

ESTUDO SOBRE A AMPLIAÇÃO DO SISTEMA DE TRANSPORTE FLUVIAL DE CANA DE AÇÚCAR REALIZADO NA REGIÃO DE JAÚ

Edson Roberto da Silva Michelin

Mestrando em Engenharia de Sistemas Logísticos
Universidade de São Paulo

Herbert Abude Scheidl

Departamento de Logística Agrícola
Raízen

Rui Carlos Botter

Departamento de Engenharia Naval
Universidade de São Paulo

RESUMO

Na região de Jaú, uma usina localizada as margens do rio Tietê desenvolveu um sistema de transporte fluvial de cana de açúcar, voltado para movimentação e recepção de cana inteira, cortada manualmente. No entanto, a possibilidade de aumento das áreas plantadas na região dos portos e a crescente necessidade de mecanização da colheita da cana surgiram como uma oportunidade para avaliar a viabilidade de ampliação da capacidade do sistema utilizado. Inicialmente realizou-se uma análise dos dados históricos referentes à operação, seguido pelo mapeamento do processo, o que permitiu uma avaliação determinística do sistema. Com esse embasamento inicial, foi possível construir um modelo de análise, baseado em simulação, que possibilitou propor um modelo operacional robusto, capaz de justificar os investimentos necessários para elevar a capacidade do sistema de transporte fluvial utilizado. Além disso, permitiu a revisão e adoção de práticas operacionais mais corretas, aderentes às novas necessidades logísticas da operação.

ABSTRACT

In the region of Jaú, a power plant on the shores of the Tietê river developed a system of river for sugar cane transportation, and moving toward receiving full reed, cut by hand. However, the possibility of increased planted areas of the ports in the region and the increasing need to mechanize the sugarcane harvest emerged as an opportunity to assess the feasibility of increasing the capacity of the system used. Initially there was a review of historical data concerning the operation, followed by process mapping, which allowed an assessment of the deterministic system. With this initial foundation, it was possible to construct an analysis model based on simulation, which allowed to propose a robust operating model that can justify the investment needed to increase the capacity of the river transport system used. It also enabled the revision and adoption of more accurate operational practices, adhering to the new needs of the logistics operation.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil o transporte de cana de açúcar das lavouras até as usinas ocorre de forma predominantemente rodoviária em função principalmente da indisponibilidade de outros modais para esse tipo de operação. No entanto, localizada estrategicamente as margens do rio Tietê na cidade de Jaú, encontra-se uma Usina que utilizou sua localização para desenvolver ao longo dos anos um sistema de transporte fluvial de cana, o qual, de forma associada ao transporte rodoviário, tornou-se uma opção capaz de atender suas necessidades de movimentação e abastecimento de matéria prima.

Incorporada ao grupo COSAN em 1998 e com capacidade de moagem atual de 11000 t.dia⁻¹, a usina Diamante é a única unidade industrial do setor no Brasil a ser abastecida por um sistema composto pelos modais hidroviário e rodoviário. O modal rodoviário também desempenha papel importante no sistema fluvial, escoando matéria prima das lavouras para região dos portos que atendem a operação ao longo do rio Tietê.

Nesse caso, a localização as margens do rio foi fator fundamental para que o processo pudesse se desenvolver, característica esta apontada por Goebel (1996) como sendo muito importante

na utilização dos rios no Brasil para transporte fluvial, mesmo que se utilize de forma combinada outros modais de transporte até a hidrovia. Além disso, a existência dessa condição possibilita obter custos de transporte mais baixos, tornando o modal fluvial mais vantajoso, particularmente para produtos com movimentação elevada e concentrado em determinados períodos.

Ainda segundo o mesmo autor, as principais características e exigências deste tipo de transporte envolvem:

- a) Elevada capacidade de transporte envolvendo o emprego de comboios;
- b) Frete reduzido quando comparado às modalidades rodoviária e ferroviária;
- c) Custos variáveis baixos;
- d) Restrições relacionadas à baixa velocidade;
- e) Restrições de disponibilidade devido à atual infraestrutura hidroviária brasileira;
- f) Restrições de transporte ao longo do ano, em função do nível de água dos rios;
- g) Necessidade de instalações e equipamentos para transbordo;
- h) Restrições de utilização devido à falta de infra estrutura nas hidrovias.

Com relação à infra-estrutura, de acordo com Nunes (2007), a conclusão de obras de ampliação e melhorias nas hidrovias brasileiras é imprescindível à viabilização comercial de operações envolvendo utilização de comboios com capacidades mais elevadas.

Embora possua um dos maiores sistemas aquaviários do mundo, com oito bacias hidrográficas, a movimentação hidroviária interior brasileira representa apenas 0,8% do total de cargas que trafegam pelo território nacional. O autor salienta também a necessidade de realizar obras em cerca de 5% dos trechos totais de cada hidrovia, envolvendo basicamente a desobstrução dos canais naturais, a construção de novas eclusas e a modernização e ampliação dos sistemas de eclusagem existentes para transposição de barragens de usinas hidrelétricas ao longo dos rios.

