

## 2 Referencial Bibliográfico

Atualmente, o conhecimento acadêmico possui metodologias que além da parte lógica e matemática é possível agregar o conhecimento a prática e a experiência dos profissionais, como é o caso da simulação.

Para o desenvolvimento desse trabalho foi realizada uma pesquisa bibliográfica onde se buscaram publicações que abordassem as problemáticas existentes na gestão de sistemas portuários sob a ótica da pesquisa operacional.

Segundo Gavira (2003), um estudo de pesquisa operacional inicia-se com o desenvolvimento do modelo conceitual simplificado do sistema a ser analisado. Somente então analisa-se o modelo como se o sistema fosse real. Em função da necessidade de incorporação de dados numéricos e outros objetivos, os modelos de pesquisa operacional são quase sempre matemáticos e, portanto, requerem uma análise que emprega métodos numéricos.

### 2.1 Método Matemático - Otimização

A programação linear é uma ferramenta de otimização utilizada em questões relativas à identificação de gargalos existentes em diversos processos. Normalmente os recursos disponíveis são escassos ou mal dimensionados frente ao volume de demanda existente. Nestes casos, é possível encontrar uma proporção adequada destes recursos que ajude a atingir um ponto ótimo previamente estabelecido. Esses tipos de questões são reconhecidos quando há um objetivo a ser atingido, encontrar o custo mínimo ou lucro máximo, sujeitas a um grupo de restrições.

Utilizando a programação linear inteira mista que Kim e Park (2003) elaboraram um modelo básico formulado em programação linear inteira mista, onde a função objetivo consistia em reduzir as distâncias de movimentação dos equipamentos na retroárea de um terminal e suas restrições foram estruturadas e descritas para otimizar o espaço de armazenagem de contêineres de exportação e importação. O modelo matemático formulado considerou várias restrições práticas e foi sugerido um procedimento de solução em duas fases para resolvê-lo. A primeira fase determina a posição e o horário de cada navio, bem como o número de equipamentos necessários para operá-los em cada segmento de hora.

Com o objetivo de avaliar a dinâmica portuária acima exposta Gambardella et al. (1998) propuseram um modelo baseado em programação linear inteira-mista com objetivo de fornecer uma ferramenta de apoio a decisão na gestão de um terminal através de algoritmos que geram planos de operação de navios. A função objetivo depende dos custos de utilização dos recursos, o atraso no carregamento/descarga do navio e a receita do terminal para cada tipo de operação. O algoritmo implementado tem como entrada a lista de navios programados, a sua hora prevista de chegada, o número previsto de contêineres a serem carregados e descarregados e as áreas de armazenagem nas operações de carga e descarga. O resultado é uma programação do pátio e mais guindastes empregados nos turnos de trabalho, juntamente com uma previsão determinista de lucros esperados.

Gudelj et al. (2010) em seu trabalho também utiliza a otimização como forma de se calcular o custo da atracação de um navio em um determinado berço dentro do terminal com base na localização dos contêineres armazenados na retroárea, além do custo da penalidade de atracação mais cedo do que o previsto.

## **2.2 Simulação**

Segundo Ehrlich (1985) a simulação é um método para estudar o desempenho de um sistema por meio da formulação de um modelo matemático, o qual deve reproduzir, da maneira mais fiel possível, as características do sistema original. Manipulando o modelo e analisando os resultados, pode-se concluir como diversos fatores afetarão o desempenho do sistema. Através da simulação não é possível obter, de imediato, resultados que levem à otimização de um objetivo desejado. Entretanto, é possível simular, por meio do modelo, uma série de experimentos em diferentes condições e, posteriormente, escolher a condição cujos resultados sejam mais aceitáveis. Ainda segundo Chwif e Medina (2010) os sistemas reais, geralmente, apresentam uma maior complexidade, devido, principalmente, à sua natureza dinâmica (que muda seu estado ao longo do tempo) e à sua natureza aleatória. Um modelo de simulação consegue capturar com mais fidelidade essas características, procurando repetir em um ambiente computacional o mesmo comportamento que o sistema apresentaria quando submetido às mesmas condições de contorno.

Segundo Gavira (2003), com advento dos computadores, a simulação tornou-se uma abordagem de estudo cada vez mais utilizada nas mais variadas áreas de conhecimento. Dois fatores contribuem para isso: a crescente complexidade dos problemas enfrentados e a maior disponibilidade de recursos computacionais. As linguagens de simulação em computador hoje disponíveis facilitam o desenvolvimento e execução de simulações de sistemas complexos do mundo real.

