OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL EM BARRAGENS DE APROVEITAMENTOS MÚLTIPLOS

CARLOS EDUARDO DE ALMEIDA



Tese apresentada à Congregação da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para concurso de provimento efetivo da Cátedra n.º 16 - "Navegação Interior e Portos Marítimos."

SÃO PAULO

1 9 6 8

Biblioteca da Escola Politécnica
São Paulo
F-4528

FT-389
DEDALUS - Acervo - EPBC
31200030941

626.4
L645
ex e.2



A meus pais

espôsa

e filhos.

fl. 389

Í N D I C E

ESCOLA POLITÉCNICA — BIBLIOTECA — UNIVERSIDADE DE S. PAULO

	Página
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO I - GENERALIDADES	7
1 - CLASSIFICAÇÃO E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL	7
1.1 - Eclusas	8
1.2 - Ascensores de embarcação	16
1.2.1 - Elevadores verticais	16
1.2.2 - Planos inclinados	39
1.2.3 - Rampas hidráulicas	51
1.3 - Outros sistemas	52
2 - EVOLUÇÃO DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL	55
3 - OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEIS NO BRASIL	79
CAPÍTULO II - A TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL NOS APROVEITAMENTOS PARA FINS MÚLTIPLOS	
1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS	91
2 - INTEGRAÇÃO DA OBRA DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL NO CONJUNTO DO APROVEITAMENTO MÚLTIPLO	94
2.1 - Utilização das obras de transposição para desvio provisório durante a construção	94
2.2 - Utilização das obras de transposição como extravasores de cheias	95
2.2.1 - Eclusas	96
2.2.2 - Elevadores verticais	99
2.2.3 - Planos inclinados	100
2.2.4 - Rampas hidráulicas	100
2.3 - Utilização das obras de transposição de desnível como descarregadoras de fundo	103

Página

2.4 - Utilização das obras de transposição de desnível para a passagem de peixes 104

2.5 - Utilização dos guindastes do aproveitamento múltiplo nas obras de transposição de desnível 108

2.6 - Utilização comum dos elementos de vedação provisória do aproveitamento múltiplo nas obras de transposição 111

2.7 - Inclusão das obras de transposição de desnível nas estruturas das barragens 112

CAPÍTULO III - CONDIÇÕES QUE DEVEM SER ATENDIDAS NAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL 115

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS 115

2 - SEGURANÇA 116

2.1 - Segurança das embarcações em tráfego normal 117

2.1.1 - Embarcações no exterior da câmara 120

2.1.2 - Embarcações no interior da câmara 125

2.1.2.a - Eclusas 129

i) Ondas provocadas pela variação da vazão de enchimento(e esgotamento) 129

ii) Influência da concentração do fluxo em pontos determinados da câmara 131

iii) Influência da falta de uniformidade na distribuição da vazão no interior da câmara 131

iv) Transformação da energia cinética e energia potencial no interior da câmara 132

2.1.2.b - Elevadores verticais 137

2.1.2.c - Planos inclinados 139

2.1.2.d - Rampas hidráulicas 143

2.2 - Segurança das embarcações em casos de acidentes nas obras de transposição de desnível 145

Página

3 - EMBARCAÇÃO-TIPO 154

3.1 - Processos de exploração da navegação 154

3.2 - Tipos de embarcações 165

3.2.1 - Embarcações-automotoras 165

3.2.2 - Comboios de empurra 166

3.2.2.a - Rebocadores de empurra 173

3.2.2.b - Chatas de empurra 176

3.3 - Adaptação das obras de transposição de desnível às embarcações-tipo 180

4 - CAPACIDADE DE TRÁFEGO 188

4.1 - Determinação da capacidade máxima de tráfego 193

4.2 - Determinação da capacidade efetiva de tráfego 203

4.2.1 - Coeficiente de eficiência relativo ao tempo real que a obra pode ser operada 204

4.2.2 - Coeficiente de eficiência relativo ao tempo de transposição 207

4.2.3 - Coeficiente de eficiência relativo ao aproveitamento da área da câmara 209

4.2.4 - Coeficiente de eficiência relativo à capacidade de carga das embarcações 210

5 - TEMPO DE PASSAGEM 214

5.1 - Tempo de passagem com tráfego, regular e contínuo 217

5.2 - Tempo de passagem com irregularidades de tráfego 222

CAPÍTULO IV - CUSTO DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL 229

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS 229

2 - INVESTIMENTO INICIAL 231

2.1 - Influência da constituição geológica do terreno 236

2.2 - Influência da topografia do local 238

2.3 - Influência das variações de nível d'água 241

2.4 - Influência do desnível a ser vencido 245

2.4.1 - Eclusas 245

Página

2.4.2 - Elevadores verticais 251

2.4.3 - Planos inclinados 252

2.4.4 - Rampas hidráulicas 254

2.5 - Influência das dimensões da câmara 254

2.5.1 - Eclusas 255

2.5.2 - Elevadores verticais 257

2.5.3 - Planos inclinados 259

2.5.4 - Rampas hidráulicas 260

3 - CUSTO DE OPERAÇÃO 261

3.1 - Eclusas 262

3.1.1 - Pessoal 262

3.1.2 - Manutenção, conservação e reparos 263

3.1.3 - Consumo de água 264

3.1.4 - Consumo de energia para finalidades diversas 274

3.1.5 - Consumo de energia para movimentação de embarcações desprovidas de sistema propulsor 275

3.1.6 - Custo total de operação 276

3.2 - Elevadores verticais 277

3.2.1 - Pessoal 277

3.2.2 - Manutenção, conservação e reparos 278

3.2.3 - Consumo de energia 278

3.2.4 - Consumo de energia para movimentar as embarcações desprovidas de sistema de propulsão próprio 279

3.2.5 - Custo total de operação 279

3.3 - Planos inclinados 279

3.3.1 - Pessoal 279

3.3.2 - Manutenção, conservação e reparos 280

3.3.3 - Consumo de energia 281

3.3.4 - Consumo de energia para movimentar as embarcações desprovidas de sistema propulsor próprio 282

Página

3.3.5 - Custo total de operações 282

3.4 - Rampas hidráulicas 282

CAPÍTULO V - CARACTERÍSTICAS PECULIARES ÀS OBRAS BRASILEIRAS 285

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS 285

2 - PRINCÍPIOS BÁSICOS 289

3 - TIPOS E DIMENSÕES DAS EMBARCAÇÕES 292

4 - CAPACIDADE DE TRÁFEGO 298

5 - TEMPO DE PASSAGEM 303

6 - ESCOLHA DO TIPO DE OBRA DE TRANSPOSIÇÃO 305

7 - SISTEMAS DE ENCHIMENTO E ESGOTAMENTO DAS ECLUSAS 309

8 - DIMENSÕES DAS CÂMARAS 311

9 - DIMENSÕES DOS ACESSOS, GARAGENS DE ESPERA E CANAIS INTERMEDIÁRIOS 320

10 - TIPOS DE PORTAS 325

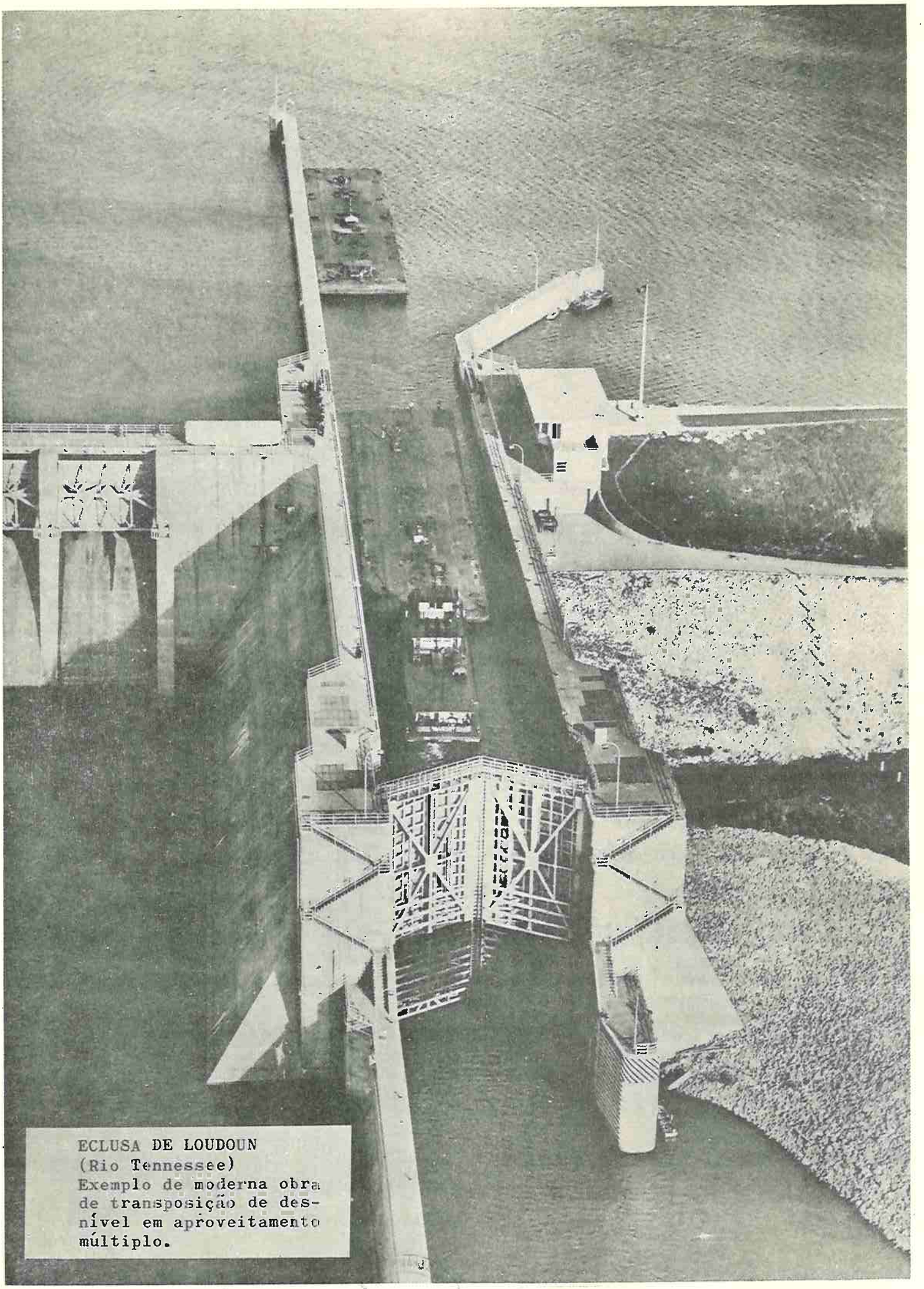
11 - ACESSÓRIOS DIVERSOS 328

CONCLUSÕES 331

SIMBOLOGIA 335

TERMINOLOGIA 337

BIBLIOGRAFIA 339



ECLUSA DE LOUDOUN
(Rio Tennessee)
Exemplo de moderna obra de transposição de desnível em aproveitamento múltiplo.

I N T R O D U Ç Ã O

A navegação interior no Brasil encontra-se atualmente face a um dilema: se por um lado os responsáveis pelo desenvolvimento do país estão cônscios da necessidade de serem usufruídas as vantagens do barateamento dos produtos básicos pelo transporte hidroviário, por outro, as condições econômicas nacionais dificultam a aplicação dos vultuosos recursos necessários em obras que, em geral, só se tornarão rentáveis em prazos relativamente longos.

Sem entrar em uma análise aprofundada da questão, podemos apontar como principais causas desta situação, além da conjuntura do país e da própria conformação das rêdes fluviais em relação às regiões mais produtivas, os seguintes fatos inerentes a êste meio de transporte nas contingências atuais:

- A navegação fluvial só é econômicamente justificável, face aos demais meios de transporte modernos, se realizada com embarcações de grande porte que movimentem elevados volumes de carga. Esta condição exige hidrovias com características que sòmente podem ser obtidas com obras de vulto.
- A navegação interior necessita longas distâncias de transporte, o que faz com que só possa ser utilizada eficientemente quando completada uma extensão considerável da via; a demora para conclusão das obras e, conseqüentemente, para a implantação do meio de transporte, é uma das causas de falta de atrativo na aplicação dos investimentos.
- Não havendo uma tradição aquaviária no Brasil, muitos setores representativos da nação relutam em aceitar os investimentos pioneiros necessários a implantação do nôvo meio de transporte; é fora de dúvida, porém, que, nos últimos anos, vem havendo uma mudança considerável de mentalidade nos meios dirigentes.

A maneira mais indicada para contornar estas e outras dificuldades, é, sem dúvida, introduzir a navegação fluvial dentro da sistemática do aproveitamento para fins múltiplos dos grandes rios. Êste método, além de reduzir consideràvelmente o custo das aquavias, e diluir o investimento necessário às obras de navegação, torna o empreendimento global rentável em

curto prazo, sobretudo quando inclue instalações para geração de energia hidroelétrica. Assim vem sendo feito em vários rios brasileiros, em particular pelo govêrno do Estado de São Paulo, que está realizando a canalização dos rios Tietê e Paraná.

A obtenção da hidrovia em uma canalização integral de curso d'água exige, pràticamente, apenas a construção das obras de transposição nas retenções. As demais obras necessárias à constituição da via fluvial, como dragagens, balizamento, construção de portos e estaleiros etc., surgem, por assim dizer, naturalmente com o desenvolvimento do tráfego.

Convém notar que as características das obras de transposição dos desníveis condicionam, em grande parte, as embarcações que podem utilizar a via, e portanto, a própria economicidade do meio de transporte. Um máximo de economia deve porém ser procurado, para que o processo de implantação das novas hidrovias dentro do aproveitamento múltiplo, seja justificável. Destas condições, até certo ponto contraditórias, deverá resultar o projeto mais conveniente que nem sempre poderá ser baseado em meras considerações de custo-benefício. Na verdade, muitas das hidrovias assim obtidas, por seu baixo tráfego inicial, não apresentarão, a curto prazo, capacidade de gerar as riquezas com que se pagariam.

Nos últimos anos, a navegação interior, sobretudo na Europa, vem sofrendo radicais modificações que se refletem na concepção das obras de transposição. Verifica-se, em todo o mundo, que obras relativamente recentes tornaram-se obsoletas devido à rápida evolução resultante, principalmente, do progresso dos meios de transporte concorrentes. Para que a navegação fluvial possa ser corretamente implantada entre nós, é necessário levar em conta esta evolução, da mesma forma que vem sendo feito para os transportes terrestres.

Por estas considerações preliminares, depreende-se que as obras de transposição brasileiras não podem ser simplesmente copiadas de outras construídas em países em que ocorrem condições diversas das nossas. A falta de uma tradição hidroviária obriga-nos a procurar os princípios fundamentais na experiência alheia e a adaptação desta experiência é o principal problema com que temos de nos defrontar.

No Brasil, pràticamente não existe nenhuma norma ou diretriz para projeto de obras de transposição para embarcações. Além de alguns pla-

nos regionais que incluem algumas considerações gerais, como o do Estado do Rio Grande do Sul (DEPRC - 1961), o assunto tem sido ventilado apenas em congressos especializados (ABREU LIMA - 1961, MALLET DE ANDRADE e LEINER - 1956, LEINER - 1956), sem, porém, resultados práticos.

Um considerável número de obras dêste tipo deverá ser construído no país nos próximos anos, e a falta de diretrizes comuns, além de dificultar a elaboração dos projetos, poderá causar dificuldades para a interligação das diversas rêdes fluviais.

Êste trabalho foi realizado visando propiciar aos técnicos nacionais encarregados do planejamento e da projetação das obras de transposição de desnível as bases fundamentais que, de acôrdo com a atual conjuntura brasileira, permitam obter os resultados mais satisfatórios. Visa, também, alertar os responsáveis para alguns aspectos do assunto que deverão ser logo cogitados para que, no futuro, não surjam sérios problemas na utilização do valioso recurso natural que á a navegação fluvial. A elaboração do mesmo foi baseada num estudo pormenorizado de ampla documentação que abrange a experiência acumulada em todo o mundo nos últimos cem anos; resulta, em grande parte, do trato dos problemas da navegação fluvial na região Centro-Sul do Brasil, a que tivemos ocasião de nos dedicar como Engenheiro Assistente da Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai desde 1955 e do contacto direto que tivemos com as principais obras de transposição de desnível da Europa e Estados Unidos.

No primeiro capítulo do trabalho, são apresentados os principais tipos de obras de transposição utilizados e projetados, bem como o histórico e a evolução dêstes tipos de obra, visando sobretudo mostrar o desenvolvimento técnico atual. São também relacionadas as obras de transposição realizadas no Brasil e as que se encontram em fase de projeto.

No segundo capítulo é analisada a obra de transposição de desnível no conjunto da retenção para aproveitamento múltiplo e aventadas possibilidades de integração para barateá-las.

No terceiro capítulo, são apresentadas e discutidas as características a que devem atender às obras de transposição de desnível para satisfazer as necessidades da navegação fluvial, sendo, em particular analisados os tipos de embarcação mais convenientes para as futuras aquavias brasileiras.

No quarto capítulo, é examinado dentro de uma visão global, o custo das obras de transposição, com o fim de propiciar elementos que forneçam diretrizes para dimensionamento e escolha do tipo de obra.

No quinto capítulo, são propostas algumas características a serem adotadas nas futuras obras de transposição brasileiras e é apresentada uma padronização possível para as dimensões das câmaras e órgãos de acesso.

Finalmente são relacionadas, de forma resumida, as principais conclusões obtidas no estudo.

Em adendo, consta a terminologia e a simbologia adotadas, bem como a bibliografia citada no trabalho.

Cabe assinalar que as considerações aqui feitas dizem respeito, essencialmente, a obras de transposição de desnível nas retenções de múltiplas finalidades, em rios caudalosos, com alturas de queda que superem uma dezena de metros. A extensão das conclusões para obras com condições diversas, tais como eclusas de baixa queda, obras em canais artificiais ou eclusas marítimas, deve ser feita com as devidas reservas. O mesmo pode ser dito com respeito a obras a serem projetadas para regiões com características muito particulares como as da bacia Amazônica ou do nordeste brasileiro, de um modo geral.

