

MODELAGEM PARA OTIMIZAÇÃO DO TRANSPORTE DE CARGAS NO COMPLEXO LOGÍSTICO INTERMODAL PORTO SUL

Jorge Ubirajara Pedreira Júnior
Universidade Federal da Bahia (UFBA)
jorgesars@gmail.com

Ademar Nogueira do Nascimento
Universidade Federal da Bahia (UFBA)
annas@ufba.br

Resumo

O presente trabalho consiste em uma proposta de metodologia para futura representação do transporte ferroviário de cargas de minério de ferro a partir de minas localizadas no interior da Bahia para o complexo logístico, incluindo porto, que vem sendo estruturado na cidade de Ilhéus. A metodologia está concebida em base de estudo analítico-descritivo por decomposição hierárquica do complexo, envolvendo simulação de eventos discretos e otimização dos custos. Como recurso informatizado da simulação propõe-se o emprego do *software* Arena, o qual deverá facilitar a modelagem da fila das composições ferroviárias e seus recursos e, posteriormente, contribuir na modelagem do sistema portuário. Os dados para simulação estão sendo levantados no próprio projeto do empreendimento, divulgado pelo Governo do Estado da Bahia, bem como em operações ferroviárias equivalentes existentes no Brasil. Como resultado a metodologia aqui proposta deverá ser bastante útil na tomada de decisão gerencial, sobretudo no fluxo otimizado da extração do minério e dos recursos materiais necessários.

Palavras-Chaves: Infraestrutura de transporte; Multimodalidade; Simulação; Otimização.

Abstract

This work consists of a proposed methodology for future representation of freight transportation of iron ore from mines located within the state of Bahia for a logistics complex, including the port, which is being organized in the city of Ilhéus. The methodology is designed on the basis of an analytical-descriptive study by hierarchical decomposition of the complex, involving discrete event simulation and costs optimization. The Arena software is proposed as computational resource for simulation, which should facilitate the modeling of the queue system of trains and their resources, and subsequently contribute to the modeling of the port system. Data for the simulation are being raised in the enterprise project, issued by the state government of Bahia itself as well as in equivalent existing rail operations in Brazil. As a result, the methodology proposed might be very useful in managerial decision making, especially in the optimized flow of ore extraction and necessary material resources.

Keywords: Transportation infrastructure; Multimodality; Simulation; Optimization.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta uma proposta de metodologia para a representação do futuro transporte de cargas de minério de ferro no interior da Bahia, a partir de minas localizadas no município de Caetité, o qual deverá ser movimentado por via ferroviária para o Porto Sul, município de Ilhéus, de onde será exportado. A ferrovia, Estrada de Ferro 334, também conhecida como Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL), encontra-se em plena construção pela empresa pública Valec, vinculada ao Ministério dos Transportes, com previsão de conclusão para o ano de 2016. O Porto Sul, por sua vez, encontra-se em fase final de atendimento às exigências da licença de instalação pelo do IBAMA. Ambos, ferrovia e porto, compreendem o Projeto público intitulado Complexo Logístico Intermodal Porto Sul (CLIPS). Entre a origem da carga (Caetité) e o descarregamento (Ilhéus), o percurso ferroviário previsto é de 536 km. Além do minério, prevê-se também transportar por esta via grãos do oeste baiano e sudeste do Tocantins para o Porto Sul. Com base no trecho ferroviário Caetité-Ilhéus, bem como na futura movimentação rodoviária de carga e descarga, e seus auxiliares de movimentação eletromecânica às instalações navais-portuárias, objetiva-se quantificar e avaliar parâmetros de desempenho do sistema logístico através de um estudo de simulação.

O artigo aqui estabelecido faz uma breve revisão do emprego da intermodalidade no transporte de carga e suas ligações com essa ação desenvolvimentista de larga escala no interior baiano, a qual exige consistente suporte técnico de planejamento para fins de assegurar um eficiente sistema operacional do CLIPS, oferecendo um modelo de simulação para representar as futuras operações deste referido sistema logístico.

2. BREVE PERFIL DA INTERMODALIDADE NO TRANSPORTE DE CARGAS

A distribuição adequada dos diferentes modais de transporte de carga é desejável visto que viabiliza a otimização dos custos associados à transferência de produtos e matérias-primas. A partir de informações estatísticas divulgadas pela Confederação Nacional de Transportes (CNT, 2013b), pode-se constatar que intermodalidade brasileira na movimentação de cargas, concentra-se, inadequadamente, no modal rodoviário – em torno de 60%, apesar de ser este um dos mais custosos em termos de tonelada de carga transportada por quilometro percorrido. A inadequação é bastante expressiva, visto que a segunda posição é ocupada pelo modal ferroviário, com 20,7% do volume de cargas, ou seja, praticamente 1/3 do volume transportado por via rodoviária (485,62 milhões de toneladas/km.ano), quando certamente o contrário poderia ser o mais indicado para um país de dimensões continentais como o Brasil. A Figura 1, a seguir, apresenta a estratificação do uso da intermodalidade do transporte de cargas no País.

