

**ALTERNATIVAS PARA AUMENTO DE CAPACIDADE DE UM TERMINAL PORTUÁRIO DE  
MINÉRIO DE FERRO**

***ALTERNATIVES FOR INCREASING THE CAPACITY OF AN IRON ORE TERMINAL***

***ALTERNATIVAS PARA AUMENTAR LA CAPACIDAD DE UNA TERMINAL DE MINERAL DE  
HIERRO***

**Joyce Milanez Zampirolli**

Mestre em Engenharia de Sistemas Logísticos pela Universidade de São Paulo (USP)

Pesquisadora do Centro de Inovação em Logística e Infraestrutura Portuária (Cilip) no Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da Escola Politécnica da USP

Endereço: Cilip, Av. Professor Melo Moraes, n. 2231, São Paulo, SC, Brasil

Telefone: (55) 11 3091-1724

E-mail: [joyce\\_zampirolli@hotmail.com](mailto:joyce_zampirolli@hotmail.com)

Artigo recebido em 21/12/2016. Revisado por pares em 07/02/2017. Reformulado em 03/03/2017. Recomendado para publicação em 22/03/2017. Publicado em 30/04/2017. Avaliado pelo Sistema *double blind review*.



## RESUMO

O crescimento da demanda por minério de ferro e a necessidade de melhoria nos terminais portuários forçaram os portos a pensar e criar alternativas que refletissem em aumento de capacidade. Pensar e recriar conceitos que envolvam melhorias em todo o sistema produtivo é ter um olhar inovador para o processo e oferecer soluções que permitam aumento de capacidade, utilizando os recursos já existentes. Assim, neste trabalho foi utilizado um modelo de simulação de eventos discretos que testou cenários de aumento de capacidade trocando um mix de produtos por um único produto.

**Palavras-chave:** Terminal Portuário; Simulação; Melhoria; Aumento de capacidade; Portos saturados.

## ABSTRACT

O growth in demand of iron ore and the need for improve the terminal ports have forced the ports to think about the capacity improvement. Thinking and create concepts which involve improvement for all the production system means an innovative viewpoint and offer solution that allow the capacity increase using resources existent. Thereunto, a simulation model for discrete events was used in this work, testing sceneries of increasing capacity replacing a product mix for a single one product.

**Keywords:** Port terminal; Simulation; Improvement; Capacity increasing; Saturated ports.

## RESUMEN

El crecimiento de la demanda por mineral de hierro y la necesidad de mejora en las terminales han hecho los puertos pensaren y crearen alternativas que reflejasen el aumento de la capacidad. Pensar y crear conceptos que involucran mejoras en todo el sistema productivo es ter una mirada innovadora para el proceso y ofrecer soluciones que permitan aumento de capacidad utilizando los recursos existentes. Así, en este trabajo fue utilizado un modelo de simulación de eventos discretos que testó escenarios de aumento de capacidad cambiando un mix de productos por un producto único.

**Palabras clave:** Terminal Portuaria; Simulación; Mejora; Aumento de capacidad; Puertos saturados.

## 1 INTRODUÇÃO

O surgimento das primeiras instalações portuárias brasileiras ocorreu na era colonial, quando as cidades-porto eram utilizadas como porta de entrada de colonos e produtos oriundos de Portugal, além de trazer escravos da África e embarcar produtos agrícolas. Essa prática do capitalismo mercantil inseriu o Brasil na rede de trocas da economia-mundo ocidental e foi representativa na formação do território nacional (MONIÉ, 2011).

Sabe-se que, atualmente, o crescimento da economia mundial está diretamente relacionado ao crescimento do setor portuário, visto que grande parte das mercadorias que circulam pelo mundo é transportada por navios e movimentada por portos (JULIÁ, 2010).

No Brasil, cerca de 90% das mercadorias são exportadas através do sistema portuário, tornando a modernização e expansão desse setor algo de grande relevância para a economia brasileira (JULIÁ, 2010).

Com a desaceleração da economia Chinesa e a conseqüente diminuição das importações de Minério de Ferro por ela, o mundo vive hoje uma recessão, quando o assunto é exportação dessa *commodity* (ABCEM, 2014).

O Brasil exporta cerca de 45% de todo o Minério de Ferro produzido em seu território para a China, segundo dados do IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração (2014), não sendo isento dos impactos advindos da desaceleração da economia no âmbito global.

Apesar do cenário de recessão e queda do preço do Minério de Ferro, as grandes empresas globais investem fortemente no aumento da capacidade instalada de seus complexos produtores, reduzindo drasticamente os custos de produção para financiar tais investimentos (ABCEM, 2014).

As cidades que abrigam complexos portuários, ou seja, as cidades-porto, beneficiaram-se, e muito, do crescimento e desenvolvimento da economia advindos das instalações dessas empresas. Esse crescimento fez com que tais cidades avançassem sobre os portos, tornando suas expansões territoriais uma restrição irremediável.

Além disso, a zona portuária tornou-se uma área nobre, cara e com limitações de espaço e restrições de movimentação de carga. Assim, há o surgimento dos termos Zona Primária e Zona Secundária como alternativa logística para a expansão dos portos.

Segundo a IBS Solution (2013), a Zona Primária corresponde a áreas terrestres ou aquáticas dos pontos de fronteira alfandegária (importação e exportação de mercadorias). Apesar de essa área possuir seus custos com valores competitivos e mais rapidez na liberação alfandegária no desembarço de cargas, é nela que se encontram maiores custos de armazenagem e interferência de fatores externos, como greves e fiscalização, entre outras desvantagens.

A Zona Secundária possui inúmeras outras vantagens, como custo de armazenagem baixo, menor tempo de processamento das mercadorias, melhor visualização dos custos, diminuição de riscos, entre outros. No entanto, essa é uma zona geralmente afastada do porto, o que leva a desvantagens, como custos de movimentação de carga e liberação alfandegária, conforme dados da IBS Solution (2013).

Além das discussões já apresentadas, existem outras características de igual relevância que devem ser levadas em consideração, quando o assunto é interferências em zonas portuárias. A instalação, ou mesmo a ampliação de um porto, requer autorização e legalização por parte de órgãos competentes, avaliando e determinando os procedimentos e ônus para a empresa solicitante.

