

# **Análise do sistema logístico de descarga de cana inteira e picada de uma usina de cana de açúcar**

**Ana Paula Iannoni**

**Reinaldo Morabito Neto**

Universidade Federal de São Carlos

e-mail: papi@iris.ufscar.br

## ***Abstract***

*Logistics systems are fundamental to improve the operational efficiency of sugar cane plants. This work presents a case study in the logistic system of unload of whole and bite sugar cane in an important plant in Ribeirão Preto, the Usina São Martinho. The objective is to analyze the unload process and to propose alternatives improve its management. It is shown that the chosen operational politics can provide reduction of the truck queues in the unload system and, in this way, providing increase of the amount of cane unloaded by period of time and the reduction of the necessary fleet for the transport of cane from the field to the plant. Due the several uncertainty sources and the operational complexity of this system, the method applied to compare and analyze the alternatives is based on simulation techniques, using the software ARENA.*

**Key words:** transport, sugar cane, trucks, simulation

## ***Resumo:***

*Os sistemas logísticos são fundamentais para melhorar a eficiência operacional de usinas de cana de açúcar. Este trabalho apresenta um estudo de caso no sistema logístico de descarga de cana inteira e picada em uma importante usina da Região de Ribeirão Preto, a Usina São Martinho. O objetivo é analisar o processo de descarga e propor alternativas para melhorar sua gestão. É mostrado que a política operacional escolhida pode proporcionar redução das filas de caminhões no sistema de descarga e, desta maneira, proporcionar aumento da quantidade de cana descarregada por período de tempo e a redução da frota necessária para o transporte de cana do campo até a usina. Devido às diversas fontes de incerteza e à complexidade operacional deste sistema, o método aplicado para comparar e analisar as alternativas é baseado em técnicas de simulação, utilizando o software ARENA.*

**Palavras chaves:** transporte, cana de açúcar, caminhões, simulação

## **1. Introdução**

O aumento de competitividade no setor sucroalcooleiro tem impulsionado as usinas de cana-de-açúcar à inovar suas ferramentas de gestão e investir em pesquisas tecnológicas. Segundo EID (1996), CAIXETA (1998) e YAMADA (1999), uma das principais inovações está relacionada com o aprimoramento dos seus sistemas logísticos através de novas estratégias gerenciais para o transporte da cana. Um problema importante nestes sistemas é como coordenar os processos de corte, carregamento e transporte de cana de açúcar, do campo até a área industrial, de maneira a suprir adequadamente o

processo de moagem na área industrial. Devido a diversas fontes de incerteza no sistema de suprimento, é comum em muitas usinas um descompasso entre a chegada de cana do campo e sua moagem ao longo do dia, resultando na formação de grandes filas de espera de veículos transportadores nos pátios de descarga, ou seja, altos níveis de estoque de cana e baixos níveis de utilização destes veículos.

Idealmente o sistema de descarga deve operar com o fluxo de cana transportada do campo à usina, tal que permita uma alimentação uniforme das moendas. Se tal situação não ocorre, pode haver paradas nas moendas, o que é altamente prejudicial para a usina. No entanto, deixar a moenda funcionando com uma quantidade de cana descarregada insuficiente para alimentá-la, pode implicar em desperdícios de energia e aumento de custos. Por outro lado, a ociosidade de caminhões no pátio também é motivo de grande preocupação, pelo alto custo de investimentos, mão-de-obra e combustível, além da falta que estes caminhões fazem no campo, pois se não houver caminhões vazios disponíveis para receber na frente de colheita a cana colhida, cria-se uma ociosidade no campo, envolvendo máquinas e operários.

Este trabalho vem mostrar que melhorar o desempenho do sistema de descarga de cana picada e inteira pode representar benefícios técnicos e econômicos substanciais para o setor sucroalcooleiro. São poucos os trabalhos similares na literatura com foco no sistema de descarga, isto é, o sistema compreendido entre a balança e as moendas da usina. É conhecida a importância deste setor no interior de São Paulo, particularmente na região de São Carlos, Araraquara e Ribeirão Preto, onde diversas usinas estão localizadas.