Não temos evidentemente intuito, e mesmo para tanto nos falta autoridade, de fixar normas que devam ser obedecidas por órgãos estatais; as padronizações aqui sugeridas devem ser consideradas apenas como indicações estabelecidas sobretudo para exemplificar e mostrar rumos a serem seguidos no futuro.

* * *

Êste trabalho foi realizado em grande parte graças as facilidades que nos foram propiciadas pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo e pela Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai para viagens de estudo às rêdes fluviais européias e norte-americanas, e participação em Congressos Internacionais de Navegação.

Somos particularmente gratos ao Professor Jean Aubert pelos incentivos e elementos que nos forneceu.

Agradecemos ao Professor Paulo de Menezes Mendes da Rocha pela formação profissional proporcionada em quinze anos de convívio; ao Professor José Augusto Martins pelo constante interêsse demonstrado, e aos Professôres Kokei Uehara e Célio Ferreira pelas valiosas colaborações e revisão dos originais.

Às firmas Geobrás S.A. Engenharia e Fundações e Pacific Consultants do Brasil agradecemos a contribuição prestada para a feitura gráfica do trabalho.

Merecem ainda nosso reconhecimento os bibliotecários da Escola Politécnica e da Comissão Interestadual da Bacia Paraná-Uruguai pela dedicação com que se houveram na obtenção da bibliografia e Da. Miriam Maghidman pelos trabalhos de datilografia.

Aos colegas que há tantos anos vêm batalhando pela implantação da navegação fluvial no Brasil, e que, com tanto espírito de colaboração, acompanharam a redação dêste trabalho, ofertamos nosso esfôrço, esperando não decepcioná-los.

CLASSIFICAÇÃO DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL

- **Equipamentos Hidráulicos ou Eclusas de Navegação**
  - -Eclusas simples ou de caldeira
  - -Eclusas de câmaras múltiplas
  - -Escadas de eclusas
  - -Outros tipos
- **Equipamentos Mecânicos ou Ascensores de Embarcações**
  - Embarcações a sêco
    - Elevadores verticais
      - Hidráulicos
      - Flutuantes
      - Funiculares
      - Câmara submergível
      - Outros tipos equilibrados
    - Planos inclinados
      - Longitudinais
        - Funiculares
        - Automotores
      - Transversais
  - Embarcações flutuando
    - Rampas hidráulicas
      - Longitudinais
      - Transversais

CAPÍTULO I

3ª aula 18/4/72.

GENERALIDADES

1- CLASSIFICAÇÃO E PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL

A grande importância da transposição dos desníveis concentrados nas vias fluviais há vários séculos, vem atraindo a atenção dos técnicos, que têm apresentado soluções as mais diversas. Em poucos campos encontramos problemas que tenham dado tanta margem à imaginação quanto êste de movimentar verticalmente os enormes pêsos das embarcações.

Uma quantidade imensa de sistemas para propiciar a transposição de desníveis pelas embarcações foram propostos e são citados em numerosas publicações, englobando idéias que vão da maior simplicidade à complicação mecânica mais bizarra. Na realidade sòmente um número muito restrito das soluções aventadas mereceu o beneplácito da realização prática e compreende-se o motivo quando lembramos o elevado custo destas obras que não podem ser tentadas sem uma ampla garantia de sucesso.

O conhecimento daqueles sistemas que não passaram do estágio de simples esquemas ou, no máximo, de projetos ou ensaios em modelos reduzidos, apresenta algum interêsse para a análise das vantagens e inconvenientes de novas obras, sobretudo em casos que exigem soluções particulares. Limitar-nos-emos, porém, aos sistemas de transposição de desnível já realizados com êxito, citando ùnicamente, aquêles outros que, pela sua concepção particular, têm merecido maior atenção dos meios técnicos.

Bàsicamente, podemos classificar os equipamentos destinados a propiciar a transposição de desnível das embarcações em duas grandes categorias: os equipamentos hidráulicos e os equipamentos mecânicos.

Os equipamentos hidráulicos, que denominaremos genèricamente de "eclusas de navegação", são aquêles em que as embarcações são movidas en-

tre os dois níveis extremos pela variação do nível d'água dentro de uma câmara estanque.

Os equipamentos mecânicos, que chamaremos genèricamente de "ascensores de embarcações" são aquêles nos quais as embarcações são movimentadas mediante um esfôrço externo, juntamente com um recipiente móvel (berço, cuba ou cunha d'água), onde são prèviamente introduzidas.

As eclusas da navegação são as obras mais difundidas para a transposição dos desníveis em rios canalizados e canais artificiais. Pode-se estimar que, desde a sua invenção, bem mais de 3.000 obras dêste tipo foram executadas e que, pelo menos, 2.500 encontram-se em funcionamento; o número total de ascensores até hoje construídos, mesmo incluindo os mais rudimentares do passado, não ultrapassa duas centenas.

As razões desta preferência podem ser desde logo apontadas: simplicidade de funcionamento e facilidade de construção. Normalmente, só dois motivos básicos podem conduzir à adoção de um ascensor de embarcações em lugar de uma eclusa: a carência de água para a alimentação e a necessidade de reduzir o tempo que as embarcações perdem na passagem pela obra. Além dêstes dois fatôres, sòmente em casos muito particulares o custo de instalação pode levar a opção por um sistema mecânico; podemos, porém, assinalar que nenhum dos ascensores modernamente construídos ou em construção teve sua justificativa baseada ùnicamente no menor custo.

1.1 - Eclusas

A eclusa de navegação nada mais é que um trecho de canal (câmara ou "caldeira" da eclusa), delimitando por duas portas que dão acesso às embarcações e no qual, através de um circuito hidráulico apropriado, o nível d'água pode variar entre os extremos correspondentes ao desnível a ser vencido. Exemplo dos mais sugestivos dêste tipo de obras é a eclusa do aproveitamento múltiplo "Engenheiro Souza Lima" (barragem de Bariri) no rio Tietê, mostrada na figura 1.

A relação da tabela 1, incluída, bem como as tabelas 2, 3, 4 e 5, no fim dêste capítulo, fornece as características de algumas das principais eclusas construídas e, em particular, das citadas neste trabalho.

Êste esquema básico, correspondente ao que denominaremos eclu

sas simples (eclusa de caldeira, de câmara ou a "sas") não se adapta bem a desníveis muito elevados. Por êste motivo, e apesar dos progressos construtivos virem permitindo a construção de muros e portas cada vez mais altos, a cima de uma certa queda torna-se necessário subdividir o desnível em degraus sucessivos. Duas soluções podem ser então adotadas: a "eclusa de câmaras múltiplas", em que as câmaras de nível variável se sucedem sem intervalos, de tal forma que a porta de montante de uma coincida com a de jusante da seguinte, e a "escada de eclusas", constituída de uma série de eclusas simples, ligadas entre si por trechos de canais que formam "degraus" de nível fixo.

Ambas as soluções acima referidas têm sido comumente adotadas. Como exemplo de eclusa de câmaras múltiplas de excepcional tamanho pode ser citado a que existiu no canal de Neufossé (França), em Fontinettes, onde 5 câmaras sucessivas e iguais venciam um desnível total de 13,30 m. Esta instalação, que datava do século XVIII (figura 2), foi duplicada por um ascensor em 1888 e, como veremos, prestou serviços até 1966 quando foi finalmente substituída por uma eclusa simples que absorveu a queda total. A tabela 2 inclue as características de algumas das principais eclusas de câmara múltipla construídas.

Como exemplo de escada de eclusas, merece ser lembrado a escada de Tardebigge da qual uma eclusa é vista na figura 3, no canal "Worcester and Birmingham" (Inglaterra) onde, 30 eclusas, construídas em 1815, vencem um desnível total de 61 m (Mc GAREY - 1938). Esta escada é uma das mais célebres obras de navegação do passado sendo conhecida pelos antigos marinheiros inglêses, por "thirty and twelve" por ser seguida de outra de 12 eclusas (ROLT - 1966).

A tabela 3 fornece as características das principais escadas de eclusas, que merecem ser citadas. Deve-se notar, porém, que em canais artificiais, é difícil distinguir as escadas de eclusas de uma série de eclusas simples situadas em uma curta extensão da via.

Evidentemente a técnica moderna não mais justifica a construção de obras como as que adotamos para as exemplificações acima, porém as escadas de eclusas e as eclusas de câmaras múltiplas continuam a ser construídas quando os desníveis ultrapassam os limites que as eclusas simples podem econômicamente vencer, como indicam as tabelas 2 e 3.

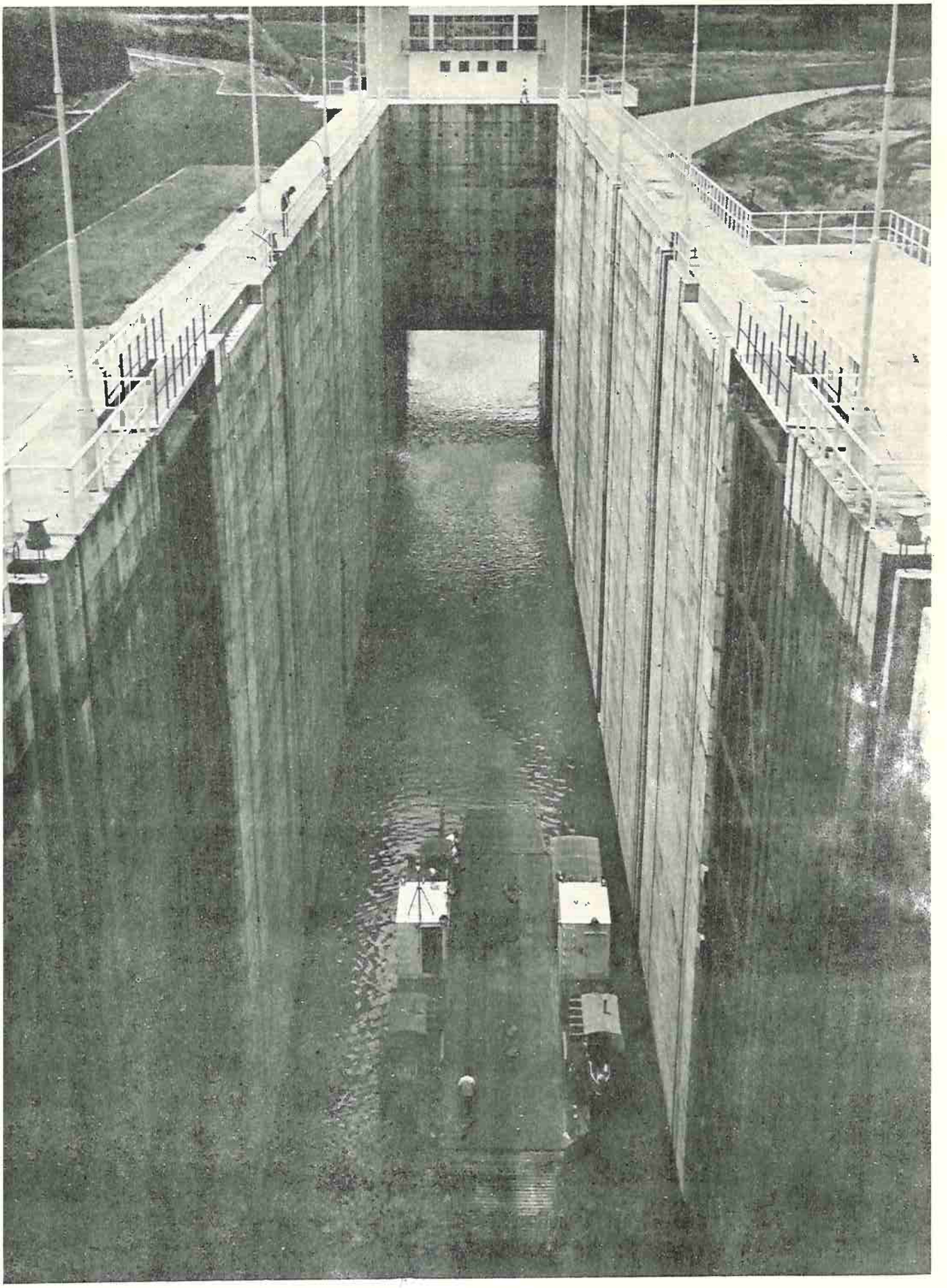
Além dêstes tipos fundamentais de eclusas podem ser apontados

outros tipos ou, melhor, variedades de eclusas, como: as eclusas conjugadas, compostas de duas câmaras paralelas com sistema de enchimento e esvaziamento conjugado que vencem o mesmo desnível; as eclusas com câmaras (ou bacias) de recuperação, que permitem substancial economia de água, as eclusas de cruzamento, as eclusas com várias portas etc. Estas "variedades" são empregadas sobretudo em canais artificiais e não apresentam interêsse para as obras de transposição de desnível em grandes cursos d'água.

Uma grande série de idéias tem sido aventadas, visando solucionar problemas particulares das eclusas e em especial, reduzir o gasto d' água necessário para mover as embarcações. Deixando de lado aquelas que se referem a simples detalhes e selecionando as que parecem mais interessantes, podemos citar as seguintes:

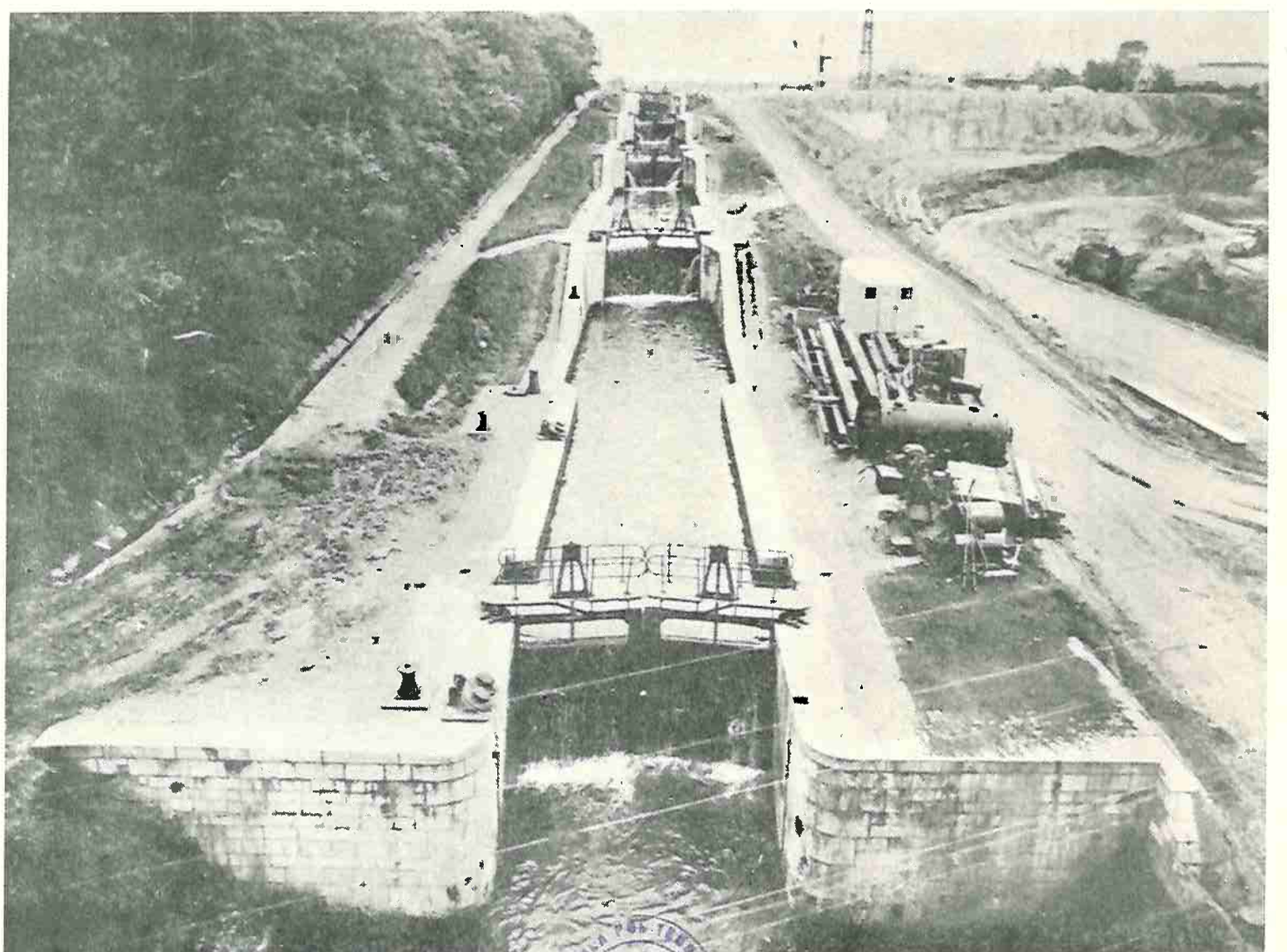
- Eclusas em poço - Constituídas de uma câmara de grande profundidade, escavada na rocha, com acesso inferior por um túnel e porta de jusante sob pressão. De fato, apenas do ponto de vista estrutural tal esquema difere de uma eclusa de grande queda com máscara, como a eclusa da barragem de Jupiá. Pelos problemas que envolvem, sobretudo devidos a uma altura de queda muito superior as alturas normais, merecem ser encaradas como obras diversas. Várias eclusas dêste tipo têm sido propostas e estudadas. Em particular podemos citar os estudos elaborados para a eclusa da barragem de Gènissiat, no rio Rodano (França), com queda de 65 m (KIRCHNER - 1949). A qualidade da rocha no local permitiria, de forma econômica, a adoção de uma solução dêste tipo. Ao que tudo indica condições geológicas favoráveis e disponibilidade de água, são os fatôres preponderantes para a viabilidade das eclusas em poço.