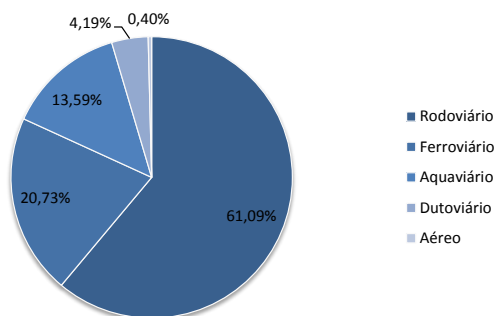


Figura 1 – Percentual da quantidade de mercadorias transportada por modal

Fonte: CNT, 2013a

O início da implementação do modal rodoviário nacional situa-se entre as décadas de 1950 e 1960, a partir dos investimentos na indústria automobilística. Tem-se hoje no Brasil uma extensão rodoviária de 1.584.712 km, sendo 221.020 km pavimentados e 1.363.682 km não pavimentados (CNT, 2013a). Este modal caracteriza-se como um transportador de produtos acabados e semi-acabados, para médias distâncias, tendo como principais vantagens a possibilidade de movimentação porta-a-porta, bem como a frequência e sua disponibilidade

O modal ferroviário, por sua vez, é um típico transportador de longo curso, de carga completa, mais lento quando comparado ao rodoviário, e indicado para a movimentação de matérias-primas, a exemplo de minérios e madeira, e produtos químicos em grandes quantidades.

No Brasil, o modal ferroviário começou a ser explorado durante o ciclo do café, que predominou da segunda metade da década do século XIX até a década de 1930, caracterizando-se como um período de expansão das fronteiras agrícolas nacionais (CNT, 2013b). Dos anos 1950 até meados da década de 1990 esteve sob o domínio governamental, sendo administrada pela estatal RFFSA (Rede Ferroviária Federal S.A.), quando se observou um crescimento da tonelagem transportada e da produtividade global, apesar de representar 90% do déficit orçamentário público (CNT, 2013b). A partir da década de 1990, é transferido ao capital privado, visando-se estimular a competitividade, possibilitando mais investimentos ao setor. Apesar de não se observar expansão da infraestrutura a partir de então, as empresas concessionárias tiveram consideráveis acréscimos em produção, indicando aumento de produtividade. Os dados indicam (CNT, 2013b) que a mudança da gestão pública para a privada, proporcionou um expressivo crescimento de carga transportada (133%), saindo de 137,2 bilhões de toneladas por km útil (TKU), em 1997, para 328 bilhões de TKU, em 2012.

O modal aquaviário, dentre os demais modais de transporte, representa aproximadamente 14% da movimentação nacional de cargas, e apresenta grande aderência aos modais rodoviário e ferroviário, sendo mais lento que estes. Quando se refere ao transporte fluvial fica limitado aos sistemas de vias aquáticas internas, geralmente exigindo outro modal de transporte como complemento ao serviço prestado por este. O Brasil dispõe de aproximadamente 21 mil Km de vias economicamente navegáveis, onde na Bahia limita-se basicamente ao emprego de barcas para o transporte de matérias-primas de baixo valor agregado no Rio São Francisco, que dos seus 2800 km de extensão, possui 1579 km de trechos navegáveis (ANTAQ, 2013b). Por sua vez o transporte marítimo nacional é classificado por navegação de longo curso (rotas internacionais) e de cabotagem (rotas pela costa), movimentando em torno de 931 milhões de toneladas anuais em seus portos públicos e terminais de uso privado (ANTAQ, 2013a). A Bahia destaca-se no contexto de transporte marítimo movimentando cerca de 32 milhões de toneladas de mercadorias por ano (CODEBA, 2014), principalmente nos portos de Salvador (grãos e cargas containerizadas, particularmente no terminal de contêineres), Aratu (graneis sólidos, petróleo e derivados, e soda cáustica) e Ilhéus (cacau e derivados), servindo de importante ligação portuária entre o norte e o sul do país.

O modal dutoviário caracteriza-se por oferecer uma reduzida possibilidade de uso do mesmo, apesar da grande confiabilidade e baixas perdas, sendo os mais comuns o transporte de petróleo e seus derivados, gás e etanol combustível, além de grãos, apesar da possibilidade de seu emprego para o transporte de minérios a médias distâncias. A empresa Bahia Mineração (BAMIN), concessionária da exploração e transporte do minério e ferro de Caetité, dispunha de plano alternativo para a construção de mineroduto para o Porto Sul, que visava implementar como opção ao modal ferroviário, caso este apresentasse dificuldades em sua construção, o que não ocorreu. O transporte dutoviário no Brasil movimenta

aproximadamente 34 mil toneladas de carga, representando 4,2% do total nacional. O transporte aéreo, por apresentar desprezível aderência aos propósitos do presente estudo, não será comentado.

Em resumo, pode-se concluir que diante de suas dimensões continentais, a situação logística nacional revela-se como um gargalo para o transporte de cargas, sendo que os modais ferroviário e aquaviário apresentam-se com enormes possibilidades de contribuir para a solução otimizada deste cenário. Estudo da FIESP (2012, p. 15), sobre carga extra na indústria brasileira, da afirma que dos R\$ 68,2 bilhões gastos com transportes, aproximadamente R\$ 13,7 bilhões estão associados à precariedade da infraestrutura logística nacional. O Complexo Logístico Intermodal Porto Sul, se estabelecido de forma eficiente, deverá contribuir significativamente para a redução das deficiências logísticas nacionais, diversificando o perfil do transporte de cargas no país, particularmente na região nordeste.