Atualmente a navegação fluvial é praticada, com maior ou menor intensidade, em todo o mundo. Na Europa, por exemplo, grandes e importantes obras (canais artificiais, instalações portuárias e barragens com eclusas) foram construídas para permitir melhor aproveitamento no transporte de mercadorias diversas pela hidrovia, já que se trata de um modal muito econômico quando utilizado para grandes distâncias e cujo consumo energético é relativamente menor que do transporte rodoviário (Agência Nacional de Transportes Aquaviários - ANTAQ, 2009).

2. MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Embora seja um processo pioneiro, o transporte fluvial de cana na empresa avaliada iniciou-se na década de 1980 através de uma estrutura voltada para a movimentação e recepção de cana inteira. O transporte fluvial da cana picada, colhida mecanicamente, bem como sua recepção na usina só começou a ser realizado em 2009. Para tanto, foram realizadas adaptações nos equipamentos de descarga na usina e de carga em um dos portos existentes para possibilitar a recepção e transbordo de cana picada dos caminhões para as barcas.

No entanto, a possibilidade em ampliar a disponibilidade de cana de açúcar na região dos portos para as próximas safras juntamente com a necessidade crescente de mecanização da

colheita da cana, em acordo com o Protocolo Agroambiental assinado no estado de São Paulo, o qual estabelece a extinção da queima da palha da cana de açúcar até 2014 para as áreas mecanizáveis e 2017 para as áreas não mecanizáveis surgem como motivadores para o desenvolvimento deste trabalho, cujo objetivo foi avaliar a viabilidade de ampliação da capacidade do sistema atual de transporte de cana de açúcar via modal hidroviário dentro de um horizonte de cinco anos, do ponto de vista operacional e financeiro, considerando:

- projeto de expansão da quantidade de cana colhida mecanicamente na região dos portos nos próximos cinco anos;
- aumento da proporção de cana picada no sistema, a qual implica em alterações nos tempos de carga e descarga das barcas;
- redução de custos;
- redução da dependência do modal rodoviário.

3. APRESENTAÇÃO DA OPERAÇÃO

Como mencionado inicialmente, essa operação ocorre em Jaú, em uma das unidades da empresa estudada, ao longo de um trecho do rio Tietê. A capacidade de transporte fluvial atual do sistema é de aproximadamente 4.800 toneladas de cana por dia. O trecho em que ocorre a operação envolve a transposição da usina hidrelétrica de Bariri através da eclusa existente nessa barragem. A eclusa tem um comprimento de 142 metros e largura de 12,02 metros, sua profundidade varia entre 3,5 e 4 metros e tem uma capacidade de carga de 17.200.000 toneladas por ano. Como existem embarcações de diversas empresas utilizando a mesma eclusa ao longo do dia, a probabilidade de formação de filas é alta, o que afeta o desempenho do sistema. A Figura 1 ilustra a dinâmica da operação na eclusa.

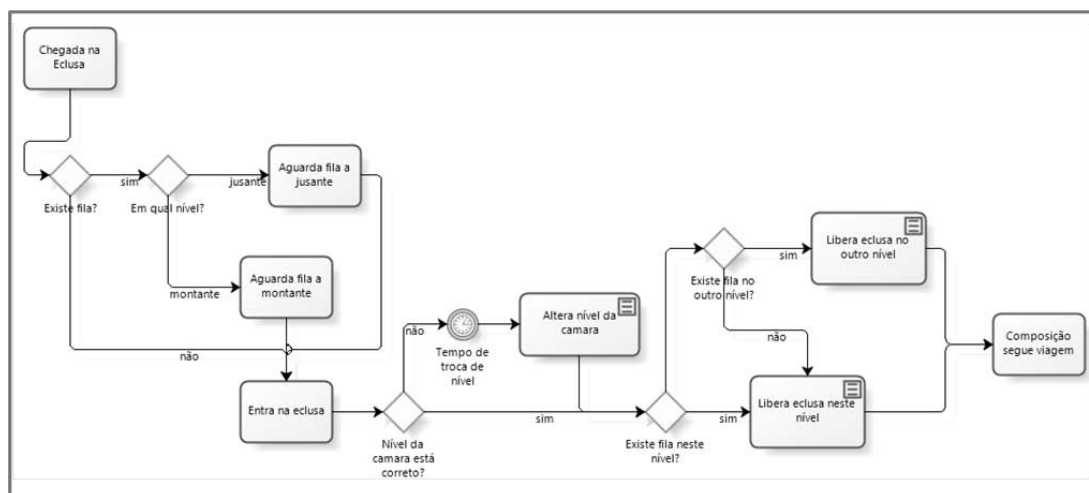


Figura 1: Operação de eclusagem realizada na hidrelétrica de Bariri (Bizage Process Modeler)

A operação avaliada conta com 3 portos ativos, os quais encontram-se a jusante da eclusa. Dentre os 3, apenas um, o mais distante da usina (porto P1), está adequado para a recepção e movimentação de cana do tipo picada, enquanto os 2 restantes operam apenas com cana inteira (portos P2 e P3). Os portos P2 e P3 operam de forma intercalada e em determinados períodos do ano deixam de operar, ficando apenas o porto P1 em operação, tanto com cana inteira quanto com cana picada (Figura 2).

