

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE UM MODELO DE SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO FERROVIA-PORTO NA CADEIA DO MINÉRIO DE FERRO¹

Dennis T. Cremonese²

Marco De Amicis³

Giorgio de Tomi⁴

Resumo

Este estudo descreve uma metodologia para modelagem e análise de um sistema integrado englobando a Estocagem de Produtos de Minério de Ferro na mineração, o Transporte Ferroviário e Operações Portuárias. Na ferrovia, mostra-se a análise por setores, que diagnostica os trechos e pátios conjuntamente, permitindo encontrar os gargalos da via de maneira eficiente. No porto, mostram-se os efeitos da alteração do número de materiais armazenados. Ao final, conclui-se que, com um modelo integrado envolvendo todas as áreas do empreendimento, pode-se atingir a visão global deste, permitindo uma melhor tomada de decisões, evitando custos desnecessários.

Palavras-chave: Simulação Dinâmica. Modelo Integrado Ferrovia-Porto. Cadeia do Minério de Ferro.

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF A INTEGRATED RAIL-PORT SIMULATION MODEL IN THE IRON ORE SUPPLY CHAIN

Abstract

This study describes a methodology for modeling and analysis of a integrated system encompassing Iron Ore Products Storage at the Mine, the Rail Transport and the Port Operations. In railroad, it is shown the analysis by sectors, which diagnoses the tracks and sidings together, allowing find the bottlenecks of the rail efficiently. At the port, it is shown the effects of changing the number of stored materials. It is concluded that, with an integrated model involving all areas of the enterprise, it is possible to achieve its overview, enabling making better decisions, avoiding unnecessary costs.

Key words: Dynamic Simulation. Rail-Port Integrated Model. Iron Ore Supply Chain.

¹ 32° Seminário de Logística, 18 a 21 de Junho de 2013, Volta Redonda, RJ, Brazil

² Engenheiro de Minas, Brazil Lead – Dynamic Simulation Group, DYNAMINE, São Paulo, Brasil.

dennis.travagini@dynamine.com.br

³ Engenheiro Naval, Dynamic Simulation Specialist - Iron Ore, HATCH, São Paulo, Brasil. *mamicis@hatch.com.br*

⁴ Engenheiro de Minas, Pesquisador pelo LAPOL e Professor Doutor da Escola Politécnica da USP, São Paulo, Brasil, *gdtomi@usp.br*

1 INTRODUÇÃO

O Plano de Aceleração do Crescimento (PAC), criado em 2007 pelo governo federal, envolve investimentos de centenas de bilhões de reais, incluindo a expansão de 56 empreendimentos da malha ferroviária, sendo 2.672 km em andamento, para permitir a ligação de áreas de produção agrícola e mineral a portos, indústrias e mercado consumidor, bem como, investimento em 71 empreendimentos em 23 portos brasileiros para ampliar, recuperar e modernizar as estruturas visando uma redução nos custos logísticos, melhora da eficiência operacional, aumento da competitividade das exportações e incentivo ao investimento privado^(1, 2).

Há obras de dragagem de aprofundamento de infraestrutura portuária, de inteligência logística e de terminais de passageiros^(1, 2).

Estes investimentos governamentais somados aos investimentos privados abrem grandes oportunidades de crescimento. Entretanto com a queda do preço do ferro, devido ao aumento de produção e a perspectiva de desaquecimento da demanda por aço da China, nota-se que empresas, como a VALE, reduzam investimentos e adiem projetos^(3,4), mostrando que os recursos futuros a serem aplicados necessitam ser investidos de maneira mais eficiente possível.

Para conseguir esta eficiência máxima, é necessário ter uma visão global do empreendimento e sua análise através do tempo, desta forma a simulação dinâmica de um modelo integrado, que envolva todos os sistemas de um empreendimento se torna uma ferramenta ideal

Vários estudos de simulação dinâmica foram realizados em sistemas isolados, como a ferrovia ou operações de embarque de produtos no navio, entretanto há falta de estudos que englobem um modelo integrado da estocagem de produtos da mina até a saída dos navios carregados do porto, passando pelo transporte ferroviário.

Estudos independentes são inapropriados nos terminais atuais, visto que o sistema ferroviário e portuário não são mais interligados por grandes estocagens, o que gera um erro na estimativa da capacidade real, tendo em vista que atrasos em uma área propagam-se em toda a cadeia, o que normalmente não é levado em conta neste tipo de estudo. Devido a isso, este trabalho desenvolve uma metodologia de modelagem deste sistema integrado e da sua análise.

Em uma época em que o ciclo de mineração começa a ser desfavorável, um planejamento adequado de investimentos e diminuição dos custos operacionais são essenciais. Para atingir estas metas é necessário uma visão global do empreendimento e sua análise através do tempo, com isso a simulação dinâmica é a ferramenta ideal para este estudo.

O modal ferroviário corresponde a 20% na matriz do transporte de cargas no Brasil, sendo que em 2008 o sistema transportou 426,5 milhões de toneladas úteis de carga, 1,55 milhões de passageiros/ano no interior e 7,5 milhões de passageiros/dia no subúrbio⁽⁵⁾.

Historicamente, terminais de minério de ferro e carvão foram projetados com um estoque considerável entre recepção e carregamento do navio. Isto é, produto era entregue no porto significativamente antes da chegada do navio. A função da estocagem era de desconectar a operação de entrega do sistema (muitas vezes por trem) da operação de carregamento de navio. Entretanto, esta operação requer uma significativa quantidade de espaço de estocagem, tipicamente de 5 a 10% do volume de exportação anual⁽⁶⁾.