Segundo Abreu e Oliveira (2015), o impacto produzido por um porto acarreta em um passivo ambiental significativo, visto que um porto necessita de extensa área de instalação que permita abrigar os berços de atracação, o chamado retroporto; áreas de transporte e logística; armazéns; entre outros.

Além desse impacto, os autores ainda alegam a existência do impacto de profundidade, que é definido por eles como a não coexistência de uma vegetação original natural em ambiente portuário.

O empreendedor também deve ser responsabilizado por todo e qualquer custo advindo das etapas do licenciamento ou custos incorridos ao órgão licenciador, conforme

instituído pelo Manual de Licenciamento ambiental, disponibilizado pela ANTAQ - Agência Nacional de Transportes Aquaviários [sem data].

Com isso, os investidores de hoje buscam não mais a modernização dos equipamentos e instalações de seus ativos, mas o maior retorno sobre seu investimento, o ROI. Para isso, é necessário estudar e criar alternativas que maximizem a utilização de todo equipamento e infraestrutura existentes.

Diante da relevância dos fatos acima apresentados, e levando em consideração o cenário de recessão econômica mundial no âmbito da exportação do Minério de Ferro, no qual os investimentos devem ser rigorosamente planejados, a autora propõe pesquisar alternativas que permitam aumentar a capacidade de um porto com alta taxa de ocupação sem que, para isso, haja a necessidade de intervenção em ampliação do porto ou em sua atual infraestrutura.

Por meio da utilização de técnicas de simulação de eventos discretos será estudado, ao longo deste trabalho, o impacto em termos de volume embarcado, sobre a alteração do mix de produtos praticados atualmente em um terminal portuário por um único produto. Também é proposta deste estudo analisar modificações nos equipamentos de pátio, como repotenciamento de máquinas, troca por equipamentos mais eficientes, realocação de material nos pátios de destino e um estudo de quebras dos equipamentos, com a finalidade de ampliar as oportunidades de ganhos de capacidade em um terminal com alta taxa de ocupação.

Esta pesquisa visa a utilizar um modelo bem detalhado de simulação de eventos discretos, que permita à autora realizar modificações nas variáveis que irão compor este sistema e estudar o impacto das mesmas em termos de capacidade.

O objetivo geral deste estudo é pesquisar e analisar cenários previamente estruturados e verificar se a utilização de um *produto único* é suficiente para aumentar a capacidade de embarque de Minério de Ferro em um terminal portuário específico, situado no estado do Espírito Santo. Como objetivos específicos, apresentam-se: pesquisar e estudar o funcionamento de um sistema portuário real; utilizar a metodologia de simulação para testar diferentes cenários, a fim de entender o comportamento dos recursos e avaliar os

impactos de modificações no sistema em estudo; e, por fim, visualizar o comportamento dos recursos limitantes e instigar possíveis soluções.

O presente trabalho visa a estudar e pesquisar o sistema portuário, não sendo alvo deste os demais sistemas que integram a Cadeia de Suprimentos do Minério de Ferro.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

A revisão bibliográfica é a etapa do projeto em que se fundamenta teoricamente o problema e como o autor irá tratá-lo. Por meio da análise da literatura existente, o autor da pesquisa deve fazer a estruturação conceitual que dará sustentação ao desenvolvimento do trabalho (SILVA; MENEZES, 2001).

Em todo o mundo podem ser encontradas diversas pesquisas e trabalhos voltados à utilização de simulação de eventos discretos ou o uso de software de simulação como, por exemplo, o Arena<sup>®</sup>, como ferramentas de análise e apoio à decisão.

Duarte (2003) apresenta, em sua dissertação, uma proposta de modelo de simulação de uma célula de manufatura em lotes, com o objetivo de estudar e solucionar problemas de demanda futura, além de determinar o melhor *layout* dessa célula, determinar a influência dos *layouts* estudados no *lead time*, contrapor os resultados simulados com os reais e, por fim, utilizar a ferramenta em apoio à tomada de decisões.

Franzese *et al.* (2005) buscam avaliar, através de simulação, o impacto sofrido pelas linhas ou pontos de carregamento/descarregamento em terminais ferroviários, dada uma mudança na infraestrutura. São apresentadas as ferramentas de simulação, bem como a descrição do experimento feita em uma rede ferroviária real. O autor conclui seu trabalho afirmando que a ferramenta utilizada pode atender a maior parte das redes ferroviárias de cargas, mesmo com os aspectos individuais de cada empresa.

Fiorini (2007) desenvolve, em sua tese, algoritmos e avalia técnicas que permitam modelar detalhadamente malhas ferroviárias com trens em ciclo fechado. Para isso, o autor desenvolveu um modelo de simulação que fosse capaz de representar a complexidade existente nas malhas ferroviárias brasileiras, levando em consideração aspectos de

infraestrutura física e interação dos trens durante a circulação na malha. Assim, foi possível que o autor pudesse estudar especificamente tais interferências nos trens de ciclo fechado.

Betiatto (2013), baseado na metodologia de Chwif e Medina (2007), propõe, em seu artigo, a modelagem e simulação em um setor crítico de virabrequins em uma empresa nacional de componentes automotivos, utilizando um modelo de simulação de eventos discretos. O modelo foi capaz de analisar os pontos críticos e testar soluções para os recursos envolvidos, aumentando sua capacidade. O autor concluiu que o modelo de simulação demonstrou que é possível o ganho na produtividade com o aumento na vida útil de apenas uma ferramenta.

Cruz *et al.* (2011) desenvolveram um modelo de simulação utilizando o software Arena®, com o objetivo de representar a taxa de desembarque de carvão no porto de Praia Mole, este pertencente à Vale, no município de Vitória, Espírito Santo. O modelo mostrou-se uma ferramenta importante, capaz de gerar informações relevantes sobre a operação. Foi possível verificar, com as rodadas de simulação, os impactos operacionais da aquisição de mais um equipamento ou sua parada, e a variação do tamanho da fila, dadas as modificações nos dados de distribuição da chegada de navios.

Netto, Botter e Medina (2015) utilizam um modelo de simulação de eventos discretos para analisar a capacidade de exportação de Minério de Ferro do Terminal Portuário de Ponta da Madeira. Para isso, ele usa a metodologia de simulação de eventos discretos associada ao nível de serviço para testar cenários de aumento da capacidade deste terminal, sendo limitado pelo gargalo de ocupação dos berços.

