



## Alternativas para aumento de capacidade de um Terminal Portuário de Minério de Ferro

**Joyce Milanez Zampirolli**  
(Universidade de São Paulo)  
**Rui Carlos Botter**  
(Universidade de São Paulo)

### 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. Assim como os portos, as cidades ao redor dos terminais cresceram e avançaram sobre o território portuário, dificultando e até mesmo impedindo expansões físicas. 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 recursos já existentes. No âmbito de avaliar tais alternativas foi utilizado um modelo de simulação de eventos discretos, que possibilitou testar cenários de aumento de capacidade sem que, para isso, houvesse a necessidade de interferência na estrutura física, mas no tipo de produto movimentado e em mudanças nas atuais variáveis do sistema.

**Palavras-chave:** Terminal Portuário; Simulação; Aumento de Capacidade; Portos 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 se fala em 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 (ABCEN, 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 desembarque de cargas, é nessa área 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, esta 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 se fala em interferências em zonas portuárias.

A instalação ou mesmo a ampliação de um porto requer a 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 uma 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 sendo 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.

Com isso, os investidores de hoje buscam não mais a modernização dos equipamentos e instalações de seus ativos, mas sim 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 desse 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 utilizar um modelo bem detalhado de simulação de eventos discretos, o qual 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 se 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 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®, como ferramentas de análise e apoio à decisão.

Duarte (2003) apresenta, em sua dissertação de mestrado, 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) busca 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 à



maior parte das redes ferroviárias de cargas, mesmo com os aspectos individuais de cada empresa.

Fiorini (2007) desenvolve, em sua dissertação de mestrado, 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 se mostrou 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 et al. (2015) utiliza 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 de mestrado, 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 sobreestadia e perdas de vendas.

Juliá (2010) apresenta, em sua dissertação de mestrado, os resultados do desenvolvimento de um modelo de simulação baseados 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 neste processo. Os autores citam que as taxas de ocupação são medidas utilizadas por especialistas portuários para estabelecer metas operacionais. Assim, os autores se utilizaram de tais taxas para mensurar as estatísticas de análise de capacidade portuária do modelo.

Netto et al. (2015) utiliza 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.

### **3. 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 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 quando se fala em solucionar problemas complexos dentro das organizações.

Strack (1984) afirma que, ao se estudar um sistema, objeto ou fenômeno, o homem se depara 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 afirma que “um modelo é a representação de um objeto, sistema, ou ideia em alguma outra forma que não da entidade em si.” (STRACK, 1984).

Prado (2004) 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 do 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 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 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 et al. (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 permitem 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.

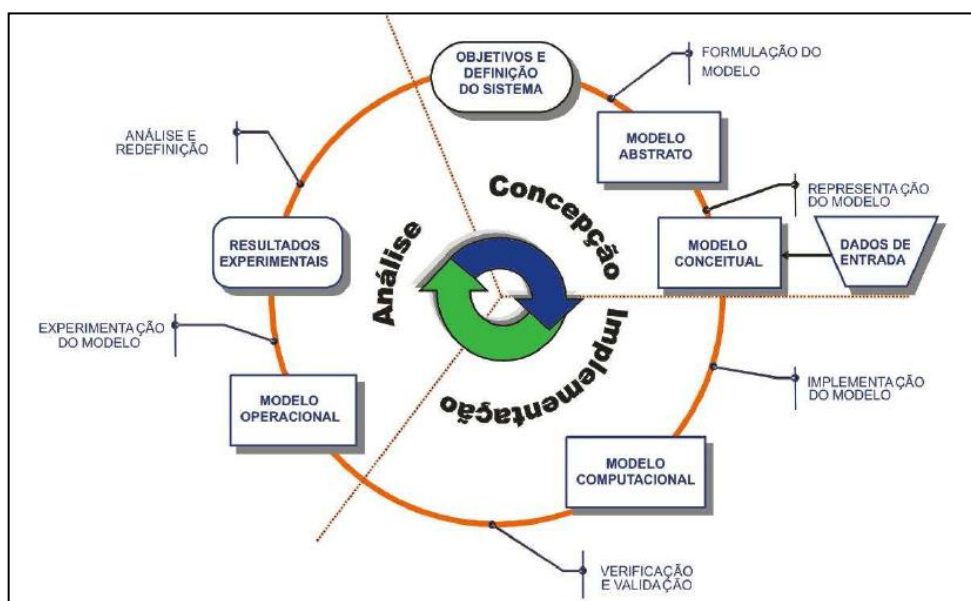


Figura 1: Metodologia de Simulação  
Fonte: Chwif e Medina (2010)

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 ter dados adequados alimentando 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) “[...] 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 se reinicia o ciclo.