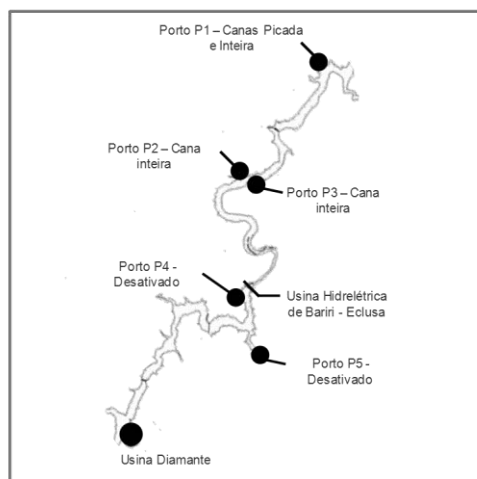


Figura 2: Trecho do rio Tietê onde ocorre a operação

Quanto aos equipamentos utilizados no transporte, a operação dispõe atualmente de 5 empurradores e 22 barcas com capacidade de 450 t cada uma. Os comboios formados carregam no máximo 3 barcas por viagem. A operação de recepção e transbordo de matéria prima realizada nos portos (Figura 3) ocorre de acordo com as seguintes taxas:

- a) Cana picada – porto P1 – 200 t.h^{-1} ;
- b) Cana inteira – demais portos incluindo P1 – 157 t.h^{-1} ;

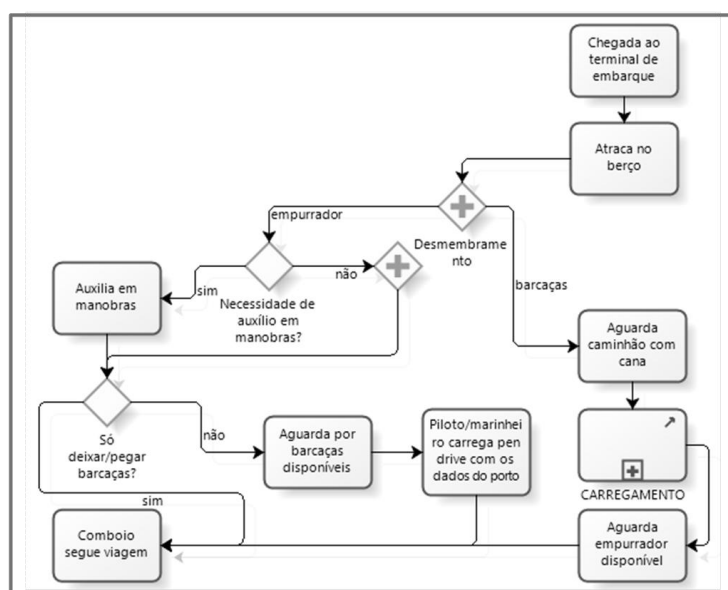


Figura 3: Processo de recepção e transbordo realizado nos portos (Bizage Process Modeler)

Na Usina, a operação de recepção e movimentação das barcas é realizada com o auxílio de dois empurradores de manobra, responsáveis por posicionar e retirar cada barcaça do canal de descarga. Nesse canal a descarga é realizada com o auxílio de duas pontes rolantes dispostas em série, cada qual associada a uma garra com capacidade de 12 t (Figura 4), a uma taxa comercial combinada (considerando manutenções e ineficiência operacional) de 200 t/h.

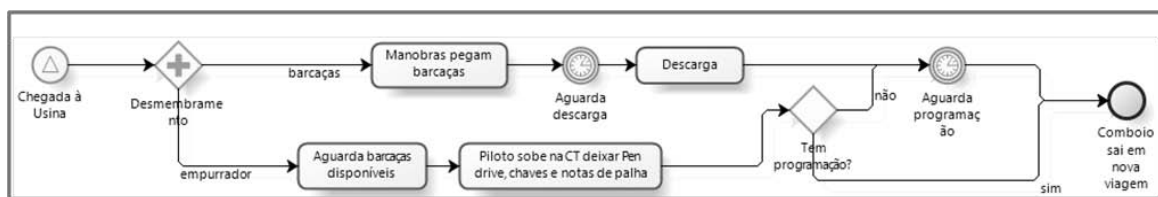


Figura 4: Processo de descarga realizado na usina (Bizage Process Modeler)

A operação é realizada 24 horas por dia, 7 dias por semana ao longo de toda a safra, inclusive nos feriados e finais de semana onde os empurradores cumprem turnos de 16x8 (16 horas operando e 8 horas parado) e a tripulação cumpre turnos de 16x32 com revezamento (16 horas operando e 32 horas parada).