Castro Neto (2006) apresenta, em sua dissertação, uma proposta de modelagem e simulação da cadeia produtiva de Minério de Ferro, utilizando, como base, dados de uma empresa mineradora brasileira (Samarco S/A). O autor buscou desenvolver um modelo de simulação que representasse o sistema produtivo de Minério de Ferro, que utiliza o modal aquático para distribuição de seus produtos, avaliando o comportamento de variáveis, como a sequência da programação de produção, nível de estoque de segurança do sistema e mudanças na operação. O Objetivo ao final do estudo era obter a menor somatória de custos operacionais, tais como os custos de manutenção de estoques, multas por sobrestada e perdas de vendas.

Juliá (2010) apresenta, em sua dissertação, os resultados do desenvolvimento de um modelo de simulação baseado nas características de uma empresa de mineração situada no Espírito Santo, a Samarco S/A. A autora descreve, como problema central em seu trabalho, o aumento de capacidade de produção da empresa para 34 milhões de toneladas, sendo necessário, para isso, investimento em pátios de estocagem e área portuária. A análise foi realizada de forma integrada, visto que as operações no pátio de estocagem são complexas, devido à possibilidade de alocação de múltiplos equipamentos, como empilhadeiras, recuperadoras, *stack-reclaimer*, correias transportadoras e *shiploader*, além de variações das taxas de embarque e estoques físicos. Estes podem sofrer influência de fatores, como disponibilidade de equipamentos, variação de produção, conflitos operacionais, atrasos na chegada de navios e na operação. Para isso, o autor sugeriu uma combinação de modificações nos fatores de influência no pátio e no porto, utilizando a análise geral das principais variáveis de saída desse modelo para apresentar suas conclusões e resultados.

Ignacio e Lima (2013) desenvolveram um modelo de simulação de um porto genérico utilizando o software Simul8, no qual foi possível estudar o comportamento do estoque de Minério de Ferro e a utilização dos equipamentos no processo. Os autores citam que as taxas de ocupação são medidas utilizadas por especialistas portuários para estabelecer metas operacionais. Assim, os autores utilizaram tais taxas para mensurar as estatísticas de análise de capacidade portuária do modelo.

Netto, Botter e Medina (2015) utilizam um modelo de simulação de eventos discretos para analisar a capacidade de exportação de Minério de Ferro do Terminal Portuário de Ponta da Madeira. Para isso, eles usam a metodologia de simulação de eventos discretos associada ao nível de serviço para testar cenários de aumento da capacidade deste terminal, sendo limitado pelo gargalo de ocupação dos berços.

## **2 METODOLOGIA**

A metodologia é a parte do trabalho na qual se deve estudar, compreender e avaliar os vários métodos disponíveis para a realização de uma pesquisa acadêmica. É aqui que o autor, em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa para coletar e processar informações que tendem ao encaminhamento da solução. Assim, a metodologia em um trabalho acadêmico possui o propósito de comprovar sua validade e

Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.10, Edição Especial 1, Abril 2017.

utilidade das técnicas utilizadas na construção do conhecimento (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Botter (2004) utiliza técnicas de simulação para tratar problemas grandes e complexos, em que há interação entre atividades que dificultam a modelagem analítica.

A literatura apresenta diversas maneiras de conceituar as técnicas de simulação existentes. Mesmo assim, todos os autores convergem para o fato de que essa técnica é muito útil para solucionar problemas complexos dentro das organizações.

Strack (1984) afirma que, ao estudar um sistema, objeto ou fenômeno, o homem depara-se com diversos obstáculos, quando realiza esta análise em sua forma natural. Por isso, a representação por modelos é essencial, pois permite manipular e compreender as entidades estudadas por aspectos qualitativos e quantitativos.

O autor ainda pontua que “um modelo é a representação de um objeto, sistema, ou ideia em alguma outra forma que não da entidade em si” (STRACK, 1984, p.40).

Prado (2004, p.24) define o conceito como: “Simulação é uma técnica de solução de problemas pela análise de um modelo que descreve o comportamento do sistema usando um computador digital”.

Para Chwif e Medina (2010), simulação é mais que uma ferramenta de análise de problemas, ela proporciona maior compreensão sobre os sistemas, servindo para a comunicação das partes envolvidas na operação, tais como gerentes e analistas.

Os modelos a serem utilizados no desenvolvimento de uma solução podem ser divididos em 3 tipos, conforme citado pelos autores Chwif e Medina (2010): Modelos simbólicos, Matemáticos ou de Simulação.

Os modelos simbólicos (icônicos ou diagramáticos) representam um sistema estático, como uma foto, um ícone, ou mesmo um fluxograma. São muito utilizados em documentação de projetos ou como ferramenta de comunicação.

Os modelos matemáticos (ou analíticos) podem ser representados por um conjunto de fórmulas matemáticas nas quais se pode citar os modelos de Pesquisa Operacional ou Revista Eletrônica de Estratégia & Negócios, Florianópolis, v.10, Edição Especial 1, Abril 2017.

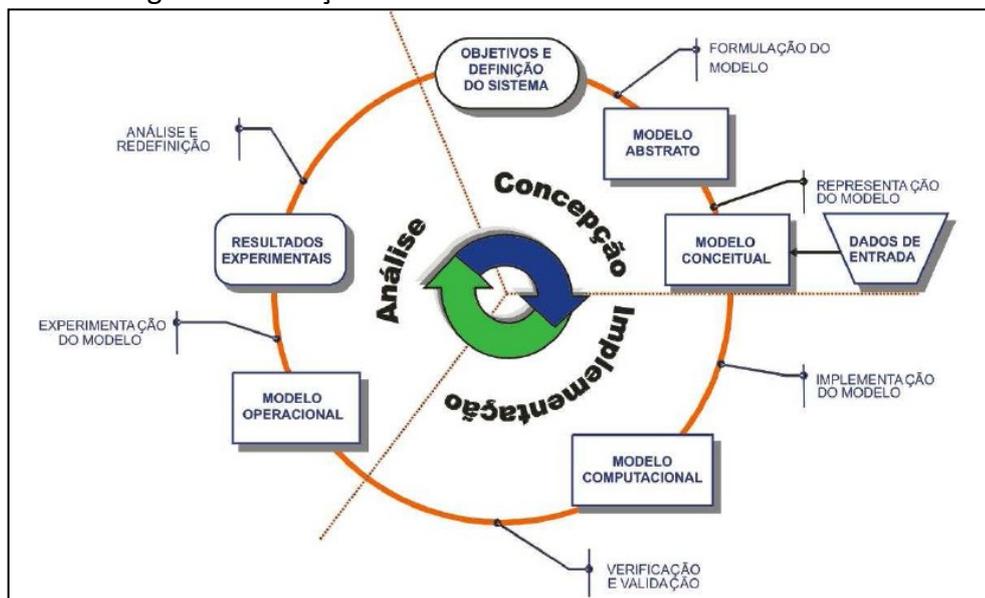
Teoria de Filas. Esses modelos não possuem alto grau de complexidade, necessitando o desenvolvimento de hipóteses simplificadoras.

