

1991

MODELO DE SIMULAÇÃO PARA AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA INTEGRADO DE
TRANSPORTE DE ÁLCOOL E ÓLEO DIESEL NA REGIÃO DE INFLUÊNCIA DA HIDRO
VIA TIETÊ-PARANÁ

MARCO ANTONIO BRINATI
PROFESSOR TITULAR, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
NAVAL, EPUSP

RUI CARLOS BOTTER
PROFESSOR ASSISTENTE, DEPARTAMENTO DE ENGENHA-
RIA NAVAL, EPUSP

JOSÉ ROBERTO ROMEU ROQUE
PROFESSOR ASSISTENTE, DEPARTAMENTO DE ENGENHA-
RIA NAVAL, EPUSP

CELSO LUIS S. P. SOUZA
ENGENHEIRO DA PETROBRÁS

RESUMO

Este trabalho apresenta uma modelagem para a análise do transporte para Paulínia do álcool produzido na região de influência da hidrovia Tietê-Paraná, introduzindo-se o óleo diesel como carga de retorno. O sistema de transporte em estudo é caracterizado por um conjunto integrado de modos de transporte (rodo/ferro/hidro/dutoviário), cujo objetivo é minimizar o custo global de transporte, atendendo as restrições físicas e operacionais de cada modal.

Na modelagem, é dada ênfase a aspectos de eficiência operacional do sistema, de modo a permitir que sejam analisados integralmente a frota de veículos, os tempos de espera em fila nos terminais, os tempos de permanência das cargas nos sistemas, e a tancagem dos produtos nas interfaces entre dois modos de transporte.

A modelagem foi implementada em micro-computador de 16 bits, através de simulação probabilística em linguagem GPSS "General Purpose Simulation System".

ABSTRACT

This paper shows a simulation model for analyzing the transportation of the alcohol produced in the influence zone of the Tiete-Parana basin to Paulinia, having the diesel oil as a return cargo. The transportation system comprises a set of integrated modes (truck/rail/barge/pipe) and the objective is to minimize the total cost subject to the physical and operational constraints of each mode.

The model focus some aspects of system operational efficiency to allow the integrated analysis of vehicle fleets, queue lines at terminals, spent time of cargo in the system and cargo inventories at the interfaces of two transportation modes.

The model has been implemented in 16 bits-microcomputer by using the probabilistic simulation language GPSS - General Purpose Simulation System.

1. INTRODUÇÃO

Atualmente a malha ferroviária da FEPASA - Ferrovias Paulista S.A, em conjunto com uma parte da malha ferroviária da RFFSA - Rede Ferroviária Federal S.A, são responsáveis pelo escoamento dos derivados de petróleo produzidos pela REPLAN - Refinaria do Planalto da Petrobrás, localizada na cidade de Paulínia, S.P., até as bases distribuidoras localizadas junto às ferrovias nas regiões de Presidente Prudente, Bauru, Ourinhos, São José do Rio Preto, Votuporanga, Cuiabá, Sinop, Campo Grande, Corumbá e Dourados, além de outras que estão muito distantes de uma possível influência da Hidrovia Tietê-Paraná. Várias destas cidades, às quais se inclui Santa Adélia, na região de influência da hidrovia, são responsáveis pela captação, por via rodoviária, de uma parte da produção de álcool das usinas do Estado de São Paulo, sendo que este produto é transportado até a base de Paulínia por via ferroviária para o seu escoamento a outros locais. Uma parte da produção de álcool da região de Araçatuba é atualmente transportada por rodovia até um ponto a montante da eclusa de Nova Avanhandava, sendo aí embarcada em

comboios fluviais que sobem o rio até um terminal junto a região de Santa Maria da Serra. A partir deste ponto, o álcool é transportado para a base de Paulínia por via rodoviária. A figura 1 mostra esquematicamente o sistema atual de escoamento de produtos claros e álcool, na região acima mencionada, que pode ser considerada a região onde os Rios Tietê e Paraná podem competir no transporte desses produtos.

