

PAPER #404

UMA METODOLOGIA INTEGRADA PARA A ANÁLISE TÉCNICO ECONÔMICA DE SISTEMAS DE TRANSPORTE HIDROVIÁRIO URBANO DE PASSAGEIROS

Jorge Luiz Bobadópulos - Engenheiro Naval*
Nelson Bianco Standerski - Engenheiro Naval*

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia integrada desenvolvida para o estudo de viabilidade de linhas hidroviárias urbanas de passageiros e sua aplicação para a ligação Porto Alegre/Guaíba (Brasil).

A metodologia, que se baseia na aplicação do conceito de custos generalizados com a finalidade de comparar o desempenho de embarcações e modos alternativos no sistema de transporte, oferece os seguintes resultados:

- avaliação da demanda total na linha hidroviária;
- determinação das características da embarcação indicada para a linha;
- definição das características da hidrovia.

ABSTRACT

This paper presents an integrated methodology developed for the feasibility study of waterway passenger urban lines and its application on the line Porto Alegre/Guaíba (Brazil).

The methodology is based on the application of the generalized costs concept, with the goal of comparing the performance of alternative ships and modes in the transportation system. Its use results in the following outputs:

- the overall demand on the line
- the ship type suitable to operate on it
- the characters of the waterway.

*Agrupamento de Projeto Naval - Divisão de Engenharia Naval e Oceânica
IPT-Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S/A.

APRESENTAÇÃO

Em 1980 iniciou-se no Brasil um programa nacional de desenvolvimento do transporte hidroviário urbano patrocinado pela Empresa Brasileira de Transportes Urbanos - EBTU, visando a implantação e/ou revitalização de linhas hidroviárias de passageiros em diversas cidades brasileiras.

Nesse programa coube à Divisão de Engenharia Naval e Oceânica do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. - DINAV/IPT o desenvolvimento dos estudos para as linhas hidroviárias nas cidades mostradas na Figura 1:

- Belém, Aracajú, Salvador, Vitória, Santos, Porto Alegre e Rio Grande.

Este trabalho apresenta a metodologia básica desenvolvida pela DINAV/IPT para a realização desses estudos e a sua aplicação para Porto Alegre, na ligação hidroviária Guaíba-Porto Alegre.

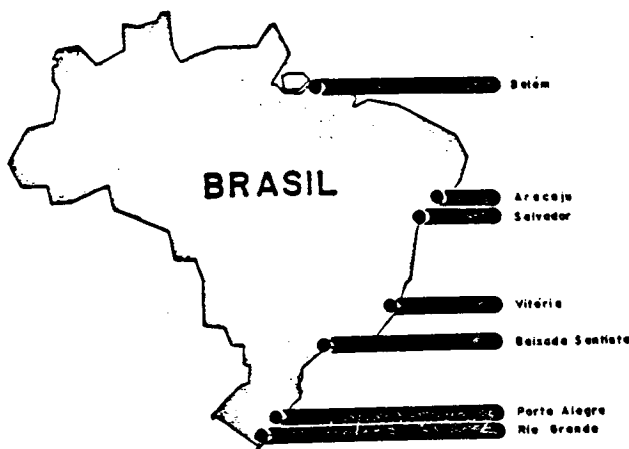


Figura 1 - Participação da DINAV-IPT no Programa de Transporte Hidroviário Urbano da EBTU.

1. INTRODUÇÃO

A viabilização de um componente modal de transporte numa região urbana depende de um grande número de fatores, dentre os quais pode-se destacar:

- o custo de transporte e a tarifa resultante;
- o tempo total de deslocamento do usuário entre a origem e o destino, utilizando esta modalidade no total ou em parte de sua viagem;
- o conforto e a segurança oferecidos pelo modo ao usuário.

A importância relativa entre os aspectos de tarifa e tempo depende do nível de renda do usuário.

O valor da tarifa é função da estrutura de preços existente no mercado, da demanda absorvida pelo modo, e de sua particular eficiência como opção tecnológica.

O tempo de viagem é função, basicamente, das condições da rede viária utilizada pelo modo, do carregamento desta rede no tempo e no espaço e das velocidades máximas permissíveis pelos regulamentos de tráfego em vigor na região ou atingíveis pelo modo no seu atual estado da arte.

Os aspectos de conforto e segurança, por sua vez, são fixados por padrões ergonômicos e de circulação mínimos e por exigências básicas de salvaguarda da vida humana, a que todos os modos que operam na área, dentro de suas particularidades técnicas, devem atender.

Dentro deste contexto o transporte hidroviário, como alternativa modal para uma área urbana, exige que a hidrovia disponível permita, em primeiro lugar, ligações entre áreas geradoras de demanda.

Adicionalmente tem-se verificado que, diante da existência de mais de uma modalidade de transporte entre duas áreas urbanas, o modo hidroviário se viabiliza, atraindo uma parcela significativa da demanda entre os núcleos, à medida em que permita uma diminuição da distância a ser percorrida em relação aos demais. Isto se deve ao fato de que os veículos aquáticos de uso mais disseminado - embarcações de deslocamento e planeio - são bem mais lentos que os veículos terrestres.

Por outro lado, a eficiência energética do modo é superior àquela verificada para o modo rodoviário (alternativa de maior utilização nas cidades brasileiras), devido a uma combinação adequada entre distância de percurso e consumo específico.

2. METODOLOGIA

2.1. Conceituação Geral

Na metodologia para análise e dimensionamento de linhas de transporte hidroviário urbano de passageiros apresenta da neste trabalho, a avaliação é efetuada a partir da ótica do armador privado que visa implantar um sistema rentável em atendimento aos desejos e necessidades do usuário. Sob este enfoque, admite-se que os investimentos nos terminais e na preparação da via navegável sejam realizados pelo poder público, não onerando diretamente os custos de operação da empresa de navegação e a consequente tarifa cobrada do usuário.

No entanto a mesma metodologia permite, pela definição precisa do sistema, uma análise acurada de sua viabilidade econômica, pelo cotejo dos reais benefícios e custos que sua implantação trará ao país.

Assim sendo, o método proposto permite o desenvolvimento da melhor solução sob a ótica dos interesses da empresa operadora e do usuário, e fornece os subsídios indispensáveis para a análise desta solução do ponto de vista dos interesses econômicos do país.

2.2 Etapas e Campo de Aplicação

A Figura 2 apresenta um fluxograma com as etapas a serem percorridas no estudo de um sistema de transporte hidroviário urbano de passageiros.