Atualmente, muitos terminais estão limitados em área e não podem mais expandir seus espaços de estocagem para alcançar aumento da demanda. Mudando a operação de estocagem para um sistema de entrega “na hora”, permite-se aumento de exportação para um determinado espaço de estocagem. Uma operação deste tipo também pode resultar em um aumento da eficiência dos custos do terminal. Entretanto, a integração próxima requerida entre o sistema ferroviário e o terminal marítimo cria desafios significativos para a operação, e complicações na análise de capacidade e gargalos⁽⁶⁾.

Diversos estudos de simulação dinâmica já foram realizados e publicados para sistemas isolados, entretanto, poucos para um modelo integrado que envolva a estocagem do produto na mineração até exportação por navios, passando por uma ferrovia.

Um exemplo de como um modelo integrado é necessário para se estimar o número e capacidade dos equipamentos, é o cálculo do número de viradores de vagões em um porto. Ao considerar apenas as operações portuárias, pode-se subestimar o número necessário de equipamentos, entretanto ao considerar as condições de toda a via férrea e seu tráfego, é possível observar efeitos que não estavam sendo previstos, como a necessidade de mais equipamentos devido a paradas pontuais na ferrovia.

Outro exemplo é a disputa de recursos, como máquinas de pátio compartilhadas por viradores de vagões e carregadores de navios, que fornecem valores não intuitivos. Fornecer respostas já conhecidas não é a ideia da simulação, mas sim, dar visibilidade a informações ou conflitos despercebidos.

Um modelo integrado do sistema, permite um sequenciamento de investimento que diminua os riscos do empreendimento, otimizando-o e aumentando a produtividade do capital.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Metodologia de Simulação

Uma das chaves para o sucesso de um estudo de simulação é seguir uma metodologia completa de uma forma organizada e bem administrada. Uma metodologia abrangente e disciplinada permite que modelos complexos sejam construídos rapidamente e com precisão para o máximo benefício. Devido à natureza iterativa da metodologia, a qual não segue necessariamente a sequência listada abaixo, fazendo com que algumas atividades possam ser realizadas simultaneamente e/ou repetidas, mas a ideia inicial do fluxo do estudo de simulação é representada na Figura 1 ^(7, 8, 9, 10).

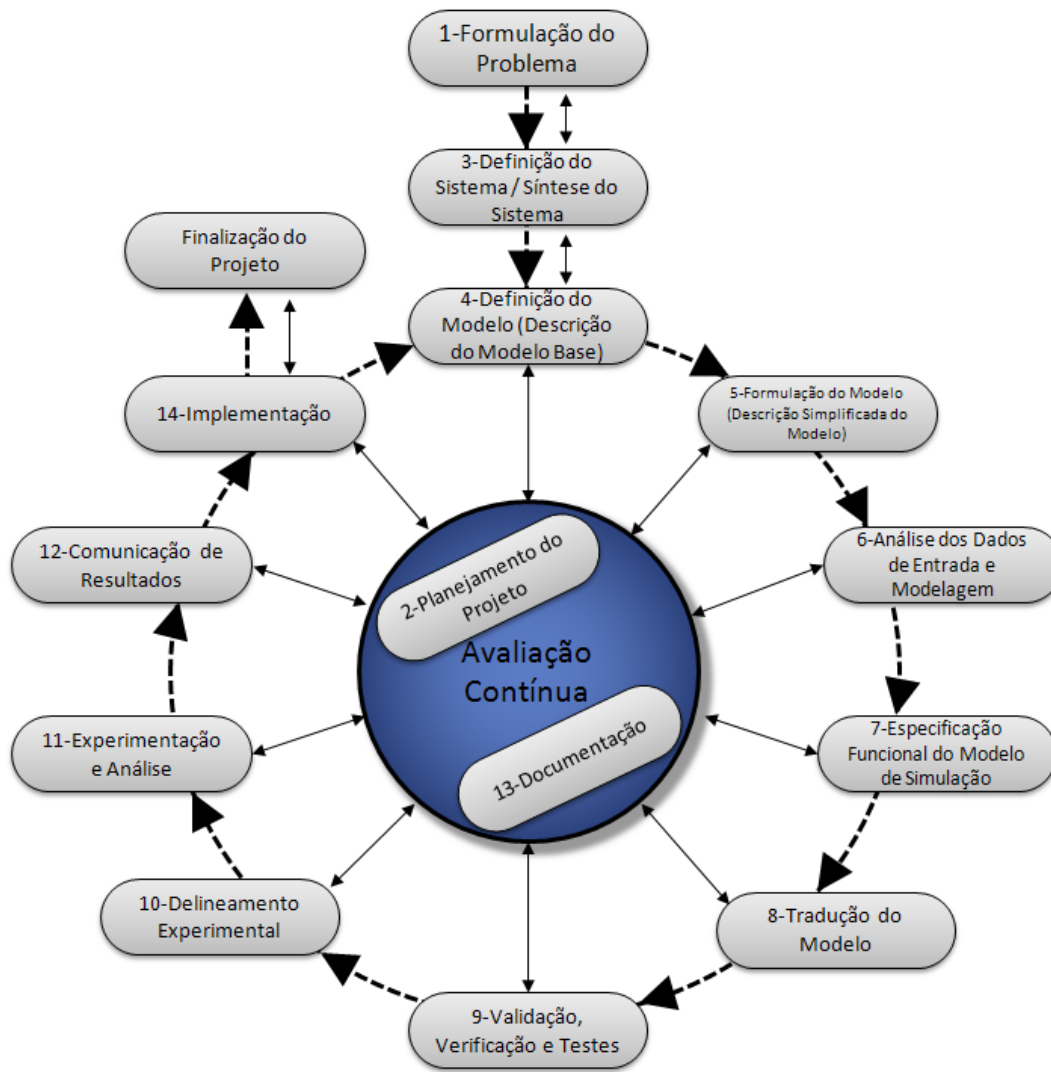


Figura 1 - Fluxo da Metodologia da Simulação

2.2 O modelo estudado

O objetivo do modelo foi desenvolver um estudo de simulação logística para o empreendimento composto por três grandes sistemas que são: a mineração, o transporte ferroviário e a operação portuária, considerando:

- **Mineração:** engloba o processo de extração do minério na mina, passando pelo processo de beneficiamento e finalizando no carregamento dos produtos no trem;
- **Transporte Ferroviário:** tem como principal objetivo transportar os produtos do minério de ferro do terminal de carregamento ferroviário na área de mineração até a descarga no terminal portuário;
- **Operação Portuária:** a operação portuária inicia-se no descarregamento dos produtos do trem, passando pela estocagem em pilhas longitudinais e finalizando no carregamento de navios.