3. O COMPLEXO LOGÍSTICO INTERMODAL PORTO SUL (CLIPS)

Este empreendimento multimodal constitui-se pela Estrada de Ferro 334, também conhecida como ferrovia oeste-leste, já em construção, o porto sul e o novo aeroporto internacional de Ilhéus, este último em análise ambiental. A idealização desse complexo surgiu com o propósito de atender a demandas regionais, sobretudo ao transporte de *commodities*. De acordo com o Projeto, divulgado pela Secretaria da Indústria Naval e Portuária da Bahia -SEINP, quando concluído deverá movimentar produtos como minério de ferro, grãos (principalmente soja), etanol, algodão e materiais refratários. A ferrovia, como meio de transporte central desse complexo, tem o seu traçado estabelecido de forma latitudinal, partindo de Figueirópolis-TO para Ilhéus-BA, totalizando 1.527 km, conforme pode ser observado no mapa constante na Figura 2.



Figura 2 – Traçado da FIOLE entre a Ferrovia Norte-Sul e o Porto Sul

Fonte: VALEC. (www.valec.gov.br/acoes_programas)

No extremo ocidental desse empreendimento, há uma ligação com a Ferrovia Norte-Sul, conectando as regiões Centro-Oeste e Nordeste do país. Na ponta leste (Porto Sul)

acontece a interação entre os modais ferroviário, rodoviário e aquaviário. Esse destino final das cargas estará localizado na região de Aritaguá, ao norte da cidade de Ilhéus, sendo composto por 4 áreas, conforme consta na Figura 3, quais sejam:

1. **Porto Público:** destinado a armazenamento e movimentação de cargas diversas, áreas administrativas e operacionais;
2. **Zona de Apoio Logístico (ZAL):** constituída por pátios de armazenagem de cargas;
3. **Terminal de Uso Privativo (TUP) da BAMIN:** reservado à exportação de minério de ferro;
4. **Terminal Portuário:** píeres em uma região *offshore*, que são ligados ao retroporto (*onshore*) por uma ponte de acesso de 3,9 km, onde os produtos serão carregados nos navios, movimentados através de esteiras transportadoras e caminhões.



Figura 3 – Representação geral do Porto Sul
Fonte: BAHIA, 2011

Evidentemente que uma vez em operação espera-se que este complexo venha a facilitar o desenvolvimento regional e gerar expressivas receitas. Nesse sentido, estudo operacional da FIOCRP realizado pela VALEC (BRASIL, 2010), estima faturamento anual no complexo de acordo com o indicado na Tabela 1, sendo que o transporte do minério de ferro deve representar quase 80% do total.

Tabela 1 – Tendência de crescimento da receita (em R\$ 103)

Produto	2015	2020	2025	2035	2040
Grãos e Farelos	237.297,00	536.428,00	685.796,00	795.798,00	879.056,00
Etanol	30.820,00	187.522,00	357.651,00	415.018,00	458.438,00
Açúcar	10.642,00	46.399,00	61.548,00	71.421,00	78.893,00
Algodão	4.408,00	7.009,00	9.219,00	10.697,00	11.816,00
Minério de Ferro	1.024.990,00	1.024.990,00	1.024.990,00	1.077.275,00	1.189.982,00
Demais Produtos	32.856,00	86.098,00	122.264,00	141.875,00	156.718,00
Receita Operacional	1.341.013,00	1.888.446,00	2.261.468,00	2.512.084,00	2.774.903,00
Outras Receitas (2%)	26.820,26	37.768,92	45.229,36	50.241,68	55.498,06
Receita Total	1.367.833,26	1.926.214,92	2.306.697,36	2.562.325,68	2.830.401,06

Fonte: Ministério dos Transportes, 2010

Devido à relevância da participação do minério na viabilidade do Complexo Porto Sul, faz-se necessário analisar as operações de funcionamento da rede voltada para esse escoamento.

3.1. O TRANSPORTE DO MINÉRIO DE FERRO

Desde o carregamento dos vagões na cidade de Caetité-BA, 536 km serão percorridos até a chegada no Porto Sul, onde o minério será descarregado no Terminal de Uso Privativo (TUP) da BAMIN. Os trens serão do tipo de ciclo, dedicado ao transporte de carga específica, entre dois terminais de carga e descarga definidos, realizando repetidamente o

percurso: Carrega (Caetité) → Desloca → Descarrega (Porto Sul) → Desloca → Carrega (Caetité). Um fluxograma geral do processo de escoamento da carga de minério de ferro pela BAMIN pode ser observado na Figura 4 a seguir.

