

2

Proposta de modelagem de uma Operação Portuária como um Problema de Alocação de Buffers

Gerusa Camargo Rodrigues¹, Elizangela Dias Pereira², Antônio Sérgio Coelho³, Catia Maria dos Santos Machado⁴

Resumo

O presente estudo tem como escopo apresentar uma modelagem para a operação portuária de um terminal de contêineres, com intuito de subsidiar os tomadores de decisão quanto a melhor utilização dos recursos disponíveis. Analogamente a um sistema de manufatura, que pode ser modelado por redes de filas, a operação portuária pode ser vista como uma rede de filas com alocação de buffers, formada por sistemas de filas conectadas entre si, em que os usuários se movem entre as filas para receber algum tipo específico de serviço. A meta principal do trabalho é formular um modelo de análise do processo de uma operação portuária, que servirá como ferramenta de apoio à decisão, utilizando um terminal de contêineres da cidade do Rio Grande como base de estudos. Espera-se ao final do estudo a obtenção de um modelo amplo que descreva o processo de uma operação portuária levando em consideração suas particularidades, e, a partir da análise de desempenho da rede em conjunto com técnicas heurísticas, obter uma coleção de soluções visando contribuir com a redução de incerteza e melhor adequação aos processos.

Palavras-chave: Terminais de Contêineres. Redes de Filas. Problema de Alocação de Buffers.

Abstract

The present study aims to present a model for the port operation of a container terminal, to subsidize the decision makers regarding the best use of available resources. Like a manufacturing system, which can be modeled by queuing networks, the port operation be a network of queues with buffers allocation, formed by systems of queues connected to each other, in which users move between the queues to receive some specific type of service. The main goal of this work is to formulate a model of analysis of the process of a port operation, which will serve as a decision support tool, using a container terminal in the city of Rio Grande as a study base. The aim of this study is to obtain a comprehensive model that describes the process of a port operation considering its particularities and, based on the analysis of network performance in conjunction with heuristic techniques, to obtain a collection of solutions aimed at contributing with the reduction of uncertainty and better adaptation to the processes.

Keywords: Container Terminals. Queue Networks. Buffers Allocation Problem.

¹ Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS - Brasil, E-mail: gerusa.cr@gmail.com

² Universidade Federal do Pampa, Bagé, RS - Brasil, E-mail: elizangelapereira@unipampa.edu.br

³ Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC - Brasil Z, E-mail: a.s.coelho@ufsc.br

⁴ Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, RS - Brasil, E-mail: catiamachado@furg.br

1 Introdução

O transporte marítimo é a modalidade do transporte aquaviário que utiliza os mares abertos, para mercadorias e passageiros, tendo sido esse modal, responsável por um crescimento médio anual de 6,4% da movimentação de contêineres nas instalações portuárias brasileiras (ANTAQ, 2012). Um dos principais papéis do sistema portuário diz respeito aos custos e à eficiência da logística de transportes do país, o que impacta diretamente na competitividade dos produtos nacionais no exterior. O Brasil apesar de constituir a oitava economia do mundo, ainda está aquém de oferecer excelência em infraestrutura de transporte.

O processo de modernização portuária, implementado no Brasil a partir da Lei de Modernização dos Portos (Lei 8.630/93), buscou solucionar os problemas gerados pelos altos custos, baixa produtividade, serviços não competitivos, excesso de pessoal, subsídios e burocracia governamental. Todas essas características configuram o “modelo portuário latino-americano tradicional”, e levam a um intenso processo de reestruturação e de reformas nos portos, objetivando a compatibilidade com o acelerado crescimento do comércio entre os países e os blocos econômicos e a demanda por uma produção mais eficiente, (KITZMANN, 2010).

Faz-se necessário, então, que haja uma modernização das estruturas físicas do porto, bem como de processos gerenciais dando suporte às operações portuárias. A operação portuária pode ser definida como o conjunto de todas as operações para realizar a passagem da mercadoria, desde o transporte marítimo até o transporte terrestre e vice-versa. O objetivo da operação portuária é sempre buscar a maior eficiência e eficácia. Em outras palavras, isso quer dizer minimizar os custos de transporte e armazenagem, e

aumentar o fluxo (movimentação de cargas) dado um determinado período, (OLIVEIRA, 2011).