Já os modelos de simulação possuem maior complexidade, dada sua característica dinâmica e sua natureza aleatória, podendo representar com mais fidelidade o comportamento dos sistemas reais em um ambiente digital.

Swaminathan, Smith e Sadeh (1998) afirmam que a utilização de técnicas de simulação somente é viável para problemas onde a análise detalhada das alternativas para a solução se faz necessária, visto que uma interação complexa entre a cadeia de suprimentos e as entidades envolvidas não permite o uso de soluções analíticas.

Este trabalho contemplará a metodologia de simulação abordada por Chwif e Medina (2010). Para os autores, o desenvolvimento de um modelo de simulação deve conter três grandes etapas, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Metodologia de Simulação



Fonte: Chwif e Medina (2010, p.12).

Na Figura 1 pode-se perceber a divisão em etapas da metodologia de simulação adotada pelos autores.

Segundo Chwif e Medina (2010), na etapa de concepção ou formulação do modelo, o analista deve, junto com especialistas, entender o cenário a ser estudado e decidir, com o

escopo do modelo, as hipóteses e o nível de detalhamento. Feita a concepção, o analista deve representar o modelo desenvolvido em sua mente (modelo abstrato), através de alguma ferramenta de simulação em um modelo que outras pessoas envolvidas no projeto possam entender (modelo conceitual). Também é nesta etapa que os dados de entrada são coletados, lembrando que é de grande importância que dados adequados alimentem o modelo.

Na próxima etapa, implementação do modelo, Chwif e Medina (2010) citam que o modelo conceitual deve ser convertido em modelo computacional através da utilização de alguma linguagem de programação. Para este estudo será utilizado o Arena® como sistema de simulação computacional.

Chwif e Medina (2010) ainda afirmam que se faz necessária a comparação entre os modelos conceitual e computacional com o intuito de verificar o atendimento ao que foi estabelecido na fase de concepção. De acordo com Chwif e Medina (2010, p.13), “[...] para a validação computacional, alguns resultados devem ser gerados, verificando se o modelo é uma representação precisa da realidade (dentro dos objetivos já estipulados)”.

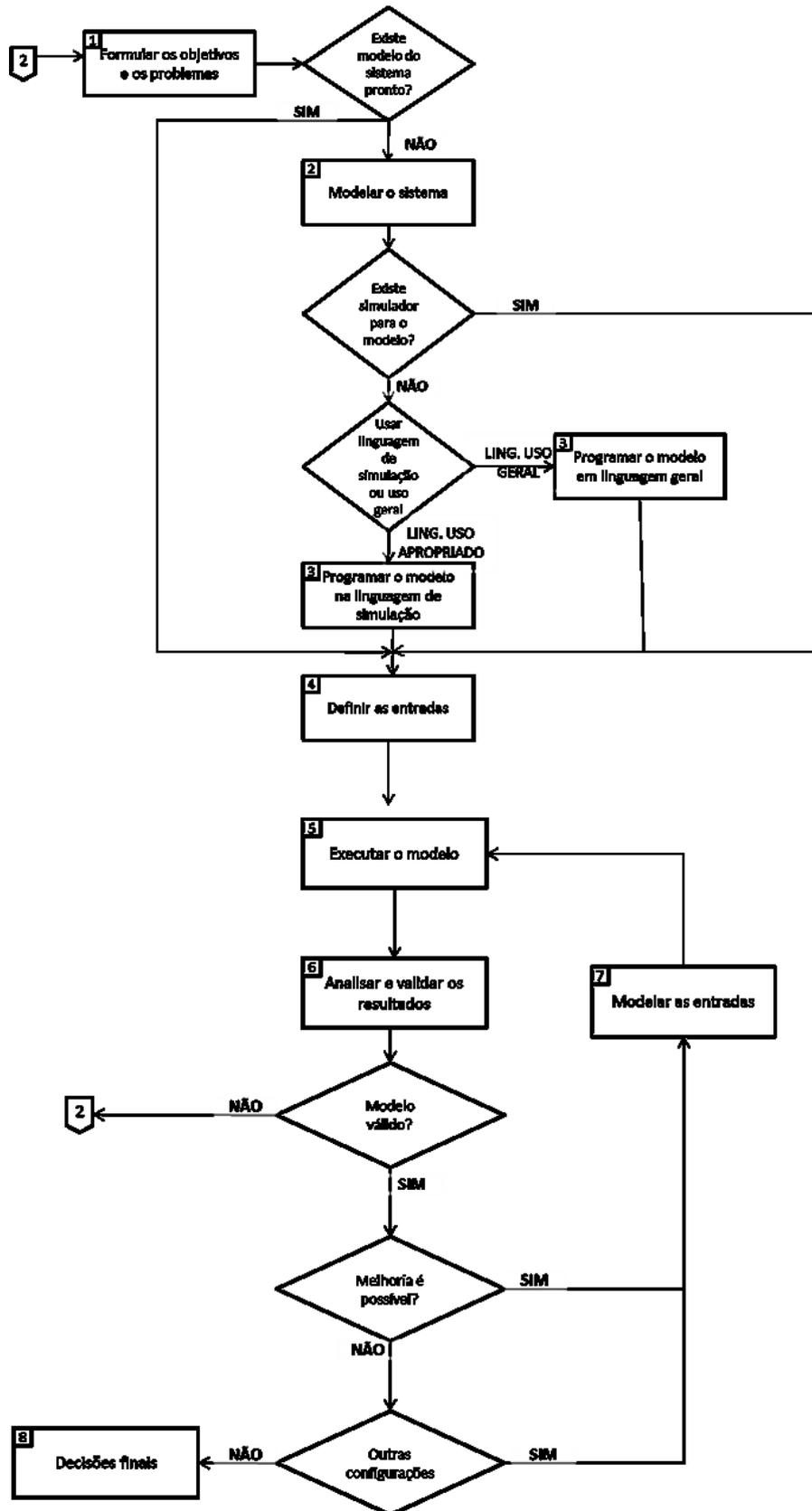
Já na terceira etapa, a de análise dos resultados do modelo, Chwif e Medina (2010) citam que o modelo computacional está pronto para a realização dos experimentos, dando origem ao modelo experimental ou modelo operacional. Nessa etapa são realizadas várias *rodadas* do modelo e os resultados são analisados e documentados. A partir dos resultados podem ser feitas conclusões e recomendações. Caso o resultado obtido não seja satisfatório, o modelo é modificado e reinicia-se o ciclo.

