

MODELAGEM E SIMULAÇÃO APLICADAS AO DESENVOLVIMENTO DE ALTERNATIVAS PARA O ESCOAMENTO DA PRODUÇÃO DE SOJA NO BRASIL: ANÁLISE DE CENÁRIOS PARA HIDROVIA DO TAPAJÓS-AMAZONAS

Harlenn dos Santos Lopes

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Ave. BPS 1303 – Pinheirinho, Itajuba, MG, Brazil 37500-903
harlenn@ufpa.br

Renato da Silva Lima

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Ave. BPS 1303 – Pinheirinho, Itajuba, MG, Brazil 37500-903
rslima@unifei.edu.br

David Custódio de Sena

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Ave. BPS 1303 – Pinheirinho, Itajuba, MG, Brazil 37500-903
davidc.sena@gmail.com

Renata Pereira Rocha

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI
Ave. BPS 1303 – Pinheirinho, Itajuba, MG, Brazil 37500-903
renatarocha@unifei.edu.br

RESUMO

O Brasil tornou-se no ano de 2013 o principal exportador de soja do mundo. A soja brasileira apresenta altos custos internos de transporte e desperta alternativas de escoamento da produção de norte a sul do país. Uma alternativa recentemente utilizada é a opção multimodal pela Rodovia BR-163 e a utilização da Hidrovia do Tapajós, em conjunto com o rio Amazonas. Esta rota de transporte é alternativa em desenvolvimento para o escoamento da soja do estado do Mato Grosso, sobretudo das regiões Norte e Nordeste do estado. Este trabalho realizou a modelagem e simulação da etapa hidroviária, incluindo operações portuárias de chegada, carregamento e descarregamento de barcas. Foram criados sete cenários diferentes de transporte para comparação, análise operacional e tomada de decisão. Após as simulações, foram analisados os cenários e apontado, dentre os resultados, que o cenário com três comboios de vinte balsas apresenta melhores resultados entre as configurações operacionais simuladas.

Palavras chave: modelagem, simulação, logística, soja, hidrovia.

Área Principal: Simulação

ABSTRACT

The Brazil became in 2013 the leading exporter of soybeans in the world. The Brazilian soy has high internal transport costs and awakens alternative outlet for production north to south. An alternative used recently is the multimodal option for BR-163 highway and the use of Tapajós Waterway, along with the Amazon River. This transport route is alternative development for the transportation of soy Mato Grosso the state, especially in the North and Northeastern State. This work carried out the modeling and simulation of the waterway stage, including port of arrival operations, loading and unloading barges. Seven different scenarios of transportation for comparison, operational analysis and decision making have been created. After the simulations, scenarios were analyzed and pointed, between the results, the scenario with three train twenty

ferries performs better between simulated operational settings.

Key words: modeling, simulation, logistics, soybeans, waterway.



1. INTRODUÇÃO

A logística brasileira vem se caracterizando pela busca de sistemas alternativos para o escoamento da sua produção em razão dos gargalos de transporte para a exportação e abastecimento do mercado interno. Um dos grandes exemplos é o mercado de produtos a granel, base de todas as cadeias produtivas, que, pela grande demanda por transporte, sofre as restrições do “custo logístico brasileiro”. Entre esses produtos encontra-se a soja.

O Brasil se tornou na safra 2012/13 o maior exportador internacional de soja. Isso se consolidou também no ciclo 2013/2014, onde o Brasil exportou 45,8 toneladas do grão (CONAB, 2014). Em relação à produção, o Brasil produziu, na safra 2012/2013 82 milhões de toneladas de soja, sendo responsável por aproximadamente 30,6% da produção de soja do mundo. A previsão da produção brasileira para a safra 2014/2015 é de 95,9 milhões de toneladas, num aumento de produção de aproximadamente 12% entre as duas últimas safras. O estado brasileiro com a maior produção é o Mato Grosso, que se localiza na região Centro-Oeste do Brasil, responsável por aproximadamente 32% da produção nacional. Vale salientar que a maior parte desta produção é oriunda do norte do estado, onde se concentram os municípios que mais produzem este granel. (CONAB, 2014).

No Brasil, um gargalo visível de produtos agrícolas para exportação está relacionado à logística. Sabe-se que o transporte precário da matéria-prima entre as fontes primárias de produção para a exportação, representa enorme prejuízo para o país. A melhoria das rodovias e do modal ferroviário e o melhor aproveitamento do transporte hidroviário são essenciais e prementes, além do aperfeiçoamento da produtividade dos portos e armazéns. O Brasil perde a competitividade quando o produto agrícola sai pela porteira das propriedades rurais com preços baixos e chega ao destino com custos altíssimos por causa dos problemas logísticos (OMETTO, 2006).

No mercado mundial, o Brasil apresenta vantagens comparativas na produção de soja em relação aos outros produtores mundiais, mas perde em custos logísticos. Assim é necessário melhorias na infraestrutura logística, visando redução de custos e de tempo (FRIEND e LIMA, 2011). Algumas das maiores empresas exportadoras da soja brasileira indicam que suas principais restrições para aumento do volume exportado estão relacionadas aos custos e às incertezas inerentes ao processo de escoamento da produção da soja (MEREGE e ASSUMPCÃO, 2002).