A região de influência potencial da hidrovia Tietê-Paraná e o sistema de transporte proposto neste trabalho, foram caracterizados a partir da análise da demanda das cargas envolvidas e definidos com base no custo total de transporte para cada origem no sistema otimizado.

2. ANÁLISE DA DEMANDA DE ÁLCOOL E ÓLEO DIESEL

Os derivados de petróleo possuem como origem a refinaria de Paulínia (REPLAN) e como destinos as bases distribuidoras de derivados já mencionadas. As estatísticas de muitos anos referentes ao consumo desses produtos tornam a estimativa da demanda futura relativamente confiável, principalmente ao considerar-se que utilizamos como demanda de projeto a decorrente de estimativas para o ano de 1989.

O álcool possui como origem as usinas alcooleiras que enviam o produto por rodovia aos centros distribuidores e coletores junto a ferrovia e, em alguns casos, diretamente a REPLAN. A estimativa da demanda futura de álcool é de difícil tratamento pois o produto é comercializado há relativamente pouco tempo, nem sempre a usina fornece ao centro coletor mais próximo devido a razões comerciais e existe a dependência ao Programa do Álcool. A demanda de transporte de álcool foi estimada a partir da produção das usinas e das estatísticas anuais de transporte desse produto.

Com as demandas de álcool e óleo diesel, origens e destinos definidos, foi caracterizada a região de influência da hidrovia Tietê-Paraná, numa primeira aproximação, como a que a hidrovia tem poten-



cialmente maior vantagem em termos de restrições à navegação e menor distância em relação a outros modais de transporte. Tal configuração corresponde ao transporte de óleo diesel da REPLAN para Campo Grande e ao transporte de álcool da região de Araçatuba para a Replan. Os fluxos de carga decorrentes são mostrados na tabela abaixo.

TABELA 1 - FLUXOS DE CARGA DE PROJETO (PREVISÃO PARA 1989)

ORIGEM	DESTINO	TIPO DE CARGA	QUANTIDADE ANUAL
Usinas	REPLAN	álcool	550.000 m³
REPLAN	Campo Grande	óleo diesel	513.000 m³

3. SISTEMA DE TRANSPORTE

O sistema de transporte proposto, mostrado na figura 2, é constituído pelos componentes especificados a seguir:

- Transporte dutoviário de óleo diesel e álcool no outro sentido, da REPLAN até um terminal fluvial localizado próximo à cidade de Anhembi no alto Tietê, numa extensão de aproximadamente 97 km.
- Transporte fluvial de óleo diesel por comboios até o terminal de Três Lagoas, que deverá dispor de interface ferroviária, localizado a jusante de Jupiá no Rio Paraná. Nesse trajeto de 667 km, os comboios fluviais transpõem 7 eclusas (Barra Bonita, Bariri, Ibitinga, Promissão, Nova Avanhandava, Três Irmãos e Jupiá).
- Transporte ferroviário de óleo diesel até o seu destino final na cidade de Campo Grande, num total de 342 km. Os trens retornam vazios a Três Lagoas.
- Transporte fluvial de álcool do terminal de Pio Prado, que deverá dispor de interface rodoviária, na região de Araçatuba, até Anhembi. No trecho hidroviário entre Três Lagoas e Pio Prado os comboios não transportam carga.

- Transporte rodoviário das usinas produtoras de álcool na região de Araçatuba até o terminal de Pio Prado.

4. O MODELO

Para o sistema de transporte proposto, o modelo desenvolvido permite a definição, considerando aspectos de eficiência operacional e o mínimo custo de transporte, dos seguintes itens:

- Número de empurradores e velocidade de serviço;
- Número de conjuntos de 2 chatas e respectiva capacidade;
- Número de caminhões para o transporte de álcool entre usinas e o terminal de Pio Prado;
- Número de comboios ferroviários para o transporte de diesel entre o terminal de Três Lagoas e a cidade de Campo Grande;
- Número de berços de atracação em cada um dos 3 terminais hidroviários;
- Número de pontos de descarga para caminhões no terminal de Pio Prado;
- Capacidade de atendimento simultâneo de comboios ferroviários no terminal de Três Lagoas;
- Capacidade de tancagem nos terminais hidroviários.