A metodologia pode ser dividida em três grandes etapas:

- ETAPA 1: Obtenção dos Insumos Necessários;
- ETAPA 2: Análise e Dimensionamento do Sistema;

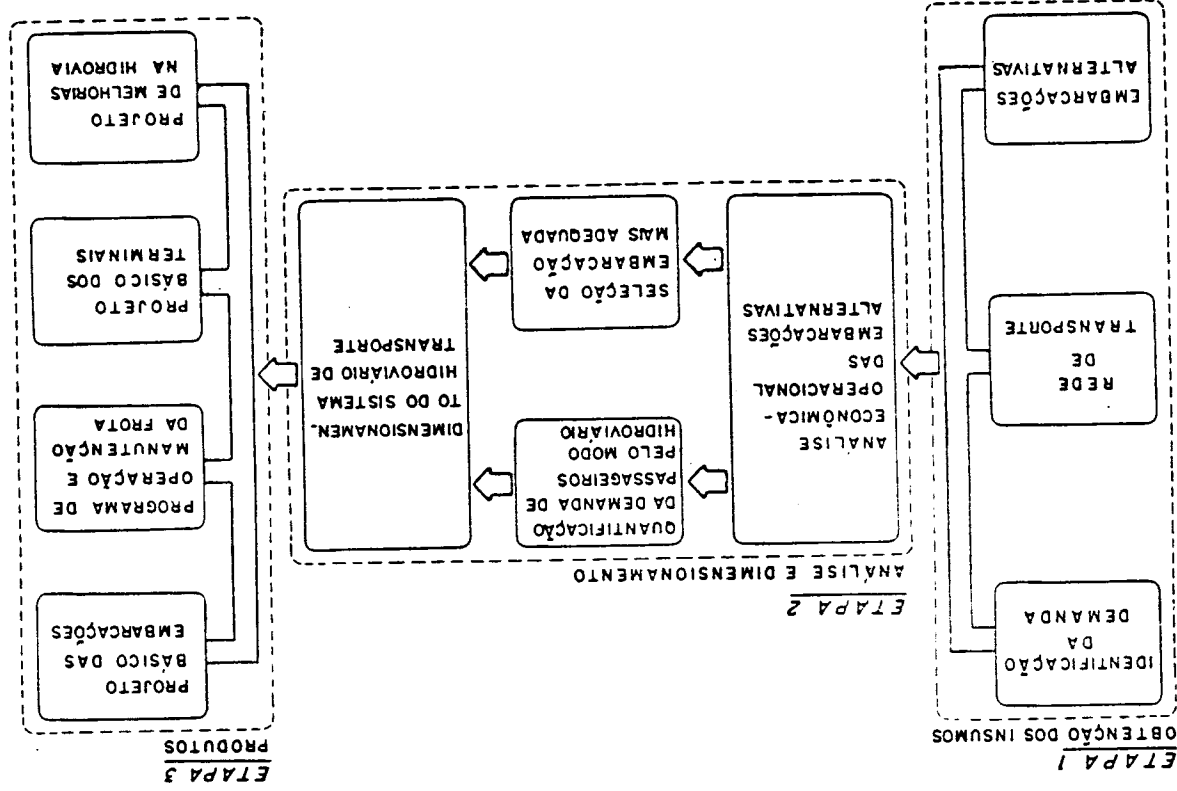


Figura 2 - Metodologia para o Estudo e Dimensionamento de Sistema de Transporte Hidroviário de passageiros.

- ETAPA 3: Desenvolvimento do Projeto Básico ou do Projeto de Concepção dos Elementos Componentes do Sistema Hidroviário; Embarcações, Terminais e Hidrovia.

O método proposto permite o dimensionamento de uma linha hidroviária entre duas áreas urbanas que já sejam interligadas por outros modos alternativos, dando ensejo à determinação da divisão modal resultante com sua implantação. Fornece, ademais, os condicionantes a serem satisfeitos pelos terminais e pela via navegável, de forma a se ter o melhor desempenho de sistema como um todo.

Este trabalho se ocupará das ETAPAS 1 e 2 da metodologia, abrangendo desde os levantamentos de dados do problema até a definição do sistema hidroviário.

2.3. Etapa 1 - Obtenção dos Insumos

2.3.1. Caracterização da demanda

A partir da identificação das regiões com potencial para serem ligadas através de uma linha hidroviária urbana, faz-se necessário o levantamento dos dados básicos para caracterizar a demanda de viagens entre estas regiões, no tempo e no espaço físico. Tais dados são os seguintes:

- valor da demanda total diária de viagens entre as duas regiões (definido pela ocupação e uso do solo no espaço urbano) e de sua variação ao longo dos dias da semana;
- variação temporal desta demanda ao longo de um dado dia (definida pelos motivos geradores das viagens) em ambos os sentidos de deslocamento;
- repartição espacial da demanda total entre as várias zonas de tráfego em que se dividem as regiões urbanas em estudo, traduzida numa matriz de origem e destino.

A repartição espacial da demanda total é utilizada para a avaliação da divisão modal resultante da implantação da linha hidroviária.

A variação temporal ao longo do dia, para caracterizar a demanda de pico (dado básico para o dimensionamento da frota) e para, juntamente com a variação ao longo dos dias da semana, efetuar-se a programação operacional da frota.

2.3.2. Rede de transporte

Os dados necessários relativos à rede de transporte ligando as duas áreas em estudo devem permitir a caracterização abrangente das condições operacionais de todos os modos alternativos existentes. Podem ser divididos em três grandes grupos, a saber:

- dados sobre a malha viária;
- dados sobre os terminais;
- tempos e tarifas;

2.3.2.1. Malha viária

Faz-se necessário, para cada modo alternativo existente, o levantamento das condições físicas das vias de circulação, compreendendo as características geométricas, de pavimentação e de circulação (cruzamentos, obstáculos e sinalização), de forma a se definir o percurso total, os pontos de estrangulamento e as condições limites de tráfego suportáveis pela malha.

No caso específico da via navegável a ser utilizada pela linha hidroviária em estudo, os seguintes dados devem ser obtidos, tendo por base a fixação da rota a ser percorrida (definida preliminarmente a partir do conhecimento dos canais de navegação locais):

- profundidades ao longo da rota de navegação;
- raios de curvatura sobre a rota de navegação (que influenciarão o projeto do sistema de governo da embarcação);

- larguras do canal navegável sobre a rota traçada;
- variações temporais do nível d'água na via navegável (que poderá ter um padrão cíclico anual no caso de rios sujeitos somente ao regime pluviométrico, ou um padrão cíclico diário, no caso de vias sujeitas à variação de marés).
- condições atuais de sinalização da via, que permitirão definir o balizamento adicional necessário para o funcionamento da linha hidroviária de passageiros.

2.3.2.2. Terminais

A importância da integração entre os terminais e os veículos de transporte, no que concerne à diminuição dos tempos de embarque, desembarque e transbordo, é vital para o sucesso de um sistema de transporte urbano de passageiros. Esse fator é mais acentuado para aqueles modos que não permitem um transporte porta a porta, exigindo a utilização de modos complementares para o deslocamento do usuário entre sua origem e seu destino.

Desta forma é importante, para cada modo em operação entre as áreas em estudo, o levantamento dos seguintes dados:

- características físicas dos terminais e/ou pontos de embarque, desembarque e transbordo;
- frequências de atendimento dos modos ao longo do dia (número de saídas de veículos por hora);
- tempos de embarque, desembarque e transbordo entre modos complementares.

No caso do modo hidroviário em estudo deve-se fixar, a princípio, os tempos de embarque e desembarque nos terminais e o posicionamento dos mesmos dentro do espaço urbano, procurando facilitar a integração com outros modos e

promover as menores alterações possíveis na estrutura viária já existente. Estes condicionantes deverão guiar, posteriormente, o projeto dos terminais e das embarcações.

Os tempos de embarque e desembarque, que somados dão o tempo mínimo da embarcação no terminal, podem ser fixados a partir das condições previstas para os seguintes fatores:

- manobras de atracação e desatracação das embarcações;
- fluxo de passageiros permitido pelo arranjo das embarcações e pelas dimensões de seus acessos;
- condições de circulação do terminal.