Devido à complexidade e dinamismo do sistema de descarga, a simulação mostrou-se o método mais apropriado para uma análise mais detalhada e cuidadosa. Segundo BANKS (1998) e KELTON, SADOWSKI & SADOWSKI (1998), a simulação é um método em que, uma vez construído um modelo válido do sistema real, pode-se explorá-lo com modificações de políticas, procedimentos, operações ou métodos, sem alto custo e sem a ruptura que possa causar estas experimentações no sistema real. Assim a análise dos resultados e de como irão refletir no sistema real podem ser previstos. Os novos *software* de simulação tornaram a programação mais fácil de ser executada e alguns deles trazem interfaces gráficas muito boas. Este estudo utilizou o *software* Arena, que é uma ferramenta de simulação de grande aceitação no mercado, para a análise de diversos tipos de sistemas.

A simulação é uma ferramenta inovadora para o setor sucroalcooleiro e vem sendo utilizada como apoio para uma melhor compreensão do processo produtivo deste setor. A simulação está sendo utilizada na investigação de novas estratégias gerenciais e equipamentos, com custo relativamente baixo. Alguns autores apresentam trabalhos realizados com o método de simulação no setor sucroalcooleiro, como: HAHN (1994), LOPES (1995) e YAMADA (1999).

## **2. Apresentação do estudo de caso**

A Usina São Martinho, localizada na região de Ribeirão Preto, é uma usina que tem tido uma efetiva participação nos processos evolutivos do setor agroindustrial canavieiro, com investimentos próprios em pesquisas e meios de modernização, alcançando com isto altas taxas de produtividade, que a colocam entre as maiores do mundo. O setor de transporte de cana tem representado papel de destaque no processo de modernização e investimentos em pesquisas desta usina. Os principais problemas estão relacionados com economia de combustíveis, racionalização da frota e manutenção de fluxo de cana para alimentar as moendas

## Despacho de caminhões nos pontos de descarga

Na Usina São Martinho, a política de despacho de caminhões carregados de cana que chegam na balança e se dirigem aos pontos de descarga, depende do tipo de caminhão e da situação das filas e quantidade de cana descarregada nos pontos de descarga. Desta forma, após identificar o tipo de cana e de caminhão, o operador responsável pelo despacho determina quais estações de descarga um determinado veículo pode descarregar. A escolha de uma estação passa a depender apenas da fila nestas estações candidatas. Se alguma das possíveis estações de descarga possuir fila menor que um determinado número, ele despacha esse veículo para a mesma. Caso isso ocorra em mais de uma estação ao mesmo tempo, o operador escolhe a estação com menor fila.

Há quatro tipos de caminhões em operação apresentando especificidades diferentes, podendo ou não competir por um mesmo ponto de descarga. Por exemplo, o caminhão rodotrem, que transporta em média 65 toneladas de cana picada, possui pontos específicos de descarga, mas pode impedir o descarregamento de um outro tipo de caminhão em um ponto adjunto ao seu, que usa o mesmo operador.

Além do caminhão rodotrem, a usina possui caminhões do tipo treminhão, compostos de “cavalo” e três carretas acopladas, que carregam em média 45 toneladas de cana picada por viagem. A política de despacho do treminhão depende da quantidade de caminhões de cana inteira no pátio da usina, ou seja, se há cana inteira suficiente para alimentar as moendas, sem o descarregamento imediato do treminhão com suas três carretas com cana picada. Se a cana inteira for suficiente, o treminhão desacopla duas carretas no estoque intermediário do pátio e descarrega a carreta restante no ponto de descarga com menor fila. Se o estoque estiver completo, o treminhão espera em fila na estação de despacho.