Dessa forma, este estudo tem por objetivo descrever a operação portuária utilizando uma rede de filas e buscando analogia no Problema de Alocação de *Buffers*, que permita avaliar medidas de desempenho de sistemas desse tipo.

O presente artigo traz um aprofundamento da revisão bibliográfica sobre o tema e apresenta uma prévia do método de solução que será abordado, cujos estudos iniciais encontram-se em Rodrigues et al. (2016).

2 Metodologia

A pesquisa baseia-se na modelagem quantitativa com especial ênfase na metodologia da pesquisa operacional dentro do contexto da engenharia de produção. O enfoque é dado a partir de modelos de programação matemática, visto que a modelagem de uma operação portuária como um PAB em redes de filas é um problema de otimização combinatória NP-Hard e, por sua natureza estocástica, é formulado como um problema de programação matemática não-linear (CRUZ; DUARTE; WOENSEL, 2008). A partir do modelo se pretende descrever o comportamento de um sistema portuário como uma rede de filas. A coleta de dados será feita de forma indireta com base em busca bibliográfica na comunidade acadêmica, seguida de análise documental junto à Superintendência do Porto do Rio Grande, local onde ocorrerá o estudo e posterior aplicação de testes para análise de resultados.

3 Fundamentação Teórica

A logística de transporte é um dos principais elementos para o bom desempenho das operações. O objetivo fundamental é transportar produtos de uma determinada

origem até um local de destino de forma a minimizar custos financeiros e temporais (BALLOU, 1995). Esse é um dos problemas enfrentados no setor portuário, otimizar o transporte de cargas, reduzindo custo bem como as filas geradas por atraso ou ineficiência nas operações. Murty et al. (2005) em uma abordagem analítica propõem uma inter-relação de diferentes decisões diárias a serem tomadas em um terminal portuário. Essa proposta visa melhor utilização do espaço de armazenamento juntamente com a minimização do tempo de atracação de navios, do tempo de espera dos caminhões e trens, e ainda, a redução dos congestionamentos dentro e fora do terminal.

Nesse sentido, a operação portuária pode ser vista como uma rede de filas, formada por navios, caminhões e trens que efetuam a carga e/ou descarga de produtos. Analogamente a um sistema de manufatura, que pode ser modelado por redes de filas, a rede portuária seria formada por sistemas de filas conectados entre si, em que os usuários se movem entre eles para receber um serviço (SILVA; MORABITO, 2007). As estações de trabalho correspondem aos espaços de armazenagem de cargas, os usuários são os produtos que circulam na rede e os arcos equivalem às diferentes rotas (navio, trem ou caminhão).

Faz sentido então, pensar no Problema de Alocação de *Buffers* que, segundo Papadopoulos (2009), é de especial interesse em gestão de operações, em que a alocação de espaço de armazenamento pode representar a principal flexibilidade disponível para a organização. Dessa forma, é importante calcular medidas de desempenho de um sistema de redes de filas com alocação de *buffers* para possibilitar a determinação da configuração ótima desse sistema (SMITH; CRUZ, 2004).

3.1 Redes de Filas

Frequentemente em Pesquisa Operacional, alguns dos sistemas de filas encontrados são efetivamente, redes de filas, ou seja, redes que contém instalações de atendimentos onde os clientes recebem o serviço em uma ou mais instalações. Por exemplo, produtos em manufatura que devem ser processados por meio de uma sequência de grupos de máquinas (instalações de atendimento). Havendo um fluxo de produtos e certa incerteza sobre como os mesmos deverão ser processados, um sistema de redes é um meio para alocar recursos a este processamento. Dessa forma, o estudo de toda a rede é necessário para obter informações como o tempo de espera previsto total, o número de clientes esperados no sistema e as demais medidas de desempenho estudadas na teoria de filas (HILLIER; LIEBERMAN, 2006).