2.2.1 Ferrovía

A configuração básica da ferrovia, representada na Figura 2, é de 138 estações na linha ferroviária principal de aproximadamente 1700 km de extensão, sendo destes 85 estações por linha singela de ~1500 km e 53 estações de trecho duplo de ~200 km.

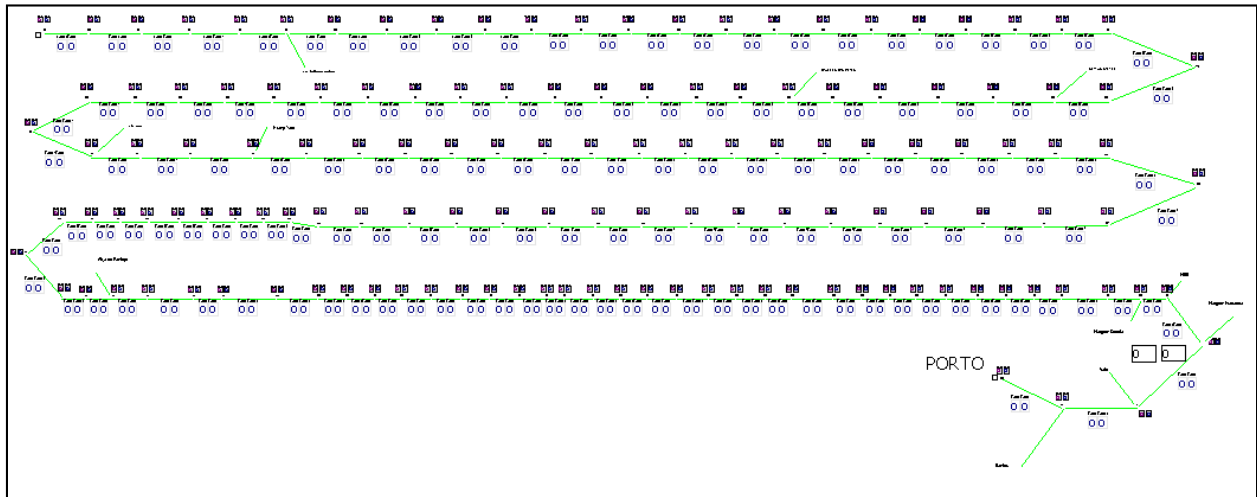


Figura 2 – Configuração Básica da Ferrovia representada pelo modelo

2.2.2 Porto

A configuração básica do porto é representada na Figura 3, que possui:

- Dois berços com um Carregador de Navios cada;
- Dois viradores de Vagões;
- Três máquinas de pátio (empilhadeira/recuperadora combinada);
- Transportadores de correia;
- Pilhas de estocagem para três produtos.

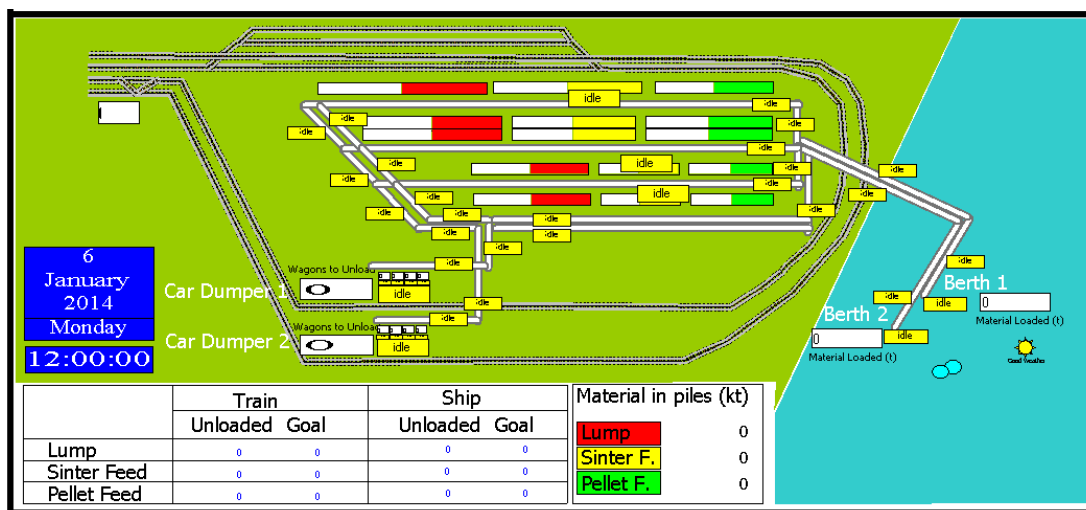


Figura 3 – Configuração Básica do Porto

Este sistema tem como principal objetivo estocar e exportar os produtos de minério de ferro proveniente da mina. Este sistema foi subdividido em três subsistemas (recebimento, pátio e expedição), conforme representado na Figura 4.

