

# **MODELAGEM COMPUTACIONAL DA MOVIMENTAÇÃO DE CARGA GERAL E UNITIZADA DO TERMINAL PORTUÁRIO DE VILA DO CONDE – ESTADO DO PARÁ**

**Eduardo Rocha Praça**  
**José Expedito Brandão Filho**  
**Bruno de Athayde Prata**  
**Francisco Ivan de Oliveira**

Universidade Federal do Ceará  
Grupo de Estudo e Pesquisa em Infra-Estruturas de Transporte e Logística da Energia - GLEN

**Ernesto Ferreira Nobre Júnior**

Universidade Federal do Ceará  
Mestrado em Logística e Pesquisa Operacional - GESLOG

## **RESUMO**

A administração do Terminal Portuário de Vila do Conde, situado no Estado do Pará, está ampliando sua área de influência e, por conseguinte, o volume de cargas movimentadas pelo porto tende a aumentar nos próximos anos. Para verificar se as instalações do terminal serão adequadas para movimentar a quantidade de mercadorias previstas, foi concebido um modelo de simulação computacional com o objetivo de estabelecer cenários operacionais do Porto de Vila do Conde para anos futuros. O modelo foi baseado na lógica operacional e nos tempos de operação fornecidos pela Autoridade Portuária, sendo utilizado o programa ARENA tanto para implementação do modelo quanto para simulação de cenários. Foi realizado um estudo estatístico baseado na Teoria das Filas para desenvolver alguns modelos, os quais foram validados, permitindo identificar possíveis gargalos identificados nos horizontes dos cenários apresentados.

**Palavras-chave:** Logística portuária, Operação de Sistemas de Transporte, Simulação.

## **ABSTRACT**

The management of the Vila do Conde Port, in state of Pará, is enlarging the influence area, and the cargo volume transported by the terminal tend to increase in the next years. To identify if the terminal's installations will be adequate for movement of the goods prognosticated, a computational simulation modeling was developed to establish several operational scenarios for the Vila do Conde in the next years, using Queue Theory. The software ARENA was used the for run the models and simulate the operational scenarios. The developed model was valid to identify bottlenecks in horizons of the proposed scenarios.

**Key words:** Ports Logistics, Transportation Systems Operations, Simulation.

## **1. INTRODUÇÃO**

As grandes reservas de bauxita descobertas no Pará, precisamente nas regiões do rio Trombetas e na bacia do rio Capim (superadas somente pelas reservas de Guiné e Austrália), aliadas ao potencial hidrelétrico dos rios da Amazônia, levaram o Brasil à posição de importante exportador de alumínio.

Para a implantação dos projetos nacionais de exploração do alumínio, o governo brasileiro firmou o compromisso de construir a Hidrelétrica de Tucuruí, no rio Tocantins, que fornece energia elétrica com tarifa reduzida, bem como um Porto, um núcleo habitacional e um acesso rodoviário. Além disso, governos do Brasil e do Japão concederam financiamentos com juros baixos e diversos incentivos fiscais para viabilizar este empreendimento.

É neste contexto que, em 24/10/1985, o Porto de Vila do Conde (PVC) foi inaugurado, estando localizado em Ponta Grossa, no município de Barcarena, às margens do rio Pará, estando situado a 35 quilômetros de Belém. As principais instalações do Porto são: armazém, pátio para lingotes, prédio para oficinas, garagem e almoxarifado, prédios diversos,

reservatório elevado e cisterna, dentre outras. O PVC apresenta sete berços (101, 102, 201, 202, 301, 302 e TGL) que movimentam graneis sólidos, graneis líquidos, carga geral e unitizada.

O Estado do Pará prevê grandes oportunidades de expansão do volume de movimentação de mercadorias, incluindo graneis, fertilizantes e contêineres. Desse modo, surge a necessidade de avaliar o comportamento das operações do Porto de Vila do Conde a partir do aumento da demanda pelos seus serviços de movimentação (importação/exportação).

