



MODELO ECONÔMICO-OPERACIONAL PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA INTERMODAL DE TRANSPORTE NA HIDROVIA TIETÊ-PARANÁ

R. C. BOTTER, A. B. MENDES

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica da USP - São Paulo (SP) - Brasil

E-Mail: rcbotter@usp.br / andbergs@usp.br

IPEN XV COPINAVAL Meeting
Montevideo - Uruguay
11 - 14 Nov. 1997

RESUMO

O dimensionamento de um sistema de transporte intermodal de carga requer uma metodologia apropriada para lidar com as interações entre os modais e que também minimize o custo total de transporte. Este trabalho mostra um modelo econômico-operacional que está sendo desenvolvido e aplicado junto a Hidrovia Tietê-Paraná.

ABSTRACT

The design of an intermodal freight transportation system requires an appropriate methodology that would consider the interactions between the different modals and also minimize the global transportation cost. This paper shows an economic and operational model that is being developed and applied to the Tietê-Paraná Waterway.

1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

O sistema hidroviário Tietê-Paraná é um empreendimento que vem ganhando cada vez mais importância, devido à crescente utilização como meio de transporte alternativo, e principalmente como perspectiva de ser um elo de ligação com o MERCOSUL. O seu uso tem sido fomentado principalmente pela expectativa de em breve, ter o seu tramo sul interligado ao tramo norte e ao tramo Tietê, com a conclusão das eclusas do conjunto Três Irmãos-Jupiá, prevista para o início de 1998.

No início da década de 80, quando as obras de infra-estrutura hidroviárias ainda estavam em fase de projeto/concepção e construção, a prática da navegação era para o transporte de produtos com baixas distâncias e na maioria, entre reservatórios. Os principais produtos eram: cana-de-açúcar, álcool e derivados de petróleo, calcário e areia. Estes produtos caracterizaram um primeiro estágio, quando a hidrovia era conhecida como Hidrovia do Álcool.

Com a inauguração do Canal de Pereira Barreto em 1991, observou-se uma mudança no perfil do transporte praticado, com a entrada das commodities agrícolas. Estas cargas começaram a serem escoadas a partir da região Centro-Oeste via a hidrovia Tietê-Paraná, com destino ao mercado externo.

Impulsionadas pelas melhorias na via navegável e pela possibilidade de atingir distâncias hidroviárias ainda maiores, algumas empresas passaram a avaliar a possibilidade de utilização do modal hidroviário para compor um dos trechos do transporte de seus produtos.

Contudo, um sistema intermodal de transporte é bastante complexo do ponto de vista operacional, pois se trata de um transporte combinado entre diferentes modais, aos quais se interpõem os terminais que são, na sua maioria, dotados de silos ou tanques.

A dificuldade no dimensionamento deste sistema reside no fato de que os diversos modais operam de forma independente e de maneira assíncrona, podendo causar problemas de congestionamento e formação de filas em terminais. Estes problemas se traduzem em elevados custos de transportes e também de armazenagem. Busca-se então, um dimensionamento em que o fluxo de carga seja integrado ou balanceado entre os modais, e que o fator de utilização - ou fator de aproveitamento - dos veículos de carga seja razoável.

Portanto, o objetivo desta pesquisa consiste no desenvolvimento de uma sistemática para o dimensionamento econômico-operacional do transporte intermodal de cargas pela Hidrovia Tietê-Paraná. Esta sistemática será consubstanciada em um modelo de simulação computacional associado a planilhas de custo.

2. METODOLOGIA

A modelagem deste problema de transporte poderia utilizar a teoria de filas, a qual tornaria o modelo bastante complexo e de difícil resolução. Entre as ferramentas que possibilitam a resolução de problemas como este, está a técnica de simulação probabilística, que tem se mostrado muito eficiente, e que ultimamente tem tido maior utilização devido ao avanço computacional (hardware e software).

A aplicação de técnicas de simulação para análise e dimensionamento de problemas de transporte, consiste basicamente na montagem de um modelo computacional, que após processado várias vezes com os dados reais do sistema e com as modificações que se pretendem introduzir, produzirão resultados que permitirão ao usuário escolher a melhor alternativa sob o ponto de vista operacional e econômico.

Os objetivos implícitos na simulação são os de descrever comportamentos de sistemas; construir teorias ou hipóteses que explicam o comportamento observado; e usar o modelo para prever um comportamento futuro (efeitos produzidos por mudanças no sistema ou em sua forma de operar). Os modelos utilizados são chamados de input-out, ou seja, produzem uma determinada saída para uma dada entrada, conforme ilustrado na Figura 1.

Os principais benefícios resultantes de um processo de simulação são:

- poder testar novas políticas, procedimentos operacionais, estruturas organizacionais, etc., sem comprometer ou atrapalhar as presentes operações;
- testar novos arranjos físicos num processo produtivo, ou novos sistemas de transporte antes do emprego dos recursos na aquisição e/ou implantação dos mesmos;
- testar diversas hipóteses sobre como ou por quê certos fenômenos ocorrem;
- identificar os gargalos de um sistema;
- adquirir compreensão de quais variáveis são mais importantes para o desempenho e como estas variáveis interagem;

Já as desvantagens podem ser resumidas em:

- os resultados são, às vezes, de difícil interpretação, uma vez que o modelo está buscando capturar a aleatoriedade do sistema real;
- os modelos de simulação são *rodados* e não *resolvidos*, não podendo gerar uma solução ótima tal como os modelos analíticos; apenas podem servir de ferramenta para a análise do comportamento de um sistema sob condições específicas.

A simulação emprega basicamente duas formas de abordagem: a discreta e a contínua. Na simulação de eventos

discretos, o sistema pode ser descrito por mudanças de estado que ocorrem em tempos discretos; entre estes tempos, o estado do sistema permanece inalterado. Na simulação de eventos contínuos, o comportamento do sistema é caracterizado por equações de um conjunto de variáveis cujo comportamento dinâmico simula o comportamento observado no mundo real.

Para um sistema de transporte intermodal, emprega-se a simulação de eventos discretos, pois não é possível determinar um conjunto de equações que definam as características e a natureza das operações deste sistema.