Os itens acima citados condicionam os custos de capital e de operação do sistema de transporte. São ainda avaliados pela modelagem outros itens operacionais que complementam a avaliação econômico-operacional do sistema, a saber:

- Demanda movimentada em cada sentido;

- Tempos de ciclos de cada veículo, subdividindo-se em tempo transportando carga e vazio;
- Nível médio de tancagem das cargas nos terminais;
- Número de ciclos ou viagens redondas de cada tipo de veículo;
- Tempo médio de espera e número esperado de veículos junto aos terminais e eclusas.

A opção pela modelagem utilizando-se de simulação não permite a otimização direta do sistema, porém foi escolhida considerando-se a complexidade do problema, as profundas interrelações dos componentes, a precisão necessária nos resultados e a sensibilidade necessária em todas as etapas do processo de transporte para viabilizar a sua implementação. Dificilmente, neste caso, modelos analíticos propiciariam a comunhão dessas vantagens.

O modelo foi subdividido nos seguintes grupos:

- TERMINAIS FLUVIAIS - Cada terminal (Anhembí, Três Lagoas, Pío Prado) é composto de dois componentes. O primeiro componente é sempre relativo a operação do comboio fluvial. O segundo componente é relativo ao desempenho operacional do outro modal que está presente na outra face do terminal. O processo de carga e descarga, operação de tanques, além do trajeto do veículo (caminhões ou trens) é simulado.
- ECLUSAS - Simula-se a operação completa de transposição de uma eclusa pelos comboios fluviais.
- NAVEGAÇÃO - Simula-se a navegação dos comboios entre eclusas e entre uma eclusa e um terminal.
- ROTEIRO - É responsável pela designação do roteiro das embarcações fluviais entre os diversos terminais e eclusas, além de medir as estatísticas de tempos de ciclos, tempos de permanência em terminais e tempos em trânsito.

A seguir são mostrados com detalhes aspectos dos blocos relativos a terminais e eclusas.

4.1 TERMINAIS

A simulação dos terminais é subdividida nas seguintes fases:

a) CARGA E DESCARGA DE COMBOIOS

- a transação comboio fluvial ao ser designada para o subsistema de terminal fluvial, entra em fila aguardando até que uma posição de atracação seja liberada;
- havendo posição livre avança um tempo de atracação regido por uma função normal;
- Se o comboio estiver carregado com álcool, é iniciado um processo cíclico de descarga para o tanque do terminal com duração regida por uma função normal. Ao início de cada ciclo, verifica-se a possibilidade de descarga segundo a taxa nominal horária, se a embarcação ainda tiver carga suficiente. Podem ocorrer, portanto, quatro situações distintas, ou seja: há álcool suficiente na embarcação para uma descarga segundo a taxa nominal horária e espaço suficiente no tanque (ciclo normal); há álcool suficiente na embarcação e falta espaço no tanque (o ciclo horário é cumprido, o tanque é elevado ao seu nível máximo e é descarregado do comboio a diferença entre a capacidade máxima de tancagem e o nível existente) ; não há álcool suficiente na embarcação pois é menor que a taxa nominal de descarga horária e há espaço no tanque do terminal (este caso indica o fim da descarga e o tempo de ciclo normal é corrigido segundo a proporção carga da embarcação e taxa nominal de descarga horária) e, finalmente, não há álcool suficiente na embarcação e não há espaço no tanque para esta quantidade de carga (neste caso cumpre-se o ciclo horário, o tanque é elevado ao seu nível máximo e é descarregada do comboio a diferença entre a capacidade máxima de tancagem e o nível existente);

- ao terminar o ciclo de descarga, se naquele terminal houver o carregamento de óleo diesel no comboio (como é o caso do terminal de Anhembi), é iniciado um processo cíclico de carregamento do comboio com características semelhantes ao processo de descarregamento acima descrito, porém no sentido inverso, onde a modelagem mede se o nível zero de tancagem é ou não atingido e se o comboio está ou não totalmente carregado;

- finalizado o carregamento, o comboio está pronto para seguir viagem, ou seja, a transação comboio cumprirá um tempo normal referente ao processo de desatracação e, em seguida, é transferida ao subsistema roteiro para ser designada a outros subsistemas, conforme anteriormente descrito.