Esta análise é essencial, pois permite a avaliação da necessidade de incremento da capacidade de oferta do terminal supramencionado. Diante deste contexto, percebe-se que é fundamental uma avaliação operacional do Porto de Vila do Conde, no sentido de responder às seguintes questões estratégicas: (i) O terminal portuário responde adequadamente à demanda atual? (ii) Caso a resposta da pergunta anterior seja negativa, quais as facilidades necessárias para atender à demanda atual? (iii) Em caso de aumento da demanda futura, qual seria a qualidade do serviço portuário, se não forem incrementadas as facilidades existentes? (iv) Quais e quantas facilidades são necessárias, considerando-se as demandas previstas para determinados tipos de carga, para que o Terminal Portuário opere adequadamente?

Considerando o contexto descrito, o presente artigo tem o objetivo de reportar a análise do desempenho operacional do Porto de Vila do Conde, até o horizonte de 2020, com base em cenários de movimentação de cargas e alternativas de arranjo dos berços previamente definidos.

Cabe salientar que as análises serão realizadas observando os parâmetros operacionais de taxa de ocupação e nível de serviço do atendimento dos navios. Os cenários serão levantados a partir da observação dos dados históricos da demanda dos diversos tipos de produtos movimentados e da capacidade operacional do porto, medida pelos equipamentos e pela infraestrutura disponível.

## **2. SIMULAÇÃO DA OPERAÇÃO DE SISTEMAS PORTUÁRIOS**

Um porto é um sistema complexo, cuja operação envolve uma extensa gama de variáveis, muitas delas aleatórias ou probabilísticas. Sendo assim, uma avaliação plenamente subjetiva do sistema portuário pode, muito provavelmente, encaminhar os gestores a decisões errôneas que implicariam em elevados custos de oportunidade.

Avaliações objetivas de terminais portuários, baseadas em modelos matemáticos, são amplamente disseminadas nos meios corporativos e acadêmicos (YUN e CHOI, 1999). Técnicas de Pesquisa Operacional têm sido freqüentemente aplicadas para planejar e gerenciar o sistema portuário, auxiliando o processo de tomada de decisão a partir da análise de parâmetros tais como tempo de atendimento, tempo de chegada de navios, tempo de espera dos navios, tamanho médio da fila e taxa de ocupação de berços (FERNANDES, 2001).

Além disso, as técnicas de simulação computacional, baseadas nos conceitos de Teoria das Filas e no Método Monte Carlo, possibilitam a obtenção de uma maior sensibilidade em relação aos valores dos referidos parâmetros, permitindo avaliar com maior precisão o desempenho operacional do Porto diante de vários cenários que podem ser definidos.

Nesta ótica, é possível definir a simulação como um processo de elaboração de um modelo de um sistema real, bem como de condução de experimentos com este modelo, com o propósito de compreender o comportamento do sistema, ou avaliar várias estratégias para a operação do mesmo (WINSTON, 1990; HILLIER & LIEBERMAN, 1995).

A simulação pode, portanto, ampliar o entendimento do analista sobre o sistema modelado (SHANNON, 1975). No que se refere ao estudo da operação de terminais portuários, a utilização da técnica de simulação computacional pode implicar nos seguintes resultados: (i) Determinação, para cenários futuros, de indicadores operacionais tais como taxa de ocupação dos berços e taxa de utilização dos equipamentos, tendo em vista a infra-estrutura e a superestrutura vigentes no terminal no momento de sua modelagem; (ii) Avaliar o comportamento do terminal para futuras demandas de movimentação de cargas; (iii) Avaliar a necessidade de intervenções no terminal de modo a atender, eficientemente, futuras demandas; e (iv) Implementar possíveis alternativas de intervenção no modelo, avaliando seus impactos na operação do terminal.