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

Já na simulação por eventos contínuos, o sistema se altera em cada fração de tempo, ou seja, as variáveis se modificam 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 se 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. O autor ainda afirma que a modelagem do sistema ocorre apenas se não existir um modelo de simulação já definido e implementado que seja adequado à solução do problema.

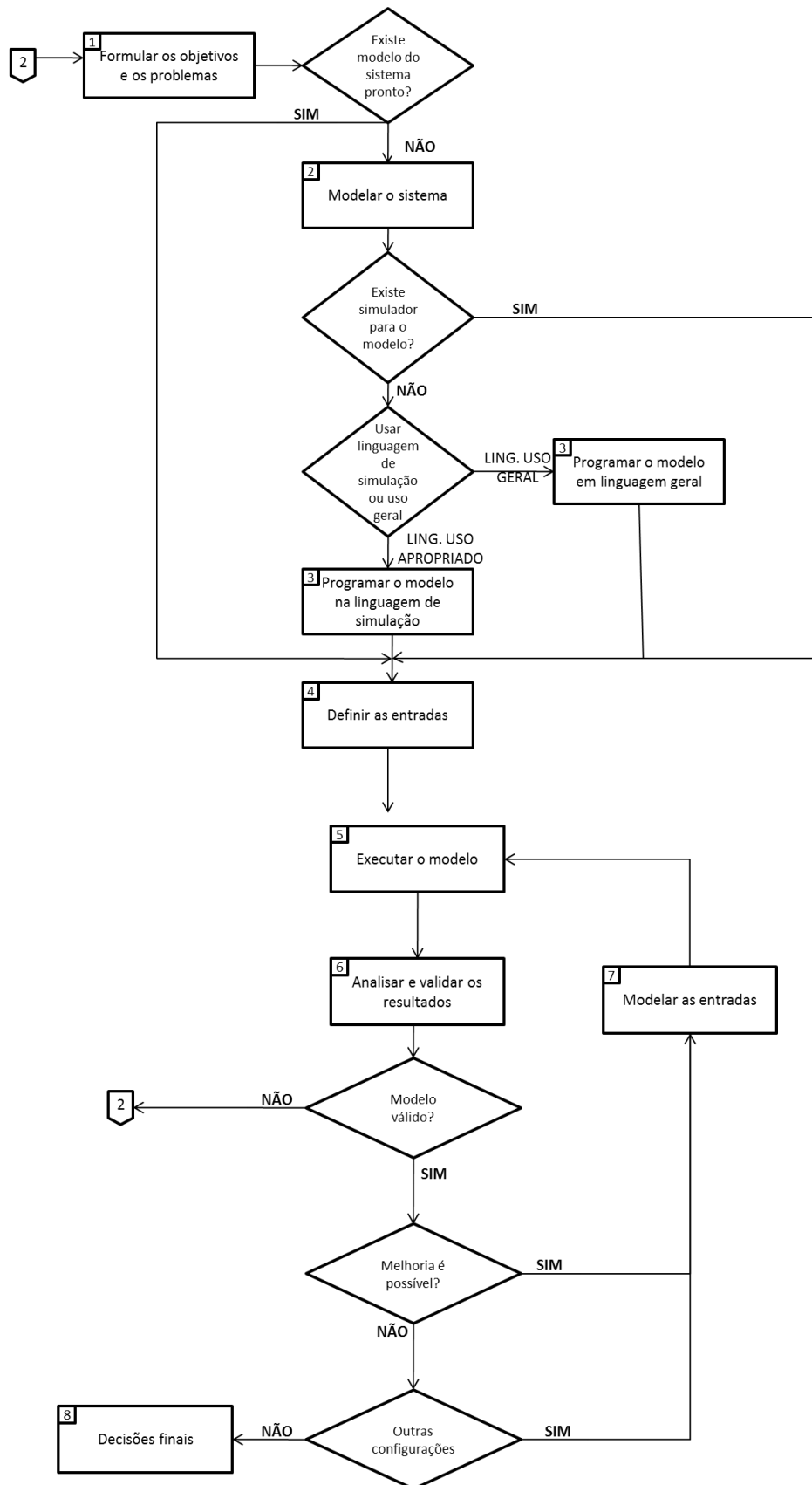


Figura 2: Etapas da modelagem de um problema  
Fonte: STRACK (1984)