4. METODOLOGIA

Devido a complexidade do sistema abordado, em função dos diversos processos realizados simultaneamente na operação, a pesquisa operacional mostrou ser a abordagem científica mais adequada à uma avaliação criteriosa e detalhada.

De acordo com Arenales et. al. (2007), a pesquisa operacional oferece técnicas de análise que auxiliam no processo de tomada de decisão, permitindo determinar a melhor forma de conduzir sistemas sob condições que requerem a alocação eficiente de recursos escassos.

A modelagem quantitativa constitui a base da pesquisa operacional, podendo ser descrita em linguagem matemática ou computacional envolvendo a utilização de técnicas analíticas (matemáticas, estatísticas) e experimentais (simulação) (MIGUEL et. al., 2010).

Para Baracat (2011 apud ROBERTO, 2011), a exigência da utilização de modelos matemáticos que auxiliem na tomada de decisões estratégicas envolvendo o setor sucroalcooleiro será cada vez maior, já que somente a informação baseada na experiência de algum veterano do setor não será suficiente para promover o aumento de eficiência necessário às empresas no atual cenário de competitividade.

Segundo Caixeta (2004), alguns aspectos devem ser levados em consideração na realização de uma modelagem matemática:

- A modelagem, ou seja, o entendimento e interpretação do problema a ser resolvido é fundamental para o desenvolvimento da solução;
- “*Garbage in, garbage out*”, isto é, se os dados utilizados são ruins, o resultado também o será;
- A solução ótima nem sempre será observada na prática. Ou seja, caberá aos interessados a interpretação e simulação de cenários alternativos, com análises de sensibilidade, a fim de possibilitar a otimização do processo da tomada de decisão.

Assim, para que o trabalho fosse desenvolvido de forma a representar com elevado grau de fidelidade o sistema abordado, no final de 2009 teve início um extenso trabalho envolvendo a captação, seleção e tratamento dos dados relativos às atividades desenvolvidas ao longo daquele ano, disponibilizados pela operação. Além disso, foram realizadas nove visitas às locações da operação entre 2009 e 2010, com o intuito de observá-la, realizar entrevistas com os gerentes, supervisores e demais colaboradores envolvidos e assim mapear todo o processo

de transporte fluvial. Em seguida elaborou-se em planilha eletrônica um modelo de avaliação determinística do processo, com diversas análises de sensibilidade. Através dele foi possível identificar alguns gargalos, como a capacidade de recepção da usina e também propor algumas melhorias.

No entanto, o elevado dinamismo presente no sistema, a elevada interdependência dos processos com o necessário sincronismo entre as atividades, bem como o comportamento estocástico de algumas variáveis exigiam uma avaliação mais refinada que a realizada de forma determinística, que possibilitasse a visualização das taxas de utilização e ocupação dos diversos recursos presentes no sistema e mais, facilitasse a criação e análise de cenários, cujos resultados e reflexo no sistema real pudessem ser previstos.

De acordo com Mundim (2009), para sistemas como o descrito neste artigo, recomenda-se o uso da simulação para análises das diversas interações nele presentes. Além disso, autores como Hahn (1994) e Yamada (1999) apresentam trabalhos realizados no setor sucroalcooleiro utilizando o método da simulação. Desse modo, em 2010, com o auxílio de uma equipe de especialistas foi desenvolvido no software de simulação de eventos discretos ARENA 12.0 um modelo de simulação para refinamento da análise do sistema.

No que tange ao desenvolvimento do modelo de simulação, a metodologia utilizada foi baseada em alguns dos passos propostos por Pedgen et al. (1995), posteriormente modificados por Botter (2002):

- a) Definição do Problema - etapa em que ocorre uma definição clara das metas do estudo;
- b) Planejamento do Projeto - fase em que se verifica a existência de recursos físicos, humanos e técnicos para a execução do projeto;
- c) Definição do Sistema - etapa em que se determina as fronteiras e as restrições a serem usadas na definição do sistema e a investigação sobre o funcionamento do sistema;
- d) Formulação Conceitual do Modelo - etapa em que se desenvolve um modelo preliminar de forma gráfica ou em um pseudocódigo para definir os componentes, as variáveis e as interações lógicas que constituem o sistema;
- e) Projeto Experimental Preliminar - consiste na seleção das medidas de eficiência que serão empregadas, dos fatores a serem variados e dos dados que precisam ser colhidos do modelo, sua forma e extensão;
- f) Preparação dos Dados de Entrada - consiste na identificação e coleta dos dados necessários ao modelo;
- g) Tradução do Modelo - é a formulação do modelo em uma linguagem de simulação apropriada;
- h) Verificação e Validação - etapa essencial do processo e consiste na confirmação de que o modelo opera da forma que o analista pretendia e que a saída do modelo é confiável e representativa de um sistema real. A verificação busca mostrar que o programa computacional se desempenhou como esperado e pretendido, fornecendo, desta forma, uma correta representação lógica do modelo. A validação, por outro lado, estabelece que o comportamento do modelo representa, de forma válida, o sistema do mundo real que está sendo simulado;
- i) Projeto Final Experimental - consiste em projetar experimentos que irão gerar as informações desejadas e determinar como cada um dos processamentos computacionais no projeto será executado;