2.3.2.3. Tempos e tarifas

Para cada um dos modos alternativos e/ou complementares ao hidroviário deve-se proceder a um levantamento dos tempos totais de viagem ao longo do dia e das tarifas cobradas.

O tempo de viagem para o modo hidroviário é função das características hidrodinâmicas da embarcação utilizada e de sua interação com a via navegável, principalmente no tocante à perda de velocidade devido a pequenas profundidades ("águas rasas") e devido à corrente.

A tarifa do modo hidroviário depende das características da embarcação utilizada, dos seus custos operacionais e da demanda atendida.

A tarifa e o tempo de viagem do modo hidroviário são determinados, para cada alternativa de embarcação, como se mostra no item 2.4.3.

2.3.3. Embarcações alternativas

A metodologia para análise e dimensionamento de sistemas hidroviários requer, como insumo fundamental, a definição das seguintes características de embarcações alternativas capazes de cumprir a missão de transporte em consideração:

- capacidade de passageiros;
- curva de potência necessária em função da velocidade;
- custo de aquisição;

Antes da obtenção destas características, é necessária uma decisão preliminar acerca do tipo de embarcação que será utilizada na análise. Existem, basicamente, quatro diferentes opções tecnológicas empregadas no transporte aquático de passageiros:

- embarcações de deslocamento;
- embarcações de planeio;
- embarcações hidrofólio;
- embarcações sobre colchão de ar.

Cada uma destas opções tem um campo de aplicação bem definido, de forma que utilização eficaz de um determinado tipo está indissoluvelmente ligada à sua adequação à particular missão a ser satisfeita.

A escolha do tipo de embarcação deve levar em consideração, também, as potencialidades do parque industrial do país onde será implantada a linha e os recursos humanos disponíveis para operação e manutenção do sistema.

As embarcações alternativas utilizadas deverão atender aos padrões de conforto e segurança mínimos exigíveis de todos os modos em operação na região, aos tempos de embarque e desembarque fixados para os terminais, às limitações da hidrovia e, se for o caso, às limitações das instalações de manutenção e reparos regionais.

O fluxograma da Figura 3 mostra o procedimento geral para geração de uma série de embarcações alternativas.

2.4. Etapa 2 - Análise e Dimensionamento

2.4.1. Avaliação da preferência do usuário

A avaliação da preferência do usuário por um determinado sistema de transporte é feita com base nos valores da tarifa, dos tempos de viagem, acesso, espera a transbordo e nas condições de conforto, segurança e confiabilidade oferecidas.

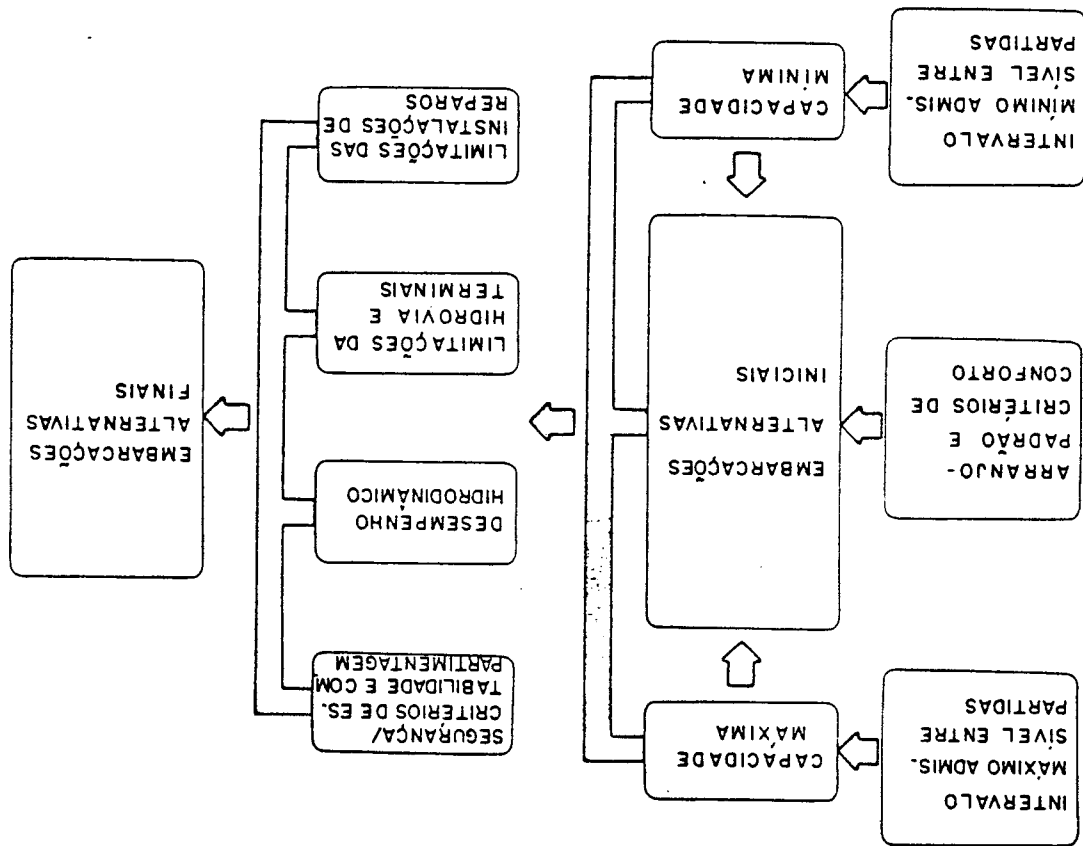


Figura 3 - Procedimento para a Determinação das Embarcações Alternativas

O planejador de transportes pode, na prática, avaliar a preferência do usuário entre modos alternativos, considerando apenas as variáveis facilmente manipuláveis: a tarifa e o tempo de transporte. Pesquisa recente realizada pela referência (1) junto a usuários da linha hidroviária V. Carvalho-Mercado (Santos), mostrou que apenas a tarifa e o tempo têm influência significativa na escolha do usuário por determinado modo. As demais variáveis, como conforto e confiabilidade, têm apenas influência marginal.

A partir desta constatação a metodologia admite que a determinação do sistema de transporte (veículos, vias e terminais) mais adequado para o usuário pode ser feita considerando-se tarifas e tempos de sistemas alternativos.

O modelo empregado para a avaliação da importância relativa entre tempos e tarifas é o modelo de custos generalizados (referência (2)) que agrega numa mesma função linear tempos e tarifas de uma modalidade alternativa, utilizando para isso pesos convenientes:

$\text{custo generalizado} = \text{tarifa} + P_1 \cdot \text{tempo de viagem} + P_2 \cdot \text{tempo de espera}$
onde P_1 e P_2 são pesos que indicam o valor do tempo para o usuário.

A composição do custo generalizado para as alternativas de transporte entre a mesma origem e destino, incluindo transbordos e integração, permite avaliar qual a alternativa mais adequada para o passageiro, admitindo-se que ele optará por aquela de menor custo generalizado.

2.4.2. Valor do tempo

No modelo de custos generalizados considera-se que o tempo gasto pelo usuário no sistema de transporte representa um "custo" adicional quantificado pelos pesos P_1 e P_2 .