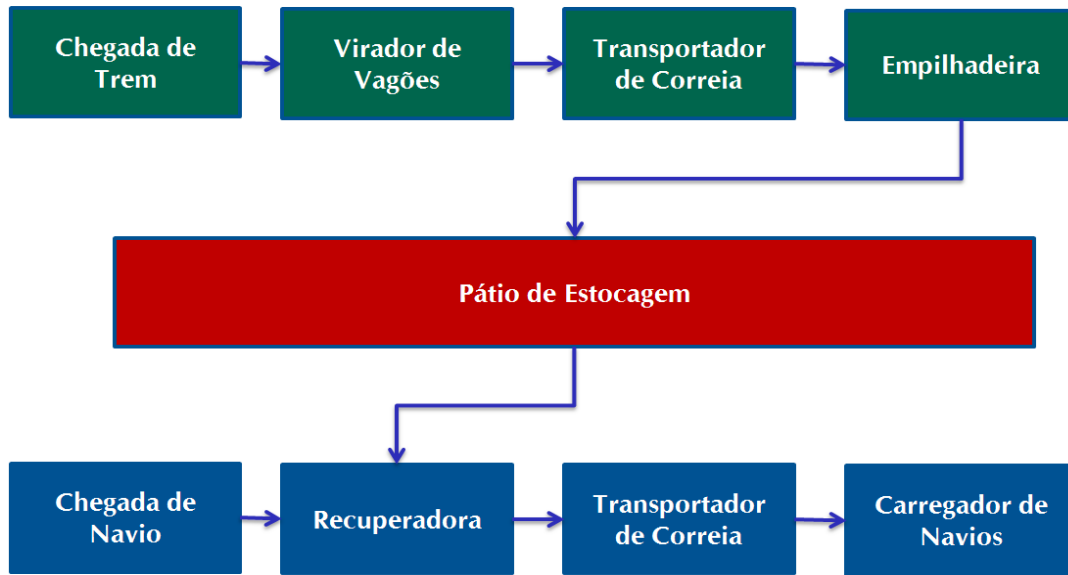


Figura 4 – Subsistemas do Porto

3 RESULTADOS

Os principais pontos de análise para uma operação contínua do sistema ferrovia-porto são apresentados a seguir.

3.1 Utilização da capacidade da Ferrovia

A capacidade de um trecho varia de acordo com o layout, volume de tráfego, condições operacionais e nível de serviço esperado⁽¹¹⁾, mostrado na Figura 5.

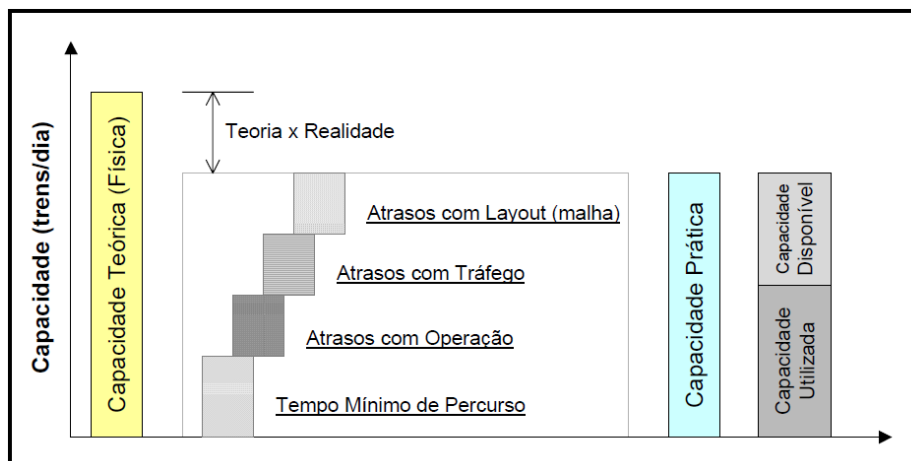


Figura 5 – Medidas de Capacidade Ferroviária (Fonte: Chrispim, 2007)

Os dados de utilização da capacidade da ferrovia refletem quanto tempo um trem permanece num pátio ou num trecho da ferrovia. Quando a utilização da capacidade dos pátios encontra-se próximo a zero, significa que a maior parte dos trens não para naquele pátio. No entanto, os trechos não apresentam valores iguais a zero, pois a

ocupação de um trecho é dado pelo tempo que todos os trens levam para percorrê-lo, em relação ao tempo total da simulação.

A Figura 6 mostra a utilização das capacidades dos nós, apenas para os trens em direção ao terminal portuário. Este gráfico apresenta picos de ocupação em estações próximas a pontos de troca de equipe e pontos de parada para abastecimento, por exemplo os pátios 26 e 51.