É importante destacar que a simulação não se destina a otimizar a operação de um sistema, mas sim ampliar a compreensão do analista sobre o seu atual funcionamento e sobre como o sistema se comportaria após intervenções em sua estrutura operacional. Um modelo de simulação, entretanto, não substitui a experiência do gestor portuário. Deve-se buscar a consonância entre a subjetividade e experiência do gestor e a objetividade do modelo matemático, elevando a eficiência do processo de tomada de decisão.

### **3. MODELAGEM COMPUTACIONAL**

#### **3.1 Concepção do modelo**

Os dados requisitados para a concepção do modelo, consistiram em: (i) Projeção da quantidade de carga a ser movimentada pelo terminal em cenários de curto, médio e longo prazo; (ii) Quantidade de embarcações a serem atendidas pelo terminal; (iii) Quantidade de carga transportada para cada embarcação; (iv) Tempo de espera das embarcações; e (v) Tempo de atracação das embarcações.

Como é possível perceber, as informações necessárias para a modelagem do PVC refletem as variáveis taxa de ocupação, nível de serviço e prancha de atendimento. Para a obtenção das variáveis, cabe observar os seguintes aspectos básicos: (i) O comportamento dos intervalos de chegada de cada conjunto de navios é refletido pelo histórico observado no ano de 2004 e parte do ano de 2005; (ii) Os tempos de atendimentos ou de operação foram tomados pelos tempos de atracação observados no mesmo período e consideraram as pranchas verificadas; (iii) Os tempos de espera foram calculados pela diferença entre a desatracação e a atracação de cada conjunto de navios em cada berço; (iv) As regras de alocação de berços seguiram os padrões utilizados na operação atual do porto; e (v) Não foram consideradas prováveis evoluções nas pranchas de atendimento ao longo do tempo.

Considerando um berço que atenda, em um dado intervalo de tempo,  $n$  navios, sua taxa de ocupação (TO) pode ser calculada pela seguinte expressão:

$$TO = \frac{\sum_{i=1}^n t_{a_i}}{T} \quad (1)$$

em que:

$t_a$ : tempo de permanência do navio  $i$  no berço;

$T$ : tempo total de operação do berço.

Por sua vez, o nível de serviço (NS) pode ser definido da seguinte forma:

$$NS = \frac{\sum_{i=1}^n TE_i}{\sum_{i=1}^n t_{a_i}} \quad (2)$$

em que:

$TE$ : tempo total de espera dos navios em um dado berço.

$t_a$ : tempo de permanência do navio  $i$  no berço.

Já a prancha de atendimento, ou produtividade, pode ser determinada, em seu valor médio, conforme a seguinte equação:

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{t_{a_i}}}{n} \quad (3)$$

em que:

$t_a$ : tempo de permanência do navio  $i$  no berço;

$Q_i$ : quantidade de carga transportada pelo navio  $i$ .

Para cada um dos anos horizontes de planejamento - 2006, 2008, 2010, 2015 e 2020 - foram definidos três conjuntos de cenários: (i) Alternativa 01: as movimentações projetadas são alocadas para os berços já existentes, com aumento da produtividade para as seguintes cargas: alumina (berço 201), contêineres (berço 301) e fertilizantes (berço 202), com a utilização dos berços 202 e 302 para o atendimento de navios; (ii) Alternativa 02: a mesma alternativa 01, prevendo-se a construção de mais dois berços: 401 e 402; e (iii) Alternativa 03: a mesma alternativa 01, com a exclusão das operações de manganês e ferro gusa.

O modelo de simulação proposto considera as projeções das quantidades e dos tipos de cargas a serem movimentados pelo PVC, cedidos pela Autoridade Portuária do terminal supracitado. A seguir, na Tabela 1, é ilustrada a estimativa em questão.

