de janela de tempo de atracação a ser oferecida está entre 210 e 360 minutos.

Os custos do navio em fila 1 que são de responsabilidade do armador que chegou antes da janela estabelecida se mantêm com pouca variação entre 30 e 600 minutos.

Esse fato não se repete para o custo do navio em fila 2, que é de responsabilidade do terminal; a faixa abaixo dos 210 minutos compromete o nível de serviço oferecido apesar dos custos menores, contudo os custos na faixa acima de 390 minutos basicamente igualam os custos do navio em fila pagos pelo armador e pelo terminal.

No caso de haver violação da fila, o terminal passa a ser responsável pela maior do custo da fila a partir dos 60 minutos de janela de tempo de atracação. Tal aumento é facilmente observado na coluna de custo do navio em fila 2 (custo navio 2).

Tabela 6 - Custos do navio em fila por conta do armador e do terminal na simulação de dados gerados e tipo de distribuição exponencial

	010			011		
min	custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3	custo navio 1	custo navio 2	custo navio 3
30	85.517.219,9 6	27.480.838,11	8.309.823,54 3	85.517.219,9 6	46.960.281,47	14.000.712,6 9
60	85.367.173,1 6	50.450.909,65	8.295.932,11	85.367.173,1 6	138.758.716,7 2	13.982.559,7 9
90	85.217.300,1 0	45.456.180,89	8.287.101,01	85.217.300,1 0	119.508.118,0 7	13.964.647,3 1
120	85.067.641,6 0	52.029.709,04	8.284.006,07	85.067.641,6 0	162.339.360,3 0	13.961.368,2 9
150	84.918.240,8 6	57.500.054,54	8.276.113,76	84.918.240,8 6	175.590.204,0 8	13.946.869,5 8
180	84.768.972,3 9	54.239.160,82	8.263.954,73	84.768.972,3 9	170.370.072,2 6	13.923.331,7 2
210	84.619.768,7 7	68.399.321,90	8.251.026,59	84.619.768,7 7	185.342.521,6 9	13.903.967,0 0
240	84.470.682,2 0	70.836.299,16	8.220.169,61	84.470.682,2 0	197.469.356,8 0	13.878.454,9 4
270	84.321.799,2 1	70.960.021,82	8.209.781,77	84.321.799,2 1	184.074.662,5 5	13.827.169,9 8
300	84.173.167,6 3	69.845.235,80	8.188.685,76	84.173.167,6 3	196.411.897,7 6	13.873.257,9 7

330	84.024.738,8	69.281.457,40	8.171.065,24	84.024.738,8	199.561.579,9	13.878.055,9
	6			6	3	3
360	83.876.498,0	71.667.688,38	8.152.161,74	83.876.498,0	202.205.473,7	13.843.107,3
	9			9	4	8
390	83.728.396,9	77.403.917,22	8.134.028,44	83.728.396,9	202.963.677,7	13.808.030,4
	5			5	7	9
420	83.831.802,3	79.446.744,91	8.120.860,73	83.831.802,3	219.261.972,7	13.778.098,5
	9			9	0	7
450	83.683.957,3	90.284.096,92	8.107.960,81	83.683.957,3	247.573.966,0	13.750.475,3
	5			5	5	6
480	83.536.254,8	90.744.190,58	8.099.291,80	83.536.254,8	247.495.040,7	13.747.070,7
	8			8	7	8
510	83.388.687,0	91.227.809,58	8.075.202,13	83.388.687,0	262.006.195,8	13.797.996,7
	9			9	0	8
540	83.241.372,7	106.917.807,1	8.062.662,19	83.241.372,7	264.007.217,8	13.694.715,7
	4	9		4	9	0
570	83.094.304,9	107.649.121,9	8.053.916,08	83.094.304,9	264.849.012,4	13.676.155,1
	4	6		4	1	4
600	82.947.551,1	108.612.957,9	8.037.480,98	82.947.551,1	267.804.423,2	13.643.973,5
	8	8		8	9	2

A figura 6 apresenta o gráfico representativo da distribuição exponencial para os dados gerados.