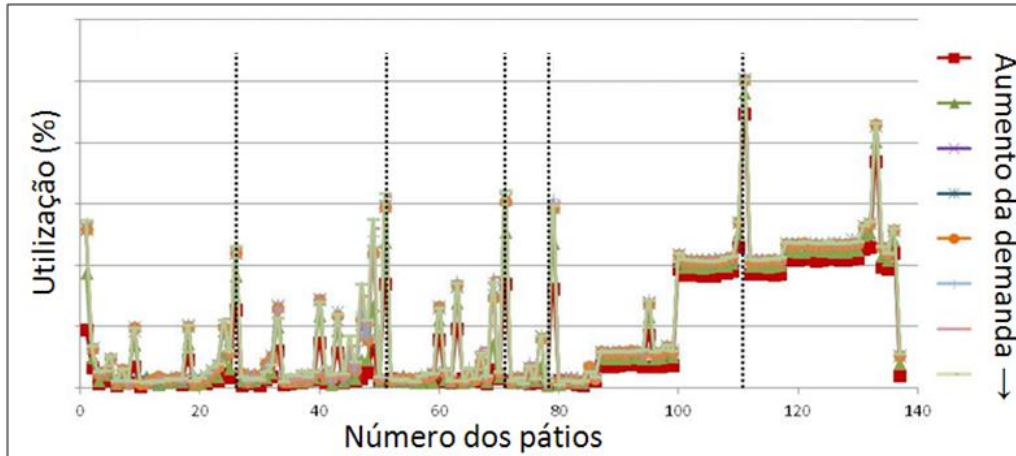


Figura 6 – Utilização da capacidade dos pátios pelos trens carregados

A Figura 7 mostra a utilização da capacidade dos pátios dos trens indo no sentido para mina. Esta figura é muito diferente da anterior, pois os picos de maior utilização são menos definidos e conforme a produção transportada aumenta, mesmo mantendo o número de trens em circulação, os picos começam a se unir, formando grandes blocos de elevada ocupação. Os picos devido ao transporte de menor demanda são causados pelos pontos de troca de equipe e abastecimento ou por confluência de fluxos ou por trechos extensos. Por exemplo, os pátios 5, 26, 31 e 134 são locais onde ocorre a entrada e a saída de trens; Os pátios 39, 26, 79 e 111 são pontos de abastecimento e/ou troca de equipe. Os pátios 57 e 84 são pátios que precedem trechos de grandes extensões, cujo tempo de percurso ultrapassa 30 minutos.

Quando a produção é aumentada, os picos de utilização deixam de ser pontuais, o que forma um bloco de elevada utilização devido à propagação das filas. Nestas situações os tempos totais dos ciclos aumentam e a produtividade dos trens diminui, uma vez que eles param em mais pátios e esperam mais tempo em cada parada.

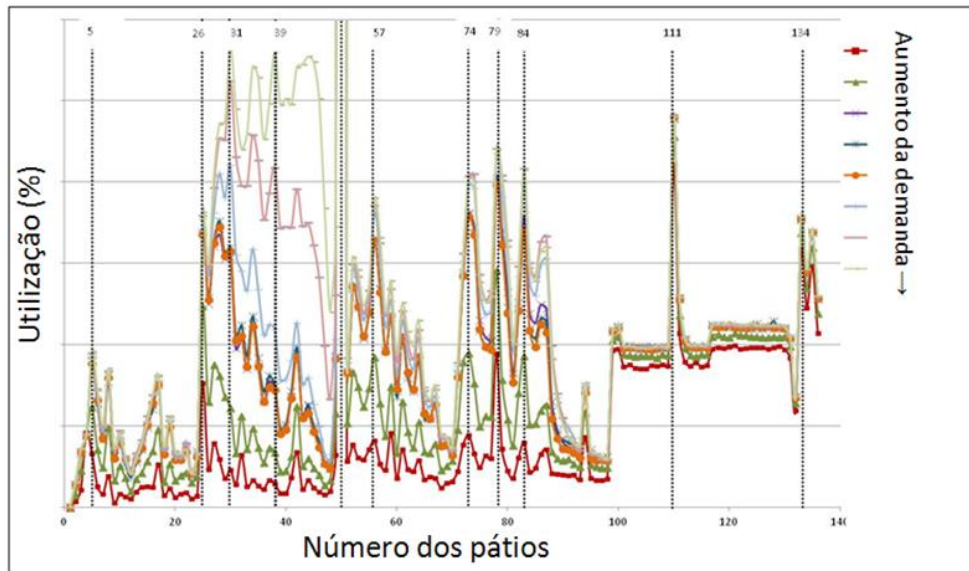


Figura 7 – Utilização da capacidade dos pátios pelos trens descarregados

Pelos resultados mostrados na Figura 7, relativos à utilização do nó 43 variando a quantidade anual transportada, é possível verificar que até aproximadamente X Mtpa a utilização cresce linearmente com o aumento da produção. Após este ponto a taxa de utilização aumenta exponencialmente evidenciando a saturação da via.

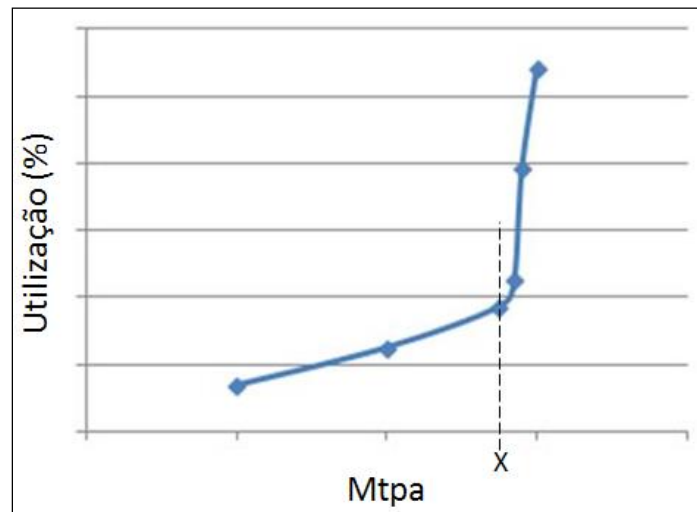


Figura 8 – Ocupação do pátio 43 para os trens no sentido para a mina

A Figura 9 mostra a utilização da capacidade dos trechos de via singela, ou seja, dos tempos que os trens utilizam o trecho em relação ao total. O Pátio 85, além de ter o trecho seguinte para os trens no sentido mina de extensão elevada, é um ponto de alta utilização da capacidade pois é o local onde a via deixa de ser singular e passa a ser dupla. Os trens que se locomovem no sentido para mina, esperam a montante deste ponto na via dupla para entrar na via simples, causando uma fila para passar por este trecho e aumentando sua utilização. Os trechos ressaltados pelos números 55, 76 e 82 apresentam elevadas extensões cujos tempos de percurso são superiores a 30 minutos.