Almeida *et al.* (2012), afirmam que, para o suprimento internacional de alimentos, obstáculos logísticos precisam ser superados para o Brasil assumir uma posição de liderança no mercado internacional.

A necessidade de redução do custo logístico da soja deve-se ao fato de que este é um produto de baixo valor agregado e, assim, precisa de um meio de transporte menos custoso, além do fato de que comumente o agricultor é quem arca com os custos de transporte (CAIXETA FILHO, 2006). Empreendedores do agronegócio são obrigados ao contínuo aprimoramento de práticas que objetivam: (i) analisar e otimizar os fluxos operacionais, (ii) eliminar as atividades que não agregam valor, (iii) reduzir custos, (iv) reduzir os prazos de entrega, (v) melhorar o fluxo de informação entre os componentes da cadeia produtiva, e (vi) ofertar produtos de qualidade. (SILVA, 2002).

Dada à importância da soja como principal produto agrícola exportado pelo Brasil e pelo crescimento de suas exportações nos últimos anos, observa-se a necessidade de realização de trabalhos para análise dos principais problemas logísticos encontrados em seu escoamento para o mercado externo.

No estado do Pará, atraída pelo avanço da cadeia produtiva da soja no cenário internacional, surge uma nova rota e escoamento da produção, utilizando a multimodalidade, desde a origem, na plantação em fazendas no Mato Grosso, transporte rodoviário até a cidade de Itaituba, no Pará, transbordo da carga para barcas fluviais, transporte hidroviário até Portos Marítimos e consequente descarga para embarques internacionais.

O objetivo deste trabalho é realizar uma análise operacional do transporte de soja a granel, pela hidrovia do Tapajós-Amazonas, baseada em modelagem e simulação. O modelo simula o transporte hidroviário fluvial, com suas restrições e operações portuárias de carga e descarga. Foram analisados grupos de cenários, com a intenção analisar a eficiência logística, buscando a maximização do transporte. Por fim, foram apresentadas conclusões e recomendações para o avanço da pesquisa neste eixo de transporte de cargas.

2. A LOGÍSTICA DA SOJA

Nos dias atuais, as áreas de plantio da soja estão localizadas principalmente na região Sul e região Centro-Oeste. Esta última, entretanto, é a mais promissora em termos de possibilidades de expansão da área plantada e da produtividade por hectare. Este fenômeno de expansão reforça ainda mais a necessidade de melhoria da estrutura logística de escoamento, pois o crescimento está ocorrendo para o interior do país, em locais ainda mais distantes dos principais portos de escoamento utilizados atualmente (HIIJAR, 2004).

Em virtude do potencial de produção de soja conquistado pela região Centro-oeste, particularmente do Mato Grosso, verifica-se a necessidade de investimentos em infraestrutura de transportes para que esta produção possa ser escoada até os portos para exportação. A escolha do sistema de transporte a ser utilizado passa a ser determinante para o desenvolvimento e crescimento de uma região, pois permite atender mercados mais amplos e distantes de forma mais eficiente e competitiva.

Em razão de baixo valor agregado, os modos mais eficientes para exportação da soja produzida no Brasil (grandes volumes, longas distâncias e valor agregado relativamente baixo) são as ferrovias e hidrovias, que embora exijam um maior tempo de transporte, possuem maior capacidade, podendo trazer economia de custos por ganho de escala e redução de perdas (Hijjar, 2004). O papel do modo rodoviário, por sua vez, seria de atuação complementar aos modos de maior capacidade, levando os grãos aos terminais ferroviários ou hidroviários. Entretanto, a realidade brasileira é diferente. De acordo com a ANEC (2014), a matriz de transporte interno da soja brasileira corresponde ao inverso do que propõe Hijjar (2004), com grande participação do modal rodoviário, e baixa participação dos modais hidroviário e ferroviário, conforme mostra a Tabela 1. Ainda é mostrada na Tabela 1 uma comparação entre o transporte interno da soja no Brasil com seus dois principais concorrentes: Argentina e EUA. Verifica-se que no caso dos EUA, que possui dimensões e quilometragem percorrida pela soja da mesma ordem de grandeza do Brasil, o uso de hidrovias e ferrovias somam 95%. Na Argentina, apesar do uso de 80% do modal rodoviário, a soja percorre, em média, apenas 300 quilômetros para chegar aos portos.

Matriz de Transporte de Soja	Brasil	Argentina	EUA
Hidrovia	11%	2%	60%
Ferrovia	33%	18%	35%
Rodovia	56%	80%	5%
Distância média ao porto	1000 a 1100 Km	250 a 300 Km	1000 Km

Tabela 1: Matriz de transporte da soja
 Comparativo entre os 3 principais produtores mundiais. Fonte: ANEC (2014).

A região Centro-oeste acompanha a matriz exposta e tem, no modal rodoviário, o meio mais utilizado para o escoamento da soja, realizando o transporte tradicional para os portos localizados no complexo Centro-Sul (PINHEIRO e CAIXETA FILHO, 2010).

Adicionalmente à rota tradicional, são realizados transportes alternativos, cuja multimodalidade é realizada utilizando hidrovias da região Amazônica. Um destes corredores alternativos é conhecido como Tapajós-Amazonas e está localizada entre os municípios paraenses de Itaituba e Barcarena. Atualmente, mais de 70% da produção da soja mato-grossense se desloca negativamente para portos a 2000 quilômetros da origem, para então ser embarcada a seus destinos internacionais.