Um sistema que possui duas ou mais filas interligando caminhos que os clientes podem percorrer entre diferentes instalações é denominado redes de filas de espera. É importante considerar os diferentes tipos de filas que um sistema pode assumir, pois determinam características importantes para a rede de filas. Uma fila pode ter a capacidade limitada ou ilimitada, e podem ser classificadas de acordo com a permanência de clientes na rede, como fechada quando o número de clientes é constante ou aberta caso contrário. O número de servidores também caracteriza uma rede de filas como monoservidora, no caso de haver apenas um servidor, ou multiservidora quando possui mais de um servidor em cada instalação. Todas as medidas de desempenho calculadas na teoria de filas para uma única fila podem ser calculadas para uma rede de filas, mediante os devidos ajustes ao problema e de acordo com as características dos processos de chegada e de atendimento. Nem toda a rede possui uma fórmula fechada para esses cálculos o que leva muitas vezes à utilização

de métodos heurísticos para buscar uma solução para o problema. Devido à importância de redes de filas, pesquisas nessa área têm sido bastante relevantes, uma vez que muitos processos podem ser vistos e modelados como um sistema de rede de filas.

A alocação de áreas de espera constitui um dos focos de estudo das redes de filas, pois representa um alto custo de implantação. Assim, é necessário investigar outro problema estudado na literatura conhecido como Problema de Alocação de Buffers, que juntamente às Redes de Filas embasa o estudo aqui apresentado.

3.2 Problema de Alocação de Buffers

O Problema de Alocação de *Buffers* (PAB) em redes de filas consiste em encontrar o tamanho total ótimo de *buffer* (área de espera) para ser dividido ou alocado nas diferentes áreas de um sistema de produção a fim de atingir um objetivo específico. Segundo Demir, Tunali e Eliiyi (2014), a principal razão de ter uma área de armazenamento (*buffer*) é permitir que estações de trabalho sequenciais possam operar de forma independente. Uma consequência disso é a redução do tempo ocioso devido a indisponibilidade de novas entradas e os bloqueios causados pela falta de espaço entre as estações. Menos tempo ocioso tende a aumentar a taxa média de produção.

Por outro lado, a alocação de *buffers* requer investimento de capital adicional, além de espaço físico disponível, assim, torna-se um recurso oneroso. Um *buffer* também aumenta o estoque em processo que gera alto custo. Se a área de armazenamento é muito grande, o custo do capital investido pode superar o ganho do aumento de produtividade. Ao contrário, se esse espaço for pequeno, as estações de trabalho são subutilizadas e a

demanda poderá não estar sendo cumprida (DEMIR; TUNALI; ELIYI, 2014).

De acordo com Cruz, Duarte e Woensel (2008), devido aos custos críticos para alocação de *buffers*, é crucial determinar otimamente essa alocação, a fim de garantir o máximo desempenho do sistema como menor custo possível.

O PAB consiste em atribuir um determinado número fixo de áreas de espera N entre $K - I$ localizações intermediárias de um sistema de produção. É de interesse particular em gestão de operações em que a alocação de espaço pode representar a principal flexibilidade para a organização.

Há pelo menos três tipos básicos de formulações para o PAB, que dependem da função objetivo escolhida, ou seja, de acordo com o interesse da organização que pode ser, por exemplo, a maximização das taxas de atendimento (*throughput*) ou a minimização do número total de *buffers* (PAPADAPoulos, 2009).

Diferentes abordagens para a função objetivo são encontradas na literatura, como por exemplo, a maximização do nível de serviço ao cliente e a minimização do tempo médio de espera por serviço (DEMIR; TUNALI; ELIYI, 2014). O presente trabalho baseia-se na abordagem multiobjetivo para o PAB feita por Cruz, Duarte e Woensel (2008), que considera o compromisso (*trade-off*) entre a área de espera total, as taxas de serviço e a taxa de saída do sistema. Esse fato é devido ao alto custo que representam as áreas de espera e os serviços efetuados, o que ocasiona a restrição no tamanho da área de espera alocada e na capacidade total do serviço. De maneira similar, alcançar uma taxa de saída maior, que é afetada diretamente pelas áreas de espera e taxas de serviço, gera conflito entre esses objetivos.