Autores como Gambardela et al (1998), Yun e Choi (1999), Bruzzone et al (1999) e Brito (2009) afirmam que a simulação vem se tornando uma ferramenta adequada para a aplicação em estudos de sistemas complexos, como é o caso dos terminais de contêineres.

A simulação de sistemas pode envolver vários níveis de complexidade e assim softwares específicos tem sido desenvolvidos para diferentes casos. Em ambientes do sistema portuário vários pacotes são utilizados, dentre eles destacamos: Taylor II, Promodel, Arena, Stella, PowerSim, FlexSim e Automod.

Um modelo de simulação portuária pode ter dois objetivos basicamente: modelar cenários específicos com o propósito de apoiar decisões através dos resultados obtidos ou desenvolver um modelo macro que possa ser rotineiramente utilizado em decisões gerenciais.

### **2.2.1 Simulação de Cenários Específicos - Objetivo único**

A modelagem que retrata cenários específicos para apoiar decisões, geralmente apresenta detalhes mais acurados à respeito de problemas específicos, como os modelos elaborados pelo autores Kia et al. (2002), Fernandes (2001), Park e Dragović (2009) e Gudelj et al. (2010).

Kia et al. (2002) propuseram um modelo de simulação através do programa Taylor II capaz de comparar estratégias de movimentação de contêiner em dois cenários, atual e o proposto, e com base nos resultados, foram avaliados os impactos na taxa ocupação do terminal, no berço de atracação e na retroárea. O simulador utilizado teve como característica investigar sistemas operacionais complexos enfatizando a abordagem de gargalos em capacidade e ocupação de

berço e retroárea.

Baseado na análise de custos, Park e Dragović (2009) desenvolveram modelos de simulação e análise de estratégias de custos para avaliar o desempenho das operações de navio dos terminais de contêineres coreanos. O modelo foi baseado nos terminais *Sinsundae Container Terminal and Jasungdae Container Terminal* - Coréia.

Mantendo a mesma linha de interesse em custos, Gudelj et al (2010) especificaram o modelo desenvolvido por acreditarem que o problema crucial no gerenciamento de terminais é o equilíbrio entre o tempo de operação de navios, desejados pelos armadores, e o uso econômico de recursos alocados, já que ambos são caros e por isso devem ser utilizados da forma mais intensa possível. Portanto, com o objetivo de melhorar a cooperação entre diferentes tipos de equipamentos, aumentar a produtividade do terminal e ajudar a minimizar custos foi desenvolvido um simulador com ferramenta Petri-Net e algoritmos genéticos. Os dados do modelo são do Porto de Koper - Eslovênia. Ainda para Gudelj et al. (2010), os modelos de simulação são utilizados para resolver problemas de gargalos operacionais, conflitos/agendamento de recursos, utilização de equipamentos e eficiência operacional. Assim, uma simulação implementa os aspectos mais importantes dos processos no terminal. A vantagem de modelagem de simulação sobre modelagem analítica de terminais é que ela permite que seja considerado um nível maior de detalhes e evita simplificações.

Já com enfoque na parte operacional, Legato e Mazza (2001) desenvolveram um modelo de rede de filas das atividades logísticas de um terminal relacionadas com a chegada/atracação de navios e os processos de operação de carregamento/descarregamento dos navios em um terminal de contêiner. Em suas pesquisas sobre o planejamento e otimização de recursos é enfatizada a necessidade da utilização de técnicas de simulação para uma boa administração das atividades logísticas do terminal de contêineres moderno. Eles explicam que as atividades de logística são caras e complexas, requerendo o uso combinado de vários recursos caros (berços, guindastes, força de trabalho especializada, e outros) e ressaltam que a competitividade de um terminal é medida através do nível de serviço prestado aos armadores. Portanto, um gerente de um terminal deve ter como meta reduzir os tempos de operação dos contêineres

e diminuir o tempo do navio no terminal. Em 2007, Legato et al. (2007) desenvolveram um modelo de simulação (Terminal de Gioia Tauro - Itália), cujo objetivo foi encontrar a posição ideal do cais para cada atracação de cada navio, ou seja, a posição do cais que minimiza o custo de manipulação do contêiner do navio até o local onde são empilhados. O modelo é descrito em uma estrutura de computação HPC e foram realizadas simulações e análises estatísticas.