2.1. A Hidrovia do Tapajós-Amazonas

Hidrovia é um tipo de transporte, que faz parte do sistema aquaviário, tendo como característica principal a utilização dos rios com potencial de transporte, ou seja, adequados à navegação de embarcação de médio e grande porte. São caminhos pré-determinados para o tráfego aquaviário e muito utilizada em países desenvolvidos para transportes de grandes volumes a longas distâncias, pois é um meio de transporte mais barato que rodovias e ferrovias. (GOMES E MILAGRES, 2009).

A Hidrovia do Tapajós-Amazonas é ligada pela BR-163, que ainda se encontra em fase de adequação e pavimentação. Esta rota apresenta menor distância de transporte interior para a soja do norte do Mato Grosso, além de apresentar menor distância total aos consumidores internacionais da soja brasileira (China e União Europeia). Os grãos saem das fazendas e armazéns da região médio-norte de Mato Grosso e seguem de caminhão ou carreta, pela BR-163, por percursos que variam entre 800 e 1200 quilômetros até o terminal de transbordo de Miritituba, distrito da cidade Itaituba. Este município atua como uma espécie de “hub”, recebendo a produção da região e distribuindo em barcas.

Em geral, as embarcações seguem até o município de Barcarena, num trecho de aproximadamente 1100 quilômetros, onde o produto é transferido para navios de grande porte para Europa e Ásia. De acordo com o Portal Amazônia (2013), pelo menos 8 empresas já adquiriram terrenos em Itaituba para a construção de estações de transbordo e há a previsão de instalação de até 15 empresas nos próximos anos. As quatro primeiras empresas devem investir, no total, R\$ 600 milhões em Miritituba e mais R\$ 1,4 bilhão na construção dos comboios de barcas e em aumento de capacidade de seus terminais nos portos de destino. A Figura 1 represta esquematicamente a cadeia logística da soja pela rota Tapajós-Amazonas. O trecho destacado na figura 1 será o escopo deste trabalho, englobando as atividades de chegada e armazenagem em silos, embarque e desembarque de soja em terminais hidroviários e o transporte hidroviário em si, através de comboios de barcas. Para este estudo, foi consultada a operação logística de uma *join venture* (associação de empresas, criada para a atividade em questão) já em operação nesta rota de escoamento. Este sistema será analisado utilizando a modelagem e simulação a eventos discretos.

Figura 1: Cadeia logística da

Fonte: Elaborado p

A Figura 2 apresenta a rota hidroviária Tocantins-Amazonas e sua área imediata de influência. O trecho selecionado pela linha pontilhada é o trecho a ser modelado para a execução deste trabalho.



Figura 2: A rota hidroviária do Tapajós-Amazonas. Fonte: Ecoamazônia (2014)

2. MODELAGEM E SIMULAÇÃO

3.1. Simulação a Eventos Discretos

A simulação é a representação virtual de um sistema da vida real através de um modelo, o que torna possível o seu estudo, sem a necessidade de construí-lo na realidade. Segundo Seila (1995) modelo é a representação abstrata e simplificada do sistema.

Para Montevechi et al. (2007), a simulação é a importação da realidade para um ambiente controlado, onde é possível estudar o seu comportamento sob diversas condições, sem riscos físicos e sem altos custos envolvidos. Chwif e Medina (2014) afirmam que a simulação a eventos discretos é utilizada para modelar sistemas que mudam o seu estado em momentos discretos no tempo, a partir da ocorrência dos eventos.

A escolha da simulação para auxiliar no planejamento de um sistema logístico de grande porte se deu pelo fato da complexidade das operações. Não apenas pela interação entre suas etapas, mas também pelas restrições de execução e operacionalidade. O modelo computacional permite o ajuste de parâmetros, para que o modelo seja avaliado em diferentes cenários, permitindo soluções reais para o problema. A simulação, assim, contempla essa interação e adiciona a variabilidade e estocasticidade ao sistema como um todo.

Este trabalho seguiu a metodologia proposta por Montevechi *et al.* (2007), que define as fases para um projeto de simulação a eventos discretos, a fase de concepção (modelo conceitual), implementação (modelo computacional) e análise (modelo operacional):

3.2. A Concepção

O sistema estudado consiste num sistema logístico de transporte de soja, com origem na cidade de Itaituba e destino em um terminal pertencente ao Porto de Vila do Conde, na cidade de Barcarena, no estado do Pará. A soja chega via rodoviária a um terminal de embarque, em Itaituba, é armazenada em silos, onde aguarda seu embarque em barcaças fluvio-marítimas. Quando da disponibilidade destas barcaças, a soja é embarcada e transportada até a cidade de Barcarena, por um conjunto de rios, em especial os rios Tapajós e Amazonas.

Para a operação, a empresa dispõe de um conjunto de barcaças, com capacidades que variam entre 1730 e 2000 toneladas de soja. Essas barcaças atualmente formam comboios de até 20 barcaças por viagem. Assim, serão simulados e analisados cenários, verificando os impactos operacionais relacionados à variação do número de barcaças em transporte.