- j) Experimentações - consistem em executar a simulação para gerar os dados desejados e realizar análises de sensibilidade;
- k) Análise e Interpretação - consiste em realizar inferências sobre os dados obtidos pela simulação;
- l) Implementação e Documentação - são a disponibilização e aplicação dos dados utilizados e dos resultados obtidos, além de uma documentação do modelo e de seu uso.

Em um modelo de simulação, são inseridos dados para que ele represente com precisão o sistema em estudo. Alguns dados possuem valores bem determinados, como por exemplo, distâncias, número de máquinas disponíveis e outros. No entanto, existem aqueles cujos valores são indeterminados, normalmente os que envolvem tempo, pois os processos não são exatos, podendo ter variações em torno de um valor médio. Este valor médio, normalmente, é utilizado em simulações estáticas, porém, dependendo do sistema que está sendo avaliado, o resultado pode trazer impressões distorcidas do comportamento real do sistema, como em Aragão (2009), cujo estudo realizado para o dimensionamento de uma estrutura de transporte em ciclo fechado, através de um modelo de simulação aplicado em um sistema contendo empurradores e barcas, permitiu observar que a utilização de tempos constantes superestimava a capacidade do sistema como um todo. Em casos como esse, devem-se considerar as variações existentes em torno do valor médio, inserindo-as no modelo, através de distribuições estatísticas, fazendo com que o modelo passe a realizar simulação dinâmica.

De acordo com Santos (2003), a distribuição triangular tem um uso bastante difundido em simulação, principalmente quando os dados disponíveis são poucos ou mesmo inexistentes, como se observa na maior parte dos dados que representam o sistema objeto deste trabalho. Segundo o autor, sua forma permite que dados não conclusivos sejam a ela adaptados, e seus limites, ou seja, A (limite inferior), C (moda) e B (limite superior) sejam interpretados como os parâmetros: mais otimista (A), mais provável (C) e mais pessimista (B) de uma determinada variável (Figura 5).

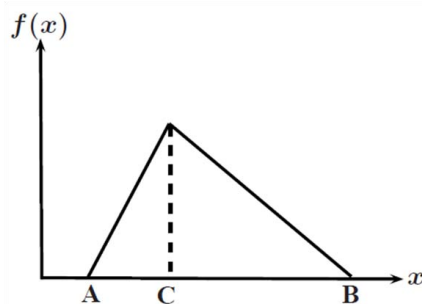


Figura 5: Representação da distribuição Triangular

Para Castro e Silva (1998), a distribuição triangular não é identificada com nenhum tipo de operação específica, mas é útil quando se deseja uma primeira aproximação na falta de dados específicos. Além dos valores mínimo e máximo, característicos da distribuição uniforme, o conhecimento de um valor mais provável, valor modal, permite o uso desta distribuição, no lugar da uniforme. É muito utilizada quando não existem dados suficientes e é necessária uma estimativa. Os trabalhos de Kelton, Sadowski e Sturrock (2004), bem como os de Chwif e Medina (2007) confirmam a aplicação da curva triangular em casos onde não se conhece a forma exata de todas as distribuições, mas pode-se estimar a moda, bem como os valores

mínimo e máximo. Ainda segundo estes autores, dada a sua característica, seu uso pode ser justificado de maneira mais simples.

Desta maneira, para os dados utilizados neste trabalho, entende-se que a utilização da distribuição triangular, com desvio de 30% (tanto na extremidade inferior, como na superior) seja a melhor alternativa, aplicando-a em todos os parâmetros utilizados no modelo, visando com isso capturar os assincronismos existentes no sistema objeto deste estudo. Sendo assim, no modelo de simulação desenvolvido neste trabalho não foi utilizado valor constante (determinístico) em nenhum dos parâmetros. Em todos os dados de entrada considerados, utilizou-se como premissa a distribuição probabilística triangular, com desvio de 30%.

Além das informações levantadas anteriormente (2009 e 2010), durante a construção do modelo, foram realizadas três visitas abrangendo as locações de descarga na usina e as locações de carga nos portos, para novas tomadas de tempo das atividades de recepção, transbordo e descarga respectivamente.

Como o sistema modelado apresenta elevada aleatoriedade, foi necessário determinar o número mínimo de replicações para garantir a convergência estatística dos resultados. Nesse sentido, o modelo foi rodado com um número crescente de replicações até que ocorresse a razoável estabilização das estatísticas de desempenho do sistema, o que ocorreu após 200 replicações, sendo este o número adotado para condução dos experimentos.