Durante o processo de simulação, os objetos ou unidades básicas que estão dentro das fronteiras do sistema são chamadas de entidades. Cada entidade tem várias características que são chamadas de atributos. Estas entidades concorrem pela utilização de recursos e interagem com outras entidades, realizando diversas atividades ou transações. Um processo, por outro lado, é uma seqüência de eventos ordenados temporalmente e que abrange diversas atividades. A Figura 2 mostra esquematicamente uma seqüência de eventos, que englobam uma atividade e representam um processo.

Para se obter sucesso na aplicação das técnicas de simulação, é apresentada a seguir uma metodologia mais recomendada, racional e consagrada para a modelagem de sistemas logísticos, que parte da completa compreensão do problema até a implementação da solução proposta.

1. *Definição do Problema* - é a etapa onde ocorre uma definição clara das metas do estudo, por que se está estudando este problema, e quais respostas busca-se encontrar;

2. *Planejamento do Projeto* - busca-se, nesta fase, verificar a existência de recursos físicos, humanos e técnicos para a execução do projeto;
3. *Definição do Sistema* - é a etapa onde ocorre uma determinação das fronteiras e das restrições a serem usadas na definição do sistema, e uma investigação como o sistema funciona;
4. *Formulação Conceitual do Modelo* - é uma etapa onde se desenvolve um modelo preliminar de forma gráfica (por exemplo, diagrama de blocos) ou já em um pseudo-código, para definir os componentes, as variáveis e as interações lógicas que constituem o sistema;
5. *Projeto Experimental Preliminar* - consiste na seleção das medidas de eficiência que serão empregadas, os fatores a serem variados, e quais dados precisam ser colhidos do modelo, de que forma, e em que extensão;
6. *Preparação dos Dados de Entrada* - consiste na identificação e coleta dos dados necessários pelo modelo;
7. *Tradução do Modelo* - é a formulação do modelo em uma linguagem de simulação apropriada;
8. *Verificação e Validação* - é uma das etapas essenciais do processo, e que 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.
9. *Projeto Final Experimental* - consiste em projetar experimentos que irão gerar as informações desejadas, e

- determinar como cada uma das "corridas" especificadas no projeto serão executadas;
10. *Experimentações* - consiste em executar a simulação para gerar os dados desejados, e realizar análises de sensibilidades;
 11. *Análise e Interpretação* - consiste em realizar inferências sobre os dados obtidos pela simulação;
 12. *Implementação e Documentação* - é a disponibilização e aplicação dos dados utilizados e dos resultados obtidos, além de uma documentação do modelo e de seu uso.

Para a caracterização do modelo proposto, serão necessários conhecer a demanda de uma carga (origem, destino, volumes, etc.), os pontos de transbordo, as características operacionais de cada modal, e os parâmetros de custo envolvidos. Com os dados de saída da simulação será possível dimensionar o sistema desejado, chegando-se a uma configuração de frota de caminhões, de comboios fluviais e de composições ferroviárias, além da capacidade de estocagem nos terminais.

Associado ao dimensionamento realístico do sistema de transporte, será computado o custo de transporte associado à solução obtida, pois soluções operacionalmente viáveis nem sempre poderão ser economicamente viáveis. Trata-se de um binômio que deverá ter uma solução otimizada em função dos recursos disponíveis por uma empresa de transporte.

Poderão também ser realizadas análises de sensibilidade com a finalidade de verificar o peso de cada parâmetro no sistema, e qual o efeito da variação de cada parâmetro sobre o custo de transporte e sobre a quantidade total transportada. Outrossim, poderão ser testadas diferentes configurações para este sistema, variando-se os parâmetros:

- velocidade das frotas rodoviária, hidroviária, e ferroviária;
- capacidade de carga dos veículos rodoviário, hidroviário, e ferroviário;
- existência ou não de silos/tanques nos terminais;
- taxas de transbordo nos terminais;
- capacidade de armazenagem dos silos/tanques;
- comboios operando com ou sem desmembramento nos terminais;
- comboios com 2 ou 4 chatas (os comboios duplos, com 4 chatas, têm de realizar operação de desmembramento nas eclusas);
- faixa horária de operação das eclusas;
- existência ou não de carga de retorno.

O modelo também permitirá que, uma vez chegada à melhor solução, o custo de transporte seja recalculado quando houver qualquer variação de algum de seus insumos.

3. DESCRIÇÃO DOS SUBSISTEMAS

O modelo econômico-operacional foi estruturado de forma a ser o mais genérico possível, possibilitando a montagem de diversos cenários, de acordo com o sistema de transporte em estudo. Desta forma, pode-se compor um sistema intermodal de transporte através de subsistemas distintos, tais como os subsistemas rodoviário, ferroviário, hidroviário (com a possível presença de eclusas), os terminais rodo-hidroviário, rodo-ferroviário, ferro-hidroviário ou até mesmo rodo-ferro-hidroviário. Estes cenários estarão devidamente caracterizados pelos parâmetros operacionais e de custos.

Portanto, a abordagem sistêmica para este problema se fez necessária para permitir a flexibilidade deste modelo. Além disso, a abordagem sistêmica foi utilizada, pois em sistemas intermodais desta natureza, a

otimização dos subsistemas pode não levar a uma otimização do sistema global devido às interações existentes entre as partes.

Para o caso exemplo que será mostrado, estará sendo simulado o escoamento de soja vindo da região Centro-Oeste do Brasil, com destino ao Porto de Santos para exportação. Esta commodity agrícola estará sendo transportada desde as fazendas produtoras da região até um terminal intermodal no extremo norte da Hidrovia Tietê-Paraná, na cidade de São Simão (GO), através do modal rodoviário. A partir de São Simão, esta carga será embarcada em comboios de empurra formado por um empurrador e duas chatas, com capacidade total de 2400 ton. Estas embarcações deverão percorrer o tramo norte e o tramo Tietê da hidrovia, passando pelos rios Paranaíba, Paraná, São José dos Dourados, Canal de Pereira Barreto e o rio Tietê (com a transposição das eclusas de Nova Avanhandava, Promissão, Ibitinga e Bariri) com destino à cidade de Pederneiras (SP). Nesta cidade a carga estará sendo descarregada em um terminal intermodal que realiza a conexão hidro-ferroviária. Ambos os terminais (São Simão/Pederneiras) são dotados de silos com capacidade pulmão de armazenagem de respectivamente, 60.000 ton e 18.000 ton. A partir de Pederneiras, a carga estará sendo transportada por ferrovias da FEPASA com destino a Santos. O período simulado é um período de 6 meses (fevereiro a julho), correspondente a uma safra de soja, com uma demanda média mensal de 18.000 ton.