Os autores Santos (1999) e Schriber *et al.* (2015) convergem ao abordarem sobre a simulação de eventos discretos, descrevendo-a como a ocorrência de eventos ao longo do tempo; ou seja, as variáveis modificam-se em pontos específicos ao longo da simulação.

Já na simulação por eventos contínuos, o sistema altera-se em cada fração de tempo; em outras palavras, as variáveis modificam-se continuamente ao longo do tempo simulado. Strack (1984) aponta uma metodologia de escolha de um modelo a ser utilizado em um dado estudo. O autor afirma que, uma vez constatada a real necessidade de utilizar um modelo deve-se, primeiramente, verificar se existe algum modelo-padrão para ser utilizado ou

adaptado ao problema em estudo. Caso não haja um modelo-padrão que satisfaça o problema, cabe ao profissional responsável pelo estudo decidir pela criação de um modelo analítico, de simulação, analógico ou físico.

Figura 2 - Etapas da modelagem de um problema



Fonte: STRACK (1984, p.42).

### 3 PROBLEMÁTICA ESTUDADA

Para o estudo e desenvolvimento deste projeto, foi escolhido um terminal portuário do Complexo de Tubarão, localizado na cidade de Vitória, no estado do Espírito Santo. Assim como a maioria dos terminais portuários do Brasil, também o de Tubarão atua em sua capacidade máxima, não sendo possível um aumento em termos de volume exportado sem interferências em suas instalações.

Os Terminais Portuários do Complexo de Tubarão são separados fisicamente pela rodovia São Geraldo. Estes terminais são compostos pelo Terminal de Praia Mole (TPM) e o Terminal de Tubarão (TU, TPD e TGL).

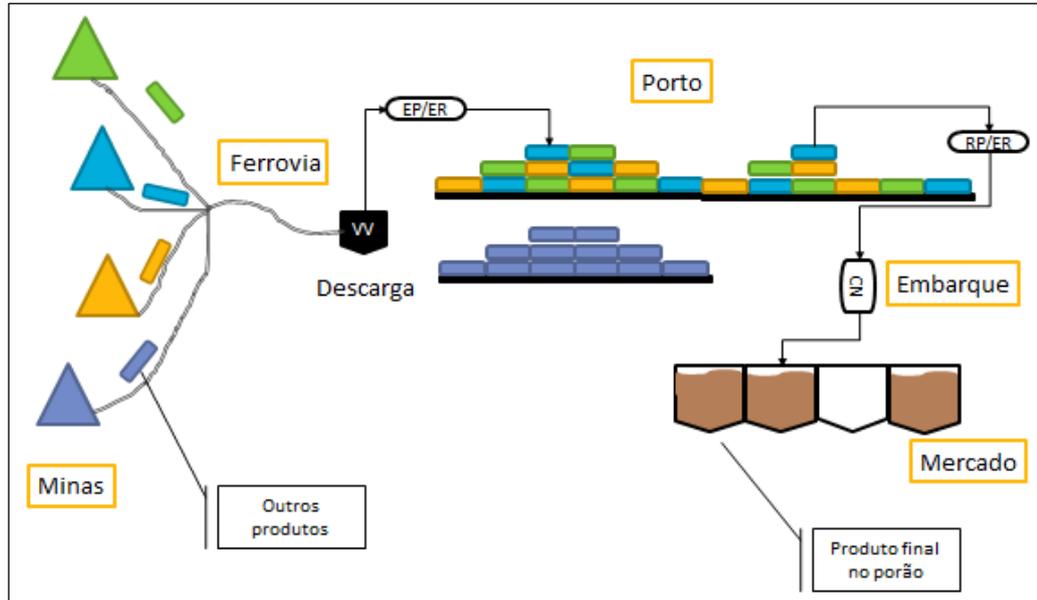
O complexo de Tubarão, em estudo, é composto por oito usinas de pelotização, pátios de estocagem dos minérios provenientes das minas, pátios para os insumos que serão utilizados no processo de pelotização, área de descarga do minério (viradores) além dos píeres de atracação de navios e equipamentos associados a esses processos (empilhadeiras, recuperadoras, empilhadeiras/recuperadoras, descarregadores de navios, carregadores de navios, entre outros).

Assim, uma expansão de caráter físico se tornaria um problema, visto que tais tipos de expansão demandam de alto investimento financeiro e espaço.

A simulação é uma metodologia que permite, ao analista, maior detalhamento do sistema modelado computacionalmente. Permite que as modificações nas configurações dos dados de entrada possam ser vistas e rastreadas ao longo do sistema, o que não seria tão evidente no uso de soluções analíticas.

Assim, quando o assunto são sistemas complexos com alto grau de detalhamento, como o proposto por este trabalho, a metodologia de simulação faz-se uma ferramenta adequada para tal proposta. A Figura 3 apresenta o sistema de embarque de minério de ferro do terminal em estudo.