No embarque, na cidade de Itaituba, caminhões descarregam soja numa taxa correspondente a um descarregamento, em torno de 50 toneladas a cada 7 minutos. Esta taxa no modelo computacional desenvolvido foi convertida proporcionalmente para o descarregamento de uma tonelada a cada

8,4 segundos, aproximadamente. Ainda na fase de carregamento, a empresa dispõe de 3 silos para estoque abastecedor do sistema de transporte. Cada silo possui capacidade de 16000 toneladas, totalizando 48000 toneladas disponíveis para armazenagem. A taxa de carregamento da soja nas barcaças é de 1500 toneladas por hora.

O transporte hidroviário foi dividido em 3 etapas: Itaituba-Santarém, Santarém-Estretos e Estretos-Barcarena. Essa divisão se dá em função das restrições impostas ao sistema nesses 4 locais. Em Itaituba há o carregamento, em Santarém há uma parada obrigatória para abastecimento, em torno de 10 horas, nos estreitos há uma restrição de navegação noturna e em Barcarena há o descarregamento do comboio de barcaças.

Segundo Chwif e Medina (2014) um dos primeiros passos (além da definição do sistema, dos objetivos e das hipóteses) é a criação do modelo abstrato, que segundo Law e Kelton (2000) é o aspecto mais importante de um estudo de simulação. Nesta pesquisa o modelo conceitual foi elaborado utilizando a técnica IDEF-SIM, proposta por Leal (2008). Justifica-se a escolha da técnica IDEF-SIM, porque, segundo Montevechi *et al.* (2010) “uma das suas principais características é a semelhança de sua lógica de aplicação com a lógica utilizada na simulação a eventos discretos”. A figura 4 apresenta o modelo conceitual desenvolvido no IDEF-SIM para o sistema estudado.

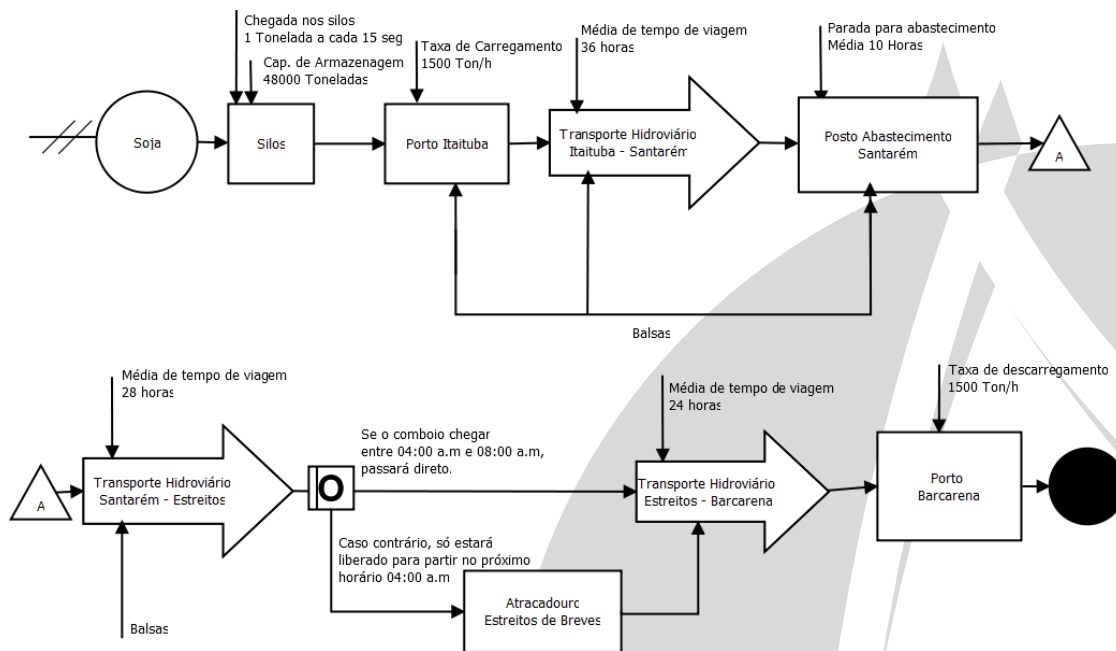


Figura 4: Modelagem conceitual do sistema no IDEF-SIM. Fonte: Elaborado pelos autores (2014).

Segundo Pidd (2000), afirma que, para que o modelo conceitual seja considerado válido ele deve ser uma boa representação do sistema real, ou pelo menos de parte dele. Ainda de acordo com Pidd (2000), tudo o que deve ser feito é checar se o modelo comporta-se como o mundo real sob as mesmas condições. Se ele se comporta, então o modelo é válido. Caso contrário não é válido. De acordo com Sargent (2013), as principais técnicas para a validação do modelo conceitual são: a validação face a face e o rastreamento. Neste trabalho foi utilizada a validação face a face que consiste na avaliação e análise não só do IDEF-SIM, com também do modelo gráfico e seus atributos, tanto pelos autores analistas do processo, como pelos gestores da organização estudada. Após a validação do modelo conceitual, o mesmo deve ser documentado, tornando-se uma fonte para consultas futuras e uma base de dados importante na etapa de construção do modelo computacional. Segundo Harrel *et al.* (2002) a formulação do modelo conceitual pode iniciar com um esboço simplificado, que com o seu amadurecimento, atingirá uma estrutura conceitual mais proporcional e complexa. Ainda segundo o autor esses modelos facilitam a visualização do

sistema, permitindo a introdução de novos fluxos e interações e auxiliando no processo de validação, documentação e comunicação. Para a execução deste trabalho, várias representações em modelagem conceitual foram realizadas, através do IDEF-SIM até chegar naquele modelo que mais representa a realidade.