Os aspectos econômicos/operacionais contemplados pelo modelo serão detalhados a seguir.

3.1. Subsistema Rodoviário

Este subsistema caracteriza-se por envolver todos os aspectos relativos ao deslocamento do caminhão desde o seu

local de carregamento até a sua chegada ao terminal rodo-hidroviário. Compreende o carregamento da soja, o deslocamento em estradas vicinais próximas ao local de carregamento, o deslocamento em estradas de rodagem na região, a chegada e o descarregamento em São Simão. A ocorrência ou não de filas será consequência do número de entidades presentes em cada etapa dos processos envolvidos.

Para a caracterização deste subsistema são necessários os seguintes dados operacionais:

- distância média percorrida (km)
- velocidade média do veículo (km/h)
- distribuição de probabilidades das capacidades dos veículos (prob. x ton)
- taxas de carregamento (ton/h)
- taxas de descarregamento no terminal rodo-hidroviário (ton/h)
- fator de correção da velocidade para o veículo vazio

Quanto ao cômputo do custo de transporte são necessários os seguintes parâmetros:

- custo do veículo (R\$)
- fração do preço de sucateamento/preço do veículo novo
- taxa de juros anual efetiva (%)
- período de financiamento dos veículos (anos)
- período de carência dos veículos (anos)
- impostos a pagar (R\$)
- IPVA (R\$)
- seguro obrigatório / licenciamento (R\$)
- porcentagem de encargos sociais e obrig. trab. sobre salário direto
- número de motoristas por veículo
- custo médio diário de alimentação (R\$)
- preço do combustível (R\$/litro)
- preço do óleo do motor (R\$/litro)
- consumo de combustível (litros/km)
- consumo de óleo do motor (litros/km)
- porcentagem sobre valor do veículo novo p/cálc. da manutenção e reparos

- número de pedágios por viagem redonda
- tarifa do pedágio (R\$)
- preço do pneu novo (R\$)
- quantidade de pneus
- vida útil do pneu (km)
- porcentagem do custo total para cálculo do custo de administração
- porcentagem do custo total para cálculo do custo comercial
- porcentagem do custo total para cálculo do custo de agenciamento
- seguro da carga (R\$)
- horas úteis por dia (horas)
- ano operacional (dias)

3.2. Subsistema Ferroviário

Este subsistema compreende os aspectos relativos ao carregamento dos grãos em vagões graneleiros no terminal intermodal de Pederneiras (transbordo, deslocamentos dos conjunto de vagões nas baias ferroviárias, manobras e montagem da composição). Além disso, este subsistema simula o deslocamento até Santos e o descarregamento da composição. Novamente as filas são consequência do congestionamento natural da operação deste modal.

Para a caracterização deste subsistema são necessários os seguintes dados operacionais:

- distância média percorrida (km)
- velocidade média da composição ferroviária (km/h)
- capacidade média dos vagões (ton)
- número médio de vagões por composição
- taxas de carregamento no terminal hidro-ferroviário (ton/h)
- taxas de descarregamento (ton/h)

Cumpra-se observar que, como no caso das ferrovias paulistas o controle da operação é realizado pela FEPASA, não faz sentido calcular os tempos em cada processo do transporte, com a finalidade de se levantar

os tempos de ciclos de viagem das composições. Adota-se, neste caso, a frequência com que os trens são disponibilizados pela FEPASA à empresa, para o escoamento de sua carga. O modelo permite contudo, optar entre as duas formas: 1) simular as disponibilizações por parte da operadora, ou 2) simular e controlar as viagens redondas.

Da mesma forma, serão indicados os elementos que compõem uma planilha de custos de transporte ferroviário, cumprindo destacar que pode ser adotado, alternativamente, um valor padrão de frete (R\$/tku) semelhante ao praticado nas ferrovias paulistas.

- custo da locomotiva (R\$)
- custo do vagão (R\$)
- fração: preço de sucateamento/preço da locomotiva nova
- fração: preço de sucateamento/preço do vagão novo
- taxa de juros anual efetiva (%)
- período de financiamento das composições ferroviárias (anos)
- período de carência das composições ferroviárias (anos)
- impostos a pagar (R\$)
- porcentagem de encargos sociais e obrig. trab. sobre salário direto
- número de tripulações completas
- custo médio diário de alimentação (R\$)
- preço do combustível (R\$/litro)
- porcentagem sobre custo do combustível p/cálculo do custo de lubrificante
- consumo específico de combustível
- porcentagem de tempo MCP liguado/TVR
- porcentagem sobre valor da locomotiva nova p/cálc. do seguro da locomotiva
- porcentagem sobre valor do vagão novo p/cálc. do seguro do vagão
- porcentagem sobre valor da locom. nova p/cálc. da manutenção/repares
- porcentagem sobre valor do vagão novo p/cálc. da manutenção/repares

00006

- porcentagem do custo total para cálculo do custo de administração
- porcentagem do custo total para cálculo do custo comercial
- porcentagem do custo total para cálculo do custo de agenciamento
- seguro da carga (R\$)

3.3. *Subsistema Hidroviário*

Este subsistema compreende a operação de carregamento no terminal de origem em São Simão-GO, a viagem pelas vias navegáveis, e o descarregamento no terminal de Pederneiras. A viagem compreende a passagem pelos rios Paraníba, Paraná, São José dos Dourados, Canal de Pereira Barreto, e o rio Tietê. Neste último também ocorrem as passagens pelas eclusas de Nova Avanhandava, Promissão, Ibitinga e Bariri. O subsistema eclusa será descrito com mais detalhe adiante.