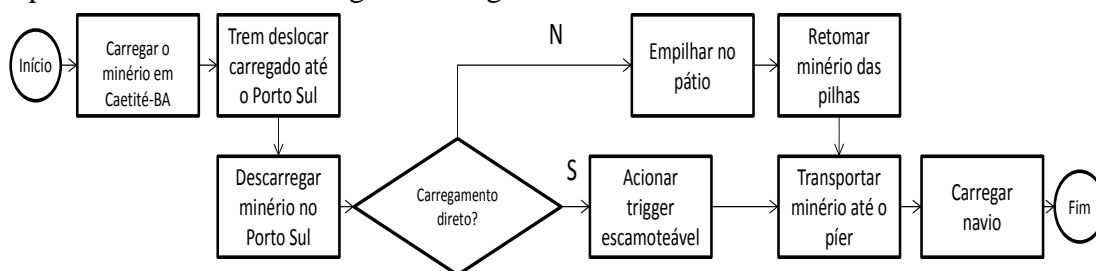


Figura 4 – Fluxograma do processo de escoamento do minério

Uma vez completado o percurso ferroviário até o porto, o processo de descarregamento do minério se inicia com o acesso do trem a um posicionador de vagões no TUP da BAMIN. Esse posicionador faz a movimentação de todo o trem sem necessidade de tração da locomotiva, de forma a dispor os vagões a serem descarregados dois a dois no virador de vagões duplo (Figura 5a). Por sua vez, o virador realiza a rotação dos vagões em torno do eixo de engate, fazendo com que o minério seja depositado num fosso que possui uma bandeja de recepção e um dosador (alimentador de sapatas). A partir da deposição na bandeja, o alimentador de sapatas controla a transferência do material descarregado para esteiras transportadoras que têm o objetivo de levá-lo para fora do fosso, atingindo outra esteira transportadora que o levará até o pátio de estocagem. No centro deste pátio, uma empilhadeira e uma coletora de minério (retomadora) se dispõem sobre uma via de rolamento, ladeada por pilhas desse produto que estarão dispostas de acordo com a sua classificação. A empilhadeira recebe o minério do transportador do pátio e com uma lança giratória e basculável, organizando as pilhas no pátio de forma cônica (Figura 5b). A retomadora (Figura 5c), por sua vez, possui uma lança, que retira o minério das pilhas de estoque com o objetivo de enviá-los para novas esteiras transportadoras que conduzirão a carga aos navios no píer.

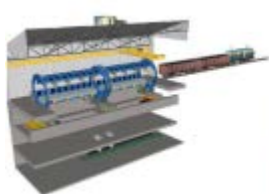


Figura 5a virador de vagões

Figura 5b Empilhadeira

Figura 5c Retomadora

Vale salientar que de acordo com a necessidade de carregamento dos navios ou lotação do pátio de estocagem de minério, o sistema de alimentação pode acontecer simultaneamente passando tanto pela estocagem do minério quanto no envio pela bandeja de recepção no virador de vagões (acionando-se um trigger escamoteável).

A próxima etapa é a condução do minério para o circuito de transportadores da linha de embarque. Para isso, um transportador intermediário alimentará um transportador de correia de longa distância, que percorrerá toda a ponte de acesso de 3,9 km, entregando o minério à última etapa, onde uma correia transportadora de lança telescópica fará o abastecimento dos navios com minério.

4. METODOLOGIA PARA MODELAGEM DO CLIPS

De modo geral, os modelos de análise de um sistema logístico multimodal envolvem estudos analítico-descritivos, simulação ou otimização. Segundo Sokolowski e Banks (2009),

as principais razões da utilização da simulação em detrimento de outras opções são: a) capacidade de fazer escolhas corretas, através do teste de diferentes cenários dentro da organização, sem comprometer recursos adicionais; b) diagnosticar problemas através da análise das interações entre as variáveis presentes em sistemas complexos, e c) identificar restrições através da revisão de atrasos no processo, informações e materiais, avaliando se essas restrições são causas ou efeitos.

As bases da metodologia para representação do sistema é similar a concebida por Banks et al (1998) - descrita em fluxograma na Figura 6 -, com o apoio do *software* comercial Arena, onde será executada uma simulação de eventos discretos. Segundo Chwif e Medina (2006), a simulação de eventos discretos é uma metodologia que leva em consideração mudanças discretas do estado do sistema ao longo do tempo, a partir da ocorrência de certos eventos.