O terminal de Anhembi na interface hidroviária, tanto descarrega os comboios com álcool provenientes de Pio Prado como os carrega com óleo diesel; já o terminal de Três Lagoas somente recebe os comboios com óleo diesel e o terminal de Pio Prado somente recebe os comboios para serem carregados com álcool.

b) TRANSFERÊNCIA DE ÓLEO DIESEL PARA COMBOIOS FERROVIÁRIOS

- as transações trens, todas com mesma capacidade volumétrica, chegando junto à interface ferroviária do terminal, cumprem um período de tempo de espera no pátio de estacionamento e manobras que, segundo as estatísticas obtidas, pode ser considerado normal;

- após esse tempo, entram em fila para a alocação de uma vaga para o carregamento de óleo diesel, cujo destino é a cidade de Campo Grande;

- Liberada a vaga, é iniciado um período cíclico horário segundo uma distribuição normal, sendo que no início de cada ciclo é verificado se existe carga suficiente para o carregamento de óleo diesel nos vagões naquele período. Havendo carga suficiente, o nível tanque do terminal é diminuído de tal quantidade. Não havendo tal quantidade de carga, a composição aguarda até que o nível necessário seja atingido através da operação da interface hidroviária.

Note-se que a ligação entre as interfaces está no nível de tanca-gem de óleo diesel;

- finalizada a operação de carregamento, a transação cumpre um avanço de tempo segundo uma normal referente ao tempo de espera pa-
ra receber uma locomotiva para o seu deslocamento até Campo Grande;
- após esse tempo, simula-se o tempo de percurso até Campo Grande, segundo uma distribuição normal, em seguida essa transação repete o processo anterior de espera no pátio, descarregamento neste caso segundo uma normal, designação de uma locomotiva e retorno até o terminal de Três Lagoas, operando portanto em circuito fechado.

c) TRANSFERÊNCIA DE ÁLCOOL DOS CAMINHÕES PARA OS TANQUES

- as transações caminhões chegam à interface rodoviária, entrando em fila, à espera de uma vaga para descarga do álcool;
- havendo vaga, procede-se a um avanço de tempo segundo uma normal, referente operação de vistoria de lacres e, em seguida, simula-se um tempo de descarregamento segundo uma normal, cuja média depende do tamanho do caminhão e de uma taxa média de descarga. Antes da descarga, o nível do tanque do terminal é testado, ocorrendo a des-
carga somente se houver espaço suficiente no tanque. Não havendo espaço, a transação espera o esvaziamento do tanque pela interface hidrovíaria. Os tamanhos dos caminhões são sorteados para cada veí-
culo ao início do processo de simulação;
- finalizada a descarga, simula-se o tempo de ida até as usinas, segundo uma normal, o carregamento nas usinas, que da mesma forma depende do tamanho do caminhão, o retorno até o terminal de Pio
Prado, fechando o ciclo dessa operação.

d) TRANSFERÊNCIA DE ÁLCOOL E ÓLEO DIESEL POR DUTOS

- Cada duto é simulado segundo um ciclo, constituído por 7200 minu-
tos em operação e 800 minutos de interrupção operação por motivos diversos;

- Durante a operação, ao início de ciclo horário regido por uma normal, o nível de tancagem é verificado, ou seja, para o bombeamento de óleo diesel no sentido REPLAN-Anhembi, é verificado o nível máximo, face à taxa nominal de bombeamento. Se não houver espaço suficiente, naquele ciclo a tancagem é elevada ao nível máximo. Para o álcool, é verificado o nível zero do tanque em Anhembi, em processo similar.