Na etapa de modelagem dos dados de entrada, os dados devem ser coletados e tratados estatisticamente, antes de serem implementados no modelo computacional. Dado o ainda baixo controle das operações por parte da empresa estudada, optou-se pelo uso da distribuição triangular, pois para defini-la seria necessário o valor mínimo, máximo e mais provável, valores estes que tiveram sua estimativa com um grau de certeza razoável para a análise. De acordo com Mathwoldr (2015), a distribuição triangular é utilizada quando se possui uma ideia subjetiva da população, através dos seus extremos e sua moda. Estes três parâmetros seriam informados para o modelo em questão que, automaticamente geraria uma distribuição para cada variável modelada, garantindo, assim a estocasticidade do modelo construído.

3.3. A Implementação

De acordo com Chwif e Medina (2014), o modelo conceitual deve ser convertido em um modelo computacional. Neste caso o Software ProModel foi utilizado na construção do modelo computacional. A figura 5 apresenta uma tela com o modelo computacional desenvolvido.

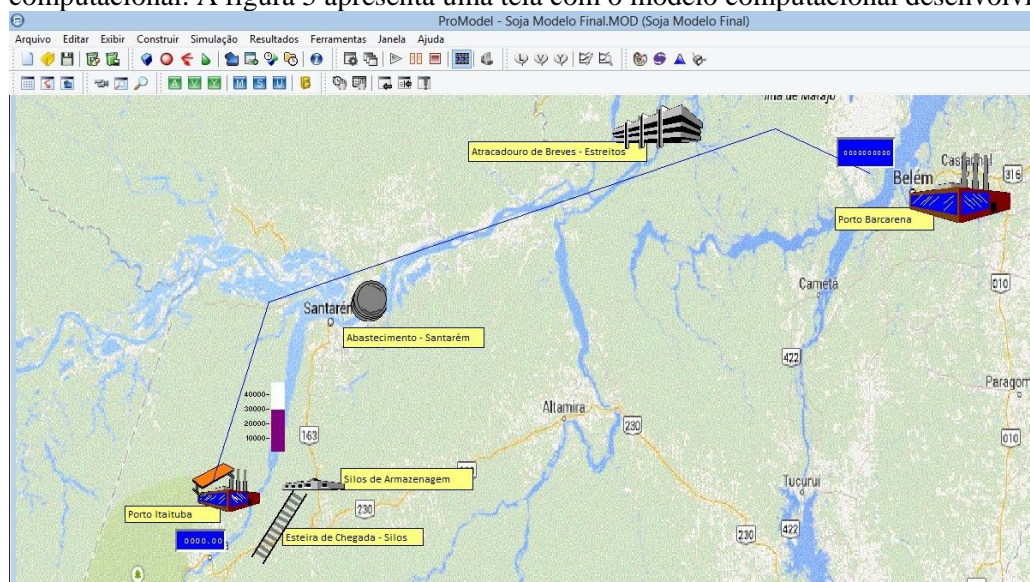


Figura 5: Modelo Computacional desenvolvido. Fonte: Elaborado pelos autores (2014).

Para a construção do modelo computacional, foi definida e implementada uma série de parâmetros. Os parâmetros de entrada para a construção do modelo computacional estão apresentados na tabela 2.

Parâmetros de construção do modelo		
Parâmetros	Descrição	Parâmetro estabelecido no modelo
Entidades (3)	Entidades são as partes circulantes do modelo que percorrem a lógica estabelecida pelo diagrama de fluxo e interagem com os diversos recursos.	Soja Soja para transporte Soja saída
Chegadas (2)	São eventos, ou seja, acontecimentos programados ou não, que provocam a	2 Chegadas, sendo uma pontual e uma constante.

	mudança de estado do sistema	
Locais (6)	Representam a estrutura do sistema.	Esteira entrada silo Silo Porto Itaituba Abastecimento comboio Atracadouro Breves Porto Barcarena
Processos	São eventos, ou seja, acontecimentos programados ou não, que provocam a mudança de estado do sistema.	10 processos interconectados para a execução integrada do modelo computacional
Recurso	Entidade estática que fornece serviços a entidades dinâmicas.	Comboio de Balsas
Rede de caminho	Permitem aos recursos e entidades se moverem ao longo do modelo.	Itaituba – Barcarena, com 4 nós
Macros	Padrão que especifica determinada sequência de entrada para substituição de sequência de saída.	3 Macros
Atributos	Atributos são as características das entidades.	1 atributo

Tabela 2: Parâmetros de construção do modelo computacional. Fonte: Elaborado pelos autores, com adaptações de Chwif e Medina (2014).

Para a verificação do modelo computacional, Sargent (2013) defende que é necessário assegurar que o software e as especificações para a programação e execução do modelo conceitual estão corretos e para a validação é necessário que o modelo tenha um alcance satisfatório de precisão, compatível com o modelo pretendido. Dentre as técnicas apresentadas pelo autor, este trabalho realizou a animação, a validade face-a-face, os gráficos operacionais, e a análise de sensibilidade. Os gráficos do software, bem como o IDEF-SIM permitiram a certificação de que a lógica do modelo computacional estava de acordo com a lógica do modelo conceitual.