#### 4. 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 píers 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 se fala em sistemas complexos com alto grau de detalhamento como o proposto por esse trabalho, a metodologia de simulação se faz uma ferramenta adequada para tal proposta. A Figura 3 apresenta o sistema de embarque de minério de ferro do terminal em estudo.

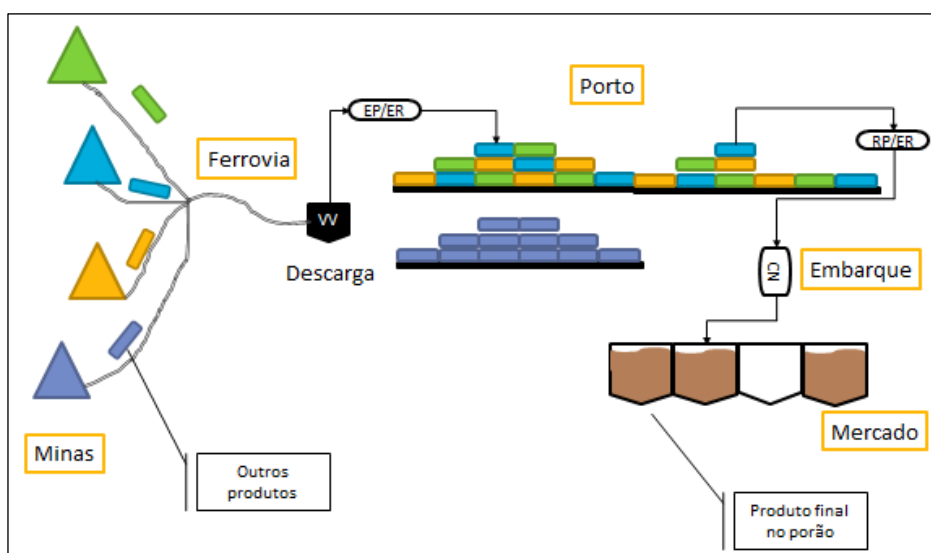


Figura 3: Desenho do Modelo conceitual

Fonte: A autora

#### 5. Construção do Modelo e Análises

A modelagem computacional nada mais é do que a tradução do modelo conceitual em alguma linguagem de simulação (CHWIF e 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.