Fernandes (2001) propôs uma sistemática para o dimensionamento econômico-operacional de terminais especializados em contêineres e veículos, os dados da simulação foram baseados no Porto de Paranaguá. O modelo forneceu resultados capazes de estimar custos operacionais, quantidade de recursos e suas respectivas vidas úteis. Com isso, foi possível calcular o custo do terminal e sua taxa interna de retorno.

Brito et al. (2009), através de técnicas de modelagem e simulação de evento discretos, avalia a viabilidade da concepção de um terminal regulador de contêiner na região de Cubatão, próxima ao Porto de Santos, com objetivo de trazer melhorias operacionais ao porto através do uso de modais marginalizados como ferrovia e hidrovia. Foi utilizado o software ARENA para simular os diversos cenários até que fosse possível definir o melhor deles.

Vieira (2005) também simula um terminal brasileiro, o terminal de Vila Velha. Através da modelagem dos processos de importação e exportação são apresentados os cenários com base no quantitativo de equipamentos utilizados no processo de operação de navios. Dessa forma é possível definir a melhor combinação de equipamentos, por tipo e quantidade, a serem utilizados nas atividades de operações de navio.

Peixoto e Botter (2005) modelaram o processo de armazenagem de contêiner buscando definir um método de avaliação comparativa entre diferentes tipos de equipamentos e sistemas de movimentação. Para tanto foi desenvolvido cenários com critérios de utilização de equipamentos, por tipo, e estratégias de formação de pilhas de armazenagem de contêineres. Esses cenários foram avaliados segundo indicadores de performance do terminal, tais como capacidade nominal, ocupação física, disponibilidade operacional, dentre outras.

Patrício e Botter (2005) desenvolveram um modelo de simulação para

análise de regras de atracação de berços em terminais de contêineres. O modelo foi construído com análise de dados reais de chegada de navios de contêineres em um terminal do Porto de Santos. O modelo teve como finalidade 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.

### 2.2.2 Simulação - Objetivo Macro

A simulação de processos que possui objetivo macro tem como finalidade servir de ferramenta em decisões gerenciais rotineiras. Segundo Rida et al (2002), um porto é um ambiente dinâmico e complexo que, para crescer, é necessário ampliar suas instalações e melhorar sua eficiência. Para eles, o gerenciamento deste complexo processo envolve um grande número de decisões, por isso acreditam que a simulação é uma ferramenta capaz de apoiar decisões gerenciais.

Huang et al. (2008), baseado nos dados dos portos da região do sudeste da Ásia, desenvolveram uma simulação computacional capaz de integrar todas as atividades existentes em um terminal de contêiner que afetam diretamente sua capacidade.

Kotachi et al. (2013) desenvolveram um modelo genérico de simulação de eventos discretos para prever o comportamento de sistema portuário e seus índices de performance da operação. O modelo foi construído com informações de diferentes portos.

Shammoon (2009) desenvolveu um modelo de simulação capaz de analisar o tempo de operação de navio, capacidade do berço de atracação e retroárea, o tempo de permanência dos contêineres e utilização dos equipamentos portuários. O modelo foi estruturado com base nos dados *Male Commercial Harbour* – Ilhas Maldivas.

Longo et al. (2013) desenvolveram um modelo de simulação para recriar a complexidade de um porto de tamanho médio no mediterrâneo e analisar a evolução do desempenho deste sistema com base no tempo de operação de navio. O modelo foi construído com dados do Porto de Salerno, na Itália.

## 2.3 Conclusões sobre o Referencial Bibliográfico

A tabela 1 tem como finalidade analisar as referências bibliográficas pesquisadas nos seguintes contextos:

Tipo de Abordagem: se o estudo utilizou técnicas de otimização ou simulação para chegar ao resultado;

Objetivo da Simulação: se o estudo teve como objetivo avaliar o resultado de um único cenário ou se o modelo proposto avaliou um cenário macro, porém, pode ser utilizado em outros contextos ou re-adequados para outras situações.

Performance: avaliou-se os estudos propostos sob a ótica da performance operacional ou financeira.