- Eclusas pneumáticas - A idéia de substituir uma parte da água movimentada na câmara da eclusa por um volume correspondente de ar comprimido e desta forma movimentar as embarcações sem gasto de água, é bastante sugestiva e tem sido objeto de muitas proposições e mesmo de patentes internacionais. O sistema mais simples seria o de duas câmaras conjugadas, cada uma das quais com uma plataforma móvel suportando uma lâmina d'água onde flutuam as embarcações. As plataformas seriam apoiadas sôbre colchões de ar, de tal forma que a conveniente interligação das câmaras faria que a descida de uma forçasse a elevação da outra, através do ar comprimido. O movimento seria obtido pelo desequilíbrio provocado pela adição de um volume de água suplementar na plataforma superior (sistema Schanzer, patenteado em 1907). A maior dificuldade de um equipamento dêste tipo é garantir a estanqueidade entre as plataformas móveis e as paredes da câmara, e, em particular, da porta de jusante que necessàriamente ficaria sujeita à pressão do ar comprimido. Várias alternativas



- Figura 1 -

ECLUSA DA BARRAGEM ENG. SOUZA LIMA
(EX. BARRAGEM DO BARIRI) NO RIO TIETÊ



BIBLIOTECA

- Figura 2 -

ECLUSA DE CAMARAS MULTIPLAS
(5 CAMARAS) DE FONTINETTES

tem sido sugeridas para resolver esta dificuldade, sendo a mais viável a proposta em 1925 por Tillinger (TILLINGER - 1950) que abriu caminho para aplicações práticas do sistema. Segundo aquêle autor, a estanqueidade poderia ser garantida por uma coluna de água entre as partes em movimento, com altura superior à máxima pressão do ar comprimido. Esta coluna seria suportada por uma junta de borracha especial, inflável por sistema hidráulico. Desta forma seria possível diminuir o atrito contra as paredes, durante o movimento e impedir totalmente a fuga do ar com a plataforma estacionada. Apesar das vantagens que se poderia esperar de uma eclusa pneumática (sobretudo economia de água e redução das pressões nos muros e fundo da câmara) dificuldades construtivas e, em particular, a manutenção da horizontalidade das plataformas impediram a realização na Polônia de algumas obras que chegaram a ser projetadas em todos seus detalhes.

- Eclusas com deslocamento da água da câmara por processos diversos - A idéia fundamental dêstes sistemas é de obter-se a variação do nível na câmara da eclusa pelo deslocamento d'água causado pela imersão de um corpo com volume suficiente para elevar as embarcações entre os dois níveis extremos. Evidentemente, quando a câmara é grande, e é justamente neste caso que há interêsse em reduzir o consumo d'água, o corpo a ser imerso atinge dimensões tais que tornam inexequível o sistema. Apenas pela engenhosidade merece ser citada a "eclusa de flutuador" - sistema Béthancourt (GUILLEMAIN - 1885)na qual o corpo é equilibrado de tal forma que pode ser movido dentro da câmara praticamente sem esfôrço; eclusas dêste tipo foram propostas no Concurso Internacional de Viena, realizado em 1903 para uma obra com desnível de 36 m. Semelhantes são, ainda, os sistemas do professor Proetel (DEHNERT - 1954) onde a água da câmara da eclusa é escoada para uma série de câmaras de recuperação móveis por ar comprimido e o sistema Schnapp-von Gerstenberg (SCHNAPP - - 1902) que compreende um grande flutuador, imerso na câmara da eclusa, com vários recipientes que podem ser postos em comunicação com igual número de bacias de recuperação laterais. O movimento do flutuador, obtido com um consumo mínimo de água, produz o enchimento ou esvaziamento de eclusa (projeto completo dêste sistema foi também apresentado ao mesmo Concurso de Viena) .. (BONNET - 1922).

- Eclusa basculante - Êste sistema, imaginado por Cardot (CARDOT - 1903),prevê o deslocamento da própria câmara da eclusa, pelo basculamento em tôrno de um eixo situado do lado de montante a um quarto do comprimento total. A câmara, imersa em um reservatório com nível d'água igual ao nível de jusante, mover-se-ia pelo deslocamento de contrapesos na sua parte inferior.

A figura 4 apresenta, esquemàticamente, o princípio de funcionamento de algumas dessas eclusas especiais citadas. Todos êstes sistemas, por mais convenientes que possam parecer, esbarram no problema comum dos grandes volumes de água a serem movimentados nas eclusas modernas.

1.2 - Ascensores de embarcação

4ª aula 25/1/72

Entre os equipamentos mecânicos, devemos distinguir dois sistemas básicos: aquêles em que as embarcações são movimentadas "a sêco", arrastadas sôbre o solo ou apoiadas sôbre o fundo dentro de berços vazios, e aquêles em que as embarcações são movimentadas flutuando.

Os sistemas de movimentação "a sêco" não são compatíveis com as embarcações modernas de grande deslocamento. Prestam-se ùnicamente para barcos vazios, tendo seu emprêgo limitado às carreiras de estaleiros ou a casos muito especiais. Atualmente só são utilizáveis os ascensores de embarcação constituídos bàsicamente de uma "cuba" cheia d'água, movimentada entre os dois níveis extremos, onde flutuam as embarcações.

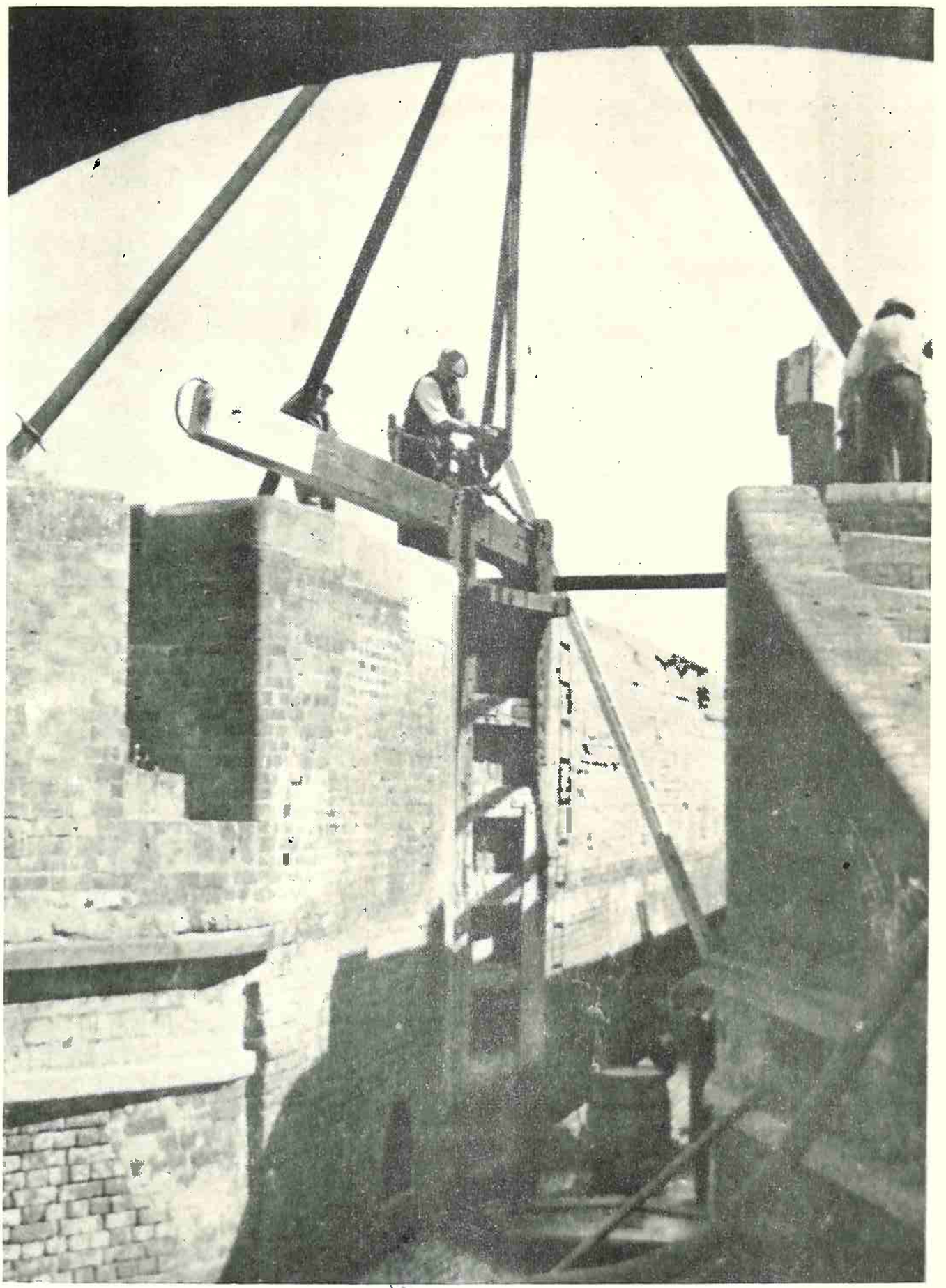
A característica comum aos diversos tipos de ascensores modernos, é ser o pêso da cuba pràticamente constante, havendo ou não embarcações no seu interior. Resulta daí a possibilidade de constituir um conjunto equilibrado, com a movimentação realizada apenas com um consumo de energia necessário para vencer as resistências passivas.

Podemos distinguir 2 tipos fundamentais de ascensores: elevadores verticais e planos inclinados. As rampas hidráulicas, apesar de baseadas em princípio bem diverso, podem também ser consideradas como ascensores especiais.

1.2.1 - Elevadores verticais

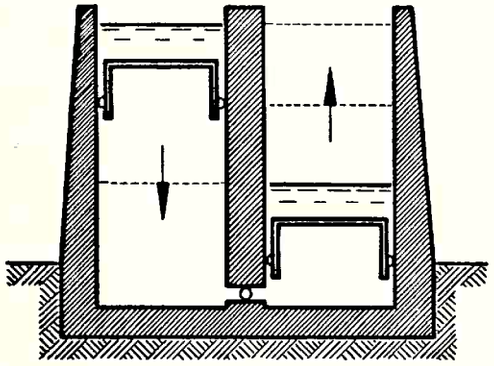
Os elevadores verticais são constituídos, em princípio, de uma cuba com deslocamento vertical, de forma a colocar a câmara de flutuação em ligação com os níveis d'água de montante e de jusante do desnível, mediante a abertura de portas fixas à cuba e aos extremos dos acessos superior e inferior.

Até hoje foram construídos cêrca de 22 elevadores verticais, incluindo neste total os que moviam as embarcações a sêco e alguns que só pu

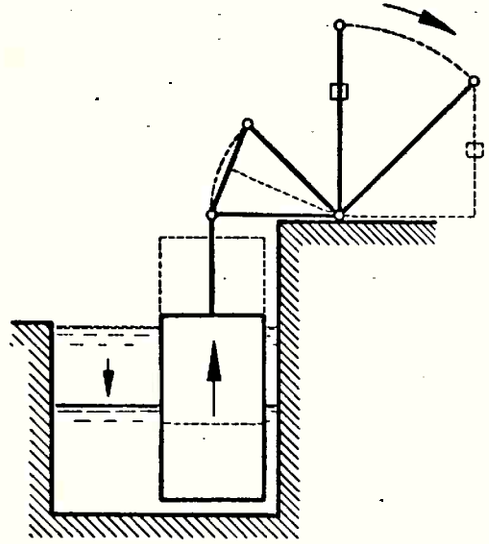


- Figura 3 -

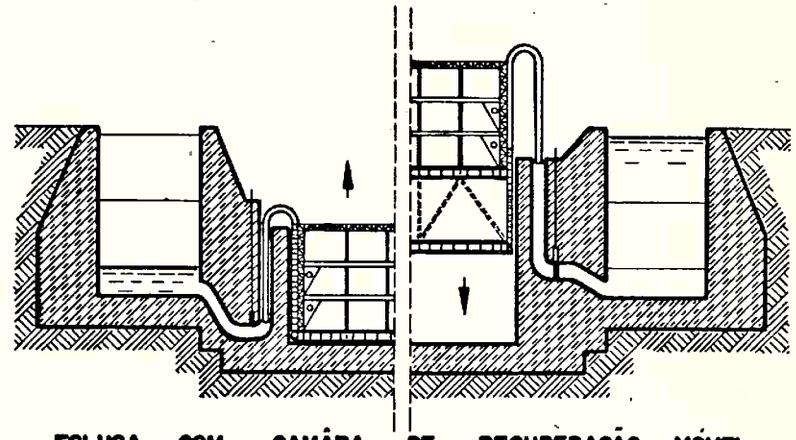
ESCADA DE ECLUSAS DE TARDEBIGGE
(TRABALHOS DE REPARAÇÃO DAS PORTAS)



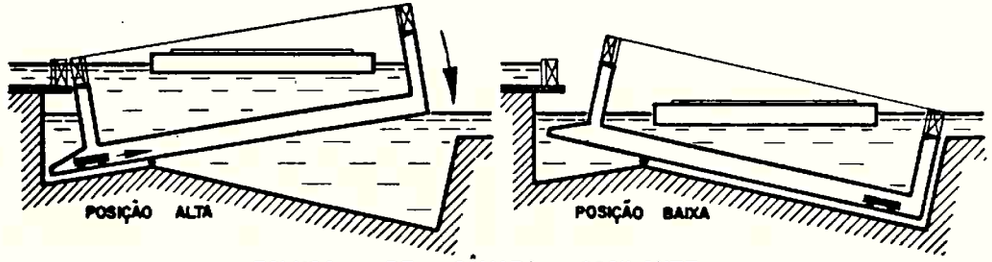
ECLUSA PNEUMÁTICA
SISTEMA TILLINGER



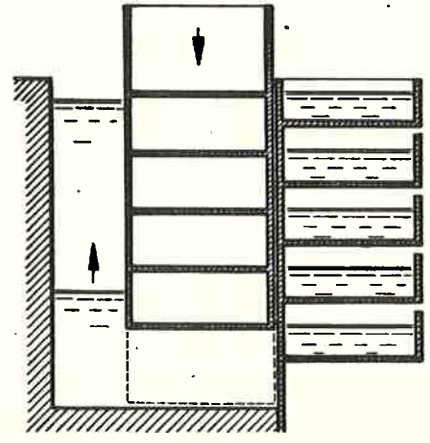
ECLUSA DE FLUTUADOR
SISTEMA BETHANCOURT



ECLUSA COM CAMÂRA DE RECUPERAÇÃO MÓVEL
SISTEMA PROETEL



ECLUSA DE CÂMARA OSCILANTE
SISTEMA CARDOT



ECLUSA COM FLUTUADOR E
CAMÂRAS DE RECUPERAÇÃO
SISTEMA SCHAPP VON GERSTENBERG

FIGURA 4

PRINCIPIOS DE FUNCIONAMENTO DE SISTEMAS DE ECLUSAS "SEM CONSUMO DE ÁGUA"

deram ser eficientemente utilizados com as embarcações sem carga. A relação da tabela 4 indica as principais características destas obras e pela mesma verifica-se que de um grande número proposto, apenas 4 sistemas chegaram a ser realizados: os elevadores funiculares, hidráulicos, flutuantes e de câmara submersa.

Os elevadores verticais hidráulicos foram idealizados pelo engenheiro inglês Edwin Clark e aplicados pela primeira vez em Anderton na Inglaterra, em 1875. São baseados no princípio das balanças hidrostáticas (balanças de Roberval) e das prensas hidráulicas, sendo constituídos, essencialmente, de duas cubas suportadas por grandes cilindros (pistões) que se movem em câmaras subterrâneas, cheias d'água e interligadas por uma tubulação que equilibra as pressões hidráulicas. A introdução de um volume de água suplementar (0,30 m de lâmina no elevador de La Louvières) faz com que a cuba que se encontra no nível superior desça, elevando conseqüentemente a outra. As duas cubas funcionam portanto em conjunto. A êste sistema de funcionamento, em que a movimentação de uma cuba exige a movimentação de outra, denominaremos de "cubas conjugadas", por analogia com as eclusas conjugadas.

Oito instalações dêste tipo foram construídas sendo que cinco ainda encontravam-se em uso nos últimos anos. A de Fontinettes (França), que datava de 1888 (figura 5), foi colocada fora de serviço em 1967, com cêrca de 80 anos de trabalho contínuo, por não poder receber as embarcações de maior calado que trafegam atualmente no canal. As demais quatro do canal do Centro, na Bélgica, ainda operam regularmente.

Os elevadores flutuantes são constituídos essencialmente de uma cuba suportada por grandes flutuadores que deslocam um volume d'água equivalente ao pêso total do conjunto móvel. Nas três obras construídas na Alemanha, os flutuadores são situados em poços subterrâneos verticais, de grande diâmetro e profundidade. Um aumento de pêso, obtido pela introdução na câmara de um volume suplementar de água, produz a imersão dos flutuadores e, conseqüentemente, a descida da cuba. A elevação da cuba é simplesmente obtida pelo alívio do pêso com a retirada da água em excesso.

Os elevadores flutuantes foram introduzidos na Alemanha no fim do século passado (1899) quando foi executado o elevador de Henrichenbourg, que funciona até hoje. Ao que consta, uma obra dêsse tipo, que teria sido o primeiro elevador vertical europeu, foi construída no ano de 1796 em

Ruabon (Denbighsire, Inglaterra), no canal Ellesmere. Êste elevador, que funcionou satisfatòriamente, não chegou porém a ser ligado ao canal (THÉLU - - 1967).