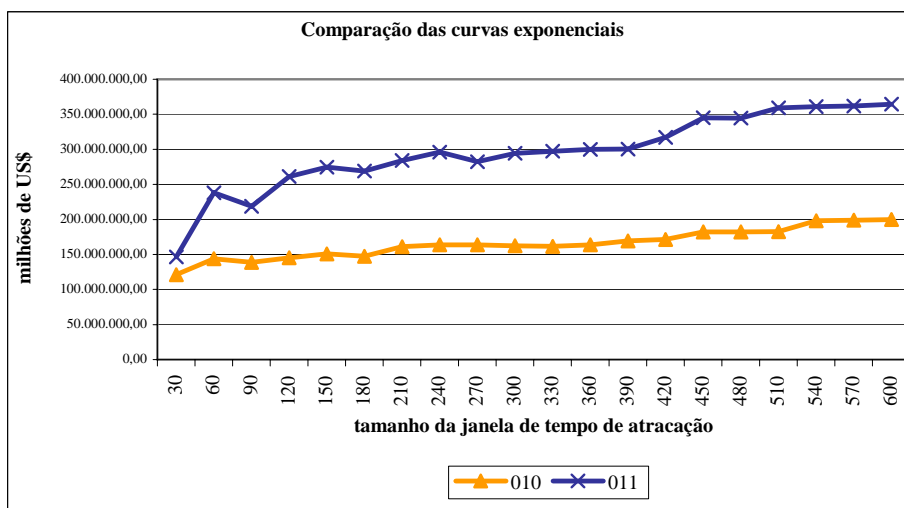


Figura 6 - Comparação das curvas exponenciais para dados gerados

A análise das distribuições do tipo Erlang foram feitas em conjunto: Erlang 2 , Erlang 3 e Erlang 4 , por meio do custo total do navio em fila.

Tal análise foi realizada desta maneira, em virtude das distribuições do tipo Erlang apresentarem processo de chegada mais comportado, o que acaba influenciando ou remetendo a janela de tempo.

O quadro comparativo dos custos de navio em fila das distribuições do tipo Erlang é mostrado no gráfico da figura 7.

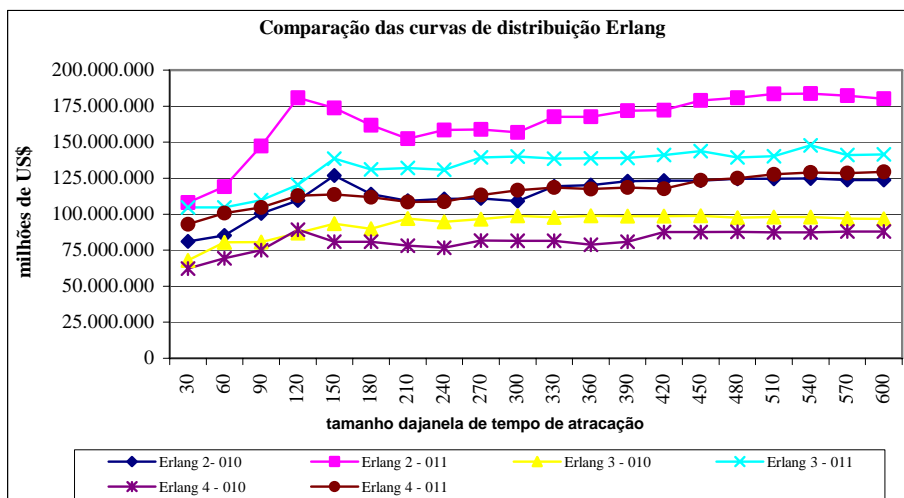


Figura 7 - Comparação das distribuições Erlang de dados gerados na simulação

Em virtude das análises realizadas anteriormente e de suas particularidades, optou-se por uma análise comparativa por meio das distribuições exponenciais para os dados lidos diretamente do arquivo e dados gerados na simulação. A tabela 7 apresenta essa comparação.

Tabela 7 – Quadro comparativo dos dados lidos do arquivo e gerados pelo modelo através de distribuição exponencial

Cenário	Janela de Tempo oferecida pelo terminal (min.)	Observações
Dados lidos do arquivo	150 – 240	Custo do navio em fila baixo para o terminal e bom nível de serviço.
Dados gerados do modelo	210 - 360	Custo do navio em fila maior para o terminal (com custos próximos ao do armador) e com um nível de serviço melhor.

6 – Conclusões e Recomendações

O objetivo de desenvolver um estudo de janela de tempo a ser oferecida pelo terminal ao armador, considerando um sistema de custos, foi alcançado com a elaboração de um modelo de simulação que analisa dados reais de chegada dos navios ou gera as suas chegadas através de um conjunto de variáveis e características dos navios e do terminal.

A indicação da melhor janela de tempo de atracação a ser oferecida pelo terminal ao cliente armador, considerando um sistema total de custos dos navios em fila, proporciona diversos benefícios para o terminal e para o armador.