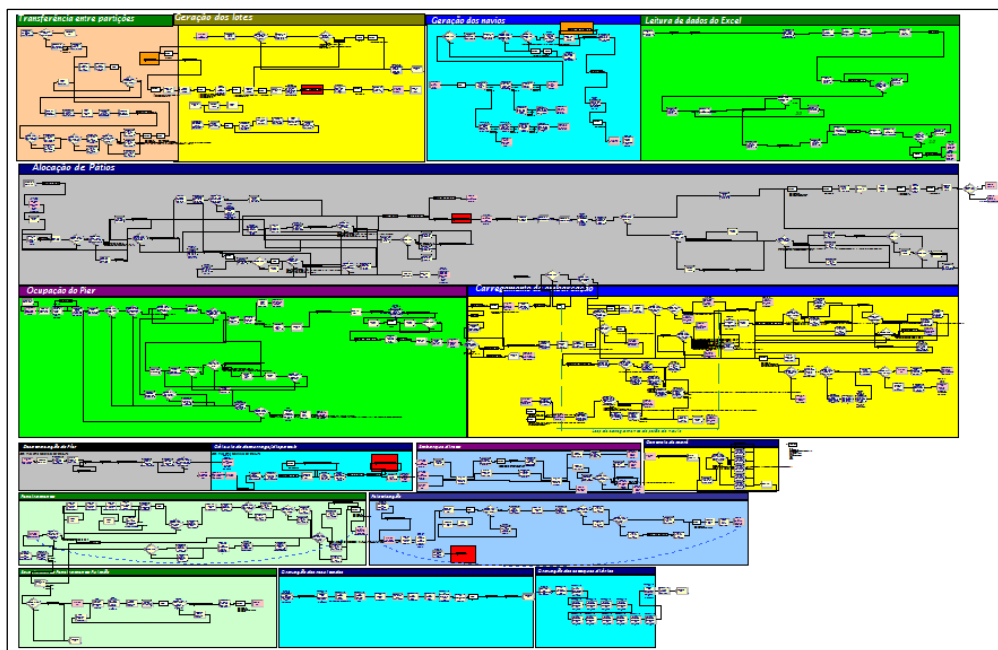


Figura 41: Layout do modelo de simulação de eventos discretos desenvolvido em Arena®

Fonte: A autora

Para que os cenários sejam construídos de uma 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 um modelo genérico, possuindo flexibilidade para se 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 gira em torno de 2 a 3 minutos por replicação.

### 6.1 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 seu desenvolvimento corresponde à realidade (CHWIF e 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.

## 6.2 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: A autora

A Tabela 2 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: A autora

**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 32: Configuração da demanda pelo tipo de produto do Cenário B

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

Fonte: A autora

### 6.3 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 nessa dissertação, 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* se entende 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
<b>Demanda Ajustada a 95% de ocupação (t)</b>	t	<b>131.489.275</b>	<b>139.033.492</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
<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 PFFT	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 PFFT	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: A autora

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, sendo que 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, sendo que toda essa matéria-prima é consumida no sistema.

## 7 Conclusão

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 desse 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 embarcado de Minério de Ferro no Terminal Portuário de Tubarão sem que para isso a empresa necessitasse de investimentos em CAPEX específico para a operação portuária do Produto Padrão.

Além disso, foi possível observar que a ferramenta, por ser genérica, possibilita uma 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 se mostrou 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 dessa 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.
- Implementação da geração de demanda proveniente dos clientes aleatoriamente e que tais demandas sejam utilizadas como dados de entrada do modelo.

## 8 Referências

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

ANTAQ - AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES AQUAVIÁRIOS. Manual de Licenciamento Ambiental. 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. 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.

BANKS, J.; CARSON II, John S.; NELSON, B. L.; NICOL, David M. Discrete Event System Simulation. Quarta Edição. New Jersey, USA: Prentice Hall, 2004.

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

CARNEIRO, F. M. Simulação do Circuito de Minério do Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira (TFPM). Monografia (Pós-Graduação). Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2008.



- CASTRO N., L. R. Modelagem e Simulação da Cadeia Produtiva do minério de Ferro. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- CECILIANO, W. R. A. Aplicação de um método de simulação-otimização na cadeia produtiva de Minérios de Ferro. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria e aplicações. Terceira edição. São Paulo, 2010.
- CHWIF, L.; MEDINA, A. C. Modelagem e simulação de eventos discretos, teoria e aplicações. Quarta edição. 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. Dissertação (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.
- FREITAS FILHO, P. J. Introdução à Modelagem e Simulação de Sistemas com aplicações em Arena. 2nd ed. Visual Books, 2008.
- 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. Disponível em: < <http://www.ibram.org.br> >. Acesso em: 03 fev. 2014.
- 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.
- KELTON, W.D., SADOWSKI, R.P., SADOWSKI D.A. Simulation with Arena. New York: McGraw-Hill, 1998.
- MONIÉ, F.. In: SILVEIRA, M. R. (org.). Circulação, transportes e logística: diferentes perspectivas. São Paulo: Outras Expressões, 2011.
- NETTO, J. F. Modelo de simulação para dimensionamento da frota de contêineres movimentada por navios em rota dedicada. Dissertação (Mestrado) – Engenharia de Sistemas Logísticos, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.
- 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.



NETO, L. R. C.; Modelagem e simulação da cadeia produtiva de minério de ferro. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

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

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. METODOLOGIA DO TRABALHO CINÉTICO: 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.

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>