Analogamente aos outros modais, serão listados os parâmetros que caracterizam este subsistema:

- distância média percorrida (km)
- número de comboios
- número de chatas por comboio
- velocidade média dos comboios (km/h)
- capacidade média das chatas (ton)
- taxas de carregamento no terminal hidro-ferroviário (ton/h)
- taxas de descarregamento (ton/h)
- fator de correção da velocidade para o comboio vazio
- se a embarcação realiza eclusagem 24horas/dia ou não

Quanto aos parâmetros de custos:

- custo do empurrador (R\$)
- custo da chata (R\$)
- fração: preço de sucateamento/preço do empurrador novo
- fração: preço de sucateamento/preço da chata nova
- taxa de juros anual efetiva (%)
- período de financiamento das embarcações (anos)

- período de carência das embarcações (anos)
- impostos a pagar (R\$)
- taxa de eclusagem (R\$/ton)
- número de eclusagens por viagem redonda
- porcentagem de encargos sociais e obrig. trab. sobre salário direto
- número de tripulações completas
- custo médio diário de alimentação (R\$)
- custo mensal de material de bordo para os empurradores (R\$)
- preço do combustível (R\$/litro)
- porcentagem sobre custo do comb. p/cálc. do custo de lubrificante
- consumo específico de combustível do MCP (litro/BHP/h)
- consumo específico de combustível dos MCA (litro/BHP/h)
- porcentagem de tempo MCP ligado/TVR
- porcentagem de tempo MCA ligado/TVR
- porcentagem sobre valor do empurrador novo p/cálculo do seguro do empurrador
- porcentagem sobre valor da chata nova p/cálculo do seguro da chata
- porcentagem sobre valor do emp. novo p/cálculo da manutenção/reparos
- porcentagem sobre valor da chata nova p/cálculo da manutenção/reparos
- porcentagem sobre valor do emp. novo p/cálculo da docagem
- porcentagem sobre valor da chata nova p/cálculo da docagem
- porcentagem do custo total para cálculo do custo de administração
- seguro da carga (R\$)

3.4. *Subsistema Terminal*

O subsistema terminal está na interface entre os modais rodo-hidroviário e hidro-ferroviário. O mesmo não tem por função reter as cargas por um grande período de tempo, mas sim de criar condições para que a não simultaneidade temporal das ofertas de veículos transportadores não inviabilize as operações e também para que

acumule-se volume compatível com o transporte por modais como o ferroviário e o hidroviário, sem reter demasiadamente as composições.

A sua operação se dá conforme as regras a seguir:

Terminal de origem - São Simão

a) Interface rodoviária

- ao chegarem no terminal, os caminhões entram em fila para pesagem;
- após a pesagem, se deslocam para o local de transbordo;
- se houver espaço disponível no silo, o descarregamento é efetuado;
- após o descarregamento, os veículos se direcionam novamente para a balança;
- após a nova pesagem, aguardam em uma área apropriada próximo à balança para a liberação final;

b) Interface hidroviária

- após a chegada do comboio e a sua atracação, inicia-se o posicionamento das chatas junto ao ponto de carregamento (shiploader);
- se acabar a carga disponível no silo, o carregamento é suspenso até que a carga seja repostada até um certo nível mínimo (por exemplo, 100 ton). Esta premissa foi adotada pelo fato da taxa de descarregamento do silo ser superior à taxa de carregamento, e conseqüentemente, pelo fato de haver a necessidade de um estoque mínimo que justifique a operação de todos os equipamentos;
- após o enchimento de uma chata, a mesma é posicionada próximo ao cais em local adequado, e o processo de carregamento do comboio segue normalmente;
- após o término de carregamento de todo o comboio, o conjunto é acoplado e o comboio segue viagem;
- na eventualidade de ocorrência de chuvas durante o carregamento, o

processo é interrompido para a garantia da qualidade da carga.

Terminal de destino - Pederneiras

a) Interface hidroviária

- após a chegada do comboio e a sua atracação, inicia-se o posicionamento das chatas junto ao ponto de descarregamento (sugadores);
- se durante o descarregamento das chatas acabar o espaço disponível no silo, o mesmo será suspenso durante o tempo necessário para que a carga seja escoada via ferrovia, até que se libere um espaço equivalente a 5% da capacidade do silo. Este valor arbitrado de 5% foi estipulado pelo fato da taxa de carregamento do silo ser superior à taxa de descarregamento, e conseqüentemente, pelo fato de haver a necessidade de um espaço mínimo que justifique a operação de todos os equipamentos;
- após o esvaziamento de uma chata, a mesma é posicionada próximo ao cais em local adequado, e o processo de descarregamento do comboio segue normalmente;
- após o término de descarregamento de todo o comboio, o conjunto é acoplado e o comboio segue viagem;
- na eventualidade de ocorrência de chuvas durante o descarregamento, o processo é interrompido para que não deteriore a carga.

b) Interface ferroviária

- ao chegar no terminal, os vagões aguardam em fila o carregamento;
- nesta operação, um conjunto de vagões são deslocados em bloco para pesarem vazios, carregarem e pesarem cheios novamente;
- os vagões já carregados aguardam em local apropriado pelos demais;
- após todos os conjuntos de vagões estarem carregados, monta-se a

oposto em que se encontra a embarcação;

- a eclusa está ocupada, com uma eclusagem sendo feita para o nível oposto em que se encontra a embarcação, e há uma fila no lado oposto.

Em todos os casos, quando houver a necessidade de se esperar em fila, seja para a transposição, ou durante a noite, a embarcação aguarda em um local apropriado.

Os tempos envolvidos nos processos de eclusagem são divididos em:

- tempo de acesso longo - é o tempo de deslocamento da embarcação entre o ponto de parada obrigatório e o ponto de entrada da câmara da eclusa;
- tempo de acesso curto - é o tempo de deslocamento da embarcação desde o ponto de entrada da câmara da eclusa até a que a mesma adentre por completo a câmara;
- tempo de viragem - é o tempo que leva para encher ou esvaziar a câmara da eclusa quando a mesma está vazia, para posicionamento em outro nível;
- tempo de eclusagem - é o tempo de transposição propriamente dito;
- tempo de saída - é o tempo de saída da embarcação da câmara.

A inserção da eclusa num contexto de simulação permite através análise da porcentagem média de ocupação da mesma, concluir se a intensidade do tráfego na hidrovia está simulando condições reais de operação ou não. Por exemplo, se o índice de congestionamento da eclusa estiver baixo, então novas embarcações de "terceiros" são inseridas no modelo, para representar o congestionamento real.

Estas embarcações têm suas posições iniciais sorteadas de tal forma as mesmas

estejam uniformemente distribuídas ao longo do rio.

4. SIMULAÇÃO DO SISTEMA INTEGRADO DE TRANSPORTE

A modelagem do problema proposto foi implementada de duas maneiras: a parte de custos foi implementada em planilhas Excel, e a modelagem operacional em um software de simulação probabilística - ARENA.