Dois pontos merecem destaque na construção do modelo computacional. Um é referente à passagem das embarcações pela região conhecida por “estritos de Breves”. Conforme restrição já introduzida no item 3.2, não é possível a navegação noturna neste trecho. Para a sua travessia, são necessárias aproximadamente 12 horas. Assim, foi imposta uma restrição, no modelo computacional, utilizando uma ferramenta denominada “WHILE”, onde se o comboio entra na região no horário entre 04:00 horas e 08:00 horas, ele consegue atravessar a região sem restrições, caso contrário, fica retido e só é liberado no próximo horário de 04:00 da manhã. Outro ponto refere-se ao processo de chegada. Para garantir continuidade inicial do processo, adotou-se uma chegada única de 48000 toneladas de soja, garantindo assim, a capacidade máxima dos silos armazenadores, que servirão para o carregamento dos comboios hidroviários.

Para a validação do modelo computacional, realizou-se a da técnica estatística 2-sample t utilizando o software Minitab® 16, comparando os dados reais com os simulados, para descobrir, com uma confiança de 95%, se os mesmos são estatisticamente diferentes. Foi verificado se existiu uma equiparação estatística entre a simulação do modelo e dos dados reais. Comparou-se o primeiro modelo simulado, em 30 replicações, com o sistema real através do teste-2-sample. Foi encontrado o p-value, que corresponde ao menor nível de significância que pode ser assumido para rejeitar a hipótese nula (no caso, o modelo). Detalhamento sobre o p-value pode ser encontrado em Montgomery (2014). O P-value deste teste foi é igual a 0,276. Assim, com

uma confiança de 95%, o modelo pode ser considerado válido.

Com o modelo verificado e validado, pode-se obter os parâmetros de saída do modelo, ou seja, aquelas medidas de desempenho que servirão para as análises dos cenários propostos, bem como para ajustes e sugestões ao modelo. Os parâmetros de saída estão contidos na Tabela 3.

Medidas de Desempenho do Modelo	Unidade
Soja transportada	Toneladas
Utilização dos recursos	Porcentagem
Utilização dos locais	Porcentagem
Relação entre entidades de entrada e saída	Porcentagem
Demanda reprimida (Capacidade adicional do sistema)	Toneladas

Tabela 3: Medidas de desempenho do modelo. Fonte: Elaborado pelos autores.

3.4. A Análise

Na etapa de análise, o modelo está pronto para os experimentos dando origem ao modelo operacional, onde várias rodadas são efetuadas e os resultados são analisados e documentados (CHWIF e MEDINA, 2014). Neste trabalho a simulação será utilizada para a geração de cenários comparativos. Primeiramente, serão propostos cenários com a alteração da capacidade dos recursos. Inicialmente, serão realizadas simulações com 5 balsas na formação de um comboio hidroviário nos cenários alternativos, serão propostos 10, 15 e 20 balsas, para análise do comportamento do sistema. Num segundo grupo de cenários, aquela formação de comboio que se apresentar como mais satisfatória, será duplicada e triplicada, para análise do comportamento do sistema. Para cada conjunto de cenários serão realizadas 30 replicações, a fim de obter dados de saída significativos estatisticamente. Todos os cenários são realizados para 720 horas, o que reflete 1 mês de operação ininterrupta.

3. ANÁLISES DOS CENÁRIOS PROPOSTOS

Neste trabalho será utilizada, para alcançar os objetivos propostos, a análise de sensibilidade aplicada à comparação de cenários. O uso da análise de sensibilidade consistirá na alteração do valor de um ou mais parâmetros do modelo, certificando, a cada alteração, o impacto sobre os valores das variáveis de saída. A comparação será aplicada no momento em que o objetivo for fazer a comparação das possíveis configurações. Nestas comparações será certificada a alternativa que melhor atenda as necessidades da organização estudada.

Primeiramente foram simulados quatro cenários (Cenários A, B, C e D), variando a capacidade dos comboios. Foi analisada a variação em função de 7 indicadores: Quantidade de soja que entra nos silos, quantidade de soja recebida no destino final (Barcarena), índice entre a quantidade de soja que entra e sai do sistema, utilização dos recursos (comboio em transporte), percentual de utilização do porto de Itaituba (Carregamento) e Demanda reprimida pelo sistema, ou seja, aquela que, por questões de capacidade dos locais, não pode chegar ao sistema. Os resultados destes cenários encontram-se na Tabela 4.

	Quantidade de soja que entra nos Silos	Quantidade Soja Recebida em Barcarena	Índice da relação de carga do sistema (Entrada/Saída)	Utilização dos Recursos (Comboio) em transporte	Porto Itaituba % Utilização	Demanda reprimida pelo sistema
Modelo A (5 Balsas)	94.752	27.963	29,5%	37,95%	5,46%	237.031
Modelo B (10 Balsas)	133.107	57.199	42,9%	38,18%	9,01%	198.698

Modelo C (15 Balsas)	163.441	86.448	52,9%	37,58%	10,27%	168.435
Modelo D (20 Balsas)	202.388	115.692	57,1%	33,01%	12,25%	129.423
Tempo de simulação: 720 horas						

Tabela 4: Indicadores de desempenho do primeiro conjunto de cenários.