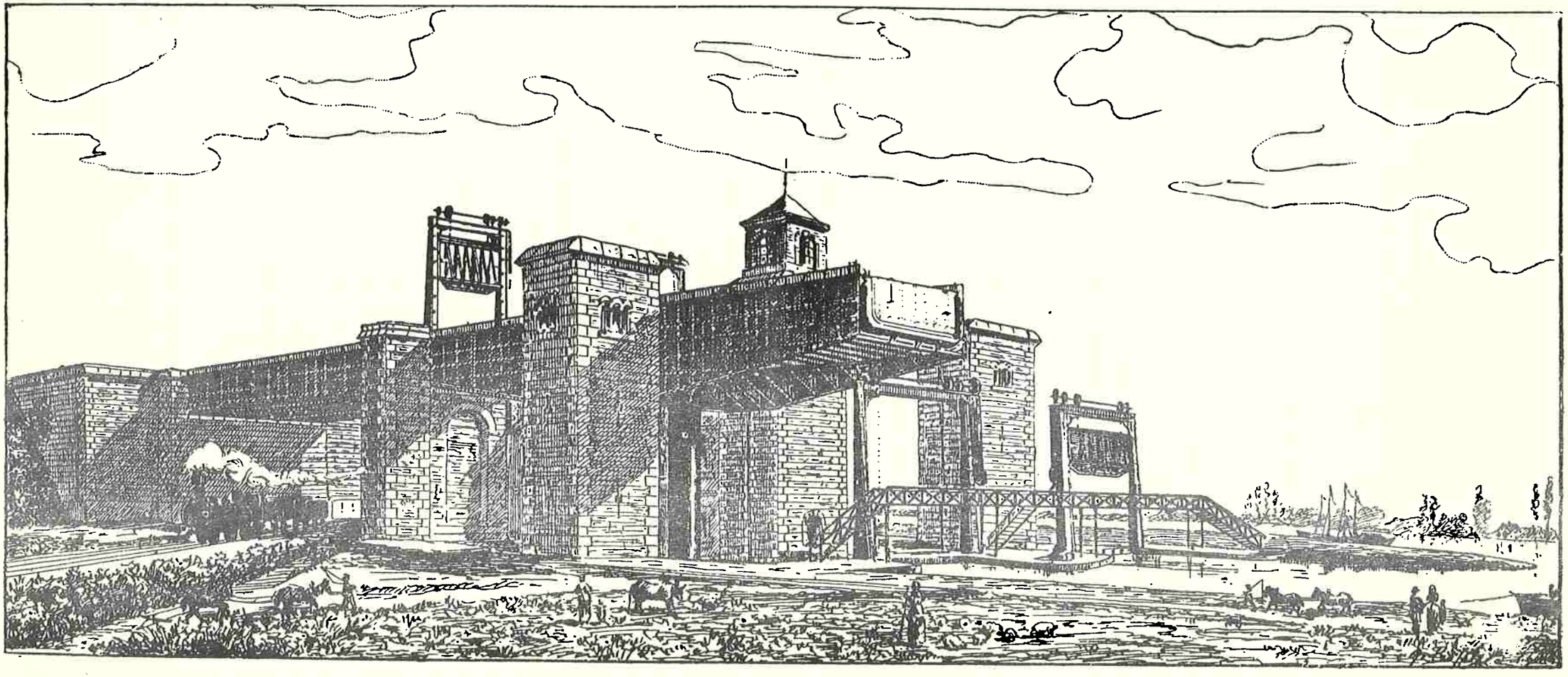
A mais recente instalação dêste tipo entrou em funcionamento em 1962 e veio duplicar a obra construída em Henrichenbourg. Permite a transposição de um desnível de 14,50 m por embarcações de 1.350 ton de capacidade de carga. O equipamento móvel pesa cêrca de 5.000 ton e é suportado por dois flutuadores com 10 m de diâmetro, 35,28 m de comprimento e 2.500 ton de deslocamento cada um. A figura 6 mostra uma vista desta moderna obra de transposição que, aliás foi o único elevador vertical construído nos últimos 30 anos.

Nos elevadores funiculares, a cuba normalmente é ligada por cabos (eventualmente correntes "Gale") a um contrapêso, que pode ser outra cuba semelhante (cubas conjugadas) ou uma série de blocos de pêso equivalente à cuba. O conjunto é suportado por polias instaladas em tôrres que ultrapassam o nível de montante e o movimento provocado pelo desequilíbrio proveniente da colocação de um excesso de água na câmara superior ou por sistema mecânico.

São conhecidas nove obras construídas dentro dêste esquema sendo que as sete em que o equilíbrio era obtido por cubas conjugadas tinham câmaras de pequena dimensão. O elevador de Anderton (figura 7), concebido em 1875 como elevador hidráulico, foi transformado em 1906 para funicular duplo e nestas condições prestou grandes serviços até 1912 quando as duas câmaras foram separadas e passaram a ser movidas independentemente com motores elétricos. Desta forma funciona até hoje (ROLT - 1966).

O elevador vertical que vence o maior desnível de todos os elevadores até hoje construídos é do tipo funicular. Trata-se do imponente elevador de Niederfinow, executado em 1934, no canal Finow, na Alemanha, para vencer um desnível de 36 m com embarcações de 1.000 ton. A cuba dêste elevador, que pesa cêrca de 4.300 ton, é equilibrada por 192 contrapesos de concreto, pesando cada um 22,50ton, suportados por 256 cabos de aço. A figura 8 mostra uma fotografia dêste elevador, na época da sua entrada em serviço.

Merece, ainda, menção, um tipo de elevador vertical que chegou a ser construído sem ter tido, porém, utilização regular. Trata-se do



- Figura 5 -

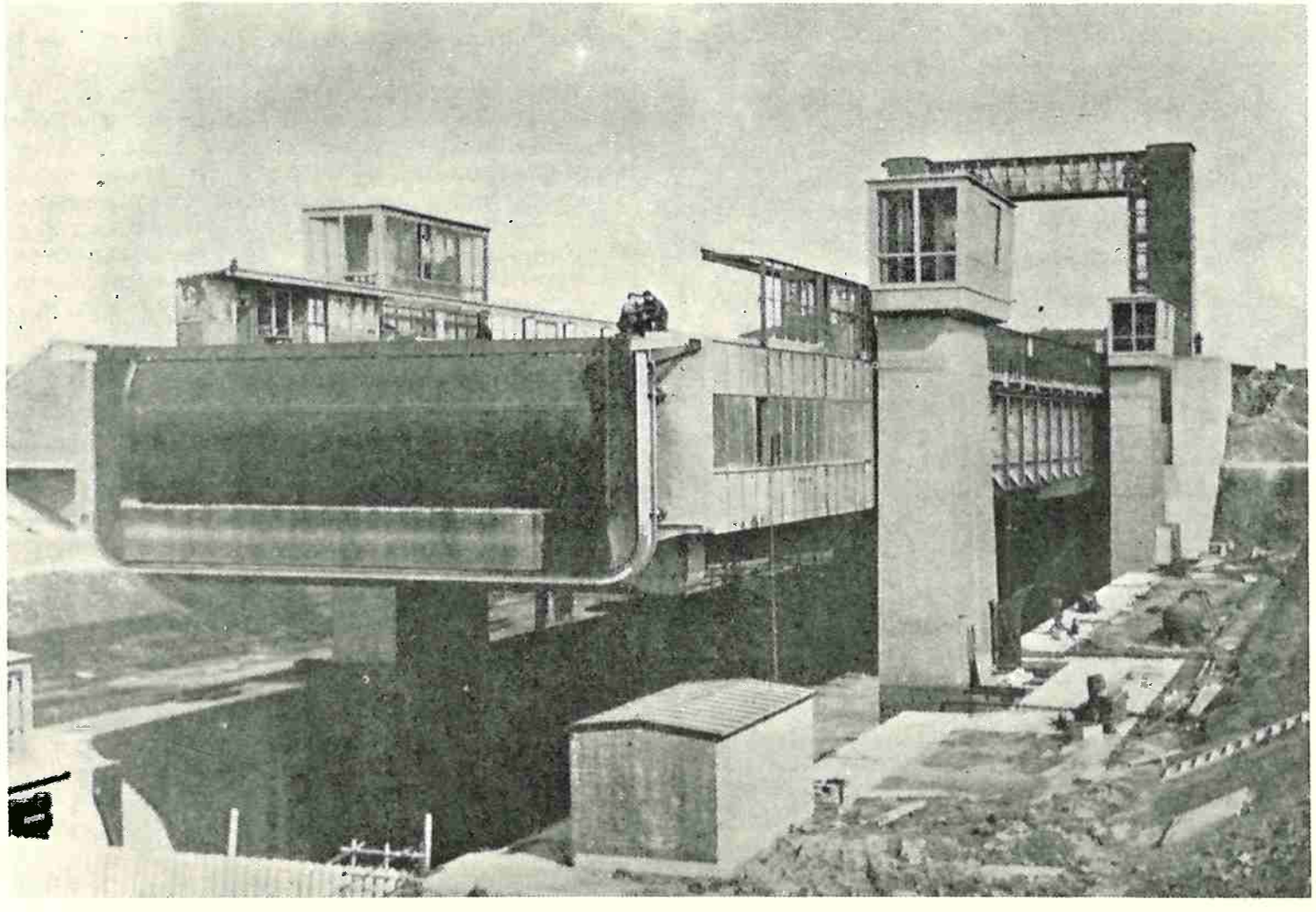
ELEVADOR VERTICAL DE FONTINETTES (GRAVURA DA ÉPOCA DA CONSTRUÇÃO)

ESCOLA POLITÉCNICA
BIBLIOTECA

que poderíamos denominar "elevador de câmara submergível" e que, na literatura técnica, é em geral referido como "eclusa mergulhante" ("eclusa plongeante" ou "tauchsleuse") (BRAUM et al. - 1965). Neste sistema a cuba totalmente estanque, imerge e flutua em um poço equilibrando-se por si só. O poço é munido, na parte inferior, de uma porta a qual se acopla a porta da câmara , permitindo a entrada e saída das embarcações sob pressão d'água. A movimentação vertical da cuba é realizada pelo desequilíbrio entre seu pêso e seu deslocamento, obtido pela introdução de água na câmara. É curioso notar que exatamente êste tipo de elevador, que parece ser o de maior complexidade construtiva, foi um dos primeiros tentados. De fato, em 1798, em Dunkerton, no canal Somerset foi construída por Robert Weldem uma obra de transposição seguindo em linhas gerais êstes princípios. As informações sôbre esta obra que chegaram até nós mostram a ousadia com que foi concebida, pois destinava-se a vencer uma queda de 13,70 m (valor controvertido) com embarcações de 20 ton. Infelizmente, logo nos primeiros meses de uso, o muro de arrimo construído em alvenaria simples, que suportava o poço no interior do qual se movia a cuba estanque rompeu inutilizando a obra. Ao que tudo indica o acidente impediu que fôsse obtido um julgamento final sôbre as possibilidades do sistema.

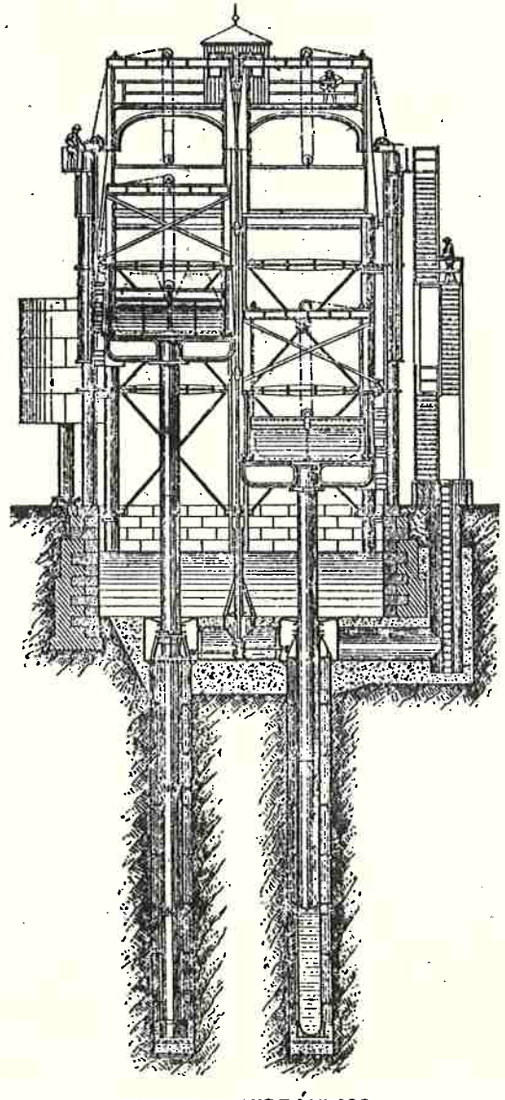
Ùltimamente, têm sido propostos diversos tipos de elevadores verticais com câmaras mergulhantes nos quais a cuba estanque equilibra-se por flutuação. O concebido pelo prof. Rothmund (ROTHMUND - 1948 e 1955) e que vem sendo objeto de aperfeiçoamentos e ensaios em modelos reduzidos na Alemanha, parece ser um dos mais satisfatórios. O princípio dêste sistema, que funciona com câmaras conjugadas, pode ser compreendido pelo exame da figura 9. É semelhante ao dos "sinos mergulhantes", com duas cubas munidas de câmaras de ar que se deslocam verticalmente lado a lado. Em posição emersa, as câmaras de ar são postas em comunicação e o ar transferido por diferença de pêso entre as cubas. Nos "elevadores aerostáticos", derivados dêste princípio, o sistema de transferência de ar acompanhada a cuba que imerge, dando maior segurança as operações (ROHNISH - 1965).

Numerosíssimos tipos de elevadores verticais e alternativas as mais diversas dos modelos acima citados, têm sido propostos e não foram executados. Entre outros, merecem destaque os seguintes:

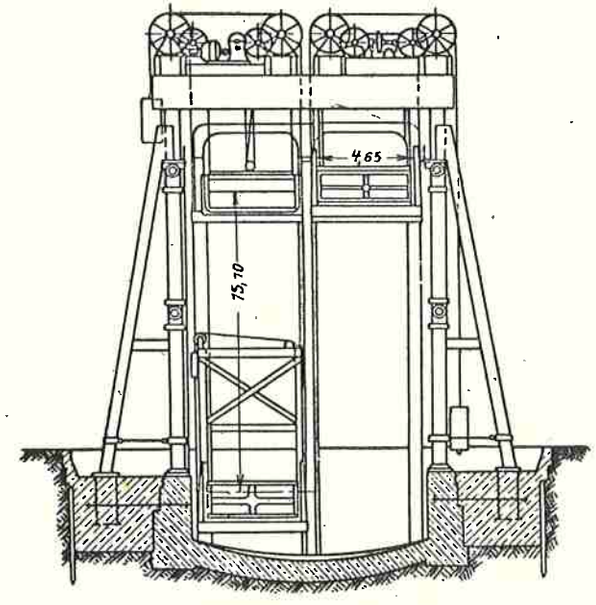


- Figura 6 -

ELEVADOR FLUTUANTE DE HENRICHENBOURG II



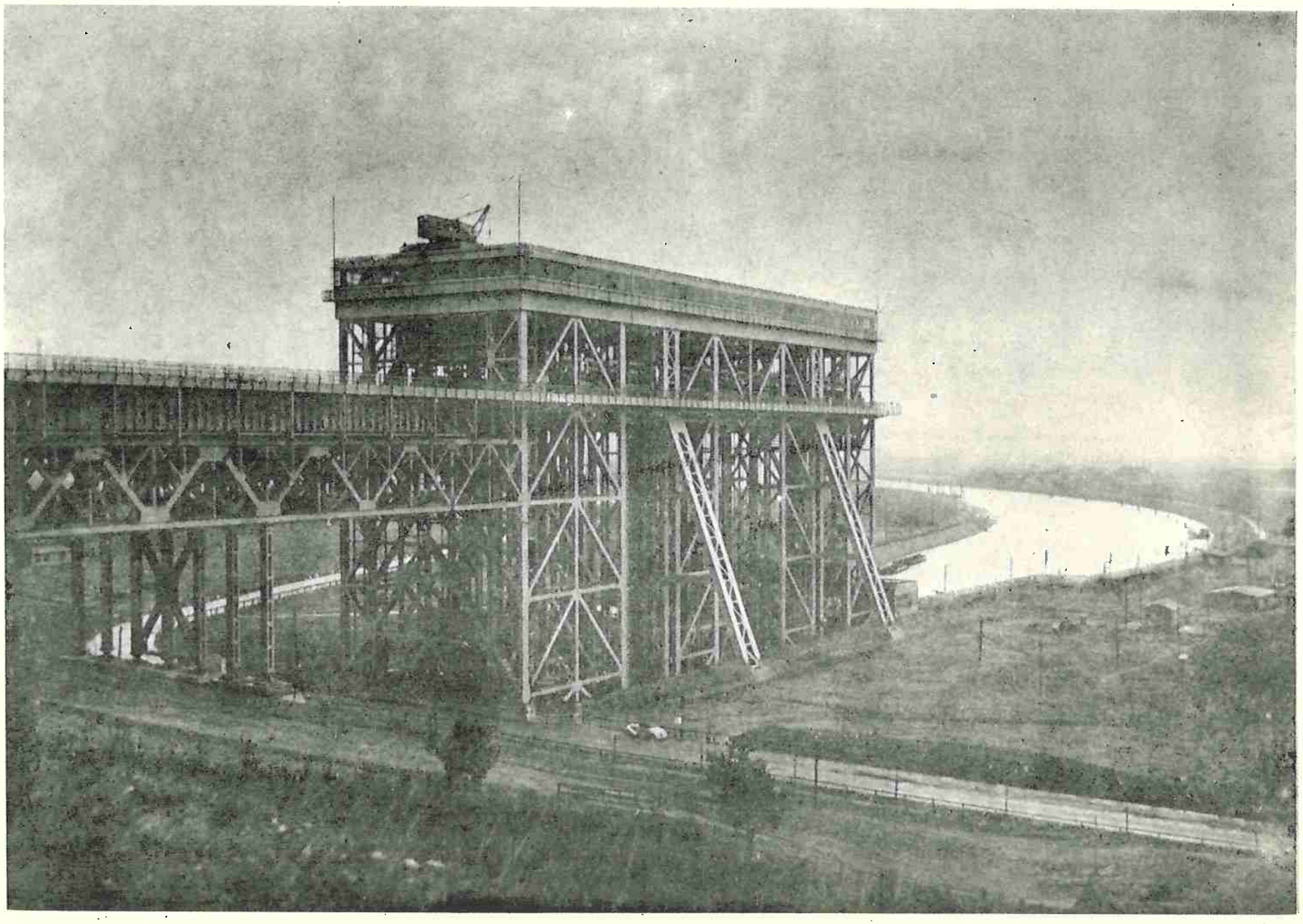
SISTEMA HIDRÁULICO
OBRA PRIMITIVA (1.875)



SISTEMA FUNICULAR
OBRA MODIFICADA (1.912)

FIGURA 7

ELEVADOR VERTICAL DE ANDERTON



- Figura 8 -

ELEVADOR FUNICULAR DE NIEDERFINOW

Elevadores flutuantes com reservatórios elevados - A maior dificuldade dos elevadores flutuantes como os construídos para quedas elevadas, é a profundidade dos poços. Esta dificuldade tem conduzido a alternativas de reservatórios elevados, em forma de tôrres, onde se deslocam flutuadores rìgidamente ligados à cuba. Na Alemanha, foi elaborado um projeto completo assim concebido (para o local do elevador de Niederfinow) (DEHNERT - 1954), com 4 tôrres laterais; outros projetos dentro do mesmo esquema vêm sendo estudados (RUTJERODT e ARENS - 1957) inclusive com uma única tôrre central, sistema Ollert-Rottmayer (ELLERBECK - 1927), que teria grande altura (130 m, no estudo feito) porém resolveria os problemas decorrentes da necessidade de garantir a horizontalidade da câmara (figura 10). Estas alternativas, bem como a proposta por Faure (FAURE - 1953) com 4 tôrres com flutuadores móveis pela variação do nível d'água, tem esbarrado no problema de garantia da estanqueidade das tôrres que seriam sujeitas a grandes pressões hidrostáticas. O sistema Faure, consumindo considerável volume de água perde, em parte, a vantagem essencial dos ascensores.