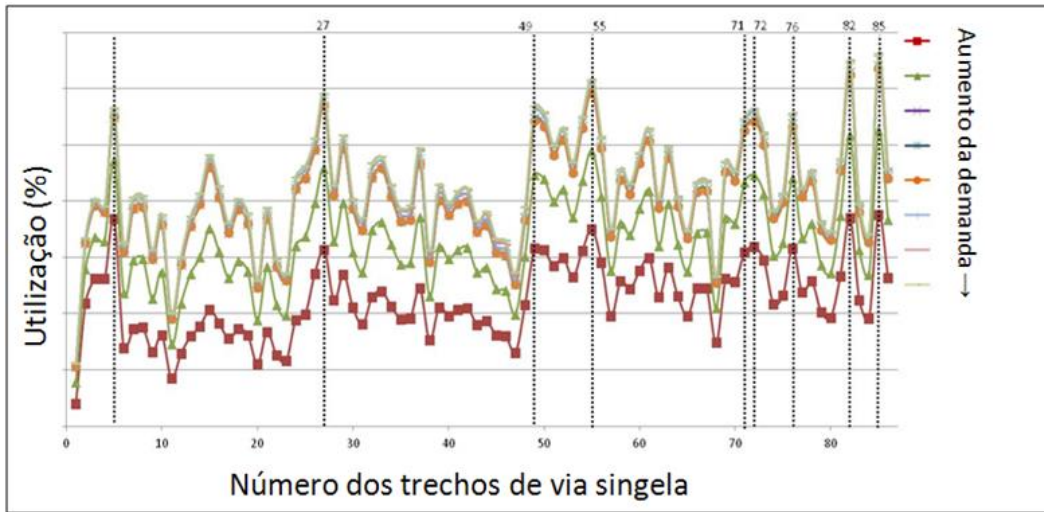


Figura 9 – Ocupação dos trechos de via singela

Para verificar os locais mais utilizados, considerando pátios e trechos, criou-se os “setores”, definidos neste estudo como sendo um trecho em questão somados à metade do tempo que o trem permanece nos pátios que tendem a entrar no trecho, conforme Figura 10. A Figura 11 contém os resultados obtidos utilizando esta abordagem.

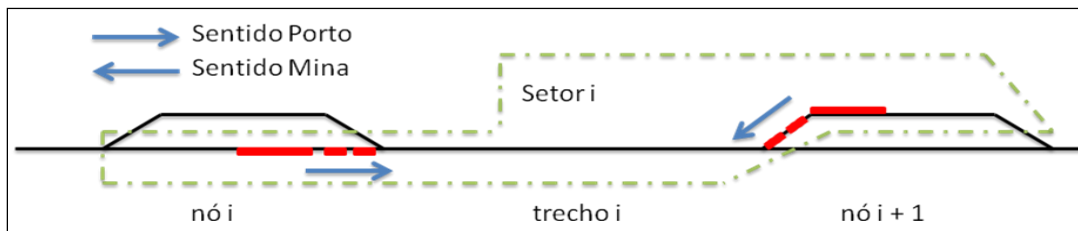
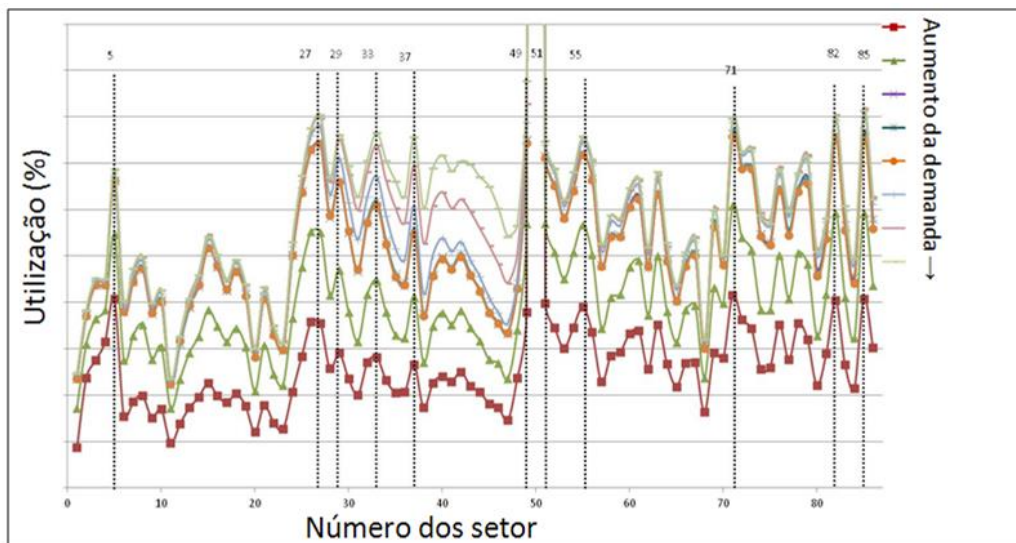


Figura 10 – Configuração de um setor



$$*Setor [(trecho i) + (nó i \text{ na direção porto}) + (nó i+1 \text{ na direção mina}) / 2]$$

Figura 11 – Utilização dos setores*

Para o comportamento da ferrovia é possível verificar, pelos resultados obtidos, que os fatores que provocam maiores utilizações são: (i) a confluência de fluxos, pontos onde trens entram e saem do sistema, pois são trechos onde ocorrem conflitos entre

demandas e, conseqüentemente, tempos maiores de espera para ocupar os trechos; (ii) trechos de extensão elevadas, que podem provocar filas de trens que aguardam a liberação do trecho para adentrá-lo; (iii) pontos de parada para troca de equipe e para o abastecimento, pois os trens localizados nos pátios anteriores e posteriores devem esperar a conclusão das operações do trem parado para prosseguir. Observou-se, no entanto, que os trechos com utilização crítica, são os que ocorrem simultaneamente nas proximidades, duas ou mais situações descritas acima.