Um terceiro tipo de caminhão é o romeu-julieta, no qual é transportada a maior parte da cana inteira e também uma parte de cana picada. Este representa o maior número de veículos da usina (52%) e carrega em média 25 toneladas por viagem. A usina também possui, em número reduzido, caminhões do tipo toco, que carregam cana inteira. Porém, diante da tendência de redução de cana inteira, o número de caminhões romeu-julieta e toco vem sendo reduzido. A política de despacho para estes caminhões depende do tamanho da fila na frente dos pontos de descarga de cana inteira. Se esta fila for menor que um determinado número, o caminhão descarrega no ponto de menor fila, caso contrário, ele permanece em fila na estação de despacho. Um exemplo de regra de despacho dos caminhões é apresentado abaixo de forma mais estruturada:

**Regra de despacho de rodotrens :**

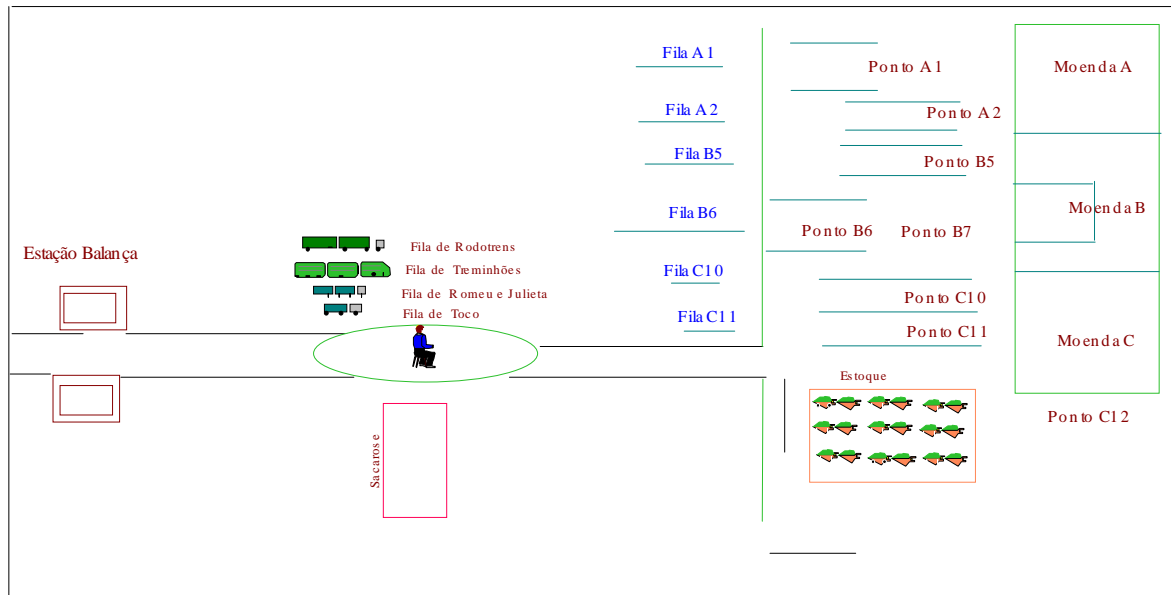
- Caminhão com cana picada ? Se sim, então verifique:
  - Caminhão é um rodotrem ? Se sim, então verifique:
    - A fila a frente do ponto C10 é menor que  $r$  ?
      - Sim, então verifique:
        - Há caminhão descarregando no ponto C11?
          - Sim, então:
            - Espere em fila na estação despacho.
          - Senão, então:
            - Descarregar no ponto C10
        - Senão, então :
          - Espere em fila na estação despacho.

A figura 1 apresenta o sistema de descarga na usina (trajetória da balança às moendas). Na estação balança são coletadas entre outras informações o peso do caminhão. Após receberem ordem de despacho, os veículos descarregam nas esteiras das moendas de acordo com a especificidade de cada caminhão.