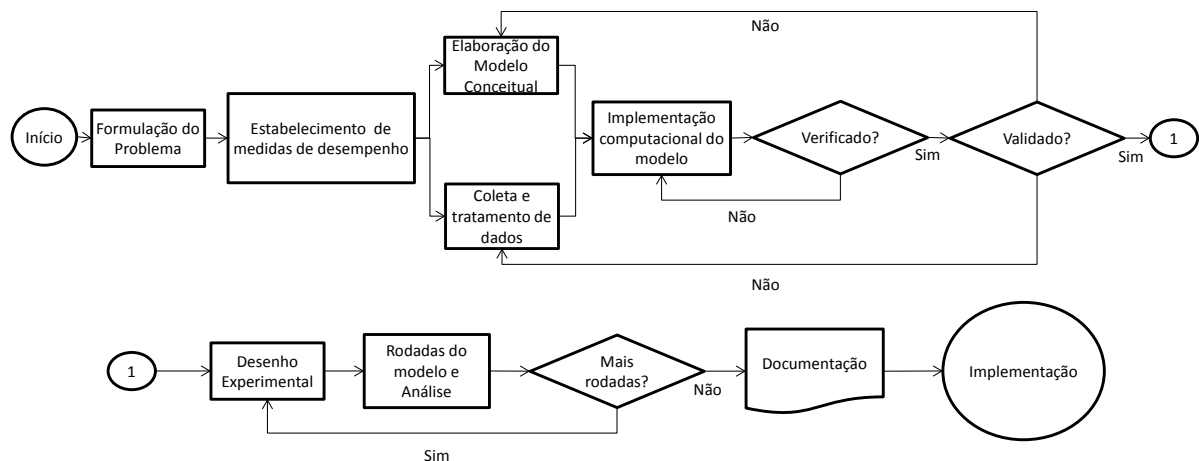


Figura 6 – Representação em fluxograma de um estudo de simulação
Fonte: adaptado de Banks et al, 1998

Partindo dessa concepção metodológica, vale salientar as contribuições de alguns trabalhos como os realizados por Marinov e Viegas (2011) e Motraghi e Marinov (2012), em modal ferroviário. O objetivo de ambas as pesquisas foi avaliar o desempenho operacional da circulação de trens a partir de duas estratégias diferentes de expedição: operação estruturada, onde existe uma programação fixa de partidas de trens, independente das cargas terem sido consolidadas ou não, e operação improvisada, na qual os trens só partem com uma tonelagem mínima, que se aproxima da capacidade máxima da malha. No primeiro trabalho, Marinov e Viegas (2011) modelaram uma operadora de fretes portuguesa e constataram que a operação estruturada forneceu um melhor desempenho em termos de menor espera e menor número de trens em filas, bem como um custo por espera em filas quatro vezes menor que numa operação improvisada. De forma similar, Motraghi e Marinov (2012) buscaram avaliar o impacto destas duas estratégias na inserção de trens de frete urbano de mercadorias leves e alto valor agregado no sistema metroviário de Newcastle, Inglaterra, entre o aeroporto e um centro urbano de consolidação de cargas. Os resultados puderam evidenciar que, apesar de um pequeno aumento no tempo de espera, a estratégia improvisada trouxe mais benefícios, observando-se uma melhor eficiência na utilização dos subsistemas analisados, permitindo um incremento de 5% a mais de trens na via, sem danos significativos à circulação. Observa-se, portanto, que a depender do contexto e dos objetivos do problema em questão, a preferência por um destes dois tipos de operação pode alterar de forma significativa.

Dentro do modal aquaviário, merecem ser mencionados os trabalhos de Kotachi et al (2013) e Esmer et al (2010). Naquele primeiro, foi realizada uma análise da movimentação de contêineres em um porto americano, transitando entre navios, caminhões e trens. Simulando um período de 100 dias, Kotachi et al (2013) constataram que melhorias na velocidade de

carregamento e descarregamento de trens e caminhões conseguiram reduzir significativamente o tempo de fluxo total de contêineres pelo sistema, sendo esta a alternativa menos onerosa e mais eficiente para se atingir este objetivo. Esmer et al (2010), motivados pelas filosofias *lean* e *green* de gestão, sugeriram algumas alternativas em seu modelo, visando a eliminação de atividades que não agregavam valor ao processo e no emprego de esforços para minimizar os impactos ambientais negativos de um porto na região de Marmara, na Turquia. Deste modo, concluíram que uma redução da proporção do número de caminhões e um aumento de 10% na velocidade dos pátios poderia cumprir com estes dois objetivos, uma vez que as cargas poderiam ser processadas com menos recursos e com uma menor emissão de gases estufa na atmosfera.

De forma detalhada, as etapas da construção de uma metodologia de simulação de eventos são descritas a seguir.

4.1. MEDIDAS DE DESEMPENHO

Os indicadores de desempenho do sistema em estudo são:

- número médio de trens(vagões)/navios nos sistemas de fila;
- tempo médio de espera nestes sistemas;
- taxa de utilização dos recursos que servem os trens/navios;
- custos associados à esperara pelo serviço e a infraestrutura alocada aos mesmos.

Este último indicador, os custos totais, são decisivos para a tomada de decisão, sendo fundamental que sejam minimizados. Considerando-se que aumentar a disponibilidade de infraestrutura de atendimento às composições ferroviárias promove também aumento nos custos de oferecê-las, apesar de diminuir os custos da espera pelo serviço (custo do trem parado), sugere-se calcular a oferta ótima dos serviços de carga e descarga das composições de modo a minimizar os correspondentes custos totais, conforme pode ser observado no gráfico da Figura 7, abaixo:

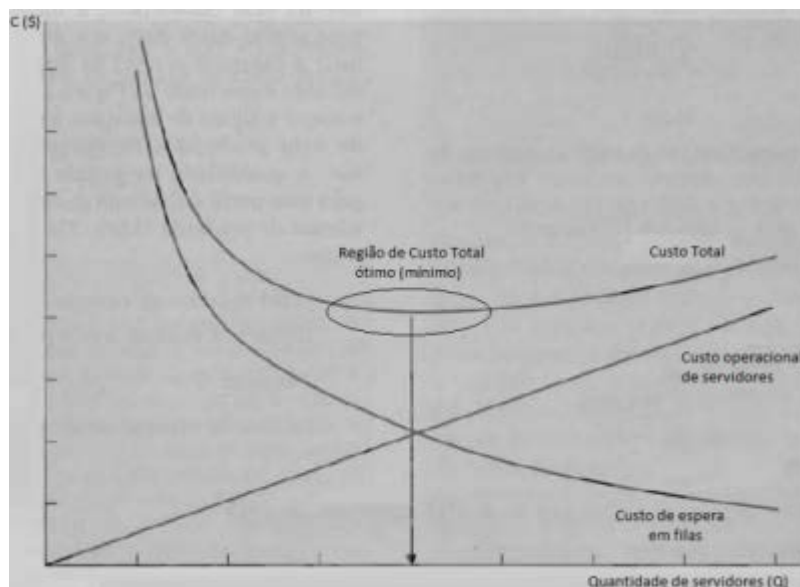


Figura 7 – Representação da curva de custo total e região ótima de custo total

Fonte: Adaptado de Slack et al (2002, p. 389)

Os indicadores esperados (simulados) em cada estado do sistema, em função das taxas de chegada e de serviço dos trens, serão úteis para a tomada de decisão das políticas de movimentação do minério em todo o complexo logístico, desde a carga na mineradora até o descarregamento no porto, sendo fundamental para indicar, dentre outros, itens tais como:

- quantidade de pátios de cruzamento;

- ii. quantidade de equipamentos de carga e descarga;
- iii. tempo de espera das composições ferroviárias.

Esta simulação também poderá ser útil para se prever possíveis gargalos em todo o complexo logístico, principalmente para o tempo de espera e número de navios em espera para carregamento no porto sul e os correspondentes custos, visto que esta variável está fora dos domínios do CLIPS, cuja minimização é importante fator de competitividade internacional.

4.2. ELABORAÇÃO DO MODELO CONCEITUAL

O presente trabalho, em fase inicial, vem sendo realizado a partir de análises da concepção técnica do complexo multimodal, com base no projeto patrocinado pelos governos federal e estadual. Adotou-se, como plano de estudos, uma pesquisa exploratória de acordo com o princípio da decomposição hierárquica, com base no IDEF - *Integrated Computer Aided Manufacturing Definition* (YOURDON, 1990), onde o fluxo de informações existente entre cada etapa do CLIPS foi mapeado, possibilitando uma visão gradativa do processo, conforme já demonstrado (Figura 3). A construção do modelo propõe configurar as interações entre os meios de transporte das cargas e os recursos de infraestrutura através de um diagrama de fluxo que identifica (por símbolos) os processos de chegada, atividades, filas, pontos de decisão (condicionais) e processos de saída.

4.3. COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

Propõe-se quantificar a movimentação dos trens a partir do levantamento de suas taxas de chegadas às estações de serviço (ou tempo entre chegadas), bem como da duração de cada serviço. As contagens e medidas de tempo devem ocorrer nos pontos de carregamento e descarregamento, pátios, cruzamentos, abastecimentos e oficinas de manutenção, dentre outros. Considerando-se que o CLIPS ainda não opera, planeja-se obter dados de funcionamento equivalentes de acordo com estudos operacionais e de viabilidade constantes no projeto, além de dados de outras operadoras ferroviárias já existentes - ALL, MRS e FCA.

Segundo Chwif e Medina (2006) faz-se necessário depurar estatisticamente os dados coletados, visando dar consistência à validação do modelo (filtrando ruídos/outliers, testando correlações entre as medidas e as contagens, e levantar o padrão estatístico do sistema logístico) recomendando aplicar as seguintes técnicas: 1) estatísticas descritivas de posição e dispersão (eliminação de dados discrepantes, outliers extremos) dando suporte à técnica de extração de valores extremos da amostra, com a ajuda de gráfico box-plot. Destaca-se que outliers extremos são aqueles relativos a uma distância de 3 vezes o intervalo interquartil ($Q_3 - Q_1$) em relação ao primeiro quartil. 2) Para a avaliação da ocorrência de correlação, cada observação de ordem k será comparada com a posterior $k+1$ em um gráfico X_{k+1} vs X_k . O comportamento do gráfico permitirá inferir se existe a presença de tendências visíveis dos dados de acordo com a ordem de coleta. 3) A análise do comportamento dos diversos componentes do sistema poderá ser efetuada através de testes de aderências de frequências observadas a frequências teóricas como o Qui-Quadrado e Kolmogorov-Smirnov, por meio de planilhas eletrônicas.

4.4. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DO MODELO

Para a implementação computacional do modelo será utilizado o software Arena, que permitirá a execução da simulação. A função dessa ferramenta é associar o modelo conceitual e seus dados coletados e tratados num ambiente virtual que conterá o fluxo desse processo (como o exemplo da Figura 8). Cada bloco representado no fluxograma tem uma função específica que é identificada com um comando na linguagem de programação, contendo as características estatísticas do processo.