4 Modelagem do Problema

Definindo uma rede de filas como um grafo direcionado $G(N, A)$, onde N é o conjunto finito de nós e A é o conjunto finito de arcos, a formulação multiobjetivo que maximiza a taxa de atendimento (θ), enquanto minimiza a área de espera global (K) e as taxas de serviço (μ) é dada por:

$$\text{Min } F(K, \mu) \quad (1)$$

s. a.:

$$K_i \in \{1, 2, \dots\}, \forall i \in N \quad (2)$$

$$\mu_i \geq 0, \forall i \in N. \quad (3)$$

Na formulação acima K_i e μ_i são, a área de espera e a taxa de serviço, respectivamente, para a i -ésima fila, e representam as variáveis de decisão do modelo. A função objetivo $F(K, \mu)$ pode ser escrita como

$$F(K, \mu) \equiv (f_1(K), f_2(\mu), f_3(K, \mu))^T \quad (4)$$

onde cada função representa:

- Área de espera global alocada: $f_1(K) = \sum_{\forall i \in N} K_i$;
- Alocação das taxas de serviço total: $f_2(\mu) = \sum_{\forall i \in N} \mu_i$;
- Taxa de atendimento: $f_3(K, \mu) = \theta(K, \mu)$.

Essa nova proposta acrescenta a função f_2 associada às taxas de serviço (μ_i) em cada uma das filas, o que difere de outras abordagens que a consideram como um valor fixo. Nesse ponto surgem questionamentos sobre a relevância da variação dos valores de (μ_i), fato que se justifica em situações em que um servidor pode tornar-se mais eficiente, por exemplo, a partir de uma substituição de equipamentos ou mesmo algum tipo de estratégia de capacitação dos servidores. Esse aumento de eficiência acaba por acarretar certo custo, que poderá ou não ser justificado

por um ganho na taxa de atendimento do sistema (CRUZ et al., 2012).

O problema proposto nesse trabalho tem enfoque na modelagem de uma operação portuária como uma rede de filas com áreas de espera (*buffers*), dessa forma, é necessário definir as variáveis que compõem o modelo. No caso da operação portuária, cada contêiner será tratado como um cliente que solicita serviço em uma sequência de estações de trabalho, quais sejam: guindastes, pilhas, *gate in/out*, conforme representado na Fig. 1. A estação representada pelos guindastes é considerada multiservidora contendo oito servidores independentes com a formação de uma fila única em frente a mesma.

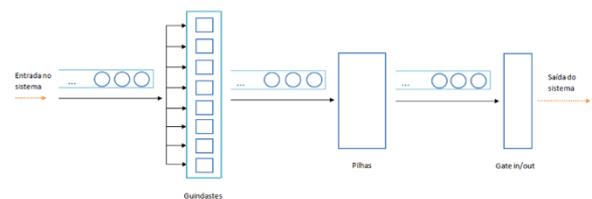


Figura 1 - Modelo Inicial de Redes de Filas

De acordo com os conceitos da teoria de filas, a população é considerada infinita, a disciplina de todas as filas do modelo é FIFO (*first in – first out*) e todas as filas são finitas, ou seja, existe uma capacidade máxima K para o sistema considerado. Inicialmente para efeito de análise e especulação, o modelo a ser considerado será o $M/M/c/K$, ressaltando que outros modelos poderão ser utilizados dependendo do comportamento das distribuições dos tempos de chegada e tempos de serviço constatadas em diferentes portos.

A partir do modelo inicial foi possível desenhar a rede de filas representada na Fig. 2, onde apenas o movimento de importação está representado, a ideia é que seja incorporado na mesma rede os movimentos de exportação e transbordo, que implicam, respectivamente, em fluxo inverso com

múltiplas entradas e saídas, e laços de realimentação.