Posteriormente, após a construção e validação do modelo, foi possível estabelecer junto à operação, o melhor local para expansão da produção de cana de açúcar, bem como o modelo operacional que deveria ser adotado para garantir retorno financeiro frente aos investimentos necessários à expansão do sistema de transporte fluvial. A figura 6 apresenta de forma cronológica como foi conduzido o trabalho.

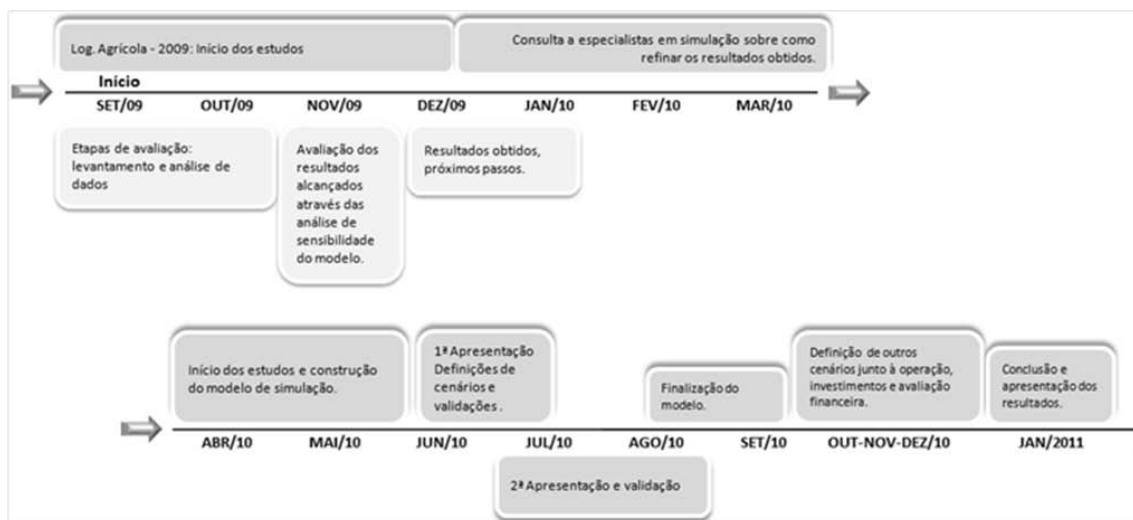


Figura 6: Linha do tempo relativa ao desenvolvimento deste trabalho

5. CENÁRIOS E RESULTADOS

Com os dados levantados em campo, especialmente os relativos aos tempos de ciclo dos equipamentos de descarga na usina, foi possível propor algumas melhorias que pudessem elevar a taxa comercial de descarga na usina, sendo que a utilizada nos cenários descritos a

seguir corresponde à implantação de um ponto de descarga lateral ao berço de descarga, diminuindo assim o curso das pontes rolantes (longitudinal), pois o ponto de descarga atual localiza-se em frente ao berço, elevando a taxa comercial de descarga de 200 t.h⁻¹ para 395 t.h⁻¹.

Desse modo e tomando como referência a forma como a operação estava montada, ou seja, considerando os sistemas usina, portos ativos e eclusa, bem como a quantidade de cana disponível na região dos portos, número de empurradores e barcas, foi possível construir diversos cenários para avaliação, dos quais, partindo do cenário base, os que mais contribuíram para o avanço do estudo foram:

- a) Cenário Base - Operação sem novos investimentos e com incrementos naturais de volume de cana ao longo dos anos em áreas próximas a usina, mantendo o volume do fluvial próximo aos 4.800 t.dia⁻¹. Escopo da operação ao longo dos anos exatamente igual ao atual;
- b) Cenário A - Desativação do porto P3 – escoamento da cana de açúcar via rodovia;
- c) Cenário B - Porto P3 - 100% fluvial a partir do 2º ano com travessia de balsa até o Porto P2. A partir do 4º ano, parte da cana do P3 seria escoada via rodovia devido à capacidade limite da balsa. Operação no 5º ano executada com 6 empurradores e 27 barcas, devido expansão do canal;
- d) Cenário C - Porto P3 - 100% fluvial a partir do 2º ano e operação executada no 5º ano com 6 empurradores e 27 barcas;

Estes cenários foram exaustivamente testados tendo como referência o cenário base, e como a frota de empurradores, a quantidade de barcas e os recursos utilizados na descarga na usina seriam os parâmetros a serem dimensionados nos experimentos, a disponibilidade de cana nos portos foi modelada como sendo infinita. Para cada cenário, os experimentos envolveram a utilização de algumas combinações de frotas, taxas de carga e descarga como mostram as Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1: Experimentos realizados para dimensionamento de frota

Experimento	Qtde de equipamentos	
	Empurradores	Barcas
1	4	21
2	4	24
3	5	21
4	5	24
5	6	24
6	7	27

Tabela 2: Capacidade de carga considerada nos portos por tipo de cana

Portos	Taxas de carregamento (t/h)	
	Cana Picada	Cana Inteira
P1	200	157
P2	-	157
P3	-	157

Tabela 3: Capacidade de descarga considerada em cada melhoria proposta na usina

Taxas de descarga combinada na usina (t.h ⁻¹)		
	Cana Picada	Cana Inteira
Taxa_base	177	193
Taxa_1	224	244
Taxa_2	237	258
Taxa_3	337	367
Taxa_4	395	431

Os resultados mostraram-se razoáveis do ponto de vista operacional, porém o mesmo não ocorre do ponto de vista financeiro, em função dos elevados investimentos necessários, considerando custo de capital de 15% ao ano e um período de 10 anos.