Figura 3 - Desenho do Modelo conceitual



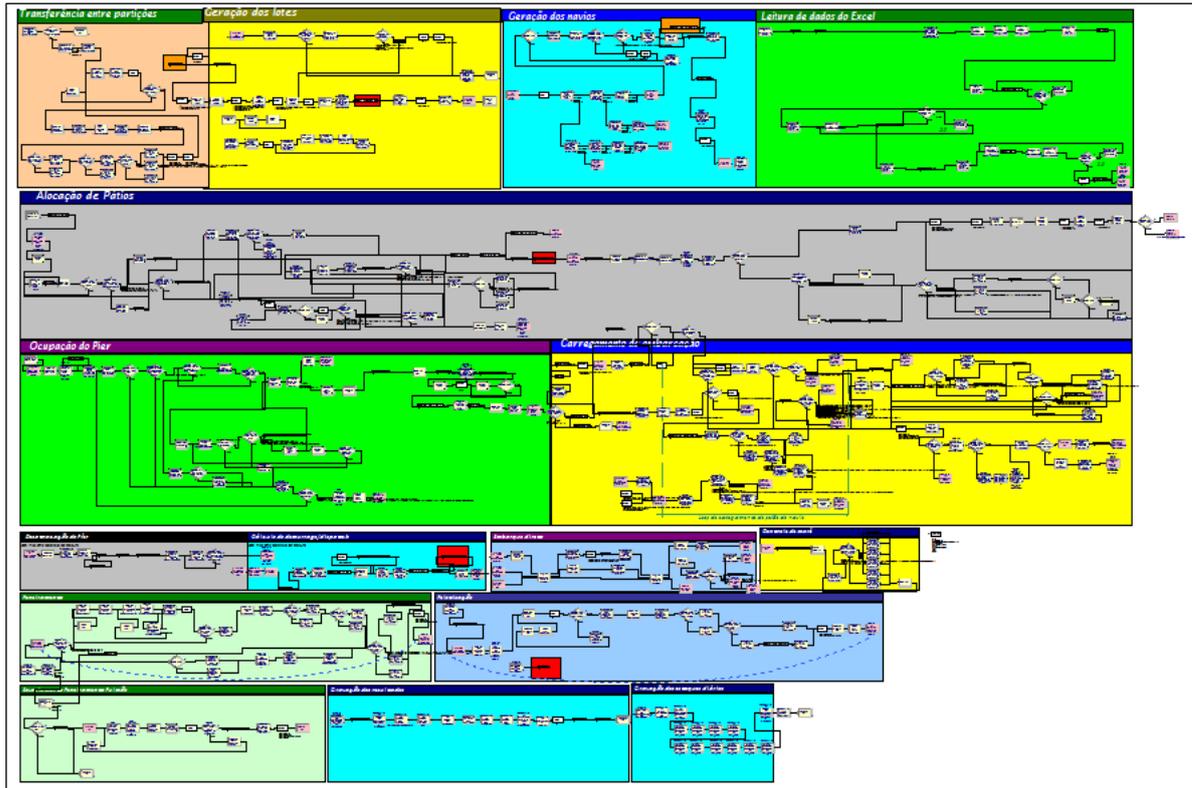
Fonte: Elaborado pela autora (2016).

### 3 CONSTRUÇÃO DO MODELO E ANÁLISES

A modelagem computacional nada mais é do que a tradução do modelo conceitual em alguma linguagem de simulação (CHWIF; MEDINA, 2010).

A Figura 4, abaixo, apresenta o *layout* do modelo de simulação de eventos discretos genérico desenvolvido em Arena®, bem como todas as lógicas associadas.

Figura 4 1- *Layout* do modelo de simulação de eventos discretos desenvolvido em Arena®



Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Para que os cenários sejam construídos de forma rápida e fácil, foi utilizada uma interface de entrada de dados como apoio para o modelo de simulação.

Esta interface foi desenvolvida em ambiente de planilha eletrônica do Microsoft Excel®, e sua utilização é simples e intuitiva, permitindo a construção e análise de diferentes cenários.

O modelo de simulação utilizado é genérico, possuindo flexibilidade para modelar diferentes tipos de terminais portuários, modificando os dados de entrada na planilha eletrônica associada. Este modelo possui um tamanho de aproximadamente 11 MB e sua velocidade de processamento está em torno de 2 a 3 minutos por replicação.

### 3.1 VERIFICAÇÃO E VALIDAÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA

A etapa de verificação e validação de um modelo de simulação é importante por se tratar da averiguação da competência do modelo computacional em imitar virtualmente o cenário real. Assim, a verificação e validação do modelo serão responsáveis por responder se

o modelo desenvolvido está correto e se o desenvolvimento corresponde à realidade (CHWIF; MEDINA, 2010).

Assim, a partir do modelo genérico apresentado anteriormente, bem como da interface eletrônica dos dados de entrada, realizou-se a validação do modelo computacional para o Terminal Portuário de Tubarão através da coleta de dados públicos e algumas entrevistas parcialmente estruturadas. Essa validação foi realizada através da comparação dos dados de *input* colhidos e na comparação dos valores reais com os valores gerados pelo modelo de simulação.

Foi realizada a comparação dos dados simulados com os dados reais obtidos através de pesquisa e entrevistas com responsáveis por esse setor, e foi observado que os resultados provenientes do modelo de simulação são bem aderentes aos dados fornecidos pelo terminal em estudo, comprovando a validação do modelo. Ou seja, o modelo computacional reflete com fidelidade o comportamento real do terminal portuário em estudo. Assim, considerou-se o modelo verificado e validado.

### 3.2 CENÁRIOS EM ESTUDO

Foram definidos, como cenários para o teste do produto único no Terminal Portuário de Tubarão, dois cenários básicos, um sem e outro com o produto único. Serão utilizados os mesmos dados de entrada para ambos os cenários de forma que, ao final da simulação, seja possível uma comparação entre eles e a visualização do ganho pela troca do produto. A demanda a ser modelada é a de 123 milhões de toneladas por ano, conforme dados do PDL de 2018, fornecido pela empresa Vale, em estudo. Todos os cenários foram rodados 10 replicações de 10 anos cada.

**Cenário A:** Cenário sem produto padrão, com *input* de demanda de 123 Mtpa e pátio de estocagem de 5 Mtpa.

A Tabela 1 apresenta a demanda dos produtos a serem simulados nesse cenário.

Tabela1 - Configuração da demanda pelo tipo de produto do Cenário A

Produto 2	Produto 3	Produto 15	Produto 16	Produto 17	Produto 18	Produto 19	Produto 20
Pelota 2 (AF)	Pelota 3 (RH e RM)	Pelota AF50	Granulado sujo	Pellet Feed (Omã) PFPT	Pellet Feed PFFT	SSFT	SFHT
20.000.000	15.363.932	2.640.000	2.200.000	12.741.799	15.300.000	33.900.000	21.000.000
20.000.000	15.363.932	2.640.000	2.200.000	12.741.799	0	0	0
				12.741.799			
	615.000						
	14.748.932						
20.000.000							
			2.200.000				
		2.640.000					
0	0	0	0	0	15300000	33.900.000	21.000.000
							21.000.000
						33.900.000	
					15.300.000		

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

A Tabela 12 apresenta o perfil de frota a ser utilizado em ambos os cenários de estudo. É importante ressaltar que, para ambos, a frota é composta apenas de navios *Small Cape*, *Cape Size*, uma pequena parcela de *Large Cape* e *Valemax*.