Serão enfatizados neste trabalho a modelagem operacional, considerando o item de custos como uma manipulação algébrica dos parâmetros apontados anteriormente. Cumpre destacar que todos os parâmetros temporais para cálculo dos respectivos custos de transporte, foram extraídos do processo de simulação. Desta forma, após cada "corrida" do modelo, a planilha de custos deve ser recalculada em função do cenário em questão.

O modelo operacional, conforme mencionado, foi desenvolvido em linguagem ARENA. Com o desenvolvimento da capacidade de processamento, interface gráfica e a disseminação do emprego recursos computacionais na indústria, os softwares de simulação vêm se tornando cada vez mais utilizados, proporcionando a racionalização da operação e a melhoria do desempenho de complexos sistemas de logísticos e de transportes.

O ARENA possui entre outras características as listadas abaixo:

- um módulo de análise de dados, o qual permite realizar testes de aderência dos dados de entrada do problema, a fim de determinar a distribuição estatística que melhor representa o sistema real;

- um módulo de análise dos dados de saída da simulação que permite comparar as corridas de diferentes replicações através de gráficos e a construção de intervalos de confiança;
- uma linguagem de programação baseada em diagrama de blocos que facilita a codificação do modelo;
- uma interface gráfica de animação que permite o acompanhamento de cada passa do modelo em tempo real, auxiliando a sua compreensão e sua verificação.

Exemplificando o sistema intermodal, serão mostrados algumas telas do modelo desenvolvido. Em primeiro lugar, será mostrado a Figura 3, que representa a modelagem de uma eclusa. As etapas de definição do problema e estruturação lógica foram feitas a partir de estudos da bibliografia técnica, visitas e acompanhamento do processo de eclusagem em todas as eclusas do rio Tietê, e de entrevistas com técnicos da CESP.

Para realizar o processo de verificação utilizou-se do recurso de animação gráfica para indicar a seqüência lógica da operação. Esta etapa englobou a simulação com diversas condições de taxas de chegada à eclusa, para que todas as situações possíveis (comentadas na descrição do subsistema eclusa) fossem testadas. Quanto à validação, coletou-se os tempos envolvidos de cada um dos testes feitos, analisando-se a coerência destes valores em relação aos tempos que seriam reais numa operação de eclusagem.

Analogamente, para cada subsistema do modelo proposto foram realizados os mesmos procedimentos, de forma a garantir a confiabilidade e a representatividade do modelo desenvolvido.

Nas figuras em anexo tem-se ainda uma tela de animação do sistema com o mapa da Hidrovia Tietê-Paraná (Figura 4). Em seguida tem-se uma tela indicativa do número total de embarcações por trecho hidroviário (onde se inclui a frota da empresa operante e as demais embarcações que estão navegando pela hidrovia), que possibilita uma análise do tráfego existente (Figura 5). Há também, um gráfico indicativo do nível de silagem em São Simão e em Pederneiras com de duas curvas sobrepostas: o estoque instantâneo e o estoque médio, ao longo do tempo (Figura 6) e uma tela de definição de algumas estatísticas do modelo (Figura 7).

5. EXPERIMENTO E RESULTADOS

Para a exemplificação da metodologia desenvolvida, foi simulado o sistema indicado na seção 3, com algumas simplificações.

Por exemplo, o modal rodoviário foi simulado supondo uma frota spot para o transporte de soja das fazendas produtoras até o terminal rodo-hidroviário. Como o objetivo deste exemplo é mostrar a dificuldade no balanceamento do fluxo da carga entre os modais, e não o dimensionamento das frotas propriamente dito, o modelo estará assumindo uma taxa de chegada dos caminhões ao terminal segundo uma distribuição exponencial, ao invés de estar controlando o ciclo de viagem completo por caminhão. A distribuição utilizada é representativa de um processo de chegada de eventos independentes.

Já para o modal hidroviário, as viagens estarão sendo simuladas por completo (ida, volta e transbordo), pois o número de embarcações é fixo, e o desempenho

operacional das mesmas influenciarão no atendimento ou não da demanda prevista de transporte.

Para o caso ferroviário, conforme já mencionado na seção 3, será feita uma simulação levando em conta a frequência com as composições são disponibilizadas pela FEPASA junto ao terminal ferro-hidroviário.

Os terminais estarão operando 24 horas e a incidência de paradas devido a chuvas na região será omitida.

As eclusas terão o seu horário de funcionamento condicionados pelo tipo de embarcação da seguinte forma:

- embarcação de carga não perigosa - 6:00 hs às 22:00 hs
- embarcação de carga perigosa - 7:00 hs às 19:00 hs
- embarcação de passageiros - 24 horas

OBS:

1. As embarcações da frota "própria" simuladas estarão na primeira classe acima;
2. Os horários acima indicam a flexibilidade do modelo de lidar com janelas de tempo de atendimento de embarcações na eclusa, e podem, eventualmente, estar diferentes da realidade atual.

Os parâmetros utilizados na simulação foram os seguintes:

Modal Rodoviário

- intervalo de chegada dos caminhões ao terminal: distribuição exponencial, com média 40 ou 60 min (os 2 valores serão testados);

Terminal Rodo-Hidroviário:

- capacidade máxima de estocagem: 60.000 ton;
- estoque no início da simulação: 8.000 ton;
- horário de operação: 24 horas;

Modal Hidroviário:

- número de comboios: 3;
- número de chatas por comboio: 2;
- capacidade de carga por chata: 1200 ton;
- velocidade média das embarcações: 12 km/h;
- horário de funcionamento da eclusa: 16 horas x 24 horas (os 2 valores serão testados);

Terminal Hidro-Ferrovário:

- capacidade máxima de estocagem: 18.000 ton;
- estoque no início da simulação: 1.000 ton;
- horário de operação: 24 horas;

Modal Ferroviário:

- intervalo de chegada dos trens ao terminal: distribuição normal, com média 2, 2.5, ou 3 dias (os 3 valores serão testados), e coeficiente de variação 10%;

Buscou-se, através da variação dos parâmetros acima, saber a influência no fluxo/balanceamento dos modais. A Tabela 1 indica os experimentos realizados e os resultados obtidos.

Em relação aos custos, adotou-se apenas para exemplificação da metodologia proposta, os seguintes valores:

- frete rodoviário - R\$ 13,00/ton;
- frete hidroviário - R\$ 9,50/ton;
- frete ferroviário - R\$ 12,00/ton;
- transbordos - R\$ 3,5/ton;

Estes valores foram estimados a partir dos parâmetros levantados na planilha de

custo. Com estes dados, foi calculado para cada cenário a conta total de fretes, que é função da carga total transportada no período de seis meses (Tabela 2). A praticidade e a importância da metodologia proposta pôde ser comprovada pela integração entre os arquivos de dados de saída da simulação e o arquivo que continha as planilhas de custo.