A partir da Tabela 1 é possível determinar, para cada horizonte de tempo, as funções de distribuição de probabilidade dos intervalos de chegada de navios. Considerou-se, neste estudo, que estas distribuições seriam obtidas com base nos intervalos de chegada de navios para o ano base 2005, sendo calculadas inversamente proporcionais ao aumento da quantidade de cargas em cada ano. Por exemplo, no caso da bauxita, percebe-se que a quantidade movimentada em 2006 é 49,7% superior a 2005. Logo, será assumido que o intervalo de chegada dos navios de bauxita em 2006, será 49,7% menor do que o intervalo de chegada dos navios em 2005. Partindo deste raciocínio, foi utilizada a ferramenta *Input Analyser*, do *software* ARENA, para a determinação das distribuições estatísticas que mais se adaptam aos dados fornecidos. Assim, foram geradas as distribuições representativas do intervalo de chegada dos navios.

**Tabela 1:** Projeções de movimentação de cargas no PVC.

Tipos de Carga	Quantidades (t)							%
	2005	2006	2008	2010	2015	2020	2025	
Bauxita	6.430.000	9.625.000	6.200.000	6.200.000	6.200.000	6.200.000	6.200.000	28,8%
Carvão	-	120.000	500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	2.500.000	11,6%
Alumina	1.675.200	3.300.000	6.600.000	6.600.000	6.600.000	6.600.000	6.600.000	30,6%
Coque	164.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	180.000	0,8%
Piche	29.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	60.000	0,3%
Alumínio	375.000	435.000	450.000	450.000	450.000	450.000	450.000	2,1%
Caulim	70.000	70.000	200.000	200.000	260.000	260.000	260.000	1,2%
Fertilizantes	63.600	140.000	169.400	169.400	330.100	531.650	856.350	4,0%
Ferro Gusa	131.000	350.000	-	-	-	-	-	0,0%
Manganês	350.000	350.000	-	-	-	-	-	0,0%
Minério/Coque/Carvão	-	50.000	388.500	80.000	80.000	-	-	0,0%
Produtos Siderúrgicos	-	0	0	300.000	0	-	-	0,0%
Outras Mercadorias	65.000	70.000	75.000	90.000	100.000	180.000	250.000	1,2%
Contêineres	267.520	366.720	558.080	558.080	830.720	1.070.720	1.482.240	6,9%
OCA – 1	612.000	562.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000	5,6%
Soda Cáustica	472.000	800.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	1.500.000	7,0%
<b>Total</b>	<b>10.704.320</b>	<b>16.478.720</b>	<b>18.080.980</b>	<b>20.087.480</b>	<b>20.290.820</b>	<b>20.732.370</b>	<b>21.538.590</b>	<b>100,0%</b>

Da mesma forma como realizada na estimação das distribuições de intervalos de tempo de chegada de navios, as distribuições de tempo de atendimento para os anos horizontes foram baseadas nos tempos de atendimento dos navios em cada berço e nos fatores de crescimento de produtividades do berço.

**Tabela 2:** Pranchas projetadas por mercadoria movimentada.

Mercadorias	2006	2008	2010	2015	2020
Descarregamento de bauxita e de carvão	43.200	43.200	43.200	43.200	43.200
Embarque de Alumina (Berço 102)	18.000	18.000	18.000	18.000	18.000
Descarregamento de Piche	1.600	1.600	1.600	1.600	1.600
Descarregamento de Coque	-	7.800	7.800	7.800	7.800
Descarregamento de Fertilizantes e Coque	1.500	-	-	-	-
Descarregamento de Fertilizantes	-	1.500	1.500	1.500	1.500
Embarque de Alumina (Berço 201)	-	36.000	36.000	36.000	36.000
Embarque de Manganês	7.100	7.100	7.100	7.100	7.100
Embarque de Ferro Gusa	6.160	6.160	6.160	6.160	6.160
Movimentação de Contêineres em Navios	15	25	25	25	25
Embarque de Alumínio e Caulim	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Descarregamento de OCA – 1	16.000	16.000	16.000	16.000	16.000
Descarregamento de Soda Cáustica	8.540	8.540	8.540	8.540	8.540

**Observação:** Todos os valores estão expressos em toneladas por dia, exceto o item “Movimentação de Contêineres em Navios”, expresso em unidades de contêineres por dia.