Esta abordagem admite que o tempo tem um valor "comportamental", ou seja, um valor que indica o comportamento do usuário na escolha entre economia de tempo e de dinheiro.

A metodologia, assumindo este tipo de abordagem, requer que os pesos P_1 e P_2 sejam calibrados empiricamente, a partir da observação direta das escolhas efetuadas em modos alternativos interligando duas diferentes regiões do espaço urbano em estudo, pela população viajante.

2.4.3. Modelo de divisão modal

A determinação dos custos generalizados para cada alternativa de transporte entre duas zonas de origem e destino é feita a partir da tarifa e dos tempos envolvidos nessa viagem. Essas estimativas podem, para o modo hidroviário, ser obtidas da seguinte forma:

• Formação da Tarifa

Conhecidas as características básicas das embarcações, vias e terminais é possível calcular os custos anuais de investimento, pessoal, combustível, lubrificantes, reparos, manutenção e administração. Sendo ainda conhecida a demanda anual de passageiros absorvida pela alternativa na linha em estudo, a tarifa pode ser obtida da seguinte forma:

$$\text{tarifa} = \frac{\text{custo anual} + \text{rentabilidade do operador}}{\text{demanda anual de passageiros}}$$

• Tempo de Viagem:

$$\text{tempo de viagem} = \frac{\text{distância}}{\text{velocidade média}}$$

A velocidade média das embarcações é influenciada não só por suas características de desempenho hidrodinâmico

como também pelas condições específicas de profundidade e correntes presentes na via navegável.

A cada embarcação alternativa correspondem, numa determinada rota hidroviária, várias curvas de potência de serviço (BHP) versus velocidade, cada uma associada a uma determinada profundidade média da hidrovia e a um valor de velocidade média de corrente.

• Tempo de Viagem Redonda

A metodologia utiliza, para o dimensionamento da frota de embarcações na linha em estudo, o tempo de viagem redonda, dado por:

$$\text{Tempo de viagem redonda} = 2 \cdot \text{Tempo de viagem} + \text{Tempo nos terminais}$$

• Tempo de Espera:

Admitindo-se que a chegada de passageiros ao terminal de embarque siga uma função de probabilidade com distribuição uniforme, o tempo médio de espera por embarcação será:

$$\text{tempo de espera médio} = \frac{1}{2} \cdot \text{Intervalo entre atendimentos}$$

A medida que o intervalo entre atendimentos aumenta, a expressão de tempo de espera torna-se inexata, pois o usuário tende a chegar ao terminal perto do horário de saída do veículo. Entretanto, mesmo nesse caso, a expressão do tempo de espera ainda será parcialmente válida, considerando que a não disponibilidade de veículos em qualquer horário leva a uma espera do passageiro, seja ela no terminal de embarque ou não.

O intervalo entre atendimentos das embarcações pode ser obtido por:

$$\text{intervalo entre atendimentos} = \frac{\text{Capacidade do veículo}}{\text{Demanda de passageiros na unidade de tempo}}$$

Observando as expressões anteriores para o cálculo da tarifa e dos tempos, verifica-se que o custo generalizado da alternativa hidroviária só pode ser determinado se for conhecida a demanda de passageiros que dela se utiliza. Como essa informação não é conhecida a priori, pois resulta da aplicação do modelo de divisão modal, a solução do problema deve ser feita de forma iterativa, admitindo-se inicialmente uma demanda arbitrária.

O fluxograma da Figura 4 apresenta o procedimento para determinação da demanda de passageiros por alternativa de transporte. Esse procedimento fornece, além da divisão modal, a alternativa de transporte mais adequada para uma dada origem/destino do passageiro.

2.4.4. Dimensionamento da frota de embarcações

O modelo de divisão modal associado às várias embarcações alternativas permite a definição:

- da demanda a ser absorvida pelo modo hidroviário;
- das características da embarcação a ser utilizada (capacidade, potência e velocidade de operação).

Estes dois fatores, associados à variação horária diária da demanda entre as regiões em estudo e à distância hidroviária a ser percorrida, permitem a definição do número de embarcações necessárias para operação no sistema, através da seguinte expressão:

$$\text{Número de Embarcações} = \frac{\text{Tempo de Viagem} \times \text{Demanda de Redonda}}{\text{Capacidade de Embarcação Pico}}$$

A frota dimensionada possuirá capacidade para atender à demanda de pico na linha, implicando numa ociosidade fora do período em que esta ocorre.

3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA A ANÁLISE DA LINHA PORTO ALEGRE GUAÍBA (BRASIL)

3.1. Definição Geral do Problema

A existência do estuário do Rio Guaíba entre as cidades de Porto Alegre e Guaíba permitia a ligação hidroviária entre os dois núcleos, diminuindo assim o percurso total entre as regiões de 25km.

O objetivo do estudo foi verificar a viabilidade e efetuar o dimensionamento de uma linha hidroviária para o transporte de passageiros entre as duas cidades.

A Figura 5 mostra a localização de Porto Alegre e Guaíba, o percurso rodoviário existente (39km) e o percurso hidroviário proposto (14km).

3.2. Insumos para a Análise

3.2.1. Demanda de passageiros

A demanda diária de viagens entre Porto Alegre e Guaíba foi obtida diretamente por contagem nos pontos de embarque e desembarque do modo rodoviário, única alternativa modal então existente. A Figura 6 apresenta os resultados obtidos da variação horária da demanda típica num dia útil.

A localização das origens e destinos dessas viagens foi feita tomando-se por base as zonas de tráfego utilizadas na referência (3), também mostradas na Figura 5.