Elevadores com flutuantes horizontais - Tem sido também propostos elevadores suportados por flutuadores horizontais, apesar de exigirem dimensões muito avantajadas nos poços. Assim são o sistema Böhnler (DEHNERT - 1954) no qual a cuba se apoia em três flutuadores que se deslocam num grande poço de seção trapezoidal (figura 10); o sistema Demag, de mesmo princípio, com um flutuador que emerge em um poço ao longo da câmara (DEHNERT - 1954); o sistema Böttcher (PRESS - 1956), o sistema Offerman (OFFERMAN - 1902), etc..

Elevadores equilibrados por contrapêso ou outros meios - Nesta categoria pode-se enquadrar o maior número de elevadores verticais (ou quase verticais , pois alguns teriam um movimento de rotação em tôrno de eixo horizontal) propostos em diversas épocas. Como representativo, pode-se citar o equipamento colocado em segundo lugar no mencionado concurso de Viena de 1903 constituído de um reservatório elevado, com um grande flutuante cilíndrico suportando uma estrutura com 2 braços nos quais seriam suspensas as cubas equilibradas entre si. O movimento seria de rotação, num grande arco de círculo em tôrno do flutuador (BONNET - 1903). Como peculiaridade dêste projeto pode-se indicar a inexistência de portas nas câmaras e partes fixas do canal, pois as cubas imergiriam, deixando as embarcações passar livremente sôbre seus bordos. Para o local de Niederfinow foram propostos diversos tipos de elevadores que podem ser enquadrados também nesta categoria: um sistema de balança com braços suportados por apoios formando paralelogramos articulados, para garantir a horizontalidade das cubas (figura 10); um sistema rotativo com cubas circu

lares fechadas, com a água movendo-se em relação à câmara, de forma a manter as embarcações horizontais; um sistema com câmara única suportada por bielas colocadas simètricamente em ambos os lados, com contrapesos para equilibrar o pêso total da cuba (ELLERBECK - 1927). Outro sistema interessante de contrapêso é o patenteado pela firma August Klönne, de Dortmund: a embarcação é transportada em um berço com movimento horizontal e vertical, como uma verdadeira ponte rolante; dois conjuntos distintos de contrapêso, nos extremos, garantem a movimentação vertical sem consumo de energia (DEHNERT - 1954). Muitos outros elevadores semelhantes são descritos nas publicações a que vimos nos referindo, em particular, no artigo de Ellerbeck (ELLERBECK - 1927) e nos anais do IXº e Xº Congressos Internacionais de Navegação.

Elevadores de contrapêso com sistema hidráulico - Como elevador vertical de contrapêso de concepção moderna merece ainda ser citado o apresentado em 1949 (HOLECEK et al. - 1949) no XVIIº Congresso Internacional de Navegação: os cabos do sistema funicular são substituídos por quatro pistões hidráulicos que suportam a câmara e são ligados entre si e a quatro outros pistões que suportam os contrapesos; uma pequena bomba aspirante garante a movimentação com um mínimo dispêndio de energia.

Elevadores de tambor - Um sistema original de ascensor rotativo, apropriado para baixas quedas, foi patenteado pela firma M.A.N. com base na concepção do eng. Umlanf. Seria constituído de um grande cilindro de eixo horizontal e diâmetro pouco maior que o desnível a ser vencido, suportando duas cubas cilíndricas iguais colocadas diametralmente em seu interior. As câmaras seriam levadas da posição superior à inferior pela rotação do conjunto, conjugada com a rotação das cubas (figura 10).

Elevadores hidráulicos e pneumáticos - Diversas alternativas do princípio aplicado pelo eng. Clark têm sido sugeridas, utilizando, em particular, ar comprimido ao invés de água, para transmitir entre as câmaras conjugadas (TILLINGER - 1949). Um sistema pneumático, que poderia ser denominado "elevador de sino-mergulhante", foi projetado pelo eng. Chauncey Dulton para o canal Erie: as cubas com 9 m de largura e 95 m de comprimento seriam suportadas diretamente por dois grandes caixões invertidos, que imergiriam em poços com profundidade apropriada, pela variação do volume de ar retido. Uma ligação entre as câmaras de ar das duas cubas, faz com que a descida de uma, provocada pela colocação de um volume suplementar de água, obrigue a elevação da outra. As dimensões que teriam os caixões e a grande profundidade do poço exigido para o deslocamento do conjunto, levaram ao abandono do projeto, sendo

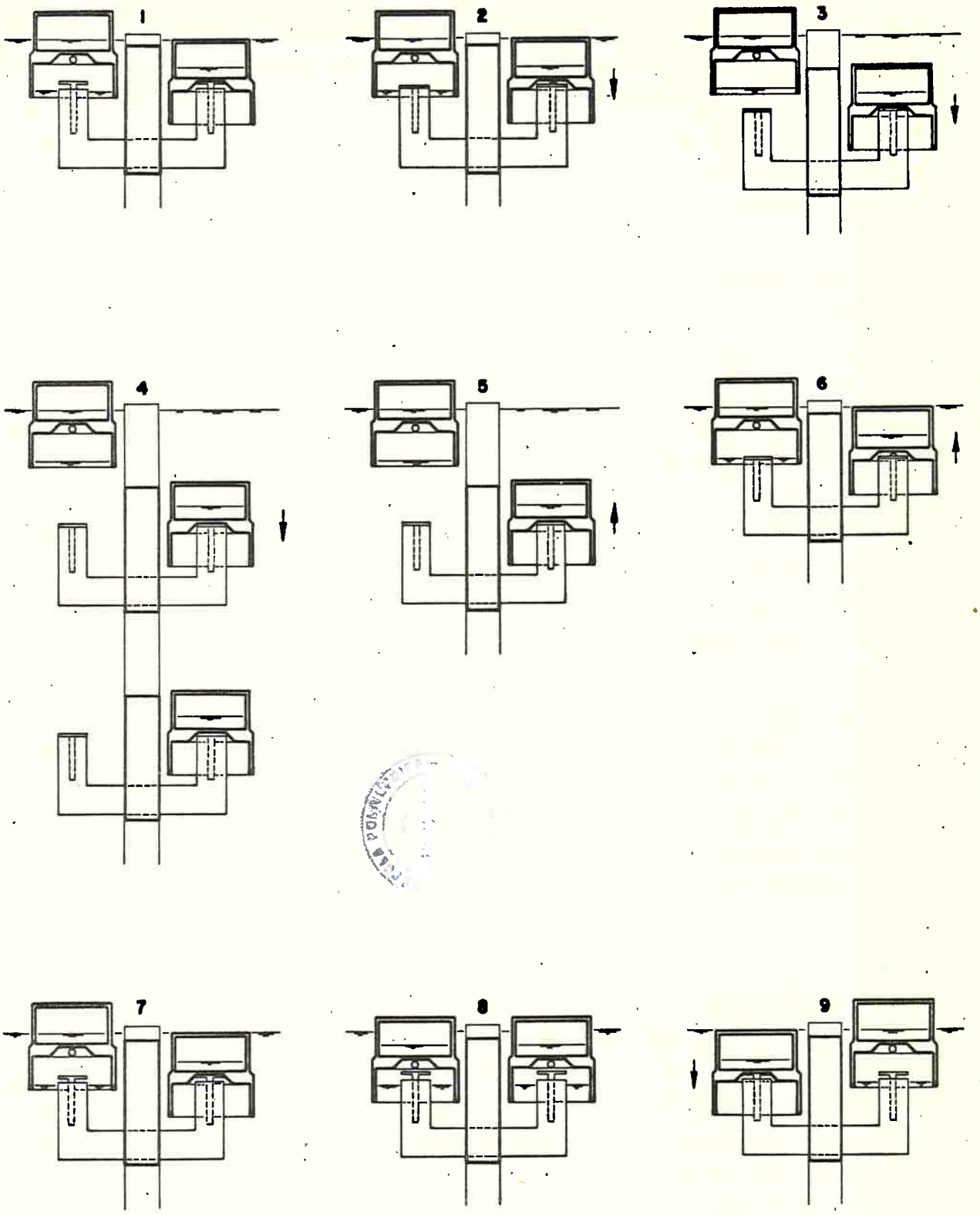
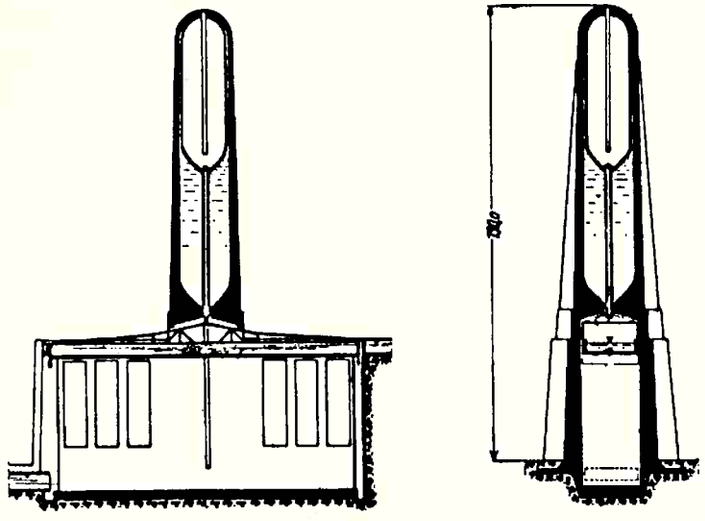


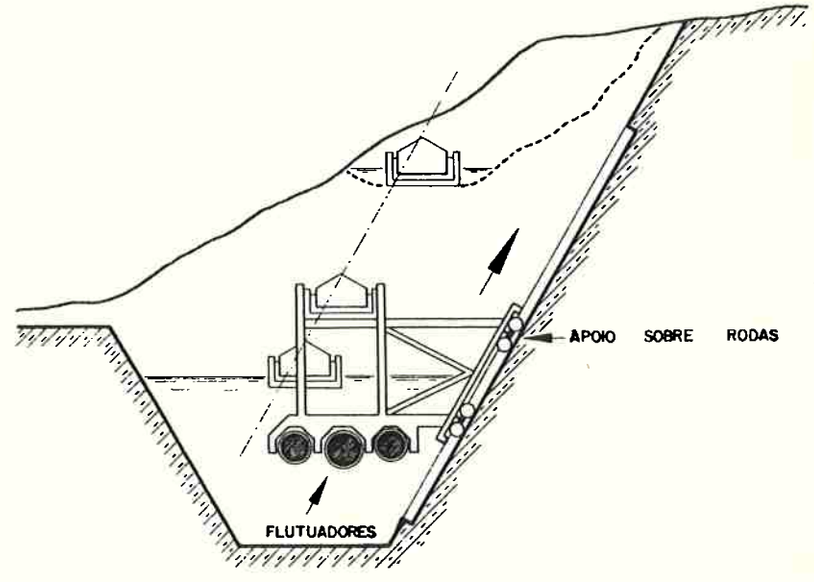
FIGURA 9

ELEVADOR DE CÂMARA SUBMERSÍVEL SISTEMA AEROSTÁTICO

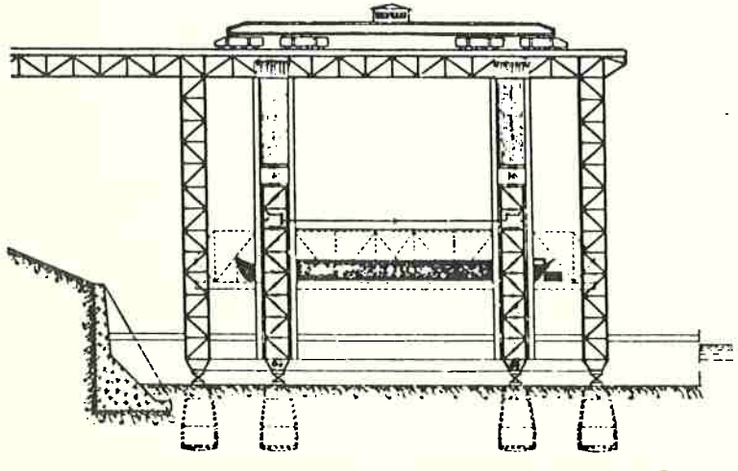
OPERAÇÕES SUCESSIVAS



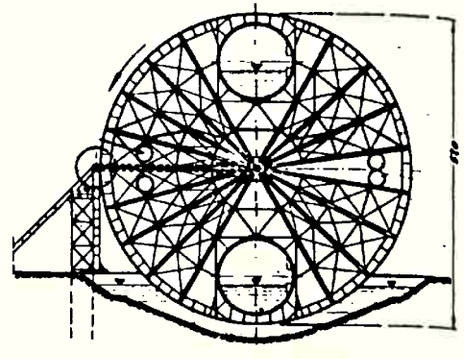
SISTEMA OLLERT - ROTTMAYER



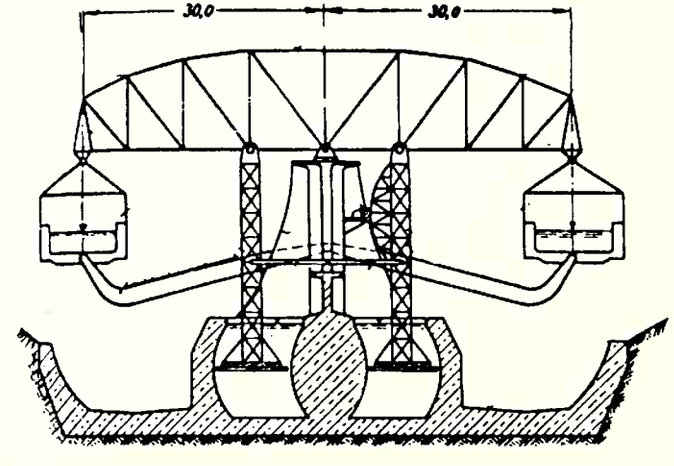
SISTEMA BOHMLER



SISTEMA KLÖNNE



SISTEMA DE TAMBOR MAN



SISTEMA BEUCHELT - SCHNAPP

FIGURA 10

PRINCÍPIOS DE FUNCIONAMENTO DE ALGUNS MODELOS DE ELEVADORES VERTICAIS (NÃO CONSTRUÍDOS)

adotado, em substituição, escadas de eclusas para os dois locais em que eram previstas estas obras (Lock-Port, 20 m de queda, próximo a queda do Niágara e Cohoes, 44 m de queda, no rio Hudson) (SCHONBACH - 1902).

Elevadores hidro-funiculares - Cabe ainda referir a um tipo de elevador proposto por Bonnet (BONNET - 1953), que poderia ser denominado de "hidro-funicular", em que parte do pêso da cuba seria equilibrada por contrapesos, suspensos por cabos, e parte por pressão hidráulica através de um "pistão" no centro da cuba. Segundo aquêle autor, êste sistema permitiria o emprêgo de cubas de grande pêso (da ordem de 9.600 ton para câmara com 15 m por 150 m no estudo feito para o canal Visé-Aix-La-Chapelle-Reno) sem que fôssem atingidas pressões muito elevadas na "prensa hidráulica". O elevador hidro-funicular apresentaria as vantagens dos elevadores hidráulicos e de contrapêso ; porém também estaria sujeito a maioria das desvantagens de ambos os sistemas. Os 7 elevadores propostos para o canal Visé-Reno (um dos quais teria 80 m de desnível), apresentariam a peculiaridade de tôdas cubas (duas em cada obra) poderem funcionar independentemente. A pressão hidráulica seria fornecida por meio de "acumuladores" cujos pistões seriam carregados com pêso igual ao que agiria sob os pistões das cubas. Assim seria obtido, apesar do maior custo em relação ao clássico elevador hidráulico com cubas conjugadas, uma melhor maneabilidade e, conseqüentemente maior capacidade de tráfego.

1.2.2 - Planos inclinados

Os planos inclinados são constituídos fundamentalmente de uma via de rolamento inclinada sôbre a qual circulam cubas que transportam em seu interior, as embarcações. Nos extremos da via, as câmaras de flutuação são colocadas em ligação com os níveis d'água superior e inferior através das aberturas conjuntas das portas fixa e da cuba (figura 11).

Nos tipos primitivos destas obras, que provàvelmente foram os mais antigos meios de transposição de desnível utilizados, as embarcações eram transportadas a sêco, apoiadas sôbre o fundo, em berços ou arrastadas diretamente sôbre a via de rolamento.

Existem referências acêrca de 90 planos inclinados. Dêstes, como se verifica pela tabela 5, apenas 11 destinados ao transporte das embarcações flutuando, sendo que nos quatro do canal Chard, as embarcações flutuavam apenas parcialmente e no de Black Hill só podiam ser admitidas embarcações descarregadas (CARTAULT - 1877). Assim, na verdade, foram realizados

sòmente 6 planos inclinados, na concepção atual dêste tipo de obra, e dêstes, um, o do canal South-Hadley foi logo abandonado e três não foram ainda concluídos.