Cabe ressaltar que a solução tida como a melhor, dentro da faixa restrita de testes realizados, balanceou satisfatoriamente a demanda (18.000 ton/mês) entre os três modais e proporcionou a menor conta de fretes. Outro aspecto operacional importante foi a inexistência de tempo de fila para carregamento dos trens.

A metodologia desenvolvida permite a variação de um número ilimitado de parâmetros. Como restrição a um número grande de graus de liberdade está o elevado tempo de processamento computacional, pois para cada cenário, deverão ser feitas múltiplas corridas independentes para que os dados obtidos sejam estatisticamente representativos. Portanto, os cenários ou parâmetros dos testes deverão ser escolhidos criteriosamente, de forma a viabilizar a execução dos mesmos.

Outrossim, os experimentos acima executados visam apenas ilustrar o potencial da metodologia, e não ditar regras ou parâmetros para o dimensionamento "otimizado" deste sistema mostrado.

IPEN XV COPINAVAL Meeting
Montevideo - Uruguay
11 - 14 Nov. 1997

6. CONCLUSÕES E EXTENSÕES

O modelo econômico-operacional permite dimensionar de forma realista e estratégica um sistema intermodal de transportes, levando em consideração todos os aspectos operacionais relevantes.

As planilhas de custos associadas, possibilitam conhecer os itens de maior peso para o cômputo dos fretes. Além disso permitem relacionar os diversos cenários de operação aos custos de transporte.

A continuidade desta pesquisa visa implantar as rotinas necessárias para que, acoplado ao dimensionamento completo do sistema por simulação, encontre-se uma solução de custo mínimo de transporte e que atenda à demanda.

7. BIBLIOGRAFIA

Azevedo, C. (1979) - Transporte Rodoviário de Cargas, Custos e Tarifação, Euler S.A. Engenharia e Consultoria, Rio de Janeiro.

Botter, R.C. e Souza, R. L. (1996) - Analysis and Design of an Ocean Transportation System Using Simulation Techiques, 14o. Triennial Conference - IFORS 96 - The International Federation of Operational Research Societes, Vancouver, Canadá.

Botter, R.C., Roque, J.R.R.; Gouvêa, M.T. e Souza, C.L.P. (1991) - Dimensionamento de um Sistema Integrado de Transporte de Álcool e Óleo Diesel na Região de Influência da Hidrovia Tietê-Paraná, Revista "Cadernos de Tecnologia", nr. 1, pág. 11-26, Centro Estadual de Educação Tecnológica "Paula Souza".

Brinati, M. A. (1983) - Influência das Condições de Operação Portuária sobre o Dimensionamento de Comboios Fluviais, VIII Congresso Pan-Americano de Engenharia Naval, Transportes Marítimos e Engenharia, Washington, D.C., EUA.

Brinati, M. A., Tonon, V. J. e Ramalho, E. W. (1981) - Determinação dos Tempos de Espera e Transposição de uma Eclusa, VII Congresso Pan-Americano de Engenharia Naval, Transportes Marítimos e Engenharia Portuária, Chile.

Lima Jr., O. F. (1988) - Metodologia para concepção e dimensionamento de terminais multimodais de pequeno e médio porte. São Paulo. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da USP.

Lucci, M.A.S. (1990) - Tarifação Ferroviária, Análise e Proposições de Reformulação, Rio de Janeiro. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia.

Mumayiz, S. A (1992) - Overview of Airport Simulation Models - Transportation Research Record, 1273.

Novaes, A. G. (1978) - Custos e Características Operacionais do Transporte Hidroviário, São Paulo, TRANSESP.

Pedgen, C. D. et alii (1995) - Introduction to Simulation Using SIMAN, McGraw-Hill.

Pidd, M. (1992) - Computer Simulation in Management Sciences, John Wiley & Sons.

Reinig, W.A. (1994) - Hidrovia Tietê-Paraná: Apresentação de Parâmetros Básicos para Comparação Indicativa entre os Modais Hidroviário x Ferroviário x Rodoviário, São Paulo, CESP, (Série Pesquisa e Desenvolvimento 115).

Tabela 1 - Experimentos e Resultados Obtidos

Resultados																	
Parâmetros					Terminal Destino												
Modal Rodoviário	Modal Ferroviário	Modal Hidroviário			Terminal Origem	Modal Rodoviário			Terminal Destino	Modal Hidroviário			Modal Ferroviário				
Intervalo de chegada (minutos)	Intervalo de chegada (dias)	Eclusagem 16 horas/ 24 horas	Velocidade média (km/h)	Capacidade do comboio (ton)	Estoque médio (ton)	Tempo fila descarga (min)	Núm. viagens	Carga transp. (ton)	Estoque médio (ton)	Tempo em fila p/ carregar (min)	Tempo em fila p/ descarga (min)	Tempo de viagem redonda (min)	Núm. viagens	Carga transp. (ton)	Tempo em fila p/ carregar (min)	Núm. viagens	Carga transp. (ton)
40	2.0	16	12	2400	6155.9	1.1	6426	160650	15993.1	21.9	741.3	12365.8	64	151200	0.0	91	136500
40	2.0	24	12	2400	7088.6	1.0	6420	160500	16830.3	485.3	2697.3	15665.4	50	150000	0.0	90	135000
40	2.5	16	12	2400	18441.3	1.0	6465	161625	17174.8	163.1	4384.0	18908.8	42	123000	0.0	72	108000
40	2.5	24	12	2400	20631.4	1.1	6612	165300	17284.6	236.3	5040.4	18905.3	42	126000	0.0	73	109500
40	3.0	16	12	2400	25583.5	1.0	6335	158375	17365.0	58.4	6503.3	21928.6	36	108000	0.0	61	91500
40	3.0	24	12	2400	26262.6	9.0	6393	159825	17362.8	256.0	6728.2	21888.4	36	108000	0.0	61	91500
60	2.0	16	12	2400	165.3	0.6	4337	108425	2433.8	5260.7	7.7	19658.1	38	120000	6149.4	80	120000
60	2.0	24	12	2400	147.6	0.7	4271	106775	2403.7	6409.3	7.7	19997.0	38	117000	7129.2	78	117000
60	2.5	16	12	2400	173.6	0.7	4258	106450	11299.1	5884.0	13.1	20048.8	38	117000	0.0	72	108000
60	2.5	24	12	2400	149.3	0.7	4320	108000	10594.7	6212.7	7.7	19752.7	38	120000	0.0	73	109500
60	3.0	16	12	2400	2069.3	0.7	4232	105800	16572.3	2150.3	3569.9	22470.7	36	105000	0	60	90000
60	3.0	24	12	2400	1793.1	0.7	4290	107250	16398.8	2762.8	3382.1	22197.2	36	105000	0	60	90000