A usina possui três moendas, as moendas A e B moem cana inteira e picada, possuem respectivamente dois e três pontos de descarga e capacidade de moagem de 450 ton/h, a moenda C moe apenas cana

picada, possui três pontos de descarga e maior capacidade de moagem que as demais (600ton/h). Após a descarga da cana nas esteiras das moendas, os veículos retornam ao campo para carregar e iniciar o ciclo novamente

### Trajetória dos veículos da entrada à saída da balança



**Figura 1 - Sistema de descarga de cana no pátio**

A tabela 1 apresenta os tipos de caminhão, o tipo de cana que transportam e seus pontos de descarga nas moendas por ordem de prioridade.

**Tabela 1 – Tipo de caminhão e respectivos pontos de descarga nas moendas**

Tipo caminhão	Tipo cana	Pontos de Descarga	Moenda
Rodotrem	Picada	C10	C
Treminhão	Picada	C11,C12, A2,B5	A, B, C
Romeu e Julieta (c.picada)	Picada	A2, B5, C11,C12	A, B, C
Romeu e Julieta (c.inteira)	Inteira	A1,B6	A, B
Toco	Inteira	A1, B6	A, B

### 3. Resultados preliminares

#### Validação do modelo

Após a construção do modelo de simulação, respeitando as regras de decisão do sistema de descarga na usina, foi realizada a validação do mesmo. O principal objetivo da validação é garantir que os pressupostos e simplificações adotadas do sistema real sejam razoáveis e estejam corretamente implementados. Esta validação foi realizada de duas formas:

1. Consulta com especialistas: Foram consultadas pessoas que conhecem muito bem o sistema de descarga da Usina São Martinho e podem avaliar se os resultados obtidos são consistentes.
2. Simulação dos dados coletados e comparação com o histórico de algumas medidas de desempenho coletadas no dia considerado típico de funcionamento do sistema. Esta simulação pôde ser realizada através da leitura dos arquivos que armazenam os dados pelo Módulo *Read*

do *software* Arena. Os resultados desta simulação foram comparados com as medidas que puderam ser obtidas diretamente das tabelas dos dados coletados. São elas: tempo médio de ciclo interno para cada tipo de caminhão, taxa média de chegadas de veículos por minuto, quantidade de cana que entra e sai da usina durante o período de um dia.

Na prática, sabe-se que há outros aspectos que influem na maneira de agir dos operadores e tomadores de decisão que se torna difícil de considerar ao mesmo tempo. Isto ocorre principalmente em um sistema contínuo e complexo, como é o sistema de descarga da Usina São Martinho. Este fator aliado às simplificações do modelo contribuem para diferenças encontradas entre os resultados obtidos na prática (calculados diretamente dos dados da tabela) e os resultados da simulação do sistema através da leitura destes dados e respeitando as regras de operação. Esta comparação é realizada na quarta coluna da tabela 2

**Tabela 2 - Comparação entre medidas simuladas e medidas computadas pela amostra**

<b>Tempo de permanência No sistema (minutos)</b>	<b>Amostra</b>	<b>Simulação de dados</b>	<b>Desvio p/ Amostra</b>	<b>Simulação Estocástica</b>	<b>Desvio p/ Amostra</b>
Média geral	24,3	25,4	4,4 %	22,5	-7,4%
Rodotrem	14,2	13,9	-2,1%	13,3	-7,0%
Treminhões	14,5	13,8	-5,9%	17,3	19,2%
Romeu e Julieta (c.picada)	27,7	31,4	13,3%	21,9	-20,9%
Romeu e Julieta (c.inteira)	33,1	31,2	-5,7%	32,6	-1,5%
Toco	23,0	22,4	-2,6%	24,6	6,9%
<b>Taxa de chegada (veic/min)</b>	<b>Amostra</b>	<b>Simulação de dados</b>	<b>Desvio p/ Amostra</b>	<b>Simulação Estocástica</b>	<b>Desvio p/ Amostra</b>
Rodotrem	0,057	0,060	5,2%	0,059	3,5%
Treminhões	0,22	0,22	0,0%	0,24	9,1%
Romeu e Julieta (c.picada)	0,072	0,075	4,2%	0,076	5,5%
Romeu e Julieta (c.inteira)	0,33	0,33	0,0%	0,34	3,0%
Toco	0,022	0,020	- 9,1%	0,019	- 13,6%
<b>Quantidade cana (ton) média no dia</b>	<b>Amostra</b>	<b>Simulação de dados</b>	<b>Desvio p/ Amostra</b>	<b>Simulação Estocástica</b>	<b>Desvio p/ Amostra</b>
Total de cana que entram	31.959,6	31.965,4	0,02%	33.459,69	4,6%
Total de cana descarregada	31.953,9	31.656,3	-0,9%	33.414,22	4,5%