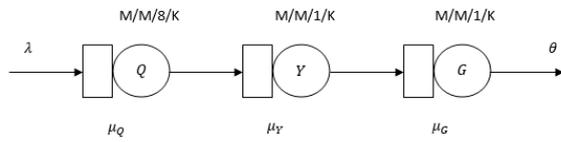


Figura 2 - Modelo para redes de filas

Cada nó representa uma fila do sistema segundo o modelo $A/B/c/K$ com taxa de chegada λ conhecida e taxas de serviço μ_i conhecida em cada estação. As estações correspondem respectivamente ao cais (Q), pátio (Y) e gate in/out (G). A taxa de saída (*throughput*) do sistema é representada pela variável θ .

A taxa de chegada λ precisa ser especificada a partir do padrão estatístico no qual os clientes chegam ao sistema, no caso em estudo, considera-se chegadas em bloco, uma vez que chegam lotes de contêineres em navios, configurando assim um bloco (navio) de tamanho t (quantidade de contêineres). De acordo com Gontijo (2011) o tratamento para as chegadas em bloco é diferenciado dos casos em que essa chegada se dá de acordo com uma distribuição de probabilidade de Poisson.

Dessa forma a primeira etapa de solução do problema é encontrar a taxa de chegada λ no sistema de acordo com o modelo de chegadas em bloco, considerando uma fila $GI^{[X]}/M/c/N$ em que os clientes chegam em grupos de tamanho X , com $P(X = i) = g_i$. As probabilidades invariantes p , referentes ao número de pessoas que encontradas no sistema, em um certo momento, são dadas por:

$$\begin{cases} \frac{\rho c}{\min\{k, c\} \bar{g}} \sum_{i=0}^{k-1} \pi_i \sum_{j=k-i}^{\infty} g_j, & 0 < k \leq N, \\ 1 - \sum_{i=1}^N P_i, & k = 0. \end{cases} \quad (5)$$

onde π_i é a distribuição de probabilidade invariante pré-chegada. Os valores π_i são determinados em função das probabilidades p_{jk} de transição do estado j para o estado k , pelo seguinte sistema de equações lineares:

$$\pi_k = \sum_{j=0}^N p_{jk} \pi_j \quad (6)$$

para $k = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ e

$$\sum_{j=0}^N \pi_j = 1 \quad (7)$$

O segundo passo para buscar uma solução do modelo composto pelas Equações (1), (2) e (3) perpassa pelo problema de encontrar uma estimativa para a taxa de saída $\theta(K, \mu)$ para uma rede de filas que difere para o caso de filas únicas. Para realizar a avaliação de desempenho será utilizado um algoritmo chamado *Generalized Expansion Method* (GEM), inicialmente proposto por Kerbache e Smith (1987). O principal objetivo do GEM é atualizar as taxas de serviço μ_i em cada uma das filas e possibilitar uma estimativa acertada para a taxa de saída $\theta(K, \mu)$.

O GEM analisa cada fila separadamente a partir de uma decomposição nó a nó e de repetidas tentativas, realizando as devidas modificações entre as filas da rede. Desenvolvido por Kerbache & Smith (1987), é um método robusto e bastante eficaz na determinação de medidas de desempenho em redes de filas finitas.

Basicamente, o método consiste em três estágios, a reconfiguração da rede, a estimação dos parâmetros e por fim a

eliminação da retroalimentação. Após completado os estágios, a rede expandida está pronta para o cálculo das medidas de desempenho para a rede original (CRUZ et al., 2012).

Maiores detalhes sobre o funcionamento do método GEM podem ser encontrados em Kerbache & Smith (1987).

Para cumprir com um dos objetivos do trabalho que é fornecer um conjunto de soluções para auxiliar os tomadores de decisão, buscou-se na literatura um algoritmo de otimização para o problema multiobjetivo, sendo assim optou-se por utilizar um algoritmo genético multiobjetivo pertencente à classe dos MOEA (*Multiple Objective Genetic Algorithm*) ([6]).