Dessa forma, a montagem dos tempos de atendimento seguiu a seguinte metodologia: (i) Separaram-se os tempos de atendimento de cada carga, referentes ao ano base de 2005; (ii) Para cada esquema de alocação dos berços, os tempos de atendimento foram compostos pelos tempos de atendimento de cargas que seriam movimentadas naquele berço; (iii) Para cada ano horizonte, os conjuntos tempos de atendimento formados para cada berço, em cada ano horizonte, eram divididos pelo fator médio de crescimento da produtividade do berço, calculado por uma média ponderada dos fatores de crescimento de cada carga, cujos pesos eram os volumes de carregamento projetados, apresentados na Tabela 2; e (iv) Os fatores de crescimento de produtividade de atendimento de cada carga foram, por sua vez, calculados

pela divisão da prancha de atendimento da carga no referido ano horizonte, pela prancha de atendimento da carga no ano base de 2005.

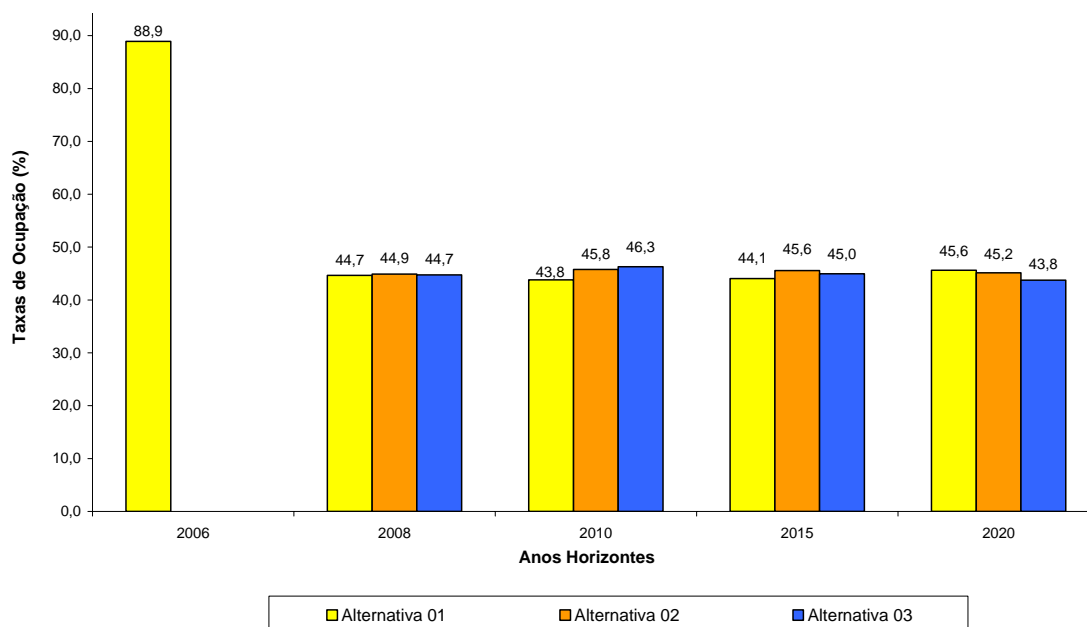
### 3.2 Resultados obtidos

A modelagem realizada através do *software* ARENA possibilitou a obtenção de dois parâmetros que balizaram a análise dos resultados da simulação para cada cenário definido: taxa de ocupação e nível de serviço.