Pode se concluir que as diferenças mostradas na quarta coluna da tabela 2 se devem ao fato de que as regras de despacho impostas no modelo de simulação não são, na prática, seguidas com absoluto rigor. Há outros fatores envolvidos, que não foram considerados e que podem alterar o comportamento do sistema por um período muito curto de tempo. Como estas diferenças são pequenas (em geral menores que 10%), pode-se concluir que as simplificações são aceitáveis e, desta maneira, admitimos o modelo validado.

### **Simulação estocástica**

Após esta validação do modelo, foi realizada a simulação com as distribuições estatísticas. Estas distribuições foram determinadas a partir dos dados coletados para tempos de atendimento para cada tipo de caminhão em cada moenda, e tempo de permanência no campo para cada tipo de caminhão, sendo utilizado o *software Best-Fit* para a análise estatística. Nesta análise foram obtidas as medidas descritivas, histogramas e realizados os testes de aderência para determinação da distribuição estatística que melhor representa os dados analisados.

Esta simulação é não-terminal, pois as operações de descarga são realizadas de forma contínua durante 24 horas, sem um ponto de parada no dia. Considerando esta característica, os resultados obtidos foram analisados através de procedimentos estatísticos com a utilização da ferramenta *OutPut Analyser* do *software* Arena. Desta forma, para obtenção das medidas de desempenho, foram determinados o período em que o sistema entra em equilíbrio e o tamanho de simulação necessário para a determinação do intervalo de confiança das medidas analisadas, como sugerem. Alguns dos resultados desta simulação estocástica podem ser diretamente comparados com os valores obtidos da amostra e esta comparação é apresentada nas duas últimas colunas da tabela 2.

Os resultados apresentados, mostram que a simulação estocástica, por ser analisada durante um período contínuo de tempo (vários dias), e devido ao seu caráter aleatório, traz alguns desvios com relação aos resultados médios de dados de apenas um dia de operação. Apesar disso, os resultados da simulação estocástica são aceitáveis, pois uma medida mais agregada (tempo médio de permanência no sistema para os caminhões em geral) apresenta um desvio de apenas 7,4%. Desta forma, pode-se considerar que os resultados obtidos através desta simulação podem ser utilizados para medirmos o desempenho deste sistema.

As principais medidas analisadas foram: tempo médio de permanência no sistema (balança à saída do ponto de descarga), número médio de cada tipo de veículo no sistema, taxa média de chegadas de cada tipo de veículo, quantidade média de conjuntos julietas (corresponde as duas carretas desacopláveis do treminhão) em estoque e quantidade média de cana descarregada por dia.

#### **Escolha de uma medida de desempenho para avaliar o sistema original e comparar futuros cenários:**

O fato de haver, para cada cenário, muitas medidas de desempenho obtidas como resultados da simulação dificulta a comparação entre cenários e o sistema original. É necessário encontrar uma medida de desempenho agregada que torne possível apontar qual a alternativa que apresenta o melhor desempenho ou se, nas alternativas testadas, há uma que possa superar o desempenho do sistema original.