Tabela 1 - Perfil de frota

	HandyMax	Panamax	Small Cape	Cape	Large Cape	Very Large Cape	Valemax
	0	1	1	1	1	1	1
100%							100%
100%			100%				
100%			84%	16%			
100%				100%			
100%				100%			
100%				100%			
100%				9%			91%
100%				9%			91%
100%					9%		91%

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

**Cenário B:** Cenário com produto padrão, *input* de demanda de 123 Mtpa e pátio de estocagem de 5 Mtpa.

Como citado anteriormente, o perfil de frota permanece o mesmo para ambos os cenários, sendo apenas modificada a demanda dos produtos, conforme apresentado pela Tabela 3.

Tabela 3 2- Configuração da demanda pelo tipo de produto do Cenário B

<b>Produto 2</b>	<b>Produto 3</b>	<b>Produto 10</b>	<b>Produto 15</b>	<b>Produto 16</b>	<b>Produto 17</b>
Pelota 2 (AF )	Pelota 3 (RH e RM)	Produto padrão	Pelota AF50	Granulado sujo	Pellet Feed (Omã) PFPT
<b>20.000.000</b>	<b>15.363.932</b>	<b>70.200.000</b>	<b>2.640.000</b>	<b>2.200.000</b>	<b>12.741.799</b>
<b>20.000.000</b>	<b>15.363.932</b>	<b>0</b>	<b>2.640.000</b>	<b>2.200.000</b>	<b>12.741.799</b>
					12.741.799
	615.000				
	14.748.932				
20.000.000					
				2.200.000	
			2.640.000		
<b>0</b>	<b>0</b>	<b>70.200.000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
		21.000.000			
		33.900.000			
		15.300.000			

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos dados de entrada do modelo, foram simulados os cenários A e B com 10 replicações de 10 anos cada. O modelo de simulação de eventos discretos desenvolvido neste artigo, permite avaliar os reais efeitos sobre os estoques, quando o sistema é submetido às restrições de oferta de produto e capacidade de carregamento.

A Tabela 4 apresenta os principais resultados da simulação dos dois cenários de estudo. A primeira linha (destacada em amarelo) é resultante da demanda atendida por cada píer, dividido por seu respectivo *commitment*, ajustado a uma taxa de 95% de ocupação. Por *commitment* entende-se a soma de todos os tempos de operação do píer dividida por 8.760 horas (1 ano em horas).

Tabela 4 - Tabela de Resultados dos cenários A e B

Resultados Gerais	Unidade	CENÁRIO A: SEM PP	CENÁRIO B: COM PP
Demanda Ajustada a 95% de ocupação (t)	t	131.489.275	139.033.492
Demanda total embarcada nos navios (t)	t	117.035.647	123.982.328
Demanda total descarregada nos VVs (t)	t	125.854.844	130.941.036
<b>Demanda</b>			
Demanda total embarcada nos navios (t)	t	117.035.647	123.982.328
Demanda total descarregada nos VVs (t)	t	125.854.844	130.941.036
Demanda (t) total descarregada produto 4 - Pellet para 2	t	20.863.616	22.723.896
Demanda (t) total descarregada produto 6 - Pellet para 3	t	19.672.636	20.131.552
Demanda (t) total descarregada produto 10 - Produto Padrão	t	0	70.495.948
Demanda (t) total descarregada produto 16 - Granulado sujo	t	2.250.000	1.937.500
Demanda (t) total descarregada produto 17 - Pellet Feed PFPT	t	12.282.000	12.965.100
Demanda (t) total descarregada produto 18 - Pellet Feed PFFT	t	14.917.800	0
Demanda (t) total descarregada produto 19 - Pellet Feed SSFT	t	32.885.400	0
Demanda (t) total descarregada produto 20 - Sinter Feed	t	20.346.112	0
Demanda (t) total embarcada produto 2 - Pelota 2 (AF e AS)	t	18.589.642	20.168.826
Demanda (t) total embarcada produto 3 - Pelota 3 (RH e RM)	t	14.913.598	15.448.340
Demanda (t) total embarcada produto 10 - Produto Padrão	t	0	70.543.253
Demanda (t) total embarcada produto 16 - Granulado sujo	t	2.011.855	2.106.275
Demanda (t) total embarcada produto 17 - Pellet Feed PFPT	t	11.863.829	12.989.066
Demanda (t) total embarcada produto 18 - Pellet Feed PFFT	t	14.458.607	0
Demanda (t) total embarcada produto 19 - Pellet Feed SSFT	t	32.675.928	0
Demanda (t) total embarcada produto 20 - Sinter Feed	t	20.045.941	0

Fonte: Elaborado pela autora (2016).

Pode-se notar que, no cenário do produto padrão, a demanda embarcada, apenas deste componente, representa aproximadamente 57% do total embarcado ao final da simulação, e os outros 43% são divididos pelos demais produtos.

É importante observar, também, que os produtos 4 e 6 são matérias-primas para a produção das pelotas 2 e 3 nas usinas deste terminal portuário, e toda essa matéria-prima é consumida no sistema.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da simulação computacional está sendo cada vez mais difundido como ferramenta para melhorar a capacidade de análise e decisão de gestores. O uso de ferramentas de simulação possibilita visualizar e controlar, em ambiente computacional, variações do cenário real e prever seu comportamento.

Assim, a simulação vem sendo reconhecida como um diferencial competitivo no mercado, por possibilitar a análise de cenários a um baixo custo, prevendo possíveis

variações do sistema. O domínio do conhecimento de técnicas de simulação vem ganhando espaço nas diversas cadeiras da engenharia e logística.

Este trabalho apresentou uma aplicação prática de um problema real, utilizando, para isso, um modelo de simulação de eventos discretos. A utilização deste modelo de simulação possibilitou que a autora testasse cenários, tanto os de validação como os cenários de estudo, e apresentasse uma ferramenta genérica de modelagem e simulação de terminais portuários.