No entanto, discutindo os resultados com a operação, uma hipótese até então descartada surgiu como opção promissora em função das possibilidades de rearranjo da distribuição dos volumes de cana disponíveis para o transporte fluvial, a reativação do porto P4, que atualmente escoava a cana presente na sua região via modal rodoviário até a usina. Assim, um cenário considerando a reativação do porto P4, denominado cenário D, foi montado com base nas seguintes condições:

- Parte da cana picada que abastecia o porto P1, distante em média 45 km passaria a abastecer o porto P4 distante em média 28 km;
- Com isso, para suprir essa redução no volume de cana movimentado pelo porto P1, parte da expansão agrícola ocorreria na região deste porto;
- Desativação do porto P3, ou seja, cana disponível presente nessa região passaria a ser escoada via modal rodoviário até a usina;
- Desativação do porto P2, ou seja, toda a cana presente nessa região passaria a ser escoada via modal rodoviário até o porto P4, onde ocorreria o transbordo para o modal hidroviário;
- Reativação, dimensionamento e adequação do porto P4 para recepção, transbordo e escoamento de cana dos tipos picada e inteira, tanto de sua região quanto da região do porto P2, via modal hidroviário.

Para a adequação do porto P4 para recepção de cana picada havia duas opções de equipamentos:

- Instalação de esteira metálica com capacidade de movimentação de 240 t.h⁻¹;
- Instalação de equipamento do tipo carregadeira, muito usada em pedreiras e portos marítimos, com capacidade de movimentação de 230 t.h⁻¹;

A escolha pela esteira, além de envolver um menor investimento, se justificou devido a:

- Possibilidade de utilização da esteira em outros locais ou unidades;
- Maior praticidade na manutenção devido ao *know-how* do setor nesse tipo de equipamento.

Assim, considerando todas as condições expostas para o cenário envolvendo a reativação do porto P4, o sistema se mostrou capaz de absorver toda a expansão agrícola projetada para os próximos 5 anos, totalizando 300.000 toneladas transportadas a mais pelo sistema fluvial na

safra. A Tabela 4 demonstra as taxas necessárias ao sistema de descarga na usina e carregamento nos portos para atender essa expansão.

Tabela 4: Taxas necessárias para absorver a expansão do sistema			
		CAPACIDADE SISTEMA	
		Cana Picada	Cana Inteira
Descarga usina (t/h)		395	431
Carregamento Portos (t/h)	P1	200	157
	P4	240	157

O modelo representado pelo cenário D demonstrou ser capaz de transportar cerca de 60% a mais de volume de cana por dia, passando de 4.800 t.dia⁻¹ para 7.800 t.dia⁻¹ contando com os mesmos recursos de transporte utilizados atualmente, ou seja, 5 empurradores e 22 barcaças, isso devido ao fato do porto P4 estar mais próximo à usina e pela ausência do efeito eclusa no tempo de ciclo de cada viagem realizada. Além disso, a solução encontrada, estrategicamente:

- Reduzirá em aproximadamente 50% a influência exercida pela eclusa na operação;
- Reduzirá a perda de qualidade da matéria prima entregue pelo modal hidroviário, já que reduz o intervalo de tempo entre o corte e a entrada da cana na usina de cerca de 50% do total de cana entregue na safra;
- Reduzirá a frota rodoviária que atende diretamente a usina Diamante.

Como a capacidade de moagem da usina estudada é de 11.000 t.dia⁻¹, o aumento da disponibilidade de cana na região dos portos, transportada via modal fluvial até a usina, propiciará uma sobra de cana de açúcar nas áreas próximas à usina de cerca de 300.000 toneladas, as quais poderão ser desviadas ao longo da safra via modal rodoviário para abastecer outra unidade pertencente ao grupo COSAN, localizada a 32 km da usina Diamante. Com isso, essa segunda usina, deixará de ser abastecida com cana de açúcar trazida de áreas distantes em média 70 km. Esse ganho obtido com a redução da distância média de parte da cana que a abastece, possibilitado pelo aumento do volume transportado via modal fluvial, contribuiu na viabilidade do cenário D, tanto operacional quanto financeiramente.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVA

Este trabalho buscou avaliar de forma técnica um sistema complexo e dinâmico, fornecendo respostas objetivas para o problema abordado com o auxílio da pesquisa operacional. Para tanto, realizou-se uma extensa análise de dados históricos referentes à operação, seguido pelo mapeamento do processo, o que possibilitou a obtenção de um entendimento geral da dinâmica do sistema estudado. Em seguida, a partir do mapeamento do processo e do embasamento inicial obtido a partir da análise determinística, foi realizada uma análise mais detalhada do sistema, baseada em simulação estocástica.