As medidas consideradas importantes pelos tomadores de decisão da Usina São Martinho estão principalmente relacionadas com o tempo de espera de cada caminhão no pátio da usina. Isto porque, o tempo em que o caminhão permanece no pátio da usina, ele poderia estar gastando no campo ou na rodovia carregando cana. E um aumento da utilização média dos caminhões poderia implicar em uma redução da frota, número de motoristas, etc. Mas o custo de espera para cada tipo de caminhão não pode ser apenas relacionado com o tempo de espera, precisamos considerar que cada caminhão tem uma taxa de chegada e transporta uma certa quantidade de cana. Assim, estes caminhões devem ter custos diferenciados para uma unidade de tempo de espera no pátio. Por exemplo, não podemos considerar que o custo de um minuto de espera de um rodotrem (capacidade em média de 65 ton) seja o mesmo que o de um romeu e julieta (capacidade em média de 25 ton).

Diante destas considerações, uma medida interessante para analisar o desempenho do sistema de descarga na usina é aquela que relaciona o tempo de espera de cada caminhão com a sua taxa de chegada no sistema e a quantidade de cana transportada por viagem. Desta forma, deve ser medida a quantidade de cana em espera nas filas ao longo do tempo. Ao comparar os cenários testados, tem-se por objetivo encontrar aquele que apresenta o mínimo valor para esta medida. Assim, o melhor cenário será aquele em que há a menor quantidade média de cana em espera nas filas.

A quantidade média de cana em espera nas filas ( $Q_i$ ) para cada tipo de caminhão  $i$  em um determinado cenário pode ser então calculada, sendo :

$$Q_i = W_i \lambda_i q_i \quad (1)$$

onde,

$W_i$  = tempo médio de espera no sistema para o caminhão  $i$  (unidade de tempo);

$\lambda_i$  = taxa de chegada do caminhão  $i$  no sistema (caminhões por unidade de tempo);

$q_i$  = quantidade média de cana transportada pelo caminhão  $i$  (quant. de cana por caminhão).

Em cada cenário, esta medida é calculada para todos os caminhões, obtendo-se assim, o valor total ( $Q = \sum_i Q_i$ ) que servirá como base para a escolha da melhor alternativa.

Uma outra medida importante que deve ser considerada na avaliação do desempenho deste sistema é a quantidade de cana descarregada por dia, sendo que a usina possui uma certa capacidade de moagem que deve ser respeitada. A usina São Martinho tem capacidade máxima de moagem de 36.000 ton/dia. Como pode ser observado nos resultados da tabela 2 – quinta coluna, esta capacidade não é atingida, pois a quantidade de cana descarregada no cenário original é em torno de 33.000 ton/dia.

Desta forma, os cenários que serão analisados podem se aproximar mais da capacidade máxima de moagem de 36.000 ton/dia ou superá-la. Isto significa que, do ponto de vista desta medida, estes cenários apresentam melhor desempenho que o sistema original. Se algum cenário analisado apresentar capacidade de descarga superior à capacidade máxima de moagem, indica que a frota de veículos deve ser reduzida de forma que a capacidade limite seja respeitada. Neste caso, este cenário apresenta desempenho melhor que o original pois pode transportar e descarregar a mesma ou maior quantidade média de cana por dia, com um número menor de caminhões.

Pode ser observar que um cenário próximo do ideal é aquele em que a quantidade de cana descarregada se aproxime da capacidade de moagem na usina, de forma a não aumentar os custos com uma frota maior de veículos. Sendo também necessário garantir que quantidade média de cana em espera no pátio da usina ao longo do tempo seja mínima, de forma a reduzir os custos relacionados à espera de caminhões para descarregar.

A quantidade média de cana em espera em cada tipo de caminhão e total ao longo do tempo no caso da análise do sistema original é mostrada na tabela 5. Nesta tabela, também é dada a quantidade de cana descarregada em média por dia para este cenário original. Estes valores serão comparados com os valores obtidos no demais cenários alternativos simulados.