Entre os planos inclinados podemos distinguir os planos inclinados funiculares, onde uma cuba é ligada por cabos, a outra cuba ("cubas conjugadas") ou a contrapesos que se deslocam em sentido oposto, e os planos inclinados automotores, em que as cubas são independentes, dispondo de meios próprios para produzir a energia motora. Em ambos os casos, o deslocamento pode ser feito no sentido do comprimento da embarcação (planos inclinados longitudinais) ou no sentido da largura (planos inclinados transversais). Os dois únicos planos inclinados automotores executados até hoje são longitudinais, não parecendo haver vantagens em construí-los transversalmente.

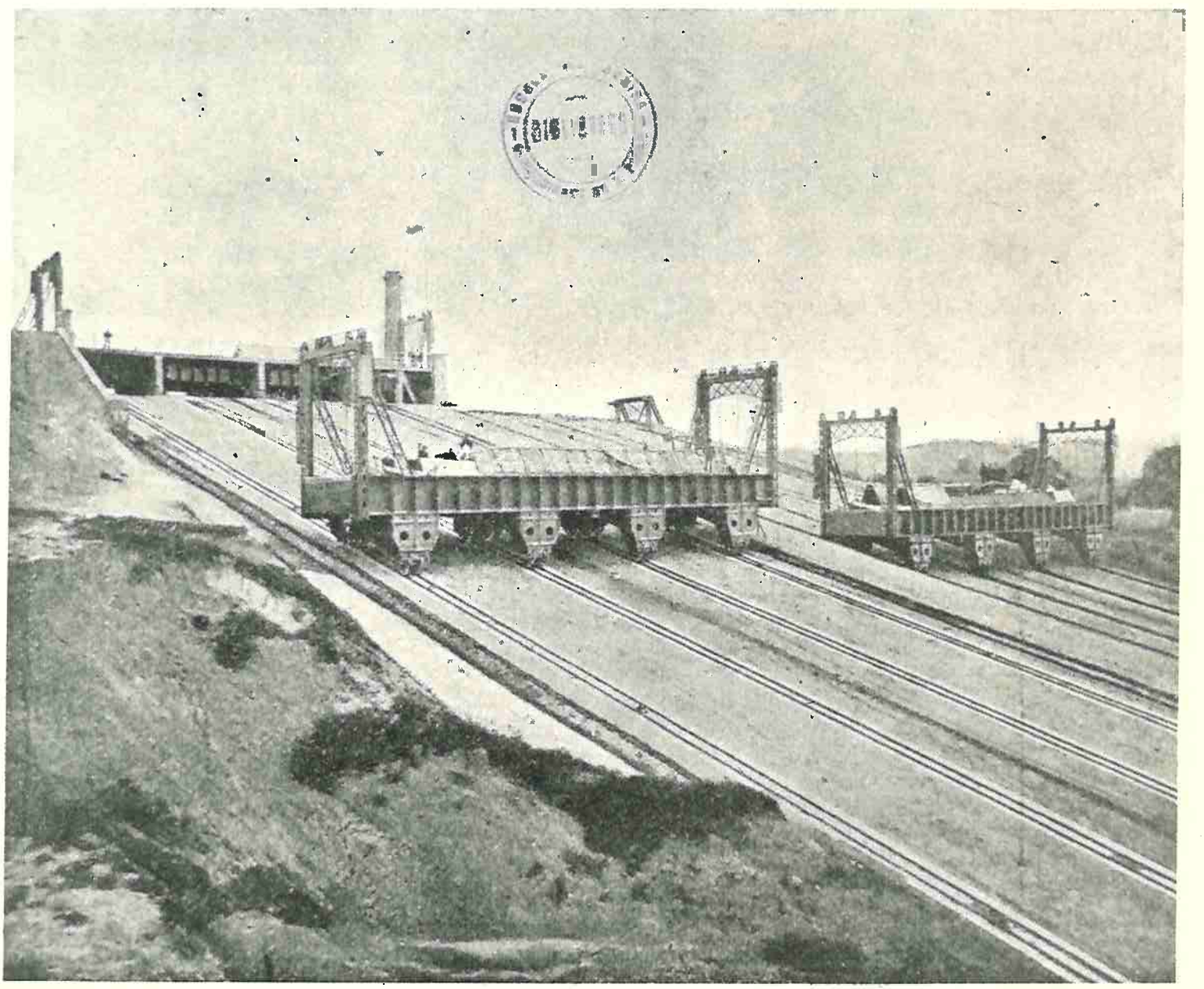
Não nos deteremos nos detalhes das obras em construção, pois as duas européias (Arzviller, na França e Ronquières, na Bélgica) são descritas em numerosas publicações indicadas na bibliografia. Para a obra russa, ainda pouco conhecida e com referências escassas, daremos alguns detalhes suplementares.

É interessante notar que cada uma destas três obras é de um dos tipos acima indicados.

A obra francêsa é do tipo funicular transversal, vencendo com uma rampa de 1:4 um desnível de 45 m (figura 12). A cuba pesará cêrca de 900 ton e é equilibrada por contrapesos que se movem sôbre trilhos especialmente destinados a esta finalidade. É prevista, no futuro, a instalação de uma segunda cuba independente sôbre os mesmos trilhos (MARCHAL e TIPHINE - 1964, VADOT et al. - 1965,etc.).

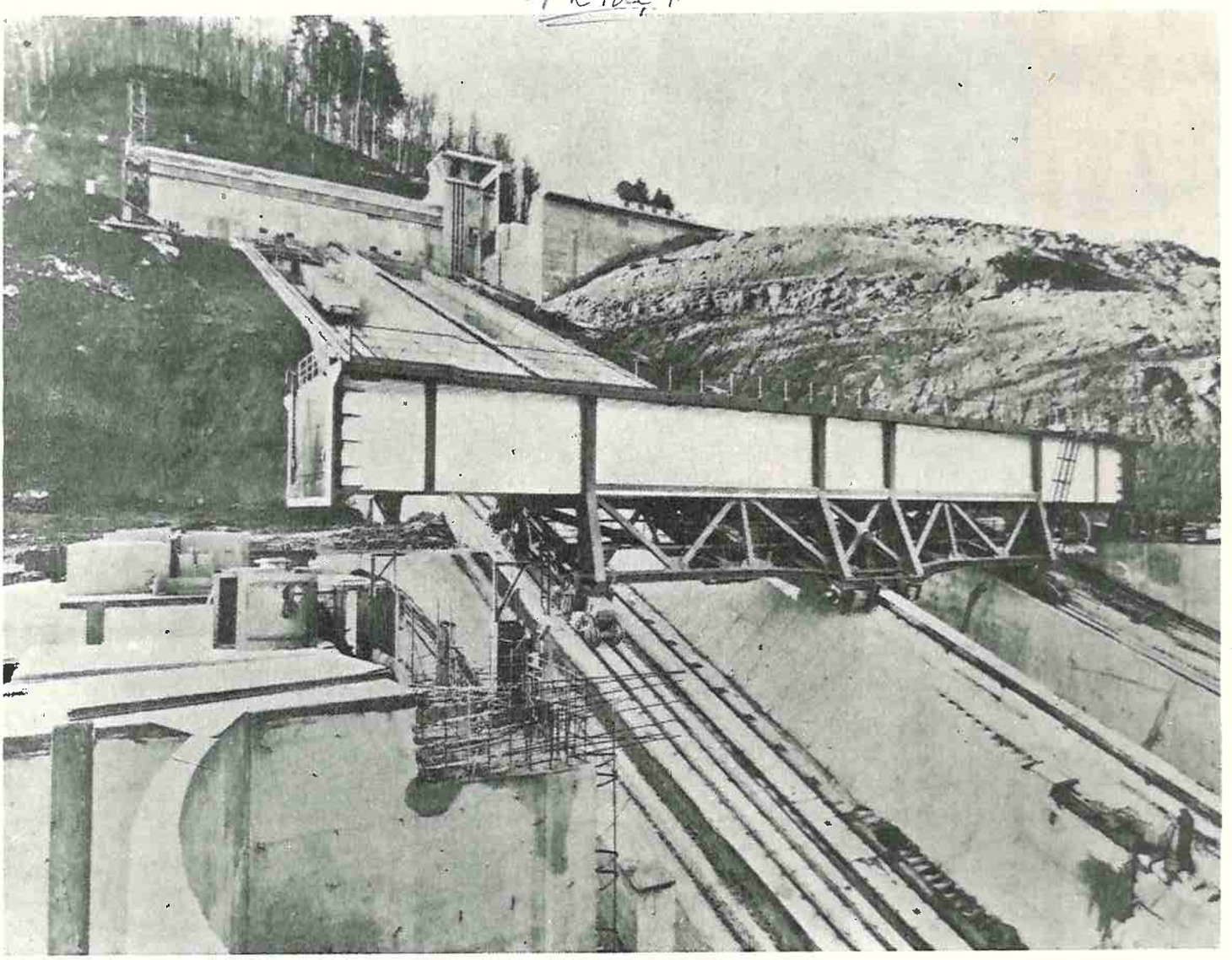
A obra belga é do tipo funicular longitudinal; vencerá um desnível de 67,55 m, com rampa constante de 1:25 (figura 13). Duas cubas iguais de 5.700 ton transitarão sôbre vias independentes, cada uma equilibrada por um sistema próprio de contrapesos ligados por cabos de aço (WILLEMS - 1961, WILLEMS et al. - 1965,etc.).

O plano inclinado russo, em construção na barragem de Krasnoyarsk, no rio Iénissei (Sibéria) é do tipo automotor, com uma rampa e uma contra-rampa (semelhante aos antigos "Summits-planes"). A câmara deslocar-se-á sôbre trilhos com bitola de 9 m numa rampa uniforme de 1:10, com qua-



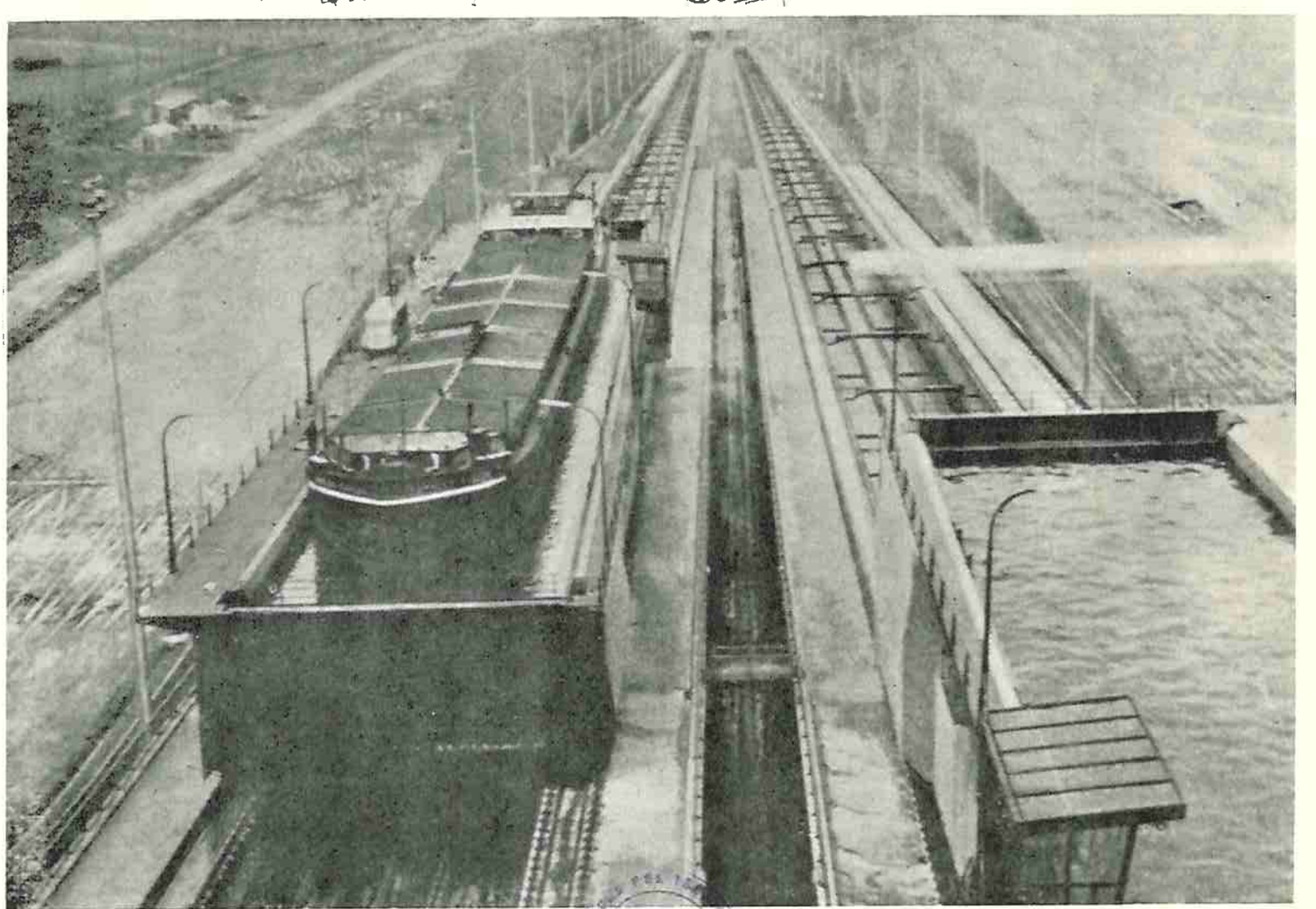
- Figura 11 -

PLANO INCLINADO DE FOXTON
(SISTEMA THOMAS)



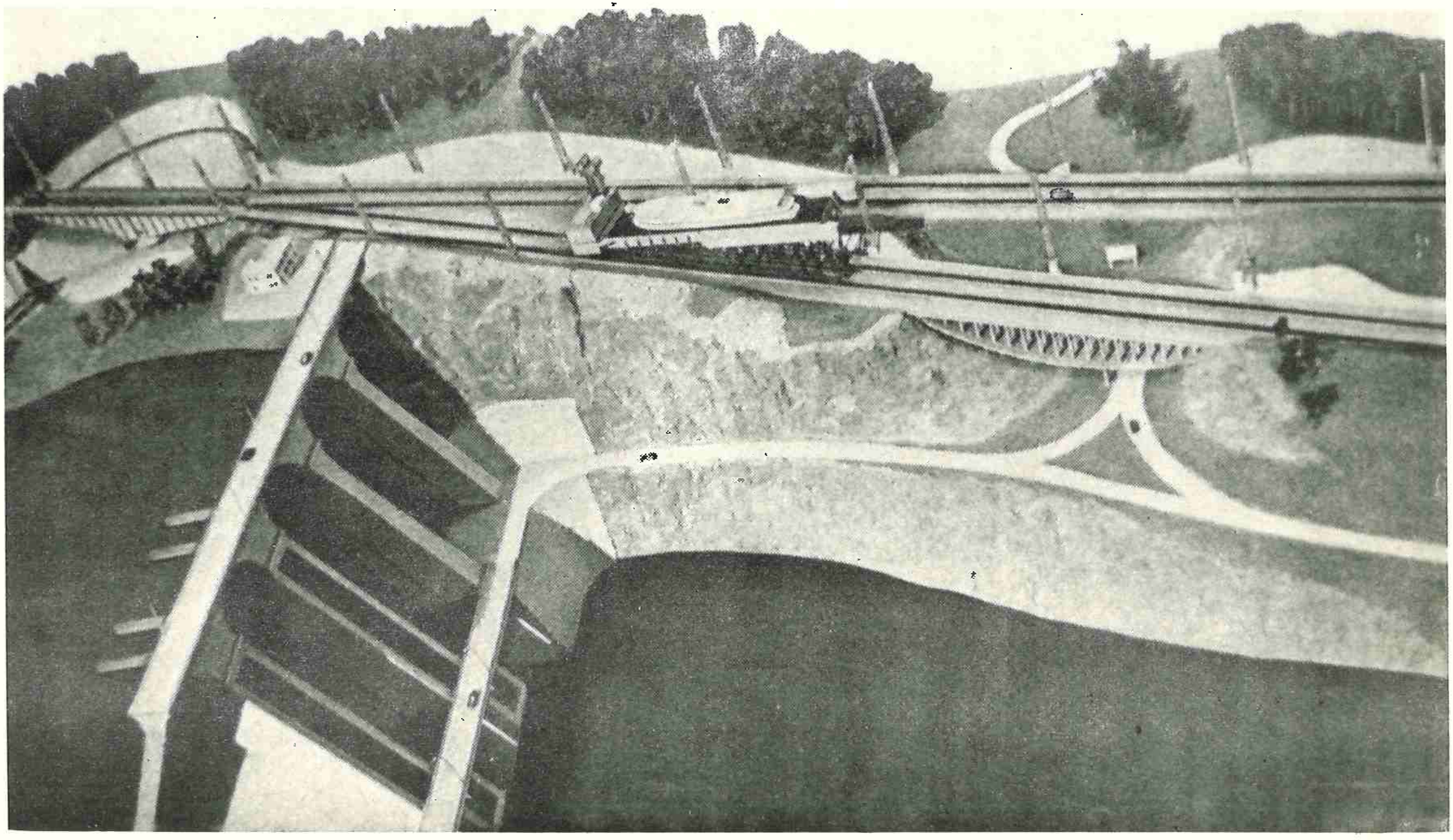
- Figura 12 -

PLANO INCLINADO DE ARZVILLER



- Figura 13 -

PLANO INCLINADO DE RONQUIÈRES



- Figura 14 -

PLANO INCLINADO DE KRASNOYARSK (MAQUETE)

tro linhas de cremalheiras fixadas no concreto. A cuba será assentada sôbre 72 truques com duas rodas de apoio de 1,30 m de diâmetro. A propulsão será feita por motores hidráulicos, um em cada uma das 156 rodas dentadas com 1,05 m de diâmetro e de eixo vertical, sendo a pressão de óleo fornecida por bombas de funcionamento sincronizado; os motores elétricos do veículo terão uma potência total de 17.700 kw, e serão alimentados em corrente trifásica de .. 6.000 V, sendo prevista a recuperação de parte da energia na descida, funcionando os motores então como breques. Êste plano inclinado tem como peculiaridade um sistema de rotação da cuba que permite a mudança na direção da via e possibilita a passagem da rampa a contra-rampa, dividindo a extensão total em dois trechos de 393 m (montante) e 1.240 m (jusante). No futuro, êste sistema de rotação que é constituído de uma placa giratória com raio de 51,50 m, possibilitará o cruzamento, por meio de um desvio, dos dois veículos automotores que deverão trafegar na mesma via, no trecho de montante e em duas vias, no trecho de jusante (figura 14). Nas duas extremidades, a cuba imerge, não exigindo pois, portas fixas e apenas uma porta na cuba.