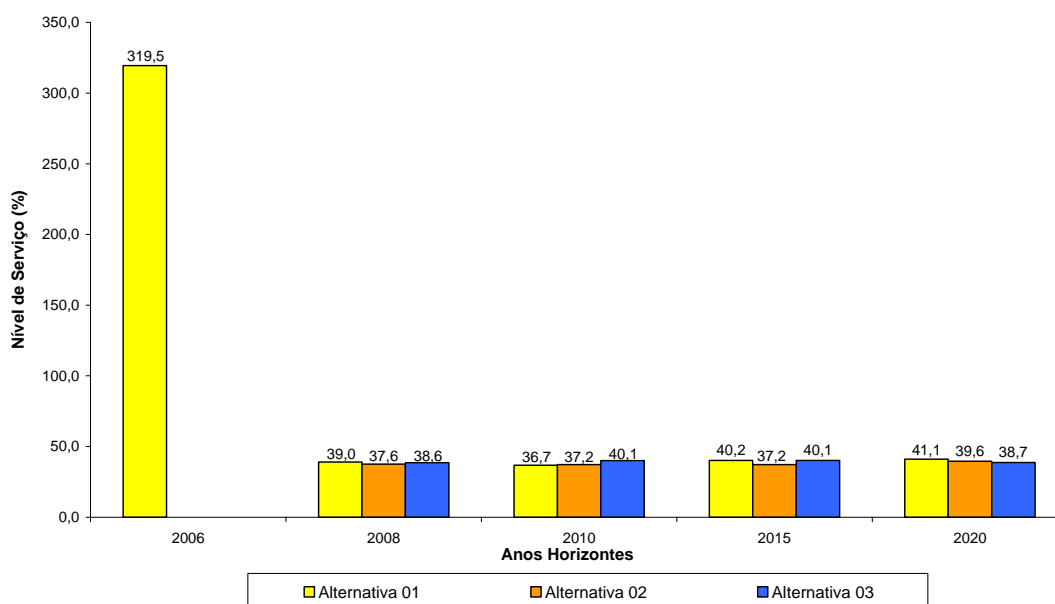
Para que os resultados obtidos pelo modelo pudessem subsidiar a tomada de decisão para cenários futuros, foi necessário que este fosse validado. De acordo com SHANNON (1975), a validação é o processo de avaliação, para um nível aceitável de confiança do usuário, se qualquer inferência sobre o sistema, derivada de uma simulação, é correta.

Os resultados de taxa de ocupação e nível de serviço fornecidos pelo modelo, nos cenários correspondentes aos anos de 2004 e 2005, considerando-se a operação dos sete berços do terminal, implicaram em discrepâncias compreendidas entre 0,5% e 5,0% com os desempenhos reais do Porto de Vila do Conde aferidos no período em questão. Tendo em vista a pequena magnitude destes erros, o modelo foi considerado válido.

Com base no modelo validado das operações dos anos de 2004 e 2005, foram realizadas simulações, para cada horizonte de planejamento e alternativa de alocação de berços, sendo avaliadas as variáveis taxa de ocupação e nível de serviço para cada berço. A seguir, nas Figuras 1 e 2, é possível visualizar o comportamento do berço 102 no que se refere às variáveis taxa de ocupação e nível de serviço.



**Figura 1:** Taxas de Ocupação do Berço 102 obtidas através da simulação.



**Figura 2:** Níveis de Serviço do Berço 102 obtidos através da simulação.

Os resultados do modelo, por serem bastante extensos, não poderão ser comentados com detalhes neste artigo devido a limitação de páginas. Contudo, é pertinente destacar que as informações fornecidas pelo modelo puderam embasar um diagnóstico acerca do desempenho operacional do PVC no horizonte de projeto considerado, conforme consta na conclusão deste trabalho.

#### 4. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, é possível concluir alguns aspectos. Primeiramente, o porto, em 2006, sofrerá grandes prejuízos com o gargalo do berço 102, o que demonstra a necessidade urgente de transferência da alumina para outro berço que possa melhor atender este produto – no caso, o berço 201.