**Tabela 5 – Cálculo da quantidade média de cana em espera**

<b>Tempo de permanência no sistema (minutos)</b>	<b>Tempo médio sistema (min)</b>	<b>Taxa de cheg veic/min</b>	<b>Quant. cana p/ viagem(ton)</b>	<b>Quant. média espera (ton.)</b>
Rodotrem	13,3	0,059	65	51,0
Treminhões	17,3	0,240	45	186,8
Romeu e Julieta (c.inteira)	21,9	0,076	25	41,6
Romeu e Julieta (c.picada)	32,6	0,340	25	277,1
Toco	24,6	0,019	15	7,0
<b>Total</b>				563,5
<b>Quantidade cana (ton) média no dia</b>				
33.414,22				

### 3. Conclusões e perspectivas

Os resultados obtidos neste trabalho mostram que o modelo de simulação é capaz de representar satisfatoriamente o funcionamento do sistema de descarga de cana.. O estudo tem como perspectiva, utilizar este modelo para analisar cenários alternativos interessantes à melhoria do sistema, e compará-los com o cenário atual. Alguns dos possíveis cenários a serem analisados são descritos à seguir.

1. Cenário 1 : Todos os treminhões desacoplam - a alteração mais significativa neste cenário é utilizar como regra de despacho o desacoplamento de todos treminhões, deixando suas carretas (conjunto julietas) em estoque no pátio, sem passar pela Estação despacho.
2. Cenário 2 : Separar os pontos de descarga de cana picada de acordo com o tipo de caminhão – a proposta desta alternativa é disponibilizar o Ponto B5 somente para descarga de unidades tratoras (treminhão sem duas carretas).
3. Cenário 3 : Aumentar o número de caminhões rodotrens e acrescentar um ponto de descarga para este caminhão e reduzir a frota de treminhões – a proposta desta alternativa é aumentar a quantidade de rodotrens que são caminhões com maior capacidade de transporte de cana por viagem (60 ton). O objetivo deste cenário é testar se transportar cana por rodotrem, que corresponde à um veículo de maior custo, é mais vantajoso que transportar cana por treminhão que requer uma frota maior, mas com custo menor que o rodotrem.

Uma contribuição deste trabalho é mostrar o potencial da aplicação de técnicas de simulação em sistemas logísticos agroindustriais, em especial o setor agroindustrial canavieiro. Os estudos realizados para se medir as variáveis de desempenho destes sistemas logísticos nas usinas são importantes pois é possível propor políticas de gestão que possam trazer melhorias para o sistema, mas que, devido ao alto custo do risco envolvido, não puderam ser testadas.

### Bibliografia

BANKS, J., *Handbook of Simulation*, John Wiley & Sons, Atlanta, 1998.

CAIXETA FILHO, J. V., **Competitividade do Agrobusiness : A questão do transporte em um contexto logístico**, ESALQ, Departamento de Economia Rural, 1998, [fea.usp.br/fia/pensa/index.htm](http://fea.usp.br/fia/pensa/index.htm).

EID, F., **Progresso técnico na agroindústria sucroalcooleira**, Revista Informações Econômicas, SP, v.26, n 5, p. 29-36, maio de 1996.

HAHN, M. H., **SISTEC: Simulador de sistema de transporte da cana-de-açúcar**, dissertação de mestrado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica, 1994.

KELTON, W. D., SADOWSKI, R.P., SADOWSKI, D. A , *Simulation with Arena.*, McGrawHill, 1998.

LOPES M. B., **Simulação de um sistema de carregamento e transporte de cana-de-açúcar**, dissertação de mestrado apresentada à ESALQ-USP, Piracicaba, 1995.

YAMADA M. C., **Modelagem das cadeias de atividades produtivas da indústria sucroalcooleira visando a aplicação em estudos de simulação**, dissertação apresentada na E.E.S.C. – USP São Carlos, departamento de engenharia mecânica, 1999.