A partir da simulação realizada verifica-se que, uma composição mais adequada do modelo, no caso de transporte por apenas um comboio, configura-se com o maior número de balsas possíveis pelo sistema real (20 balsas). Este cenário apresenta a maior quantidade de soja entrante no sistema e a melhor relação de soja transportada. O índice de utilização dos recursos, entretanto, não foi o melhor encontrado. O valor de 33,01% se explica em função de um maior tempo de carga e descarga do comboio. Em relação à utilização do Porto Itaituba (Carregamento), verificou-se também uma maior utilização do mesmo. A demanda reprimida pelo sistema foi a menor encontrada (129.423 toneladas), o que reflete um mais eficiente aproveitamento do sistema.

A partir das análises do primeiro grupo de cenários, passou-se para a construção de novos cenários, buscando-se a melhoria na eficiência do transporte. Foram analisados quatro novos cenários (D, E, F e G). Vale ressaltar que o cenário D já foi simulado no grupo anterior, sendo condição inicial para o novo grupo a ser simulado.

	Quantidade de soja que entra nos Silos	Quantidade de Soja Recebida em Barcarena	Índice da relação de carga no sistema (Entrada/Saída)	Porto Itaituba % Utilização	Demanda reprimida pelo sistema
Modelo D (20 Balsas)	202.388	115.692	0,571634682	12,25%	129.423
Modelo E (2 comboios de 20 Balsas)	271.458	155.529	0,57293946	24,36%	60.152
Modelo F(3 Comboios de 20 Balsas)	331.777	237.827	0,71682787	32,55%	0
Modelo G(4 Comboios de 20 Balsas)	331.780	244.300	0,7363313	32,38%	0

Tabela 5: Indicadores de desempenho do segundo conjunto de cenários.

Após análise dos resultados da simulação, pode-se verificar que o aumento do número de comboios aumenta a quantidade de soja que entra no sistema. Entretanto, nessas condições, não há variação significativa entre o uso de 3 ou 4 comboios, pois o sistema fica limitado em sua chegada. A quantidade de Carga transportada também se comporta da mesma maneira que a chegada ao sistema, aumentando com o número de comboios, sendo pequena a variação entre a utilização simultânea de 3 ou 4 comboios de balsas para o transporte de soja. O a relação entre a carga que entra no sistema e a carga que é recebida em seu destino final apresenta pouca variação entre 3 ou 4 comboios. A utilização do Porto de carregamento também se comporta da mesma maneira, aumentando sua utilização até o valor de 3 comboios simultâneos, não influenciando a adição de mais comboios. O uso de 3 comboios é o único cenário em que não há demanda reprimida na entrada do sistema. Isto reflete uma utilização plena dos locais de chegada. Em razão dos indicadores expostos, verifica-se que o cenário que apresenta os melhores resultados é o cenário F, com 3 comboios de balsas. A utilização de dois comboios (Cenário E) não utiliza o sistema em sua plenitude, deixando os recursos como gargalo do processo. A utilização de 4

comboios, por sua vez, excede a capacidade do sistema e transfere a função gargalo para o processo de chegada.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho se propôs a analisar, através da comparação de cenários, a simulação de um sistema logístico voltado ao transporte de soja, sob o ponto de vista do planejamento operacional. A partir da estruturação da modelagem da operação e simulação computacional, este trabalho se propôs a demonstrar a importância do uso da modelagem e simulação no planejamento e dimensionamento de sistemas logísticos. Um sistema inovador de transporte, como o apresentado neste trabalho, em que a integração modal precisa ser planejada de maneira eficiente, racionalizando os recursos disponíveis e concatenando as informações durante todo o fluxo produtivo, necessita de ferramentas eficientes para o suporte à tomada de decisão.

Diante da amplitude do sistema, o modelo demonstrou-se eficiente, gerando soluções condizentes e validadas em relação ao sistema real. Isto permitiu a representação de diferentes situações em diferentes cenários. A escolha de utilizar técnicas de simulação é justificada pelo número de variáveis, que precisam ser estudadas de maneira conjunta e sistêmica, avaliando as influências das variáveis entre si. A análise de sensibilidade, através da comparação de cenários, permitiu um dimensionamento mais adequado, dentro das premissas e restrições existentes no sistema real, obtendo-se uma maior racionalização dos recursos disponíveis.

Apesar do fornecimento, pelo modelo implementado, de respostas adequadas aos escopos dos problemas, apresentados neste trabalho, existe a possibilidade de melhorar as análises abordadas em trabalhos futuros, seja na complementação analítica, seja no contínuo aprofundamento dos assuntos abordados. A configuração F dentre os cenários estabelecidos é aquele mais adequado. Entretanto, maiores limitações podem ser parametrizadas, para maior acuracidade dos resultados. Embora a aplicação de tecnologia e a modelagem e simulação de sistemas sejam técnicas ainda pouco difundidas nas organizações da Região Amazônica, pode-se concluir que este tipo de análise assume grande importância para o planejamento de operações, servindo como instrumento sólido de apoio à gestão de operações e à tomada de decisão.