Os resultados apresentados neste estudo apontam fortemente para a viabilização da alternativa 01, pelo menos até o horizonte de 2015. A análise dessa alternativa revela que, os níveis de serviço situam-se em patamares próximos a 40%, na maioria dos casos.

Em relação à alternativa 02, a construção de berços resolve isoladamente alguns problemas pontuais e, ao mesmo tempo, faz surgir outros, como a ociosidade de três berços. Isso indica a necessidade de realizar uma análise da viabilidade da melhoria da produtividade de alguns berços, ao invés de construir outros dois. No entanto, os resultados deste trabalho não são conclusivos, sendo necessária uma complementação de informações através de um estudo de viabilidade econômica.

Com respeito à alternativa 03, a retirada de ferro gusa e manganês não traz uma melhoria essencial do desempenho de operação dos berços, pelo menos até 2015. Dessa forma, o resultado aponta que não existe a necessidade de deslocar os dois tipos de cargas mencionadas.

Os resultados da simulação reforçam também a necessidade de gestão operacional constante, efetivada a partir de um planejamento que contemple os horizontes de curto, médio e longo prazo. Dentre as atividades de planejamento, devem-se destacar a necessidade de uma análise contínua da alocação de navios, tendo em vista, principalmente, que as performances de atendimento são muito sensíveis às normas de alocação, priorizando o atendimento dos navios que mais se adaptem às peculiaridades dos respectivos berços. Essa prática deve, portanto, entrar no cotidiano operacional do Porto.

Outro aspecto interessante é que a decisão de tomar o berço 301 como quase exclusivo para contêiner resultou em valores de níveis de serviço satisfatórios, mostrando que, nas condições de modelagem apresentadas, a movimentação de contêiner não representa um problema para o Porto de Vila do Conde.

O *software* utilizado mostrou-se eficaz na abordagem do problema e no processamento das informações operacionais. O modelo apresentou-se satisfatório e extremamente flexível, o que possibilita sua retro-alimentação quando for disponível uma maior quantidade de dados, e, conseqüentemente, uma análise continuada dos parâmetros de tomada de decisão.

Por fim, é importante salientar que este estudo está limitado por uma série de restrições que obrigatoriamente tiveram que ser impostas, podendo-se destacar: (i) Não foram contabilizados, no tempo de permanência do porto, os tempos exatos de atracção e desatracação, sendo admitido um tempo total de 2 horas; (ii) Ausência de dados em maior quantidade e em maior consistência; (iii) O cenário de projeção de cargas, a partir do qual foi desenvolvido o estudo de simulação, é considerado otimista, o que afeta sensivelmente os resultados do modelo; e (iv) Não foram consideradas prováveis evoluções nas pranchas de atendimento ao longo do tempo.

#### **Agradecimentos**

O terceiro autor agradece à CAPES, pelo apoio fundamental para o desenvolvimento deste artigo.

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Fernandes, M. G. (2001), *Modelo econômico-operacional para análise e dimensionamento de terminais de contêineres e veículos*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo. São Paulo.
- Hillier, F.S.; Lieberman, G.J. (1995) *Introduction to Operations Research*. United States of America: McGraw-Hill.
- Shannon, R. E. (1975), *Systems simulation: the art and science*. New Jersey: Prentice-Hall.
- Winston, W.L. (1990), *Operations Research: Applications and Algorithms*. California: Duxbury Press.
- Yun, W.Y. e Choi, Y.S. (1999), *A simulation model for container-terminal operation analysis using an object-oriented approach*. International Journal of Production Economics, v. 59, pp. 221-230.

---

Eduardo Rocha Praça (edpraca@det.ufc.br)  
José Expedito Brandão Filho (ebrandao@det.ufc.br)  
Bruno de Athayde Prata (bprata@det.ufc.br)  
Francisco Ivan de Oliveira (ivan@deti.ufc.br)  
Ernesto Ferreira Nobre Júnior (nobre@ufc.br)