O desnível máximo a ser vencido em Krasnoyarsk é de 115 m havendo variações de nível d'água de 13 m a montante e 6,50 m a jusante. A cuba automotora pesará, incluindo o equipamento propulsor, cêrca de 6.700 ton. A velocidade média na subida será de 1,m/s, e na descida de 1,33 m/s; um ciclo total de ida e volta deverá demorar cêrca de 93 minutos (BRETSCHNEIDER - - 1965, TENAUD - 1968).

O princípio básico dos planos inclinados não deixa muita margem à imaginação. De um modo geral, os estudos e projetos elaborados e não executados diferem apenas em detalhes das obras que foram construídas, não havendo pròpriamente concepções diversas.

Uma destas inovações muitas vêzes aventada, foi a substituição das rodas por "patins" hidráulicos que permitissem o deslocamento sôbre os trilhos com um mínimo de atrito. Um equipamento dêste tipo foi vencedor do Concurso Internacional de Viena (1903) a que já tivemos ocasião de nos referir. Êste projeto aliás apresentava diversas outras inovações, inclusive de ter as duas câmaras diferentes: uma sôbre patins e a outra sôbre roletes cilíndricos independentes (WILHELM - 1905). Apesar de diversas experiências efetuadas com êxito (GERDAU - 1902), o sistema de patins hidráulicos que transmitiriam o pêso do veículo sôbre os trilhos por meio de uma fina camada de água sob pressão, nunca chegou a ser aplicado.

O difícil problema da distribuição dos grandes pesos sôbre os trilhos, teve aventadas numerosas soluções, como a utilização de "lagartas" articuladas, rodas apoiadas em correias etc.(SUPPAN - 1902). Modernamente tem sido sugerido o emprêgo de rodas pneumáticas para apôio e rodas férreas para guia, o que permitiria o emprêgo de rampas mais fortes. O apoio sôbre colchão-livre de ar ("Hovercraft") também foi aventado no último Congresso de Navegação (Estocolmo - 1965) porém dentro da técnica atual ainda não é realizável.

Para vencer a dificuldade do grande número de trilhos nos planos inclinados transversais (oito trilhos no plano inclinado de Foxton) foi proposto para o canal Werre-Mains uma cuba especialmente reforçada, com 110m de largura, que pudesse mover apenas sôbre dois apoios centrais distantes de 25,60 m, ficando portanto dois balanços de 42 m (DEHNERT - 1954). A grande estrutura metálica necessária para permitir êstes balanços aumenta muito o pêso da cuba (5.000 ton para o referido projeto, com a câmara de 12 x 110 m vazia) e retira o interêsse desta solução.

Cabe ainda referir a algumas alternativas visando possibilitar o transporte das embarcações apoiadas, o que reduziria consideràvelmente o pêso a ser movimentado, resolveria o problema da agitação na câmara e permitiria variações na inclinação das rampas com simplificação considerável da via de rolamento e da cuba.

A maior dificuldade reside no fato que as embarcações não são dimensionadas para resistirem ao esfôrço concentrado resultante do apôio direto no fundo. Nas primitivas obras de transposição, tanto elevadores verticais quanto planos inclinados, esta solução foi sistemàticamente adotada , porém, sòmente para barcos pequenos e descarregados, com a carga transbordada por outros meios.

Diversos sistemas têm sido propostos para a movimentação a sêco de embarcações de grande deslocamento, contornando a dificuldade apontada. Para os planos inclinados, onde há o problema da manutenção da horizontalidade da embarcação quando ocorrem variações na declividade dos trilhos, o apoio poderia ser feito em cabos envolvendo o casco e estirados por contrapesos.Um sistema assim concebido foi proposto pelo Comandante Suppan (SUPPAN - 1902), para um plano inclinado automotor que venceria o divisor d'água, subindo por uma encosta e descendo pela outra, mantendo sempre a horizontalidade da em-- barcação.

Modernamente, outra solução tem sido apontada: o apoio da embarcação sôbre um colchão plástico, inflado por ar comprimido ou água. Haveria assim, se usado ar comprimido, uma economia considerável de pêso, porém a vantagem principal, dentro das concepções modernas que exigem uma velocidade elevada de translação, seria evitar as oscilações dentro da cuba. Uma alternativa dêste tipo foi apresentada no concurso aberto em 1902 para o projeto da obra de Arzviller (VADOT et al. - 1965), não tendo sido porém aceita, pelo elevado custo do equipamento e a perda de tempo necessária para pôr a sêco as embarcações. O maior inconveniente de qualquer solução dêste tipo reside, porém, na necessidade de adaptação do sistema de apoio a várias dimensões e tipos de embarcações.

A solução de projetar embarcações que pudessem ser apoiadas sôbre o fundo, tem sido estudada porém não mostrou ser econômicamente recomendável.

1.2.3 - Rampas hidráulicas

As rampas hidráulicas ("pente d'eau") são constituídas essencialmente por um canal inclinado, com seção retangular, no qual é movimentada uma "cunha d'água" apoiada numa parede móvel (máscara). Flutuando nesta cunha d'água, as embarcações são transferidas de um a outro nível do degrau a ser vencido, sem sofrer, pràticamente, descontinuidade no percurso. Na concepção atual dêste sistema de transposição, a máscara móvel é propulsionada por um "trator" automóvel com pneumáticos, que circula sôbre o canal, em duas pistas de rolamento laterais. A porta necessária para reter a água na extremidade superior do canal é automática, abrindo-se pela pressão da cunha d'água na face externa, o que evita perda de tempo na transposição. No limite inferior do canal não há necessidade de porta, elevando-se a máscara quando os níveis d'água são igualados, para dar passagem às embarcações (figura 15).

A idéia fundamental das rampas hidráulicas já havia sido divulgada há alguns anos (DEHNERT - 1954) porém só passou a ser difundida nos meios técnicos últimamente, através do professor Aubert (AUBERT - 1961).

A primeira instalação dêste tipo vem de ser realizada na França em caráter experimental. Trata-se de obra de Vinissieux, construída próxima a Lyon, capaz de movimentar pequenas embarcações (até 3 ton de carga e 17 m de comprimento) através de um desnível de 3 m num canal de 100 m de ex-

tensão (rampa 2,8%) (AUBERT - 1967).

As rampas hidráulicas podem ser concebidas para receber as embarcações longitudinalmente (como em Vinissieux) ou transversalmente; a primeira alternativa, de mais simples execução, exige menor declividade, e portanto, maior comprimento do canal; a segunda alternativa, exige uma largura muito superior do canal, apresentando a simplificação do acesso lateral das embarcações, o que evita o movimento vertical da máscara na extremidade inferior.

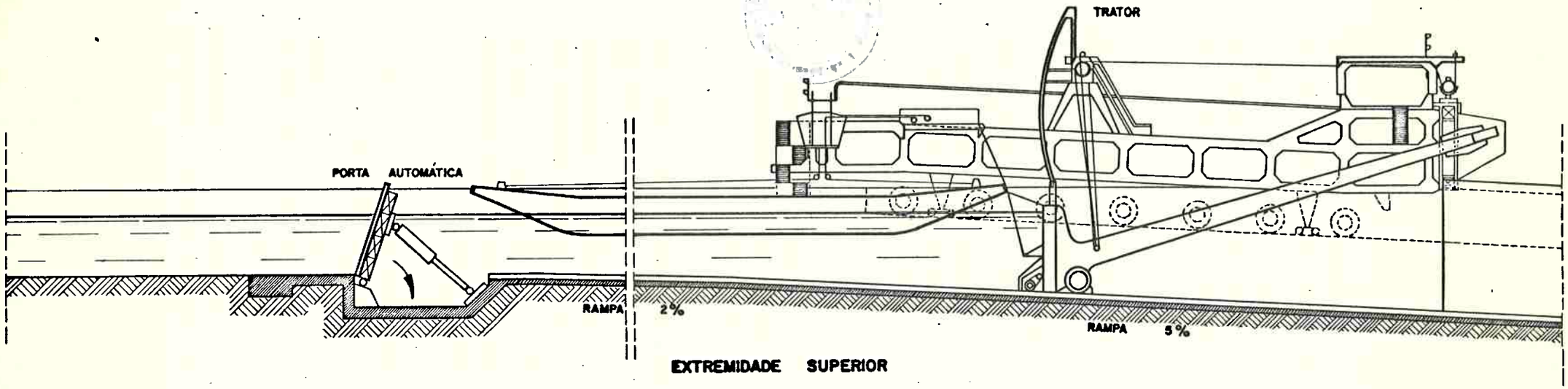
A experiência que resultará da exploração da pequena instalação de Vinissieux, será decisiva para a futura implantação dêste nôvo equipamento de transposição de desnível. As vantagens aparentes do sistema e a sua ampla aceitação pelos meios técnicos, conduz-nos a tratar as rampas hidráulicas neste trabalho com igual atenção à que dedicaremos aos demais sistemas que já têm suas exeqüibilidades comprovadas por obras construídas.

1.3 - Outros sistemas

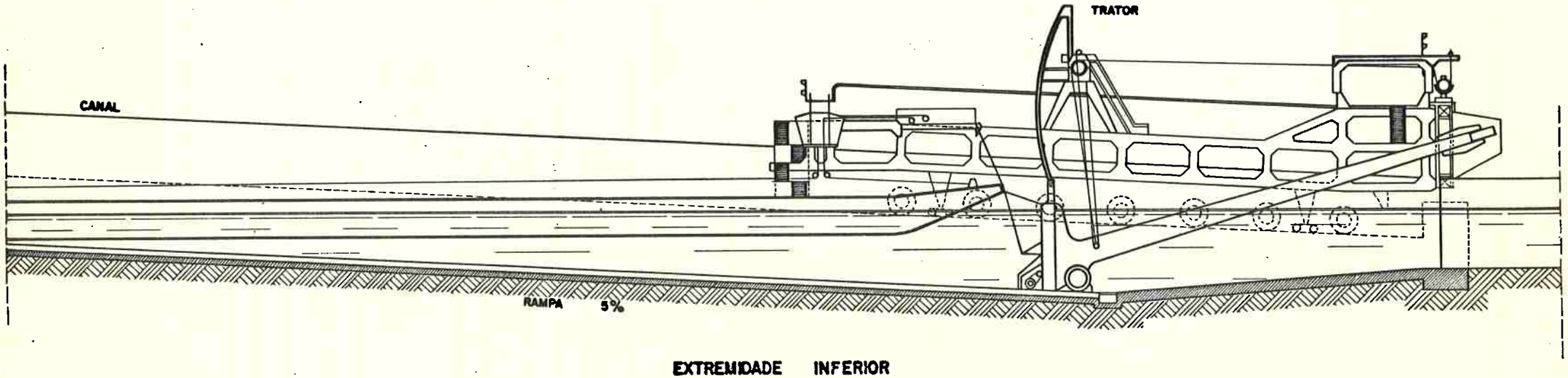
Finalmente merecem referências outros sistemas que sem serem pròpriamente "obras de transposição de desnível", permitem às embarcações vencer, por terra, certos trechos do percurso, galgando elevações.

Dentro desta ordem de idéias podemos lembrar as "estradas de ferro para embarcações" como a parcialmente construída no Canadá em 1888 para atravessar o istmo de Chiquecto: as embarcações (com 1.000 ton de carga) seriam retiradas da água por sistêma hidráulico e colocadas em gôndolas especiais, nas quais percorriam cêrca de 27 km (BONNET - 1922). Outras aplicações dêste princípio foram estudadas, em particular para a ligação do rio Danúbio aos rios Elba e Oder, e o Atlântico ao Pacífico pelo ístmo Tehuantepec.

Modernamente a navegação por empurra veio permitir a constituição de comboios de contenedores ("containers") anfíbios, com dimensões tais que podem ser movimentados fora d'água por engenhos mecânicos habituais. Diversos comboios dêste tipo, projetados para que as "embarcações" possam atingir locais distantes da via fluvial trafegam atualmente em alguns rios e canais. Como exemplos, podemos citar os "tub-boats" do canal Old-Shrewsboury na Inglaterra (ROLT - 1966), as jangadas "Westphal" do rio Ruhr e, talvez como o mais representativo, o comboio "Schwerlastfloss" que trafega no rio Reno. Êste último é composto de elementos de 15 m x 15 m, pesando cada um,com



EXTREMIDADE SUPERIOR



EXTREMIDADE INFERIOR

FIGURA 15

ESQUEMA DE UMA RAMPA HIDRÁULICA

carregamento de minério de ferro, cêrca de 500 ton. Flutuando, compõe um verdadeiro "comboio de empurra integrado", que é desmembrado por possantes cabreas, e colocado sôbre truques ferroviários formando, então, uma composição férrea pràticamente normal (ZAHN - 1960).

Êstes e outros sistemas semelhantes, que só são utilizáveis por embarcações especialmente construídas, não devem ser considerados como meios normais de transposição de desnível nas aquavias, nas quais deve ser possível a passagem de qualquer embarcação (dentro evidentemente de certas limitações).

2 - EVOLUÇÃO DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL

A principal dificuldade encontrada pela navegação nos cursos d'água naturais, sempre foi a passagem através dos obstáculos opostos pelos desníveis localizados, das simples corredeiras às grandes cachoeiras e cataratas. O único recurso para transpor êstes obstáculos, na antiguidade, era a retirada das embarcações da água e o contôrno das quedas, arrastando-as diretamente sôbre o solo ou sôbre roletes. A intensificação do tráfego em certos locais difíceis levou naturalmente à construção de obras fixas para facilitar êstes árduos trabalhos de transposição.

Assim surgiram, em várias partes, sistemas com cabos e guinchos, movidos manualmente ou por animais, para propiciar a necessária energia e as comodidades exigidas pelos numerosos barcos em trânsito. As mais representativas destas obras de transposição, antepassadas longínquas dos imponentes planos inclinados atualmente em construção, são os "owerdracks" que existiram em grande número na região da Flandre (Bélgica - Holanda - França). Descrições pormenorizadas, bem como primorosas gravuras, permitem-nos conhecer os detalhes de funcionamento destas obras que datam do início da Idade Média. A figura 16 representa um "owerdrack" do canal de Ypres a Nieuport (Bélgica) e mostra como a barca carregada era atrelada pela pôpa, através de um suporte especial, a fim de impedir o desvio de direção e puxada sôbre um pranchado lateral por meio de cordas que se enrolavam num cabrestante movido por animais. Vários equipamentos sucessivos permitiam vencer desníveis bastante elevados.

O último owerdrack que se tem notícia (owerdrack de Watten) foi destruído no cêrco de Saint-Omer (Passo de Calais), em 1638. É curioso

notar que alguns dêstes primitivos planos inclinados eram movidos por rodas d'água, sendo esta talvez a mais remota utilização da fôrça hidráulica em grandes proporções.

No fim do século XVIII existiam ainda na China planos inclinados semelhantes, que venciam quedas de 2,50 a 3 m, com rampas de 45 a 50° .. (THÉLU - 1966).

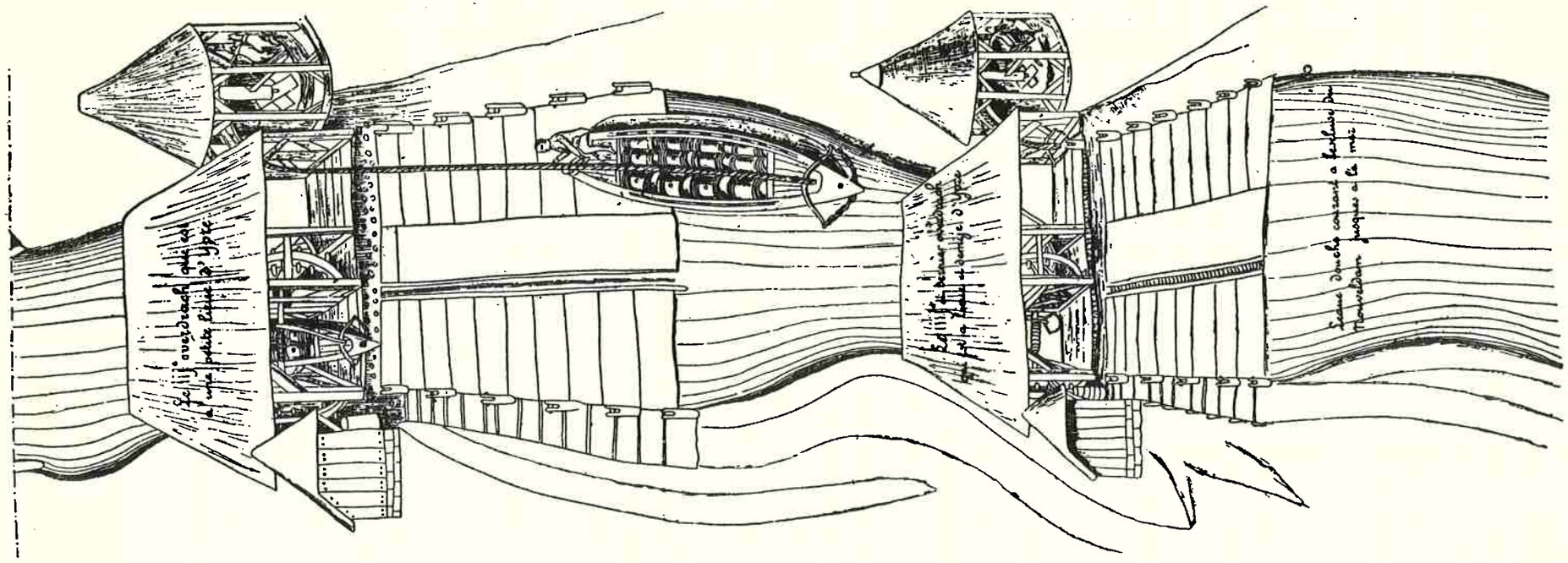
Anteriormente porém parece que já eram utilizados sistemas hidráulicos para ultrapassar as quedas nos cursos d'água.