Baseado nos estudos de Deb (2001), os algoritmos genéticos pertencentes à classe dos MOEA são os mais apropriados, pois realizam uma busca global aproximada. Realizando uma avaliação de várias soluções obtidas no espaço de busca. São utilizados os operadores genéticos de mutação, cruzamento, seleção e elitismo para encontrar um conjunto de soluções candidatas que convergem para o ótimo.

5 Considerações Finais

Os algoritmos comentados se encontram em fase de implementação para posteriores testes a partir dos dados fornecidos pelo terminal de contêineres da cidade do Rio Grande. Resultados encontrados na pesquisa bibliográfica trazem otimismo a respeito do modelo que foi proposto bem como dos resultados que se pretende alcançar. Tendo em vista o objetivo principal do trabalho, espera-se ao final do estudo a obtenção de um modelo amplo que descreva o processo de uma operação portuária levando em consideração suas particularidades. Além disso, a análise de desempenho proposta visa

contribuir com a redução da incerteza e melhor adequação aos processos.

Referências

- ANTAQ, 2015. *Anuário estatístico portuário*. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em: 10 de outubro de 2016.
- BALLOU, R. H., 1995. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos*, 4.ed. São Paulo: Editora Bookman.
- BRASIL., 1993. Lei nº 8.630, de 25 de fevereiro de 1993. Dispõe sobre o regime jurídico da exploração de portos organizados e das instalações portuárias e dá outras providências. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 26 fev. 1993. pp. 2351.
- CRUZ, F.; DUARTE, A.; WOENSEL, T., 2008. Van. Buffer Allocation in general single server queueing networks. *Computers & Operations Research*, vol. 35, no. 11, pp. 3581 – 3598.
- CRUZ, F. et al., 2012. Throughput maximization of queueing networks with simultaneous minimization of service rates and buffers. *Mathematical Problems in Engineering*.
- DEB, K., 2001. *Multi-objective Optimisation using Evolutionary Algorithms*. Chichester, England: John Wiley & Sons Ltd.
- DEMIR, L.; TUNALI, S.; ELIYI, D., 2014. The state of the art on buffer allocation problem: a comprehensive survey. *Journal of Intelligent Manufacturing*, Springer, US, vol. 25, n. 3, pp. 371-392.
- GONTIJO, G. M.; et al. Performance Evaluation and Dimensioning of $GI^X/M/c/$

N Systems through Kernel Estimation. *Mathematical Problems in Engineering*, Springer, US, vol. 2011.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J., 2016. *Introdução à pesquisa operacional*. 8.ed. Porto Alegre: Editora McGraw-Hill Interamericana do Brasil.

KERBACHE, L.; SMITH, J. M., 1987. The generalized expansion method for open finite queueing networks. *European Journal of Operational Research*, vol. 32, pp. 448-461.

KITZMANN, D., 2010. *Ambiente Portuário*. Rio Grande: Editora da FURG.

MURTY, K. G. et al., 2005. A decision support system for operations in a container terminal. *Decision Support Systems*. no. 39, pp. 309-322.

OLIVEIRA, C. T., 2011. *Modernização dos portos*. 5. ed. São Paulo : Aduaneiras.

PAPADAPOULOS, C.T. et al., 2009. Analysis and design of discrete part production lines. *Springer Optimization and Applications* vol. 31, University of Florida.

RODRIGUES, G. C. et al. A operação portuária modelada como um problema de alocação de buffers. In: Conferência Sul em Modelagem Computacional, 7., 2016, Rio Grande. *Anais do 7º MCSul*. Rio Grande: Universidade Federal do Rio Grande, 2016. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0B2mxZYIVdV8RNDNESzIMUU56U2c/view>. Acesso em: 24 mar. 2017.

SILVA, C. R. N.; MORABITO, R., 2007. Aplicação de modelos de redes de filas abertas no planejamento do sistema job-shop de uma planta metal-mecânica. *Gestão & Produção*, vol. 14, no. 2, pp. 393-410.

SMITH, J. M.; CRUZ, F. R. B., 2004. The Buffer Allocation Problem for General Finite Buffer Queueing Networks. *Typeset*. May 18.