O principal objetivo deste trabalho era, ao final das rodadas de simulação, apresentar uma alternativa que se provasse viável para aumentar o volume de Minério de Ferro embarcado no Terminal Portuário de Tubarão sem que, para isso, a empresa necessitasse de investimentos em CAPEX específico para a operação portuária do Produto Padrão.

A troca do mix de produtos, em termos de volume embarcado, mostrou-se uma alternativa viável ao aumento da capacidade do terminal, cabendo ao gestor o uso de tais informações para a tomada de decisão. Além disso, foi possível observar que a ferramenta, por ser genérica, possibilita grande flexibilidade de variação de cenários, fornecendo, ao analista, suporte para testar as mais diversas combinações de variáveis dentro do modelo.

Cabe salientar que a ferramenta mostrou-se fundamental para testar esse tipo de cenário e prever a viabilidade e funcionalidade das alternativas, além de evidenciar os possíveis gargalos na operação, e também ociosidades no sistema.

Outro ponto importante a ser ressaltado é o nível de detalhamento da ferramenta. Com ela, é possível modelar os mais diferentes terminais portuários e testar diferentes cenários e, assim, rastrear o impacto, em termos de volume, das variações dos *inputs* no sistema. Como recomendações futuras, apontam-se os seguintes itens:

- Análise da qualidade do minério do produto padrão com o objetivo de padronizar os níveis dos minerais presentes no material como, por exemplo, o ferro;
- Criar módulos que englobem os centros de distribuição utilizados como transbordo do material; e

- Implementação da geração de demanda proveniente dos clientes aleatoriamente, e que tais demandas sejam utilizadas como dados de entrada do modelo.

## REFERÊNCIAS

ABCEM - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CONSTRUÇÃO METÁLICA. Disponível em:<<http://www.abcem.org.br>>. Acesso em: 03 fev. 2015.

ABREU, A. O.; OLIVEIRA, M. L. S. Impactos ambientais dos Portos e a Lei do Óleo. Universidade de Ribeirão Preto. 2015. Disponível em: <<http://www.unaerp.br>>. Acesso em: 05 fev. 2015.

ANTAQ - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. **Manual de Licenciamento Ambiental** [s.d.]. Disponível em:<<http://www.antaq.gov.br>>. Acesso em: 08 jan. 2015.

BETIATTO, A. **Modelagem e Simulação: aplicação a uma linha de manufatura de componentes automotivos**. WorkingPaper. 2015. Disponível em: <[http://www.linecon.com.br/biblioteca/artigo\\_simulacaomanufatura-01\\_linecon.pdf](http://www.linecon.com.br/biblioteca/artigo_simulacaomanufatura-01_linecon.pdf)>. Acesso em:15 jan. 2015.

BOTTER, R. C. Analysis of time-windows on ship arrival and its influence on port operations performance. **The International Workshop on Harbour, Maritime & Multimodal Logistics Modelling and Simulation**, Rio de Janeiro, 2004.

CASTRO NETO., L. R. **Modelagem e Simulação da Cadeia Produtiva do minério de Ferro**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria e aplicações**. Terceira edição. Elsevier Brasil, São Paulo, 2010.

CHWIF, L.; MEDINA, A. C. **Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria e aplicações**. Quarta edição. Elsevier Brasil, São Paulo, 2015.

CRUZ, M.M.C; FARIAS, F.N; SOUZA, R.G; Vaz, R. G; SILVA, R. **Estudo por simulação de granéis sólidos do porto de Tubarão**. Enegep, 2001.

DUARTE, R. N. **Simulação Computacional: análise de uma célula de manufatura em lotes do setor de auto-peças**. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, 2003.

FIORONI, M. M. **Simulação em Ciclo Fechado de Malhas Ferroviárias e suas Aplicações no Brasil: avaliação de alternativas para o direcionamento de composições**. 2007. 216 f. Tese (Doutorado em Engenharia). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FRAZESE, L.A.G; FIORONI, M. M.; PEREIRA, N. Y. H.; MACHADO, M.N. Rail road Infrastructure Simulator. **Winter Simulation Conference**, Orlando, p. 2581-2584. Dezembro, 2005.

IBS Solutions. **Fluxo Logístico com desembarço na Zona Secundária**. Disponível em:< <http://www.ibsolutions.com.br>>. Acesso em: 08 abr. 2015.

IGNÁCIO, A. V.; LIMA, B. M. **Modelo Genérico de Simulação de Operações Portuárias: Estudo de Caso para Minério de Ferro**. Enegep, 2013.

IBRAM - INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO. Informações e Análises da economia mineral brasileira. 2014. Disponível em:< <http://www.ibram.org.br>>. Acesso em: 03 fev. 2016.

JULIÁ, A. F. **Desenvolvimento de um modelo de simulação para dimensionamento de um sistema integrado pátio-porto na cadeia do minério de ferro**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MONIÉ, F. In: SILVEIRA, M. R. (org.). **Circulação, transportes e logística: diferentes perspectivas**. São Paulo: Outras Expressões, 2011.

NETTO, J. F., BOTTER, R. C., MEDINA, A. C. Analysis of capacity associated to levels of service at port terminals using systemic approach and simulation of discrete events. **Winter Simulation Conference**, Califórnia, 2015.

PRADO, D. S. **Usando o ARENA® em Simulação**. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços, 2004.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. Ed. Universidade Feevale, 2013.

SANTOS, M. P. **Introdução à Simulação Discreta**. Rio de Janeiro: UERJ, 1999.

SCHIBER, T. J., BRUNNER, D. T., SMITH, J. S. Inside discret-event simulation software: how it works and why it matters. **Winter Simulation Conference**, Califórnia, 2015.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. Metodologia de pesquisa e elaboração de dissertação. 3. Ed. Florianópolis: LED/UFSC, 2001.

STRACK, J. GPSS. **Modelagem e Simulação de Sistemas**. São Paulo: Livros Técnicos e Científicos, 1984.

SWAMINATHAN, J. M., SMITH, S. F., SADEH, N. M. Modeling supply chain dynamics: a multiagent approach. **Decision Science**, vol 29, 1998.

VALE. Memorial Descritivo do Terminal de Tubarão. Disponível em: <<http://www.vale.com/brasil/PT/Paginas/def>>. Acesso em: 10 abr. 2015.