Através da simulação foi possível propor um modelo operacional suficientemente robusto capaz de justificar os investimentos que seriam necessários para elevar a capacidade do sistema de transporte fluvial de cana de açúcar. Além disso, permitiu a revisão de práticas anteriormente adotadas como as mais corretas e que se mostravam pouco aderentes às novas necessidades da operação. Por outro lado, o trabalho tem como perspectiva a utilização do modelo construído para a avaliação contínua da operação frente às necessidades que possam surgir ao longo dos anos, propondo cenários alternativos de melhorias e avaliando seu reflexo

no sistema real.

Como contribuição, o trabalho desenvolvido demonstra o potencial da utilização de técnicas de simulação para a avaliação de sistemas logísticos agroindustriais, em especial os ligados ao setor sucroalcooleiro. Neste setor, estudos envolvendo o uso da simulação para medir as variáveis de desempenho dos sistemas logísticos são importantes por possibilitar o teste de algumas políticas de gestão que possam trazer melhorias ao sistema, sem os riscos de elevados custos envolvidos em testes reais.

Agradecimentos

Os autores agradecem as sugestões recebidas de diversos colegas, que permitiram aprimorar o texto e eliminar diversas inconsistências, em especial à Gerência e Coordenação de desenvolvimento do departamento de logística agrícola da Raízen onde este foi conduzido e aos colaboradores que atuam na operação de transporte fluvial da usina cujo processo foi aqui estudado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANTAQ (2009) *Simpósio Internacional sobre Hidrovias*. Agência Nacional de Transportes Aquaviários.
- Aragão, M. M. (2009) *Caracterização e Dimensionamento de um Sistema de Cabotagem Industrial*. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica.
- Arenales, M. (2007) *Pesquisa Operacional*, Editora Elsevier, 6ª reimpressão, Rio de Janeiro.
- Botter, R.C. (2002) *Tratamento de Dados em Simulação Discreta*, Tese de Livre Docência, EPUSP. São Paulo.
- Caixeta Filho, J. V. (2004) *Pesquisa Operacional – Técnicas de Otimização Aplicadas a Sistemas Agroindustriais*. Editora Atlas, 2ª edição, São Paulo.
- Castro e Silva, J. L. (1998) *ARENA – Input Analyser*. Simulação de Sistemas, Capítulo 3, aula 3.
- Chwif, L. e A. C. Medina (2007) *Modelagem e Simulação de Eventos Discretos: Teoria & Prática*. 2ª Edição. São Paulo.
- Goebel, D. (1996) *Logística – Otimização do transporte e estoques na empresa, Estudos em Comércio Exterior* Vol. I nº 1.
- Hahn, M. H. (1994) *SISTEC: Simulador de sistema de transporte da cana-de-açúcar*. Dissertação de mestrado, Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica.
- Kelton, W.D.; Sadowski, R.P. e D. T. Sturrock (2004) *Simulation With Arena*. 3ª edição.
- Miguel, P. A. (2010) *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações*, Editora Elsevier, Rio de Janeiro.
- Mundim, J. U. (2009) *Uso de simulação de eventos discretos para o dimensionamento de frota para colheita e transporte de cana de açúcar*. Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo, Escola Politécnica.
- Nunes, O. A. (2007) *Transporte Fluvial*, em <http://www.webartigos.com>, disponível em <http://www.webartigos.com/articles/2181/1/Transporte-Fluvial/pagina1.html#ixzz1Jk5GaLoW>.
- BPMN Software – Bizage Process Modeler (2011), disponível em http://www.bizagi.com/index.php?option=com_content&view=article&id=95&Itemid=107.
- Roberto, C. (2011) *Conhecimento matemático ajuda a potencializar os lucros no agronegócio*. Idea News, Ano 11, número 124.
- ROCKWELL AUTOMATION TECHNOLOGIES, INC. Release ARENA 12.0 (2007), Milwaukee-WI.
- Santos, M. P. (2003) *Pesquisa Operacional*. Departamento de Matemática Aplicada. Instituto de Matemática e Estatística. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
- Yamada M. C. (1999) *Modelagem das cadeias de atividades produtivas da indústria sucroalcooleira visando à aplicação em estudos de simulação*. Dissertação de mestrado, E.E.S.C. USP São Carlos, departamento de engenharia mecânica.

Endereço dos autores:

Edson Roberto da Silva Michelon
Herbert Abude Scheidl
Rui Carlos Botter

michelon.edson@gmail.com
herbert.scheidl@raizen.com
rcbotter@usp.br