4.2 ECLUSAS

São simuladas as 7 eclusas existentes no percurso hidroviário. Para uma melhor caracterização da hidrovia são simuladas também outras embarcações não pertencentes ao sistema proposto, para atingir um nível de ocupação das eclusas. A simulação da transposição de uma eclusa pode ser descrita nas seguintes etapas:

- Uma embarcação chegando a montante ou a juzante entra em fila;
- A primeira embarcação em fila, se esta existir, testa se a câmara naquele lado (montante ou juzante) está aberta e disponível. Caso positivo, é simulado o processo de transposição segundo uma normal. Caso negativo, testa-se se a câmara está disponível no outro sentido e sem embarcação para transpor. Caso esta condição seja confirmada, é simulado somente o enchimento ou esvaziamento da câmara para o atendimento da embarcação que efetuou este teste. Caso contrário, significa que está ocorrendo uma transposição e portanto a embarcação permanece em fila. Como existem duas filas concorrentes, uma a juzante e outra a montante da eclusa, sempre será atendida uma embarcação por vez, dependendo da posição da câmara.

Os principais valores estatísticos utilizados nas distribuições de tempos são mostrados na tabela 2.

5. IMPLEMENTAÇÃO DA MODELAGEM EM LINGUAGEM GPSS

Entre as linguagens de simulação existentes optou-se pela linguagem GPSS - "General Purpose Simulation System", pois sua aplicação específica a sistemas discretos, como o proposto, possibilita uma

fácil utilização das estatísticas relevantes, particularmente em processos de filas. Uma sistemática não tradicional aplicada ao modelo foi a conexão de um sistema completo de custos de todos os modos, já incorporado ao programa de simulação, o que facilitou sobremaneira a análise dos resultados e a seleção da solução de mínimo custo global de transporte.

TABELA 2 - ESTATÍSTICAS PRINCIPAIS UTILIZADAS NA SIMULAÇÃO

Processo	Média
Atracação e Desatracação	40
Ciclo de Carga e Descarga	60
Eclusagem	40
Percurso Três Lagoas - C. Grande por via Ferroviária	840
Percurso Usinas - Pio Prado por via Rodoviária	90
Percurso entre Eclusas	D/V
D- distância entre eclusas	
V- velocidade do comboio	

OBS.: - Tempos em minutos

- Distribuição Normal com Coeficiente de Variação de 10%

Na sua versão para micro-computadores tipo PC, a linguagem GPSS se mostrou mais adequada para a modelagem ora apresentada, pois permite o acompanhamento constante do fluxo de transações entre os blocos do programa, a visualização das estatísticas na tela, além de montar gráficos das principais variáveis e estatísticas ao longo de um processamento.

O período estacionário do sistema proposto é atingido após o 29 mês de simulação, conforme mostrado na figura 3, sendo após zera-