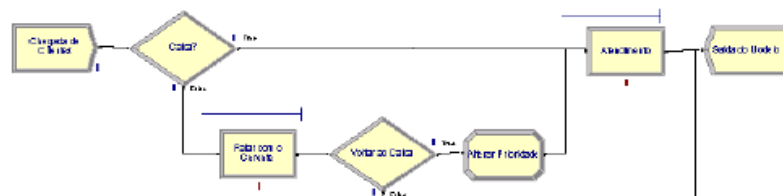


Figura 8 – Exemplo de fluxo do processo no Arena

A simulação acontece pela execução de uma rodada do modelo que, por sua vez, é composto por uma quantia de replicações definidas previamente pelo usuário. Cada replicação é uma repetição da simulação com a mesma configuração de parâmetros de entrada, mas com uma semente de geração de números aleatórios diferentes, o que ocasiona diferentes valores de uma variável de saída para cada replicação. O valor da variável de uma rodada da simulação é calculado, portanto, pelo valor médio obtido de todas as replicações.

4.5. VALIDAÇÃO E VERIFICAÇÃO DO MODELO

A validação do modelo diz respeito à verossimilhança da representação construída. Essa validação é classificada em conceitual (comparação do modelo conceitual com o sistema real) e operacional (comparação do modelo computacional com o sistema real). A verificação, por sua vez, trata-se da análise da implementação computacional, avaliando a correspondência dessa tradução com o modelo conceitual.

A técnica de validação a ser utilizada será do tipo “face-a-face”, que consiste na avaliação da representatividade do modelo construído em relação ao sistema real com profissionais e especialistas sobre o sistema em análise. De forma acessória, algumas análises de sensibilidade visando avaliar resultados prováveis da alteração de variáveis significativas (por prévio conhecimento teórico e por analogia com sistemas existentes) serão realizadas, possibilitando avaliar as respostas a essas alterações. No processo de verificação será realizada uma implementação modular (sistema funcionando em partes), de forma a permitir a conferência do modelo computacional com o conceitual por subsistema implementado, garantindo a precisão desse processo através de uma visualização mais detalhada. Outras técnicas poderão servir de apoio a essa primeira, como a animação gráfica existente no Arena - que possibilita observar o funcionamento modelo computacional através do tempo - e utilização de valores constantes ou simplificados para comparar com valores obtidos via métodos analíticos como teoria das filas.

4.6. DESENHO EXPERIMENTAL E ANÁLISE DE RODADAS

Segundo Banks et al (1998), sabendo-se que o modelo é válido para representar o sistema, o desafio passa a ser a comparação entre os diferentes cenários operacionais gerados pela ferramenta de simulação. A intenção é comparar, a partir de uma variável de saída de interesse (Y), se há diferença entre os valores \bar{Y}_1 e \bar{Y}_2 , obtidos de duas políticas operacionais distintas através de um teste t de Student. Para o caso do número de replicações para ambos cenários ser igual ($n_1 = n_2$), deve-se construir um intervalo I de confiança (a uma significância α) para a média \bar{d} das diferenças $d_i = Y_{1i} - Y_{2i}$ e inferir, a $(1 - \alpha)\%$ de probabilidade, os seguintes raciocínios para as determinadas alternativas: a) se o intervalo I contiver o valor 0 (zero), nada pode ser concluído sobre a diferença entre as duas políticas; b) se I cair totalmente à direita de 0, então $\bar{Y}_1 > \bar{Y}_2$ e c) se I estiver totalmente à esquerda de 0, então $\bar{Y}_2 > \bar{Y}_1$.

As mesmas conclusões podem ser obtidas através dessa lógica para o caso em que $n_1 \neq n_2$. Entretanto, o intervalo de confiança deve ser obtido através da expressão

$[\bar{d} - t_{v, \alpha/2} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}; \bar{d} + t_{v, \alpha/2} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}]$, onde v são os graus de liberdade, que pode ser calculado pela equação $v = \frac{(s_1^2/n_1 + s_2^2/n_2)^2}{[(s_1^2/n_1)^2/n_1 - 1] + [(s_2^2/n_2)^2/n_2 - 1]}$.

Vale salientar que para os casos em que a complexidade de comparações aumenta, como o confronto de três ou mais níveis diferentes de um único fator (variável de interesse) ou dois ou mais níveis de dois ou mais fatores, as técnicas de desenho experimental se especificam e deverão ser empregadas de acordo com a circunstância a que o estudo se destinar.

Uma vez que os dados de saída fazem parte da simulação de um sistema estocástico, eles terão, por natureza, uma variação randômica. Desta forma, uma análise de dimensionamento de rodadas deve acontecer para determinar um intervalo de confiança para essas variáveis, através de um número mínimo de replicações de uma rodada da simulação computacional. Pretende-se, então, encontrar um intervalo I , tal que $P(\bar{Y} - h \leq I \leq \bar{Y} + h) = 1 - \alpha$, onde: \bar{Y} é a média dos valores das n observações (replicações) dos dados Y , h é a precisão da metade do intervalo, dada por $h = t_{n-1, \alpha/2} \frac{s}{\sqrt{n}}$, $t_{n-1, \alpha/2}$, o percentil $(1 - \alpha/2)$ da distribuição t de Student com $n-1$ graus de liberdade, s , o desvio padrão da amostra e α , o nível de significância da amostra.