00015

Tabela 2 - Frete Total no Período

Total de carga transportada (ton)			Total de frete pago (R\$)				Total (R\$)
Rodovia	Ferrovía	Hidrovia	Rodovia	Ferrovía	Hidrovia	Transbordo	
160.650	136.500	151.200	2.088.450,00	1.638.000,00	1.436.400,00	524.606,25	5.687.456,25
160.500	135.000	150.000	2.086.500,00	1.620.000,00	1.425.000,00	521.062,50	5.652.562,50
161.625	108.000	123.000	2.101.125,00	1.296.000,00	1.168.500,00	451.171,88	5.016.796,88
165.300	109.500	126.000	2.148.900,00	1.314.000,00	1.197.000,00	460.950,00	5.120.850,00
158.375	91.500	108.000	2.058.875,00	1.098.000,00	1.026.000,00	407.640,63	4.590.515,63
159.825	91.500	108.000	2.077.725,00	1.098.000,00	1.026.000,00	408.909,38	4.610.634,38
108.425	120.000	120.000	1.409.525,00	1.440.000,00	1.140.000,00	409.871,88	4.399.396,88
106.775	117.000	117.000	1.388.075,00	1.404.000,00	1.111.500,00	400.553,13	4.304.128,13
106.450	108.000	117.000	1.383.850,00	1.296.000,00	1.111.500,00	392.393,75	4.183.743,75
108.000	109.500	120.000	1.404.000,00	1.314.000,00	1.140.000,00	400.312,50	4.258.312,50
105.800	90.000	105.000	1.375.400,00	1.080.000,00	997.500,00	355.075,00	3.807.975,00
107.250	90.000	105.000	1.394.250,00	1.080.000,00	997.500,00	356.343,75	3.828.093,75

Figura 1 - Experimentos Utilizando a Simulação

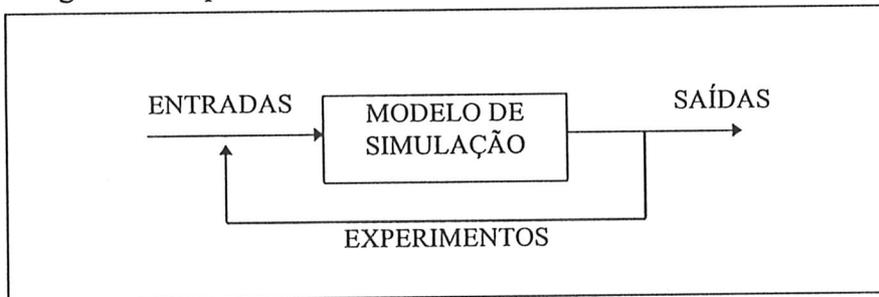


Figura 2 - Modelagem de Eventos Discretos



Figura 3 - Modelagem em Arena de uma Eclusa

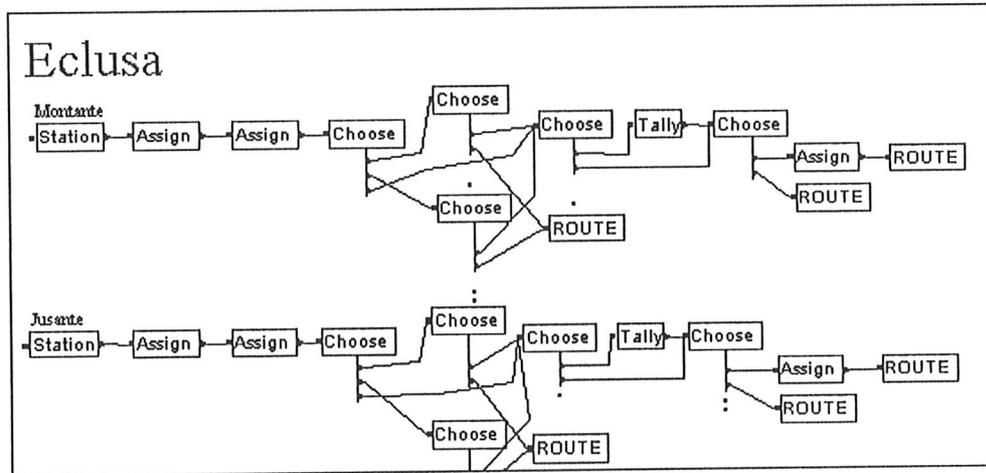
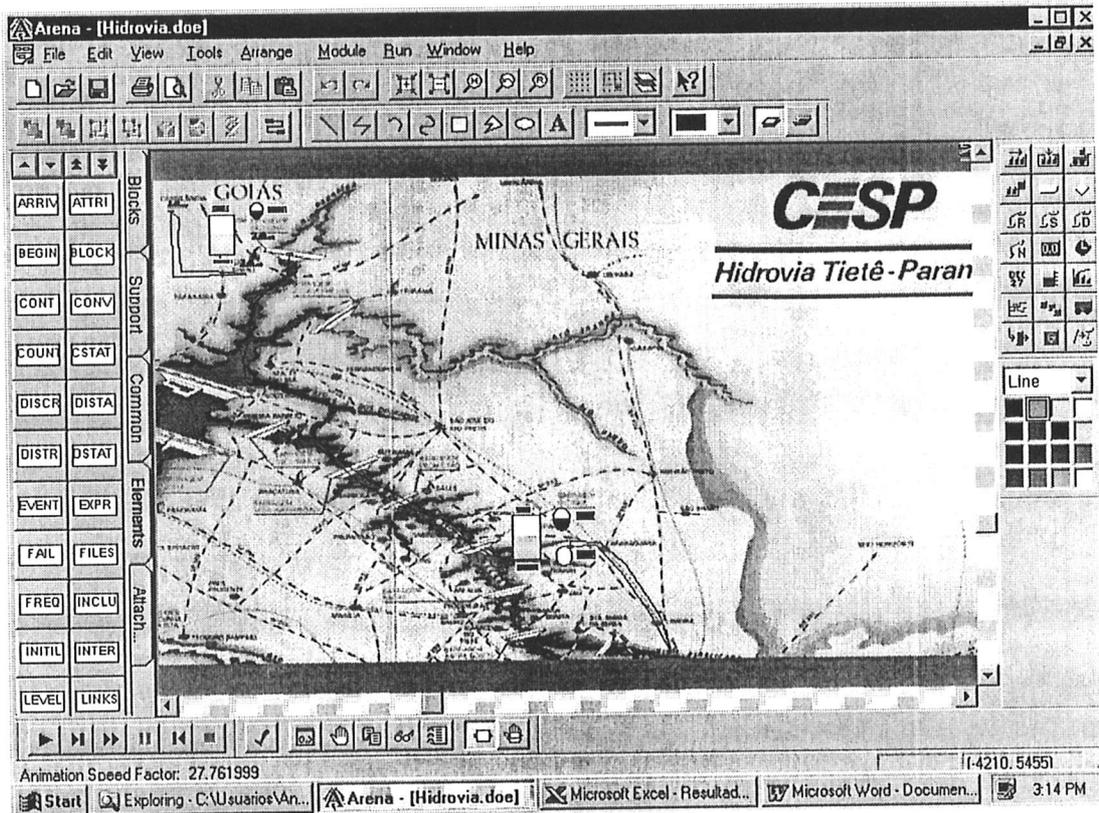