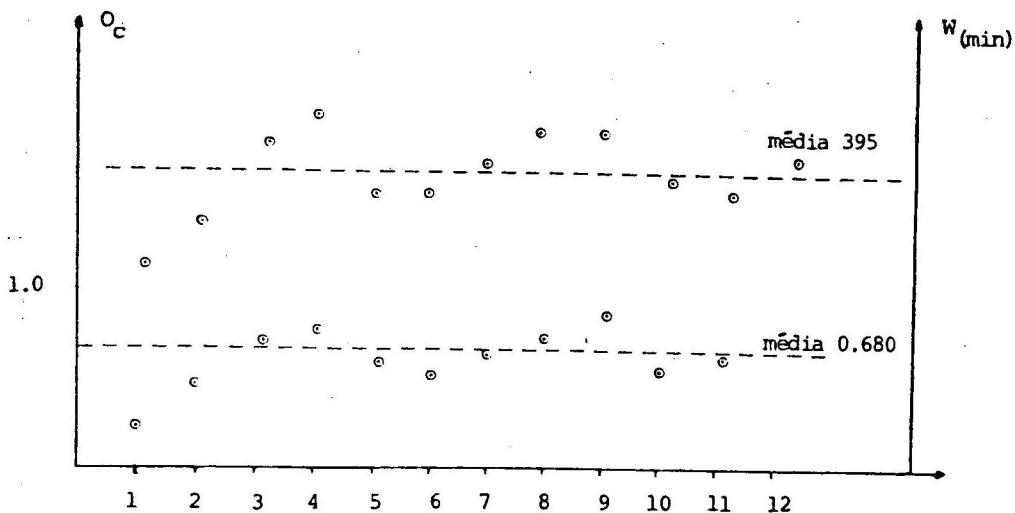


Figura 3 - Análise do Período Transitório

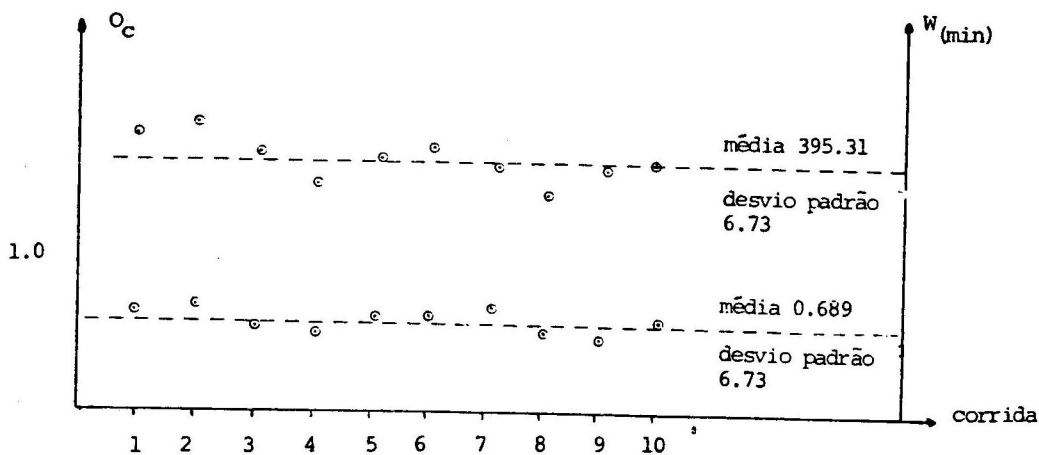


Figura 4 - Análise de desvios originados por sementes diferentes de geradores de números aleatórios

Legenda: O_C - Ocupação do Terminal de Anhembi

W - Tempo Médio em Fila dos Comboios em Anhembi

Configuração - Frota - 10 comboios capacidade 3000 m^3
 Operação - 12 hs/dia sem desmembramento
 Terminal de Anhembi com 2 berços
 Demanda Projetada - 550.000 m^3 de álcool
 513.000 m^3 de óleo diesel

das as estatísticas e a corrida iniciada por um período de um ano.

Para uma mesma configuração do sistema foram feitas corridas, alterando-se as sementes dos geradores de números aleatórios, verificando-se que a variação das estatísticas de filas e ocupação nos terminais um coeficiente máximo de variação de 2%. Os resultados desta avaliação são mostrados na figura 4.

A sequência de corridas deste modelo obedeceu as seguintes etapas:

- Escolhe-se a capacidade das embarcações, a razão entre tancagem dos terminais e a capacidade da embarcação, o tempo de operação diário do sistema (12 ou 24 hs) e a condição de operação (com ou sem desmembramento dos comboios nos terminais);
- Escolhe-se um determinado número de embarcações, composições ferroviárias e caminhões (estes dois últimos tipos de veículos tem capacidade pré-fixada conforme dados levantados) e o número de berços por terminal;
- O modelo é simulado, sendo verificado se a demanda projetada para aquela configuração foi atingida. Caso negativo, analisa-se o elo da cadeia de transporte responsável pelo não atendimento da demanda e aumenta-se a frota deste elemento. Caso positivo, encontrou-se uma solução viável nas condições especificadas, que pode ser melhorada ou aceita, como a de menor custo total do sistema, através da análise das filas e ocupação de terminais.