A Figura 12 mostra o número de composições em operação durante um ano de simulação para diferentes produções.

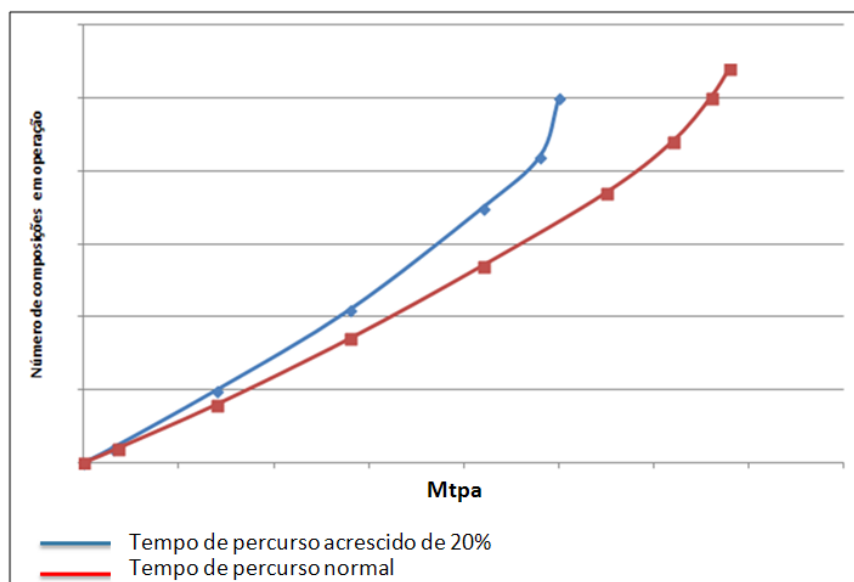


Figura 12 – Número de composições em operação

A Figura 12 permite a obtenção da capacidade da ferrovia e o número de composições necessárias para sua operação normal.

3.2 Equipamentos do Porto

Os produtos de minério de ferro chegarão ao terminal portuário pela via ferroviária, são descarregados através de Viradores de Vagões, que terão inicialmente capacidade para descarregar dois vagões simultaneamente, por ciclo. O pátio de estocagem recebe os produtos de minério de ferro que provém dos Viradores de Vagões, de tal forma que em caso do volume atingir a capacidade de estocagem do pátio, não ocorrerá a entrada de minério, parando o processo. Os materiais serão empilhados e recuperados a partir de três máquinas de pátio (Empilhadeira/Recuperadora combinada).

Desta maneira, o porto foi analisado quanto às operações de recebimento, de armazenagem no pátio e de expedição dos produtos de minério de ferro, conforme itens a seguir.

A Figura 13, mostra a ocupação do Virador de Vagões e do Berço, considerando três máquinas de pátio (Empilhadeira/Recuperadora Combinada) para uma frota de navios definida.

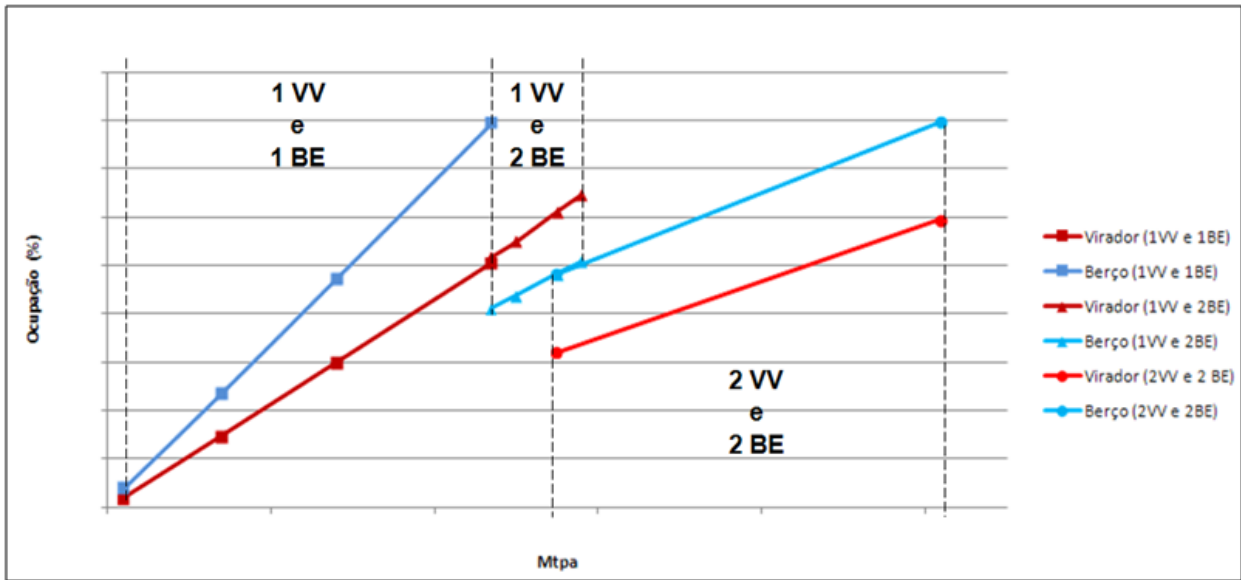


Figura 13 – Utilização do Virador de Vagões e do Berço, para frota determinada

Alguns especialistas indicam que a capacidade do porto não deve ser analisada pela ocupação dos equipamentos, mas sim pela taxa de demurrage máxima que é aceitável pagar. Em operações de certos portos é aceitável pagar valores altos de demurrage para conseguir uma grande ocupação dos berços e conseqüentemente de exportação.