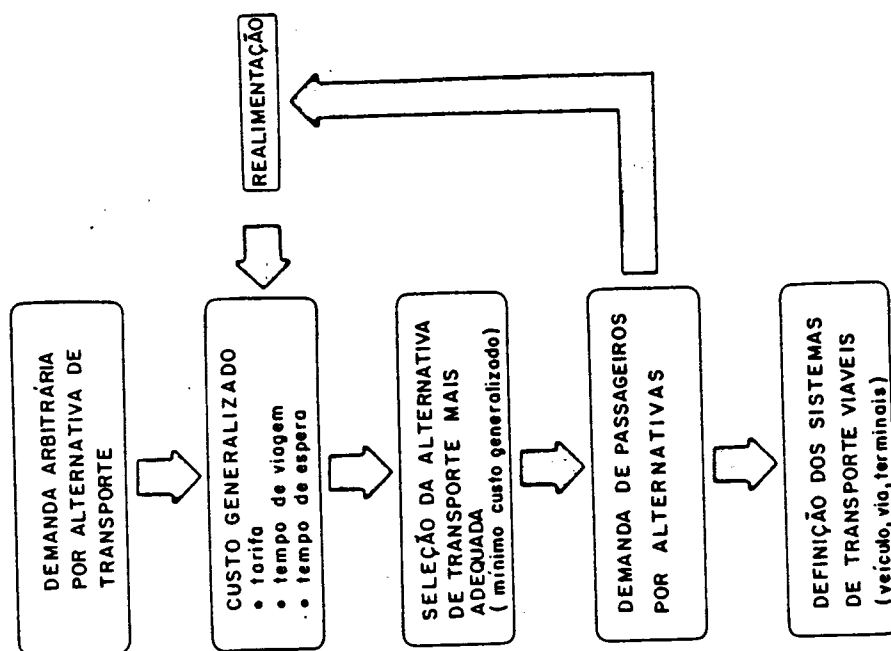


Figura 4 - Modelo de Divisão Modal

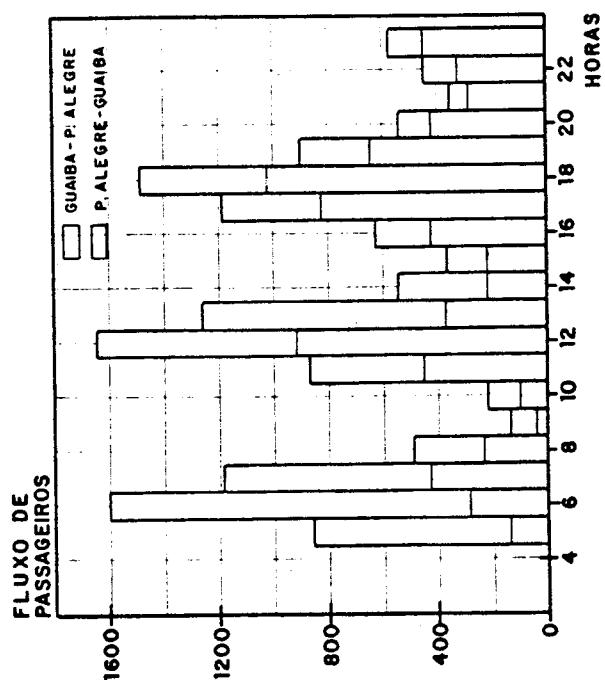


Figura 6. Variação Horária do Fluxo de Passageiros entre Porto Alegre e Guaíba

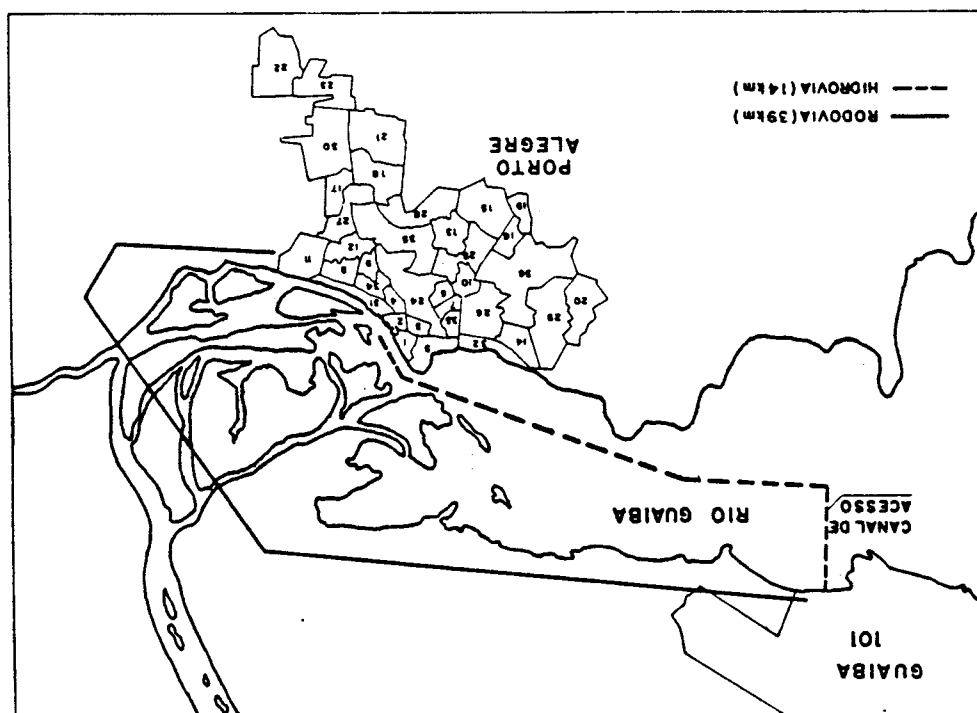


Figura 5. Localização da Linha Hidroviária Proposta

3.2.2. Hidrovia

Com base em levantamentos batimétricos efetuados ao longo da rota de navegação e da análise da variação temporal do nível d'água do Rio Guaíba concluiu-se que a única dificuldade física imposta à navegação consistia nas baixas profundidades do trecho de acesso ao terminal de Guaíba (extensão de 1,7km), no qual seria necessária a realização de obras de dragagem.

3.2.3. Tempos e tarifas

A partir do posicionamento espacial dos terminais hidroviários e rodoviários foram levantados todos os tempos envolvidos no deslocamento de um passageiro entre duas zonas de tráfego, para as duas alternativas modais (rodoviária e hidroviária/rodoviária) e para cada sentido.

A Tabela (1) mostra uma das quatro matrizes de tempos obtidos.

Nas matrizes do modo hidroviário (com integração rodoviária) o tempo de viagem e o tempo de espera no terminal permaneceram como variáveis a serem obtidas para cada embarcação alternativa utilizada.

As tarifas da ligação rodoviária Guaíba/Porto Alegre e dos ônibus urbanos em Porto Alegre (modo complementar) eram de, respectivamente, Cr\$ 81,00 e Cr\$ 35,00 à época do estudo. (Junho de 1982).

Tabela 1 - Matriz de Tempos (min) - Modo Rodoviário - Guaíba/Porto

i	j	T1	T2	T3	T4	T5	T6	Tv	Te
101	1	3,0	62,6	-	-	-	9,0	62,6	12,0
101	2	3,0	62,6	-	-	-	2,7	62,6	5,7
101	3	3,0	62,6	5,4	-	5,0	-	67,6	13,4
101	4	3,0	57,6	-	3,0	-	-	57,6	6,0
101	5	3,0	62,6	5,4	-	7,9	-	70,5	8,4
101	6	3,0	62,6	5,4	-	13,6	-	76,2	8,4
101	7	3,0	62,6	5,4	-	12,3	-	74,9	8,4
101	8	3,0	52,6	-	3,0	-	-	52,6	6,0
101	9	3,0	55,1	-	5,0	-	-	55,1	8,0
101	10	3,0	62,6	5,4	-	17,5	-	80,1	8,4
101	11	3,0	47,6	-	3,0	-	-	47,6	6,0
101	12	3,0	50,1	-	10,0	-	-	50,1	13,0
101	13	3,0	62,6	5,4	-	22,5	-	85,1	8,4
101	14	3,0	62,6	5,4	-	17,5	-	80,1	8,4
101	15	3,0	62,6	5,4	-	29,1	-	91,7	8,4
101	16	3,0	62,6	5,4	-	29,0	-	91,6	8,4
101	17	3,0	62,6	5,4	-	27,5	-	90,1	8,4
101	18	3,0	62,6	5,4	-	30,0	-	92,6	8,4
101	19	3,0	62,6	5,4	-	36,0	-	98,6	8,4
101	20	3,0	62,6	5,4	-	30,0	-	92,6	8,4
101	21	3,0	62,6	5,4	-	35,0	-	97,6	8,4
101	22	3,0	62,6	5,4	-	50,9	-	113,5	8,4
101	23	3,0	62,6	5,4	-	45,9	-	108,5	8,4
101	24	3,0	62,6	5,4	-	12,5	-	75,1	8,4
101	25	3,0	62,6	5,4	-	22,5	-	85,1	8,4
101	26	3,0	62,6	5,4	-	15,0	-	77,6	8,4
101	27	3,0	62,6	5,4	-	26,0	-	88,6	8,4
101	28	3,0	62,6	5,4	-	22,5	-	85,1	8,4
101	29	3,0	62,6	5,4	-	27,0	-	89,6	8,4
101	30	3,0	62,6	5,4	-	35,0	-	97,6	8,4
101	31	3,0	55,1	-	5,0	-	-	55,1	8,0

i - Índice da zona de origem;

j - Índice da zona de destino;