6. CONCLUSÕES

Exemplos de todas as estatísticas computadas pelo programa são mostradas na tabela 3, onde salientam-se os seguintes aspectos:

- níveis de tancagem não influenciam significativamente no custo global, preferindo-se esquemas de "superdimensionamento" de estoques para evitar riscos operacionais desnecessários. Os níveis médios dos tanques terminais estão indicados nas "TABLES", TAANB, TACTB, TDANB, TDLAG;

- podem ser aceitas filas de caminhões como possibilidade de superdimensionamento de suas frotas, evitando-se paradas desnecessárias dos comboios por falta de tancagem. Tais paradas dos comboios onerariam em demasia o sistema;

- apesar de serem grandes os tempos totais de transporte e imobilização das cargas, não são significativos os custos de capital deste item, o que gera soluções otimizadas nos limites superiores de capacidade das embarcações com baixa velocidade. O tempos de ciclos dos modos rodo/ferro/hidroviário são mostrados nas "TABLES" TRELAG, COMLAG e CAMACT;

- a dutovia é fator importante para a otimização do sistema de transporte, devida a alta eficiência operacional deste modo em relação aos modos rodoviário e ferroviário, que substitui no sistema proposto.

Como conclusão, devemos ressaltar os seguintes aspectos da modelagem:

- adequada integração dos modais e caracterização detalhada dos itens técnicos e operacionais de cada tipo de transporte;

- por ser usada uma técnica de simulação, a busca pela melhor solução foi feita através da escolha da melhor entre diversas corridas do modelo, não se garantindo a obtenção do ótimo global do sistema;

- possibilidade de análise do período transitório do modelo e posterior processamento por um período significativo de tempo (1 ano);

- tempo de simulação em micro-computadores tipo PC, 8Mhz, instalado com co-processor aritmético, não superior a 1 hora.

- possibilidade do acompanhamento de todas as estatísticas e fluxos de transações durante o processamento;

- maior facilidade de implantação do sistema de transporte proposto, com redução das "barreiras à inovação", por se tratar de uma operação simulada muito semelhante a operação real.

Tabela 3 - Exemplo de Resultados

*****					FILAS					*****																													
*****					Local					Veículo					Média					Máxima					Tempo Médio					*****									
*****					Eclusas					Comboios					0.92					6					312.0					*****									
*****					T. Anhembi					Comboios					0.21					2					395.9					*****									
*****					T. Tres Lagoas					Comboios					0.20					2					393.8					*****									
*****					T. Pio Prado					Comboios					0.15					1					293.8					*****									
*****					T. Tres Lagoas					Trens					0.42					2					478.9					*****									
*****					T. Pio Prado					Caminhões					3.5					16					109.76					*****									
*****					*****					BERÇOS DOS TERMINAIS					*****					*****					*****					*****									
*****					*****					Local					Número de Berços					Ocupação					*****														
*****					*****					Anhembi					2					0.689					*****														
*****					Tres Lagoas					1					0.790					*****																			
*****					Pio Prado					1					0.673					*****																			
*****					*****					*****					*****					*****					*****					*****									
*****					*****					"TABLES"					TANCAGEM NOS TERMINAIS					*****																			
*****					*****					Local					Carga					Cap. Nominal					Nível Médio					*****									
*****					*****					Anhembi					(TAANB)					Alcool					2100					1007					*****				
*****					Anhembi					(TDANB)					Diesel					1960					998					*****									
*****					T.Lagoas					(TDLAG)					Diesel					1960					1587					*****									
*****					Pio Prado					(TACTB)					Alcool					2100					1224					*****									
*****					*****					*****					*****					*****					*****					*****									
*****					*****					*****					"TABLES"					TEMPO DE CICLO					*****														
*****					*****					*****					Veículo					Tamanho da Frota					Tempo Médio					*****									
*****					*****					*****					*****					*****					*****					*****									
*****					*****					Comboios					(COMLAG)					10					18437					*****									
*****					*****					Trens					(TRELAG)					5					5774					*****									
*****					*****					Caminhões					(CAMACT)					16					501					*****									
*****					*****					*****					*****					*****					*****					*****									

Obs: - Tempos em minutos

- Capacidades em metros cúbicos

- Configuração com operação de 12 horas por dia, capacidade do comboio de 2100 m3 e sem desmembramento