Configuram-se como forma de continuidade deste trabalho as modelagens relacionadas a custos, viabilidade econômica, integração com outros sistemas e impactos socioambientais. A análise comparativa com outras rotas e a associação dos custos ao modelo são atividades previstas pelos autores na continuidade de suas pesquisas. A rota hidroviária do Tapajós-Amazonas se apresenta como mais uma alternativa viável ao escoamento, não só da produção de soja, como também de outras commodities agrícolas, como por exemplo, o milho. Fretes de retorno, sobretudo voltado ao transporte de fertilizantes também podem ser estudados em função de sua viabilidade econômica, operacional e ambiental.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, Capes e a FAPEMIG pelo apoio financeiro concedido a diversos projetos que subsidiaram o desenvolvimento desse trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Almeida, C.F., Gularte, J.G., and Yamashita, Yaeko. (2012) Methodology for Devising a Multimodal Cargo Transportation Network under the Economic Growth Approach: the Case of the Brazilian Amazon Region. *In Transportation Research Board 2012 Annual Meeting*. Transportation Research Board of the National Academies. Washington, D.C.

AMAZÔNIA. Megainvestimento abre nova rota para soja. Gerson Freitas Jr. Fonte: Valor Econômico Disponível em: <http://amazonia.org.br/2013/01/megainvestimento-abre-nova-rota-para-soja/>. Acesso em 17/04/2015.

ANEC (2014). Associação Nacional dos Exportadores de Soja. Disponível em: <http://www.anec.com.br/estatisticas.html>.

Caixeta-filho, J. V. (2006) *A Logística do escoamento da safra brasileira*. Disponível em: http://cepea.esalq.usp.br/especialagro/EspecialAgroCepea_7.doc>. Acesso em: 20 de abril de 2014.

Chwif, L.; Medina, A.C. Modelagem e Simulação de Eventos Discretos, Teoria & publicações. 4. ed. São Paulo: Ed Campus-Elsevier. 2014.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. *Acompanhamento da safra brasileira. Grãos – Safra 2012/2013*. 12º levantamento. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em 04 de Maio de 2014.

Ecoamazônia. Agostinho, J. de. *Amazônia – Megaprojeto privado cria rota exportadora no Norte*. 25 de janeiro de 2013. Disponível em www.ecoamazonia.org.br. Acesso em 30 de novembro de 2014.

Friend, J. D.; Lima, R. S. (2011) From Field to Port: The Impact of Transportation Policies on the Competitiveness of Brazilian and U.S. Soybeans. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2238, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp. 61–67.

Gomes, S. B., Milagres, V. R. (2009) Hidrovia do Tocantins: uma nova perspectiva para escoamento da safra agrícola na região. *IV congresso de pesquisa e inovação da região Norte e Nordeste de Educação Tecnológica*. Belém.

Harrel, C. R.; Mott, J. R. A.; Bateman, R. E.; Bowden, R. G.; Gogg, T.J. (2002) Simulação: otimizando os sistemas. Tradução de Alain de Norman et d’Audenhove. 2. Ed. São Paulo: Imam, 2002.

Hijjar, M. F. (2004). *Logística, soja e comércio internacional*. Disponível em <<http://www.cel.coppead.ufrj.br>>. Acesso em: 10 de abril de 2014.

Law, A. M.; Kelton, W. D. (2000) *Simulation modeling and analysis*. 3rd. Ed. New York: McGraw-Hill.

Leal, F.; Almeida, D.A.de; Montevechi, J.A.B. (2008) Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF. In: *Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, João Pessoa, PB.

MATHWORLD. Triangular Distribution. Disponível em: <http://mathworld.wolfram.com/TriangularDistribution.html>. Acesso em 17/04/2015.

Merege, A. A; Assumpção, M. R. P. (2002) Logística para exportação da soja paranaense. *XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP*. Curitiba.

Montgomery, D. C, Runger, G. C.. (2012) *Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros*. 5ª Edição. Ed. LTC.São Paulo.

Montevechi, J.A.B.; Leal, F.; Pinho, A.F.; Costa, R.F.S.; Oliveira, M.L.M. de; Silva, A.L.F. (2010) Conceptual modeling in simulation projects by mean adapted IDEF: an application in a Brazilian tech company. *WINTER SIMULATION CONFERENCE*. Baltimore, USA.

Montevechi, J., A. B.; Pinho, A. F.; Leal, F.; Marins, F. A. (2007). Application of design of experiments on the simulation of a process in an automotive industry. In: *WINTER SIMULATION CONFERENCE*, Washington, USA.

Ometto, J. G. S. Os gargalos da agroindústria. O Estado de São Paulo, 22 de maio 2006

Pidd, Michael. (2000) *Tools for thinking: modeling in management science*. 4. Ed., Chichester: John Wiley & Sons.

Pinheiro, M. A. ; Caixeta-filho, J. V. (2010). Exportação pelos portos de Santos, Paranaguá e Itaquí: uma aplicação em Programação Linear. In: *48º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER)*, Campo Grande. 2010

Sargent, R. G, Verification and Validation of Simulation Models. *Journal of Simulation*. V. 7 pp. 12-24.

Seila, A.F. (1995) Introduction to simulation. In: *Winter Simulation Conference*. Arlington, 1995.

Silva, L. C. (2002) *Stochastic Simulation of the Dynamic Behavior of Grain Storage Facilities*. Viçosa: UFV. (Tese Doutorado).