T1 - tempo de espera no ponto de ônibus no centro de Guaíba (10 saídas no horário de pico);

T2 - tempo de viagem entre Guaíba e Porto Alegre (centro de Guaíba à Rua Chaves Barcellos ou a um ponto intermediário no percurso);

T3 - tempo de acesso a pé, em Porto Alegre, da Rua Chaves Barcellos à Praça Quinze (Mercado);

T4 - tempo de acesso, a pé em Porto Alegre, de um ponto intermediário da linha de ônibus ao destino;

T5 - tempo de viagem de ônibus, em Porto Alegre, da Praça Quinze ao destino;

T6 - tempo de acesso a pé, em Porto Alegre, da Rua Chaves Barcellos ao destino;

Te = T1 + T3 + T4 + T6;

Tv = T2 + T5.

3.2.4.2. Desempenho Hidrodinâmico

A potência de serviço requerida pelas embarcações alternativas foi obtida a partir de ensaios de resistência de rebouque e de auto propulsão realizados no tanque de provas do IPT e os resultados obtidos estão apresentados na Figura 7.

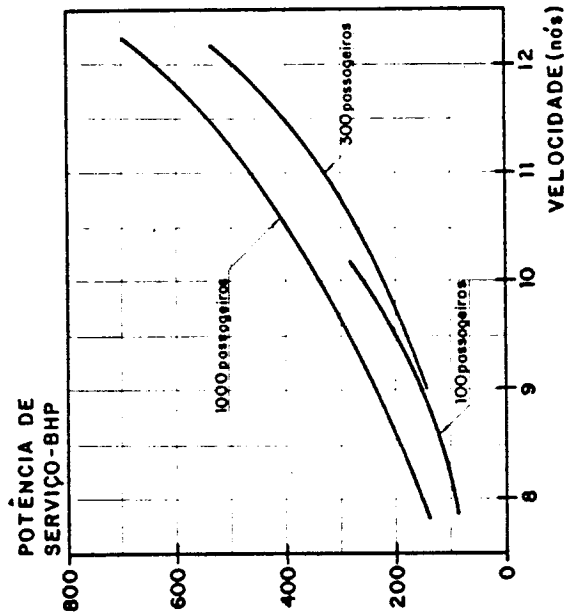


Figura 7. Potência de Serviço das Embarcações Alternativas

A perda de velocidade em águas rasas foi determinada pela formulação de LACKENBY (Ref. 4):

$$\frac{\Delta V}{V} = 0,1242 \left\{ \frac{A}{h^2} - 0,05 \right\} + 1 - \left\{ \tanh \left\{ \frac{gh}{V^2} \right\} \right\}^{1/2}$$

onde:

ΔV: perda de velocidade, para uma profundidade h;

3.2.4. Embarcações Alternativas

3.2.4.1. Arranjo Geral e Dimensões Principais

Em função dos valores da demanda total entre Porto Alegre e Guaíba e das restrições da via navegável, foram selecionadas três embarcações para análise de desempenho na missão.

Essas embarcações, propostas em estudos anteriores do Programa Hidroviário Urbano da EBTU, foram projetadas de forma a satisfazer os seguintes requisitos:

- baixo consumo de combustível e velocidade compatível com os tempos de viagem esperados pelo usuário;
- conforto superior aos ônibus urbanos comuns;
- segurança em qualquer condição de operação;
- cascos com formas de fácil construção;
- índices de nacionalização, descontados os equipamentos eletrônicos, de 100%.

As características principais de cada uma dessas embarcações estão mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. - Características Principais das Embarcações Alternativas

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS	EMBARCAÇÃO		
	I	II	III
Comprimento total(m).....	19,00	29,60	49,60
Boca máxima(m).....	5,10	6,80	10,00
Calado(m).....	1,25	1,74	1,70
Comprimento na linha d'água(m).....	17,65	28,23	45,00
Boca na linha d'água(m).....	5,00	6,04	9,50
Deslocamento(tf).....	54,8	129,0	374,0
Capacidade total de passageiros.....	110	300	1000
Capacidade de passageiros sentados.....	64	204	700

Tabela 3 - Custo de Aquisição das Embarcações Alternativas (JUL/82)

EMBARCAÇÃO	CAPACIDADE (PASSAGEIROS)	CUSTO DE AQUISIÇÃO (MILHÕES CR\$)
I	100	84
II	300	165
III	1000	400

Na dedução do custo total operacional das embarcações foram admitidas as seguintes hipóteses:

- financiamento: 85% do valor de aquisição a 8% a.a. em 15 anos e 15% a fundo perdido;
- vida útil da embarcação: 15 anos (valor residual nulo);
- reparos anuais: 4% do custo de aquisição;
- seguro anual: 1,6% do custo de aquisição;
- salário de 1 tripulação: 16 salários mínimos;
- encargos sociais: 70% sobre os salários;
- consumo específico dos motores: 0,15 kg/hp. hora;
- administração: 15% sobre os custos fixos.

3.3. Análise e Dimensionamento da Frota

3.3.1. Formação da tarifa hidroviária

A tarifa da linha hidroviária a ser implantada deve cobrir os custos de operação e assegurar ainda uma rentabilidade para o operador.

Admitiu-se que o Estado seria responsável pela implantação dos terminais e pela dragagem do trecho crítico do canal navegável (Canal de Acesso a Guaíba) até a cota mínima necessária para o trânsito das embarcações (3m).

Desta forma, os custos operacionais da empresa de na-

V : velocidade em águas profundas;

A : área da seção restrita da embarcação;

h : profundidade da hidrovia;

g : aceleração da gravidade.

O efeito da correnteza sobre a performance das embarcações foi desprezado, em virtude da pequena magnitude das correntes presentes no estuário do Rio Guaíba (menores que 0,5 nós).

3.2.4.3. Custos Operacionais Anuais

Para a avaliação do desempenho econômico das embarcações na linha hidroviária a ser criada, considerou-se que o custo total anual de operação de uma embarcação para uma empresa de navegação é composto pelos seguintes itens:

- amortização do investimento;
- reparos e manutenção da embarcação;
- seguro do casco;
- salários e encargos sociais da tripulação;
- combustível e lubrificante;
- administração.

O custo total anual de operação das embarcações alternativas obtido foi:

$$\text{custo total operacional} = 0,18C_{aq} + 1,6 \cdot 10^6 \cdot \text{NVR} \cdot \text{BHP} + 13,1 \cdot 10^6 \text{ (Cr$/ano)}$$

sendo:

C_{aq} : custo de aquisição da embarcação, mostrado pela Tabela 3.

NVR: número de viagens redondas realizadas pela embarcação num ano.