Figura 4 - Tela de Animação do Modelo



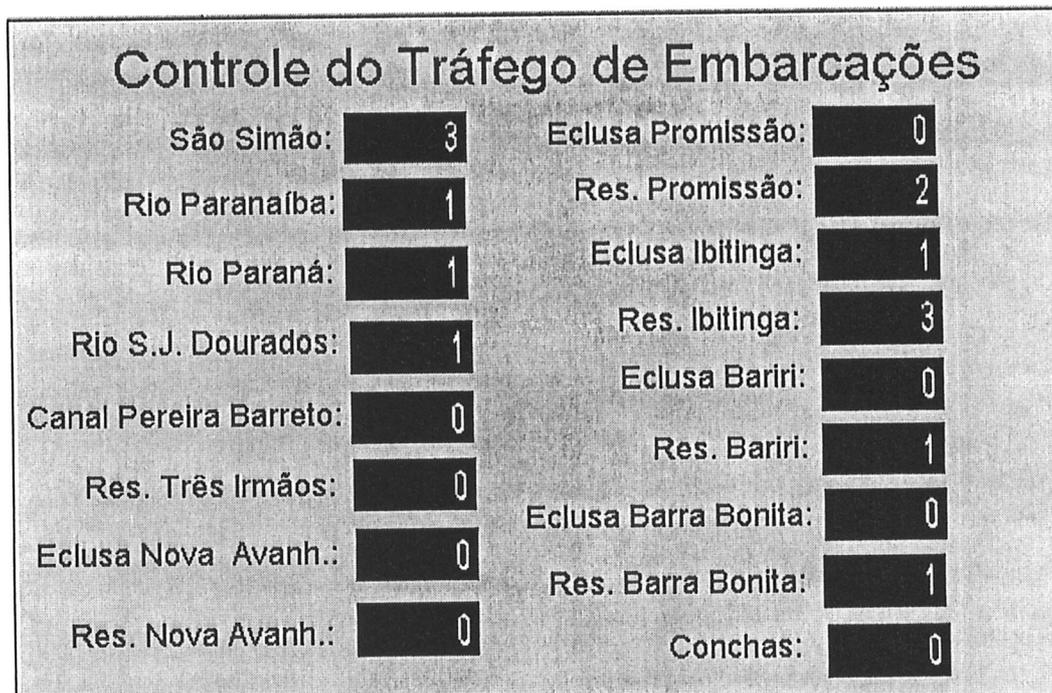


Figura 5 - Controle do Tráfego de Embarcações

Figura 6 - Estoque nos Armazéns de São Simão e Pederneiras

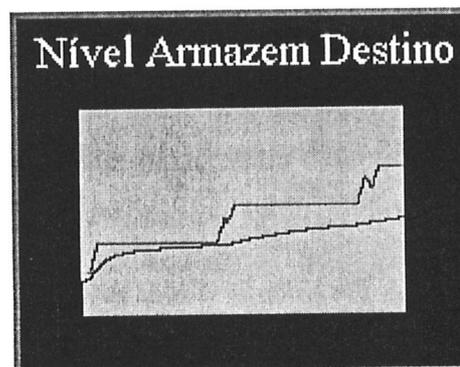
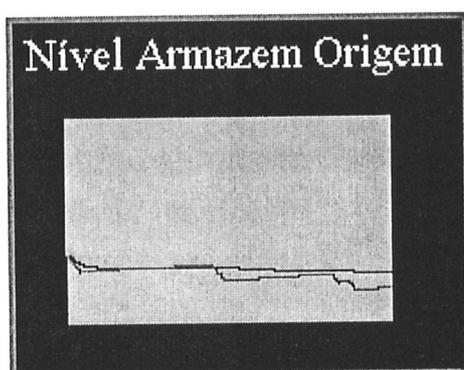


Figura 7 - Tela de Definição de Algumas Estatísticas

Estatísticas

DSTATS NQ(fem_barra_bonita) NQ(fem_barri) NQ(fem_ibitinga) NQ(fem_promissao) NQ(fem_hova_avanhandava)	DSTATS NQ(fej_barra_bonita) NQ(fej_barri) NQ(fej_ibitinga) NQ(fej_promissao) NQ(fej_hova_avanhandava)	DSTATS NQ(fnm_barra_bonita) NQ(fnm_barri) NQ(fnm_ibitinga) NQ(fnm_promissao) NQ(fnm_hova_avanhandava)
DSTATS NQ(fnj_barra_bonita) NQ(fnj_barri) NQ(fnj_ibitinga) NQ(fnj_promissao) NQ(fnj_hova_avanhandava)	DSTATS NR(eclusa_barra_bonita) NR(eclusa_barri) NR(eclusa_ibitinga) NR(eclusa_promissao) NR(eclusa_hova_avanhandava)	