4.7. FORMULAÇÃO E DOCUMENTAÇÃO DAS PROPOSTAS DE MELHORIA

A partir das comparações realizadas de políticas e estratégias de movimentação de cargas pelo complexo multimodal, propõe-se gerar a documentação das propostas com os resultados obtidos de diferentes cenários elaborados, devendo constar a técnica de desenho experimental empregada e a memória de cálculo para apreciação dos interessados no projeto.

5. RESULTADOS ESPERADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ganhos esperados da condução de um estudo de simulação bem executado, com uma modelagem validada e dados representativos acerca do sistema, podem ser diversos. Destaca-se a possibilidade da medição do desempenho global com variados *layouts* de infraestrutura modal, diferentes quantidades de recursos (composições ferroviárias, máquinas portuárias, caminhões, dentre outros) e planos de movimentação, sem a necessidade de testar essas alterações no sistema real, o que deverá favorecer a tomada de decisão otimizada do CLIPS. Além disso, espera-se estabelecer a continuidade da utilização desse estudo aos responsáveis pela operação da malha através da criação de uma plataforma para o teste de novos cenários. Finalmente, no campo científico, motivar análises mais aprofundadas no tema que tenham a perspectiva de viabilizar o empreendimento, bem como a idealização de novas alternativas logísticas que venham suprir demandas emergentes na região e no país.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BAHIA (Estado). Secretaria de Infraestrutura. **Estudo de Impacto Ambiental Porto Sul, Tomo I: Caracterização do empreendimento**. Salvador, 2011, 460 p.
- [2] BANKS, J. **Handbook of Simulation: Principles, Methodology, Advances, Applications and Practice**, 1ª edição, Ed. Jerry Banks, New York: John Wiley and Sons. 1998.
- [3] BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Anuário Estatístico do Transporte Aquaviário 2013**. 2013a. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/Portal/Anuarios/Anuario2013/40.htm>>. Acesso em 20/03/2014.

- [4] BRASIL. Agência Nacional de Transportes Aquaviários. **Relatório Executivo - Baía do São Francisco**. 2013b. Disponível em: <<http://www.antaq.gov.br/portal/PNIH/BaciaSaoFrancisco.pdf>>. Acesso em: 20/03/2014.
- [5] BRASIL. Ministério dos Transportes. VALEC Engenharia, Construções e Ferrovias. **Volume I - Estudo Operacional da Ferrovia de Integração Oeste Leste EF-334**. 2010. Disponível em: <<http://www.valec.gov.br/FerroviasEstudos.php>>. Acesso em: 21/11/2013.
- [6] CHWIF, L., MEDINA, A. C. **Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria e Aplicações**. 2ª edição. São Paulo: Editora Bravarte. 2007.
- [7] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE-CNT. **Boletim Estatístico – setembro de 2013**. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Paginas/Boletins_Detalhes.aspx?b=3>. 2013a. Acesso em: 20/11/2013.
- [8] CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE-CNT. **Transporte e Economia – O Sistema Ferroviário Brasileiro**. Disponível em: <http://www.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Transporte_e_economia_-_o_sistema_ferrovuario_brasileiro_.pdf>. 2013b. Acesso em: 20/11/2013.
- [9] COMPANHIA DE DOCAS DO ESTADO DA BAHIA (CODEBA). **Estatística Portuária**. Disponível em: <http://www.codeba.com.br/eficiente/sites/portalcodoba/pt-br/site.php?secao=estatistica_portuaria&sm=menu_esquerdo_estatistica_portuaria>. 2014. Acesso em: 19/03/2014.
- [10] ESMER, S. et al. A Simulation for Optimum Terminal Truck Number in a Turkish Port Based on Lean and Green Concept. **The Asian Journal of Shipping and Logistics**, 26, pp. 277-296, 2010.
- [11] FIESP. Departamento de Competitividade e Tecnologia. **Carga Extra na Indústria Brasileira, Parte 2: Custos com Logística**. São Paulo, 2012, 16 p.
- [12] KOTACHI, M. et al. Simulation Modeling and Analysis of Complex Port Operations with Multimodal Transportation. **Procedia – Computer Science**, 20, pp. 229-234, 2013.
- [13] MARINOV, M., VIEGAS, J. A Mesoscopic Simulation Modelling Methodology for Analyzing and Evaluating Freight Train Operations in a Rail Network. **Simulation Modelling Practice and Theory**. 19, pp. 516-539, 2011.
- [14] MOTRAGHI, A., MARINOV, M. Analysis of Urban Freight by Rail Using Event Based Simulation. **Simulation Modelling Practice and Theory**. 25, pp. 73-89, 2012.
- [15] SLACK et al. **Administração da Produção**. 2ª edição. São Paulo: Editora Atlas S.A. 2002.
- [16] SOKOLOWSKI, J. A. e BANKS, C. M., **Principles of Modeling and Simulation: a Multidisciplinary Approach**, Hoboken: John Wiley and Sons, 2009.
- [17] YOURDON, E. **Análise estruturada moderna**. São Paulo. Ed. Campus, 3ª ed., 1990.