Para o terminal permite uma melhor programação de suas atividades operacionais, que passam pela manutenção de equipamentos de costado, possibilidade de um planejamento e seqüenciamento dos contêineres de embarque mais detalhado, em consonância com o plano de bordo do armador, abertura de espaço no pátio para importação em face da entrega dos contêineres descarregados dos navios anteriores e, conseqüentemente, um melhor nível de serviço oferecido.

Quanto aos armadores, estes podem programar os seus schedules e não correr o risco de perder a janela de tempo de atracação ou ficar esperando em fila por não possuir uma em dessas janelas acordadas com o terminal. Isso evita custos associados à perda de janelas de atracação nos portos subseqüentes, onde esse custo seria probabilístico, uma vez que existe alguma folga nos schedules (cerca de 5% do tempo de viagem redonda).

O problema ocorre quando essa folga é utilizada logo no início da viagem pela perda de uma janela e longa permanência em fila. Nesses casos o atraso incorrerá em esperas ainda maiores nos portos seguintes da escala. Comumente algum porto é cancelado para que o navio retorne ao schedule e cumpra as demais janelas.

Em tais situações os custos adicionais ficam apenas por conta do armador em: remoções, transbordos, lucro cessante (em virtude dos embarques cancelados) e risco comercial. Recomenda-se a utilização do modelo como ferramenta de apoio à decisão e sua aplicação em outros terminais de diferentes portos; além da possível adaptação desse modelo com o acréscimo de novas variáveis nos processos de planejamento da área de operações de navios, tais como: a alocação de equipamentos de movimentação do tipo portêineres e recursos de bordo do navio e sua relação com os equipamentos de retaguarda; ou a possibilidade de definição de qual o melhor dia e hora da semana para aplicação da janela de tempo de atracação.

7 - Referências

CHEN, C.Y.; HSIEH, T.W. **A Time-Space network model for the berth allocation problem**. 2001.

GONZALEZ, J.A; BOTTER, R.C. **Vantagens e desvantagens da aplicação de técnicas de simulação versus a teoria de filas no planejamento portuário: uma discussão conceitual e uma aplicação prática**. 19º Congresso Nacional de Transportes Marítimos, Construção Naval e Offshore, Seção de Transporte Aquaviário e Logística, 21 a 25 de outubro de 2002. Rio de Janeiro, Anais em CD.

GUAN, Y.; CHEUNG, R. K. **The berth allocation problem: models and solution methods**. OR Sprectrum, v.26: p. 75 - 92 , 2004.

HANSEN, P.; Oguz, C. **A note on formulations of static and dynamic berth allocation problems**. Les Cahiers du GERAD, 2003.

HENESEY,L; DAVIDSSON,P; PERSSON, J.A. **Using simulation in evaluating berth allocation at a container terminal**. Computer Applications and informations technology in the maritime industries (COMPIT 2004), 9-12 May Singuinza, 2004.

IMAI, A.;NAGAIWA, K.; CHAN,W.T. **Efficient planning of berth allocation for container terminals in Asia**. Journal of Advanced Transportation 31, p.75-94, 1997.

- KIM, K. H; MOON. K. H. **Berth scheduling by simulated annealing.** Transportation Research-B 37, p.541-560, 2003.
- LAI, K.K; KIM, SHIH K. **A study of container berth allocation.** Journal of Advanced Transportation 26, p. 45 - 60, 1992.
- LI,C.L.; CAI,X.; LEE,C.Y. **Scheduling with multiple-job-on-one-processor pattern.** IIE Transactions 30, p. 433 - 445, 1998.
- LIM, A. **The berth planning problem.** Operations Research Letters 22, p. 105-110, 1998.
- LIM, A; GOH, K.S. **Combining various algorithms to solve the ship berthing problem.** 12th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence – ICTAI' 00, Vancouver (Canada), 2000.
- MOON, K.C. **A Mathematical model and a heuristic algorithm for berth planning.** PhD thesis, Pusan National University , 2000.
- NISHIMURA, IMAI e PAPANITRIOU. **The dynamic berth allocation problem for a container port.** Transportation Research-B 35 (4), p. 401-417, 2001.
- NISHIMURA, IMAI e PAPANITRIOU. **Berth Allocation with service priority.** Transportation Research-B 37 (5), p. 437-457, 2003.
- PARK, K.T; KIM, K. H. **Berth scheduling for container terminal by using a sub-gradient optimization technique.** Journal of the Operational Research Society 53, n° 9, p. 1054–1062, 2002.
- PARK. Young-Man; KIM, Kap Hwan. **A scheduling method for berth and quay Cranes.** OR Spectrum 25: 1-23 , 2003.
- PIAW, T.C. **On optimizing PSA berth planning system.** 3rd annual Singapore – MIT Alliance – SMA'03, Singapore, 2003.