E por fim, qual o Foco dado nos estudos das referências bibliográficas: resolver problemas referentes a berço de atracação, áreas de armazenagem, dimensionamento de *gates* e atendimento aos órgãos anuentes.

| Autores   | Tipo de Abordagem |           | Objetivo Simulação |       | Performance |             | Foco  |             |      |                 |
|---|-------------------|-----------|--------------------|-------|-------------|-------------|-------|-------------|------|-----------------|
|   | Otimização        | Simulação | Único              | Macro | Custo       | Operacional | Berço | Armazenagem | Gate | Órgãos Anuentes |
| BRITO, T.B.; BOTTER, R.C.; SILVA, R.C.S., (2009)              |                   | V         | V                  |       |             | V           | V     | V           | V    |                 |
| FERNANDES, M.G. (2001)  |                   | V         | V                  |       | V           | V           | V     | V           | V    |                 |
| GAMBARDELLA, L.; RIZZOLI, A.; ZAFFALON, M. (1998)             | V                 |           | V                  |       | V           | V           | V     | V           |      |                 |
| GUDELJ, A.; KRCUM, M.; TWRDY, E., (2010)                      | V                 | V         | V                  |       | V           |             | V     | V           | V    |                 |
| HUANG, S.Y.; HSU, W.J.; CHEN, C.; YE, R.; NAUTYAL, S., (2008) |                   | V         |                    | V     |             | V           | V     |             |      |                 |
| KIA, M.; SHAYAN, E., GHOTB, F. (2002)                         |                   | V         | V                  |       |             | V           | V     | V           |      |                 |
| KIM, K.H.; PARK, K.T. (2003)                                  | V                 |           |                    |       |             | V           |       | V           |      |                 |
| KOTACHI, M.; RABADI, G.; OBEID, M.F., (2013)                  |                   | V         |                    | V     |             | V           | V     | V           | V    |                 |
| LEGATO, P.; MAZZA, R.M. (2001)                                |                   | V         | V                  |       |             | V           | V     |             |      |                 |
| LEGATO, P.; TRUNFIO, R.; GULLI, D.; SIMINO, R., (2007)        |                   | V         | V                  |       | V           | V           | V     |             |      |                 |
| LONGO, F.; HUERTA, A.; NICOLETTI, L., (2013)                  | V                 | V         |                    | V     |             |             | V     |             |      |                 |
| PARK, N.K.; DRAGOVIC, B., (2009)                              |                   | V         | V                  |       | V           | V           | V     |             |      |                 |
| PEIXOTO, G.S.S.; BOTTER, R.C., (2005)                         |                   | V         | V                  |       |             | V           |       | V           |      |                 |
| PATRICIO, M.; BOTTER, R.C., (2005)                            |                   | V         |                    | V     |             | V           | V     |             |      |                 |
| RIDA, M.; BOULMAKOUL, A.; LAURINI, R., (2002)                 |                   | V         |                    | V     |             | V           | V     | V           |      |                 |
| SHAMMOON, A., (2009)  |                   | V         |                    | V     |             | V           | V     | V           |      |                 |
| VIEIRA, D.S., (2005)  |                   | V         | V                  |       |             | V           | V     | V           |      |                 |

Tabela 1 - Quadro Síntese das Referências Bibliográficas

É possível notar que há uma predominância por parte da literatura analisada em utilizar simulação à otimização para resolver questões referentes ao tempo de fila dos navios, taxa de ocupação de berço e retroárea, dimensionamento de equipamentos e mão de obra. Além disso, é possível notar que os modelos são

construídos com objetivo de resolver um problema único. Além disso, a performance operacional é mais avaliada que a análise de custos de um terminal.

O foco dos modelos propostos são tipicamente processos operacionais como: atracação de navios, processos de armazenagem na retroárea e atendimento de *gate*.

Percebeu-se também que não há uma inclinação ou preferência por parte dos estudos por uma determinada ferramenta para modelagem de dados e simulação dos processos portuários. Várias são as metodologias e software utilizados com o mesmo objetivo: simular os processos existentes em um terminal portuário.

O modelo de simulação proposto nesta dissertação, desenvolvido no software ARENA, pode ser utilizado em outros contextos ou readequados para outras análises em contextos similares. A performance medida é operacional e o foco dado está nos processos de berço de atracação de navios, *gate* de atendimento às carretas, e nos processo de armazenagem, escaneamento e inspeção de contêiner.

Diante da pesquisa realizada notou-se uma lacuna entre os artigos revisados no que se refere aos processos exigidos pelos órgão anuentes. Dessa forma, este trabalho aborda a inspeção de cargas e o escaneamento de contêineres como parte integrante aos processos portuários modelados e simulados por considerar o atendimento aos processos exigidos pela Receita Federal e Ministério da Agricultura de suma importância para a manutenção do alfandegamento portuário e permissão de operação.