BHP: potência de serviço da embarcação.

vegação seriam a soma dos custos operacionais da frota com os custos para dragagem e manutenção deste trecho crítico da hidrovia acima da cota mínima.

Na Figura 8 é apresentado o custo anual de dragagem, obtido para profundidades entre 2 e 6m desse canal crítico.

Dragagens superiores à cota mínima necessária de 3m melhorariam o desempenho hidrodinâmico das embarcações ("efeito de águas rasas"), aumentando sua velocidade média e sua capacidade de transporte.

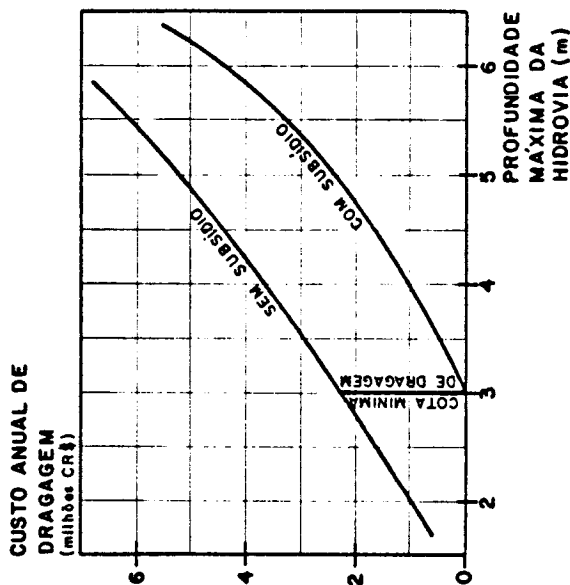


Figura 8. Custo Anual de Dragagem do Canal de Acesso ao Terminal de Guaíba (Julho 82)

Somando-se ao custo anual de dragagem o custo anual da frota de embarcações, obteve-se, para a empresa operadora:

$$\text{custo anual} = N_e (0,18 C_{eq} + 1,6 NVR BHP \cdot 10^6 + 13,1 \cdot 10^6) + (0,63 H_d + 0,11 H_d^2 - 2,9) \cdot 10^6 \quad (\text{Cr\$/ano})$$

onde: N_e : quantidade de embarcações da frota;

H_d : profundidade máxima da hidrovia, no trecho dragado (m).

Considerando que N_e e NVR dependem da demanda de passageiros na linha, e que BHP é função apenas da velocidade e da profundidade máxima da hidrovia (H_d), o custo total ficou, genericamente, com a seguinte forma:

$$\text{custo anual total} = f \left\{ \begin{array}{l} \text{demanda de velocidade da profundidade} \\ \text{passageiros, embarcação, da hidrovia} \end{array} \right\}$$

Admitindo-se então uma rentabilidade de 12% ao ano sobre os seus custos, a tarifa a ser cobrada pela empresa de navegação na linha hidroviária seria:

$$\text{tarifa} = 1,12 \cdot \frac{\text{custo anual total}}{\text{demanda anual transportada}}$$

ou seja:

$$\text{tarifa} = g \left\{ \begin{array}{l} \text{demanda} \\ \text{passageiros, da embarcação, da hidrovia} \end{array} \right\} \left\{ \begin{array}{l} \text{velocidade} \\ \text{profundidade} \end{array} \right\}$$

3.3.2. Valor do Tempo

A calibração empírica dos pesos P_1 e P_2 (vide item 2.4.2) utilizada, foi aquela efetuada na referência (1) para a linha hidroviária Vicente de Carvalho/Santos. A adoção dos mesmos valores então obtidos, para a linha em estudo, baseou-se nas seguintes constatações:

- mesmo nível de renda médio dos usuários das duas linhas;
- inserção dos dois espaços urbanos numa região geográfica do país com especificidades sócio-culturais semelhantes.

sos: Obteve-se, então, os seguintes valores para estes pe

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 25\% \text{ da renda média domiciliar mensal do usuário} \\
 &= \text{Cr\$ } 2,00/\text{minuto (JUL/82)} \\
 P_2 &= 50\% \text{ da renda média domiciliar mensal do usuário} \\
 &= \text{Cr\$ } 4,00/\text{minuto (JUL/82)}
 \end{aligned}$$

3.3.3. Determinação dos Custos Generalizados

O custo generalizado das duas alternativas modais foi calculado utilizando-se a expressão proposta no item 2.3.1, substituindo os valores de P_1 e P_2 apresentados no item 3.3.2. Obteve-se a seguinte expressão de custo generalizado:

$$\text{custo generalizado} = \text{tarifa} + 2 \left[\frac{\text{tempo de viagem}}{\text{viagem}} \right] + 4 \left[\frac{\text{tempo de espera}}{\text{espera}} \right] \quad (\text{Cr\$})$$

Tendo a opção rodoviária tarifas já fixadas pelo poder público, seu custo generalizado independia da demanda de passageiros.

A Tabela 4 apresenta os custos generalizados rodoviários tanto para a linha direta Porto Alegre/Guaíba como para a integração rodoviária à linha hidroviária Guaíba/Porto Alegre.

A Tabela 4 apresenta, também, o custo generalizado máximo que o trecho hidroviário podia ter para ser atrativo ao usuário, já considerando a integração modal em Porto Alegre.

No caso do trecho hidroviário, o custo generalizado pode ser escrito da seguinte forma:

$$\text{custo generalizado hidroviário} = \text{tarifa} + 2 \cdot \frac{d}{V} \cdot 60 + 4 \cdot \frac{C}{D} \cdot 60 \quad (\text{Cr\$})$$

onde:

$$\begin{aligned}
 d &= \text{distância hidroviária} \\
 V &= \text{velocidade média da embarcação} \\
 C &= \text{capacidade da embarcação} \\
 D &= \text{demanda de passageiros}
 \end{aligned}$$

Tabela 4 - Custos Generalizados Rodoviários - Porto Alegre/Guaíba (JUL 82)

ZONA DE TRÁFEGO	VIAGENS DIÁRIAS BIDIRECIONAIS	RODOVIÁRIO DIRETO	RODOVIÁRIO INTEGRAÇÃO HIDROVIA	MÁXIMO DA HIDROVIA
1	1048	256	45	211
2	586	231	42	189
3	461	297	78	219
4	638	223	81	141
5	322	292	83	210
6	370	298	89	210
7	275	280	90	190
8	597	236	96	140
9	364	277	93	183
10	586	226	103	123
11	317	206	110	97
12	336	236	114	122
13	272	318	108	210
14	309	320	110	210
15	284	328	118	210
16	281	332	122	210
17	159	330	122	208
18	325	340	129	211
19	608	353	143	211
20	171	290	108	182
21	144	279	114	165
22	176	350	134	216
23	430	324	114	210
24	334	311	101	210
25	133	323	133	210
26	248	312	102	210
27	195	352	142	209
28	56	322	111	211
29	43	331	120	211
30	51	347	136	211
31	61	225	81	144

Substituindo a expressão genérica da tarifa, obtida no item 3.3.1 obtve-se:

custo gerali = $\frac{\text{demanda de velocidade da profundidade capacidade}}{\text{zado hidroviário}} \cdot h$ [passageiros, embarcação, da hidrovia, embarcação]

3.3.4. Divisão modal

A estima da demanda para o modo hidroviário foi feita utilizando-se a metodologia descrita no item 2.3.3.