A variação do número de produtos de 3 para 2 e posteriormente para 1 mostrou alteração insignificante na ocupação dos Viradores de Vagões e Berços, entretanto mostrou grande variação no Demurrage, Figura 14. Caso o número de produtos aumente, o Demurrage pode limitar a capacidade de exportação do porto.

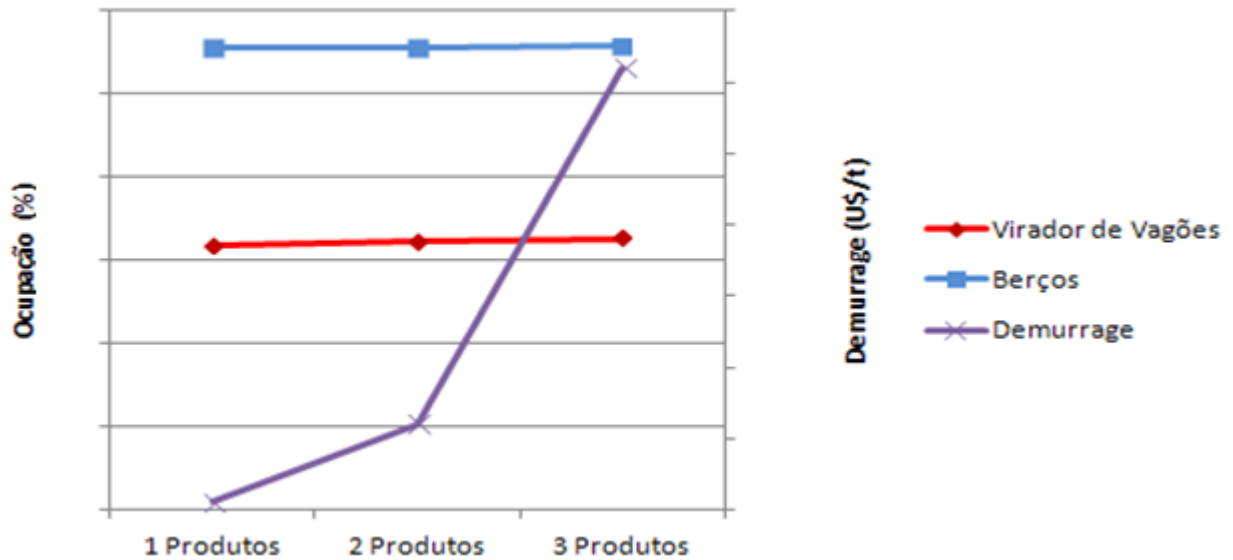


Figura 14 – Variação do número de produtos

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho utilizou a simulação para modelar um Sistema Integrado Ferrovia – Porto com o objetivo de auxiliar nas tomadas de decisões entre os diversos fatores para atingir a capacidade desejada.

Os resultados obtidos mostram a importância da análise integrada do sistema como um todo, visto que a simulação permitiu avaliar e dar visibilidade às informações despercebidas, que resultavam em conflitos não intuitivos.

A simulação forneceu uma ferramenta poderosa para aumentar o entendimento da dinâmica das operações do sistema integrado, identificando limites de capacidades e possibilitando testes de vários cenários.

Pela consideração de todas as fases de expansão em um único estudo, o programa de investimento de capital foi otimizado na sua totalidade, fornecendo a opção de postergar investimentos de curto prazo, com pouco ou nenhum benefício imediato, para fases posteriores de expansão, deslocando o cronograma de outros investimentos de capital.

A utilização de uma simulação de eventos discretos para um sistema de produção contínua mostrou-se satisfatório, sendo que a transformação, dos eventos contínuos em discretos, não interferiu nos resultados obtidos.

REFERÊNCIAS

- 1 5º Balanço do PAC 2. 5º Balanço Maio/Setembro PAC 2 O Circulo Virtuoso do Desenvolvimento. Disponível em: <<http://www.planejamento.gov.br/secretarias/upload/Arquivos/PAC2/p/5BalancoPAC2-ApresentacaoMinistra.pdf>>. Acesso em 4 de Janeiro de 2013.
- 2 Ministério do Planejamento. Sobre o PAC. Disponível em: <<http://www.pac.gov.br/sobre-o-pac>>. Acesso em 6 de Janeiro de 2013.
- 3 Ibram – Instituto Brasileiro de Mineração. Produção de minério de ferro deve subir 10,8%. Disponível em: <http://www.ibram.org.br/150/15001002.asp?ttCD_CHAVE=181053>. Acesso em 22 de Janeiro de 2013.
- 4 Exame. Vale reduz investimentos para US\$16,3 bi em 2013. Disponível em: <<http://exame.abril.com.br/negocios/empresas/noticias/vale-reduz-investimentos-para-us-16-3-bi-em-2013>>. Acesso em 3 de Dezembro de 2012.
- 5 Borges, C. N. Manual Didático de Ferrovias, Universidade Federal do Paraná, 2011.
- 6 Sagan, A.; King, H. Modeling the mine-to-port supply chain. Port Technology International Journal, Edição 48. 2011.
- 7 Balci, O. Guidelines for Successful Simulation Studies. Winter Simulation Conference. 1990.
- 8 McGinty, J. T. Simulation Modeling for System Design and Analysis. Part I: Principles and Guidelines. 2001.
- 9 Shannon, R. E. Introduction to the art and science of simulation. 1998 Winter Simulation Conference, Washington DC, USA. 13-16 de Dezembro de 1998.
- 10 Sadowski, D.; Sadowski, R.; and Kelton D. Simulation with Arena, McGraw Hill, 1998.
- 11 Chrispim, E. M. Análise da Operação Ferroviária do Porto do Rio de Janeiro Utilizando Simulação de Eventos Discretos. Monografia apresentada à Universidade Federal de Juiz de Fora. 2007.