Basicamente determinou-se o custo generalizado entre as várias zonas de origem e destino para as duas alternativas de transporte porta-a-porta: unicamente rodoviário ou hidroviário com integração. Admitiu-se que o passageiro tenha um comportamento racional, optando pela alternativa de menor custo generalizado.

Para iniciar o processo iterativo, apresentado na Tabela 5, foi arbitrado para a demanda hidroviária seu valor máximo, ou seja, 10.180 viagens bidirecionais por dia, que corresponde a um custo generalizado hidroviário de 187 cruzeiros (1ª ITERAÇÃO).

Entretanto, em algumas zonas de tráfego esse valor de custo generalizado hidroviário (Cr\$ 187) foi superior ao oferecido pela modalidade rodoviária. Alocando-se essas demandas para a rodovia, o volume de viagens hidroviárias caiu para 7.599, aumentando o custo generalizado hidroviário para Cr\$ 201 (2ª ITERAÇÃO).

Repetindo-se mais uma vez essa sistemática, constatou-se a convergência do processo para um volume diário de 7.013 viagens hidroviárias, correspondendo a um custo generalizado hidroviário de Cr\$ 206 (3ª ITERAÇÃO).

Tabela 5 - Iterações do Processo de Obtenção da Demanda do Modo Hidroviário

ZONA DE TRÁFEGO	CUSTO GENERALIZADO HIDROVIÁRIO MÁXIMO(Cr\$)		1ª ITERAÇÃO		2ª ITERAÇÃO		3ª ITERAÇÃO	
	PORTO ALEGRE/GUAÍBA		RODOVIA		RODOVIA		RODOVIA	
1	211	180	0	0	0	0	0	1.048
2	219	219	0	0	0	0	586	586
3	219	219	0	0	0	0	461	461
4	141	210	0	0	0	0	638	638
5	210	210	0	0	0	0	322	322
6	210	210	0	0	0	0	370	370
7	190	210	0	0	0	0	205	205
8	140	275	0	0	0	0	70	70
9	140	275	0	0	0	0	439	439
10	123	364	0	0	0	0	123	123
11	97	317	0	0	0	0	317	317
12	122	336	0	0	0	0	336	336
13	210	272	0	0	0	0	272	272
14	210	309	0	0	0	0	309	309
15	210	284	0	0	0	0	284	284
16	210	281	0	0	0	0	281	281
17	208	159	0	0	0	0	159	159
18	211	325	0	0	0	0	325	325
19	211	608	0	0	0	0	608	608
20	182	171	0	0	0	0	99	99
21	165	144	0	0	0	0	69	69
22	216	176	0	0	0	0	176	176
23	210	430	0	0	0	0	430	430
24	210	334	0	0	0	0	334	334
25	210	133	0	0	0	0	133	133
26	210	248	0	0	0	0	248	248
27	211	195	0	0	0	0	195	195
28	211	56	0	0	0	0	56	56
29	211	43	0	0	0	0	43	43
30	211	51	0	0	0	0	51	51
31	144	0	0	0	0	0	0	0
DEMANDA DIÁRIA BIDIRECIONAL								

3.3.5. Escolha da Embarcação e Determinação da Frota

Implicitamente ao processo iterativo apresentado no item anterior, foi selecionada em cada iteração a embarcação mais adequada, ou seja, aquela de mínimo custo generalizado. Na Figura 9, a seguir, é apresentada a variação do custo generalizado hidroviário em função da velocidade das embarcações alteradas, admitindo-se a demanda hidroviária obtida no item anterior (7.013 viagens diárias). A cada curva está associada uma profundidade de dragagem do trecho crítico da via navegável.

Observa-se que a embarcação com capacidade para 300 passageiros é aquela com melhor desempenho do ponto de vista do modelo utilizado. As demais alternativas não têm a mesma atratividade, seja pelas altas tarifas (embarcação de 100 passageiros), ou pelo excessivo intervalo entre atendimentos (1.000 passageiros).

A quantidade de embarcações da frota foi determinada a partir da formulação apresentada no item 2.2.4, obtendo-se para o horário de pico uma frota com 3 embarcações de 300 passageiros.

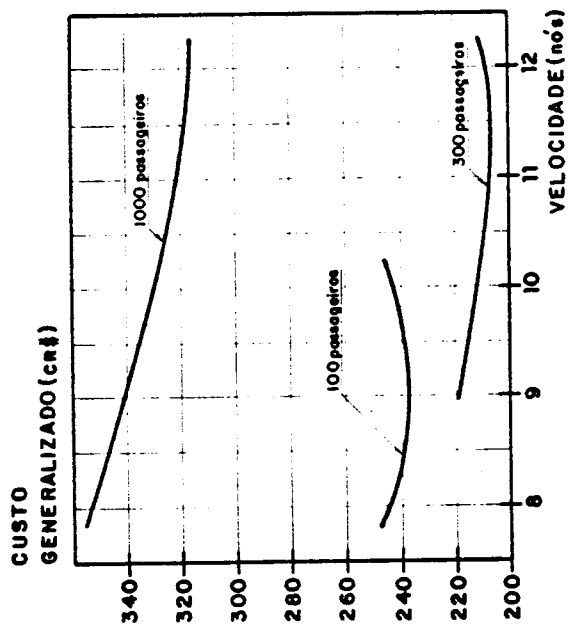


Figura 9. Custos Generalizados das Embarcações Alternativas - 7.013 Viagens/dia (JUL/82)

3.3.6. Cota de dragagem

A cota de dragagem do trecho crítico de acesso ao terminal de Guaíba também foi um produto da seleção da embarcação, tendo em vista o efeito de águas rasas e sua influência na formação da tarifa.

A cota de dragagem obtida para a embarcação de 300 passageiros foi de 4,5m.

4. CONCLUSÕES

A aplicação das Etapas 1 e 2 da metodologia proposta neste trabalho para a linha hidroviária Guaíba/Porto Alegre levou aos seguintes resultados:

- frota selecionada: 3 embarcações com capacidade para 300 passageiros cada;
- velocidade econômica: 11 nós;
- demanda absorvida pela hidrovia: 6.952 viagens diárias bidirecionais;
- cota de dragagem do canal de acesso a Guaíba: 4,5m.

Mesmo considerando a utilização de várias hipóteses simplificadoras na metodologia utilizada, os resultados obtidos indicaram a existência de um potencial para a implantação dessa linha hidroviária.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO S/A. Divisão de Engenharia Naval. Análise global do sistema de transporte hidroviário urbano da Baixada Santista; relatório III/III. São Paulo, 1982, 101. (Relatório IPT nº 16975).
2. MCINTOSH, P.T. QUARNEY, D.A. Generalized cost, and the estimation of movement costs and benefits in transport planning. s.l.p., Mathematical Advisory unit. Department of the Environment, 1970. 38p. (MAU not 1979).
3. EMPRESA BRASILEIRA DE PLANEJAMENTO DE TRANSPORTE-GEIPOPOT & FUNDAÇÃO METROPOLITANA DE PLANEJAMENTO-METROPLAN. Estudo do transporte coletivo da região metropolitana de Porto Alegre - 1976. s.l.p., 1976. 3v.
4. KANSAY ZONZEN KYOKAI. Manual de projetos do navio. (titulotransliterado do japonês). Tokyo, 1968.