Uma das mais antigas referências que se conhece sôbre obras hidráulicas para melhoramento das condições de navegabilidade dos rios, refere-se a um "canal de contôrno" das quedas de Assuã no médio Nilo, executado por Ani cêrca de 2.500 anos antes de Cristo. Neste canal, segundo alguns .. (SHUT'IEN LI - 1958) teria existido um sistema de "comportas" que permitia a passagem das embarcações, vencendo o desnível das cataratas.

Outra referência interessante diz respeito ao canal de ligação do delta do Nilo ao Mar Vermelho que constatou ter sido aberto por Ptolomeu II, por volta do ano 240 A.C. Segundo descrição encontrada em um papirus da época, êste canal era munido de comportas semelhantes aos atuais "stop-logs", para impedir provàvelmente a entrada da água salgada. Diodorus de Sicília, no ano 60 A.C. refere-se a êste canal, no qual transitavam embarcações e onde, nas proximidades da cidade de Nicodenia, existiria ainda em 1115 D.C.,um conjunto de portas semelhante ao que hoje se entende como eclusa de navegação.

Há também referências a obras hidráulicas da transposição muito antigas na China. Consta, por exemplo, que no século VII, na dinastia Tang, teriam sido construídos conjuntos de comportas, formando uma câmara, no Grande Canal, no cruzamento com os rios Huai e Iang-tsé, para facilitar a passagem das embarcações (SHUT'IEN LI - 1959).

Na Europa, sobretudo na região dos Países Baixos, conhece-se bem a utilização de "portas de navegação" que impediam a entrada da maré, permitindo a passagem das embarcações quando os níveis eram igualados; pode-se imaginar a antiguidade destas obras se lembrarmos que os "polders" e seus canais de nível constante já existiam no início da era cristã.



- Figura 16 -

OWERDRACK DO CANAL YPRES-NIEUPORT
(GRAVURA DA ÉPOCA)

No século XII, surgiram na Europa as primeiras obras de canalização, visando propiciar profundidades maiores e mais regulares ao longo da via fluvial. A mais antiga que se tem notícia é a do rio Lot, na França, executada por volta do ano 1150. As pequenas barragens móveis, na época de vazantes, eram vencidas, penosamente, pelas embarcações através dos "pertuitos de navegação", simples aberturas deixadas no corpo da barragem. Logo porém foi notada a vantagem da obturação dêstes pertuitos por comportas móveis simples, cuja abertura provocava ondas (eclusadas) de que se aproveitavam as embarcações para galgar a queda e passar sôbre os acidentes mais importantes da via.

Estas primitivas "portas de navegação", ainda que possam ser classificadas como "eclusas", na acepção mais geral do têrmo (comporta, represa, dique) não eram ainda o que na terminologia se entende por eclusa de navegação (eclusa de câmara ou de caldeira). Ao que tudo indica, uma das primeiras obras que pode ser assim denominada, foi realizada na China, no século X, na dinastia Sung, e constava de duas portas levadiças que punham em comunicação o Grande Canal com o rio Iang-tsé. Segundo Hu-Che Wong (citado por SHUT'IEN LI - 1959) mais de 49 eclusas foram construídas naquela região entre os séculos VII e XVII.

Nos países ocidentais, a primeira eclusa de navegação parece ter sido construída na antiga Prússia, onde em 1398 foi executado o canal artificial de Stecknitz, ligando Lavenburg, no rio Elba a Lübeck através de 17 "comportas". Em 1409 as comportas de Hahnenburger foram transformadas numa "kistenschleusen", que era provàvelmente uma eclusa de câmara, com paredes de madeira (DEHNERT - 1954).

Conhecimentos mais pormenorizados têm-se sôbre a eclusa construída perto de Viarena, na Itália e que é geralmente apontada como a primeira obra do gênero. O canal ligando Milão ao rio Ticino, primitivamente destinado à irrigação e alimentação do fôsso da cidade, passou a ser utilizado pela navegação, possìvelmente para o transporte de rocha para a construção do Domo de Milão, tendo sido então denominado "Naviglio Grande". Neste canal, em 1439 foi construída, pelos especialistas em hidráulica Filipo degli Organi e Fioravante de Bologna (FOURREY - 1925) uma eclusa de que se tem descrições detalhadas. A mais antiga citação desta obra, encontra-se incluída no livro de arquitetura "De re aedicatoria" publicado em 1485, porém escrito em 1450, por Don Battista Alberti (SHUT'IEN LI - 1958).

As eclusas de navegação, tais como hoje as conhecemos, são devidas ao gênio inventivo de Leonardo da Vinci que, por volta de 1470, foi encarregado das obras de canalização do rio Arno onde teve ocasião de construir as suas primeiras obras de transposição. Pouco mais tarde, sob sua orientação, foi construído o canal de Milão a Pavia, ainda hoje existente, com uma série de pequenas eclusas. É de se notar que obras modernas de grandes dimensões, como a nova eclusa da barragem Wilson, nos Estados Unidos, guardam diversas características essenciais imaginadas por Leonardo da Vinci, inclusive o sistema de portas de busco, conhecidas também como "portas vincianas", em sua homenagem.

A partir do renascimento, onde na prática podemos situar a invenção das eclusas, êste tipo extremamente simples de obra propagou-se por tôda a Europa. Em 1518 foram instaladas, pelo próprio Leonardo da Vinci, então a serviço de Francisco I, no rio Ourq e em 1538 no rio Lot, sendo êstes provàvelmente os primeiros rios "eclusados" que existiram.

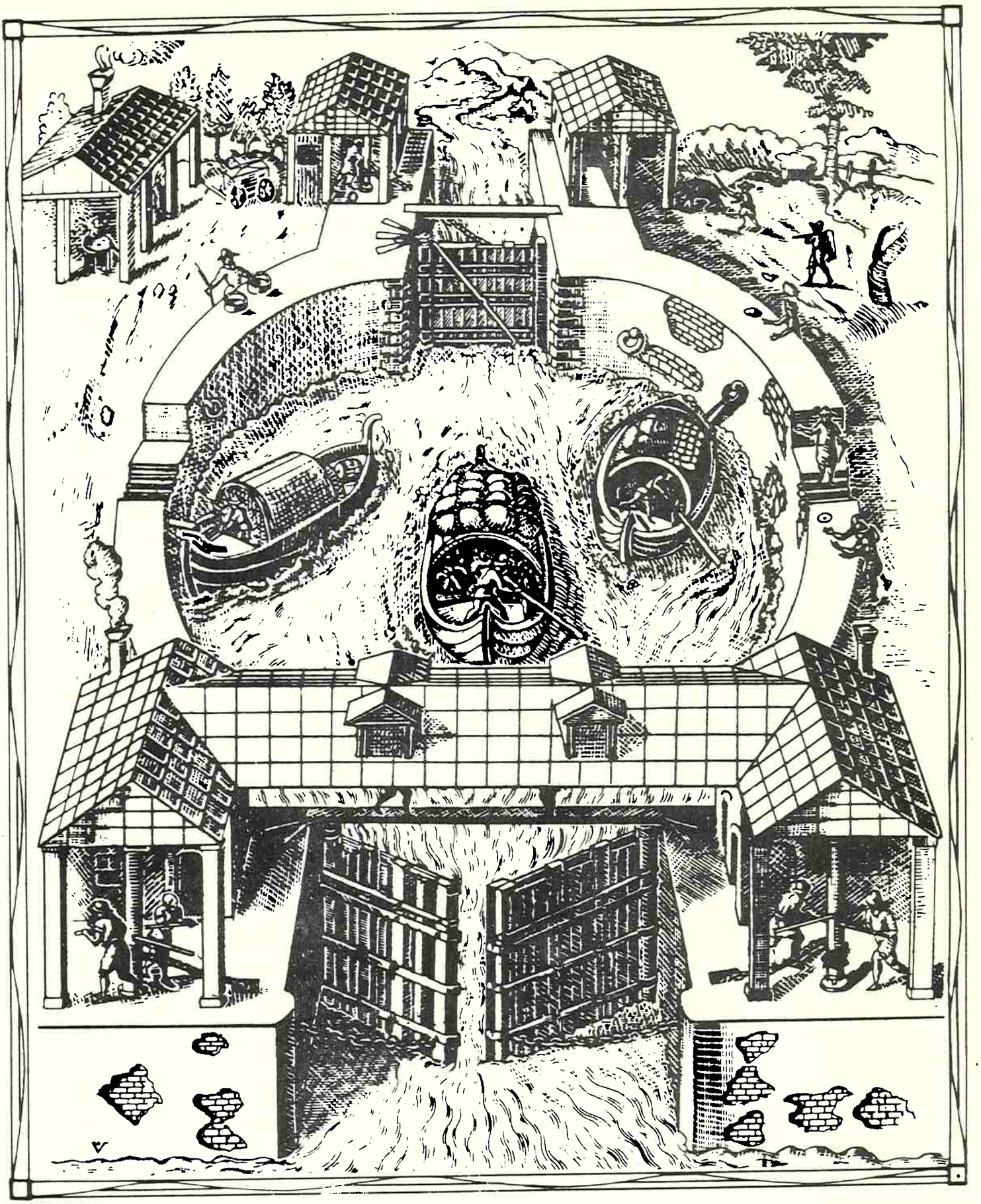
A figura 17 mostra, segundo gravura da época, uma eclusa renascentista na sua mais simples concepção.

Em 1539, foi construída a primeira eclusa na Grã-Bretanha, na modernização do "Exeter Canal", primitivamente executado como canal livre (Mc GAREY - 1938) e, em 1542, a primeira eclusa na Suécia, no canal ligando o lago Vaner ao Báltico (JANSSON - 1949). As características destas antigas eclusas não são conhecidas.

Ainda no século XVI, consta ter sido construída a primeira obra que pode ser classificada como de "alta queda": a eclusa "Grande" do canal de Paderno (vertedouro do rio Adda), executada pelo engenheiro Joseph Meda, com 6,20 m de desnível, valor extraordinàriamente grande para a época. Êste mesmo engenheiro teve a concepção audaciosa de vencer uma diferença de nível de 23,76 m com duas eclusas sòmente (SASSI - 1931).

A mais antiga eclusa construída nas Américas parece ter sido a de Little Falls, executada em 1793 por uma emprêsa privada, no futuro canal Erie. Tinha 3 m de largura, 21 m de comprimento e 3,m de queda (DAVIS et al. - 1965).

Os canais de partilha foram concebidos em 1525, por Adam de Craponne. O primeiro foi construído, de 1604 a 1642 e ligou o rio Sena ao



- Figura 17 -

ECLUSA DA ÉPOCA DO RENASCIMENTO

rio Loire, pelo Vale do Loing, utilizando 46 eclusas que venciam o desnível total de 112 m (canal de Briare). Em 1681 foi completado o canal do Midi, ligando o Oceano Atlântico ao Mediterrâneo através de uma centena de eclusas (DE MAS - 1904).

As eclusas possibilitando a construção de longos canais e rios canalizados, permitiram a extensão da navegação interior por quase tôda a Europa nos séculos XVII e XVIII; sua evolução foi íntimamente ligada àquelas obras, e, em particular, às barragens móveis.

Nestas épocas passadas, as barragens, extremamente simples, não ultrapassavam por razões construtivas, 2 a 2,50 m de altura, não necessitando pois eclusas com quedas maiores. Nos canais artificiais as dificuldades de escavação levavam à subdivisão dos desníveis e, conseqüentemente, a eclusas também baixas. Quando havia necessidade, por imposições topográficas, de vencer alturas mais elevadas, eram em geral empregadas eclusas de câmara múltipla ou escadas de eclusas com numerosos degraus, como no canal de Midi, onde foi executada a eclusa de Fonserenes com 8 câmaras sucessivas para vencer um desnível de 21,08 m.

Aliás, com os tipos de estruturas empregados, havia grande dificuldade para ultrapassar os limites de 3 a 4 m de queda. As câmaras eram constituídas em geral de um simples trecho de canal, com seção trapezoidal ou, eventualmente, com paredes verticais de tijolos, pedra ou estacas de madeira, obturados por portas de duas fôlhas iguais, também de madeira e movimentadas a braço. O enchimento e o esvaziamento da câmara era feito através de adufas nas portas com painéis movidos por hastes ou cabos.

Durante quase 300 anos perduraram estas condições. O grande consumo de água, incômodo sobretudo nos canais, e a perda de tempo para a passagem das embarcações nas escadas e eclusas de câmara múltipla, levaram a procura de outras soluções para o problema da transposição de desníveis. Assim é que reapareceram os planos inclinados e surgiram os elevadores verticais.

O emprêgo de novas técnicas de construção permitiu aumentar a altura das eclusas no século XVIII e XIX, porém dentro de limites muito restritos. Assim é que ainda em meados do século XIX, as eclusas simples não atingiam normalmente mais de 5 m de altura, raras sendo as obras com 3 m de desnível. Os muros de queda, característicos das alturas maiores ainda eram,

naquela época, difíceis de serem encontrados.

Entre 1830 e 1890, a navegação fluvial teve grande impulso e, em conseqüência, as obras de transposição de desnível evoluiram ràpidamente. As técnicas construtivas não permitiam, porém, um aumento substancial nas alturas máximas das câmaras. Só na segunda metade do século é que o limite de 6 m foi definitivamente suplantado, e assim mesmo, só em canais, devido às limitações ainda vigentes para a construção de barragens móveis com quedas desta ordem. Numerosos aperfeiçoamentos foram porém introduzidos, podendo-se citar os sistemas de enchimento por aquedutos de contôrno das portas e aquedutos longitudinais, as comportas cilíndricas para comando dêstes aquedutos, diversos tipos de portas, como as portas verticais, basculantes (introduzidas nos Estados Unidos), corrediças, etc., e, sobretudo, as bacias de recuperação que vieram permitir substancial economia de água e, conseqüentemente, o emprêgo nos canais de eclusas mais altas.

A introdução do concreto e portas metálicas possibilitou, no fim do século, a construção de obras de maior altura. Em 1881 foi inaugurada a eclusa Weitzel na ligação dos lagos Superior e Huron com desnível de 8,50 m e câmara com 160 m de comprimento e 24 m de largura. Em 1884 foi completada a eclusa com câmaras conjugadas de La Villette, no canal de Saint Denis, em Paris, ainda em alvenaria, que atingia 9,92 m de altura, constituindo um avanço considerável na tendência a concentrar as quedas dos canais. Nesta eclusa parece que, pela primeira vez, foram utilizadas máscaras visando reduzir a altura das portas de jusante, artifício ainda hoje muito usado nas obras de grande queda.

Estudos e projetos já previam no século passado a possibilidade de serem vencidas diferenças de nível de 20 m com uma só câmara: um projeto audacioso para a época, com 20 m de queda, elaborado em 1890 por Fontaine (FONTAINE - 1890) incluia numerosos dispositivos que posteriormente vieram a ser adotados.

A mecanização dos equipamentos móveis das eclusas foi outro passo considerável ocorrido naquele período. Os motores elétricos ràpidamente substituiram os processos manuais de movimentação das portas, com grande economia de tempo e de mão de obra.

As últimas décadas do século passado foram porém marcadas, sobretudo, pela grande voga dos ascensores de diversos tipos, devido ao avanço da técnica das construções metálicas, em contraposição às de alvenaria.

No século XVIII, como assinalamos, ressurgiram as idéias de utilização de processos mecânicos para elevar as embarcações e alguns planos inclinados muito primitivos foram executados na Inglaterra, Irlanda e Estados Unidos. Eram porém, como se pode constatar pelas informações da tabela 5, em geral mais próximos dos "owerdracks" da Idade Média que dos ascensores do século seguinte. Duas obras apresentam características peculiares: o plano inclinado sistema "Prescot", com cuba automóvel, construído no canal South Hadley, nos Estados Unidos e o elevador de câmara submersa, já referido no ítem anterior, de Dunkerton. Estas duas obras, da última década do século XVIII, tinham já a característica fundamental dos ascensores modernos: as embarcações eram movimentadas flutuando dentro da câmara. Apesar de não dispormos quase de informações sôbre as mesmas, que, diga-se de passagem, tiveram vida efêmera porque apresentavam características muito avançadas para a tecnologia da época, podem ser consideradas como as verdadeiras precursoras dos atuais sistemas mecânicos de transposição de queda.

Pràticamente todos os planos inclinados que se tem notícia foram construídos no século passado. Nos Estados Unidos, devido a dificuldade de construção de eclusas com mais de 5 m de altura, um tipo especial de plano inclinado, os "Summit-planes", foi largamente empregado, havendo referência a pelo menos 56 destas obras, das quais 23 em um único canal, o canal Morris. Apresentavam estas obras, como característica, duas rampas opostas, que venciam uma crista que retinha a água do nível de montante. Os berços que recebiam os barcos, imergiam nas extremidades do canal e dispunham de engenhoso sistema de rodas duplas que garantiam a horizontalidade na entrada e saída na água. As embarcações eram movimentadas a sêco, num sistema duplo de berços equilibrados ligados por cabos (berços conjugados).

Vários planos inclinados semelhantes aos "Summit-planes" foram construídos na Europa: pelo menos cinco no canal Oberland, na Polônia, e um na França, em Beauval. Além dêste tipo, que teve amplo sucesso e longos anos de utilização, outros modelos semelhantes foram tentados, conforme verifica-se na tabela 5; quase todos foram abandonados, por defeitos mecânicos, com dez a vinte e cinco anos de uso. Entre êstes planos inclinados com embarcações a sêco merece especial menção o de Worsley, na Inglaterra, construído em 1794, que funcionou até 1842. Destinava-se ao transporte de minério das minas de Walkden-Moor, próximas a Manchester, que apresentavam como curiosidade o fato de serem exploradas através de um sistema de canais subterrâneos (THÉLU - 1966).

O plano inclinado de Blackhill, no canal Monkland (Escócia) próximo a Glasgow, foi construído em 1850 para duplicar uma escada de 4 eclusas conjugadas que datavam de 1788. Funcionava ùnicamente com embarcações vazias, que flutuavam, ligeiramente apoiadas no fundo, em cubas munidas de portas em ambas extremidades (CARTAULT - 1877). Até seu abandono, em 1890 , mais de 12.000 embarcações foram ali movimentadas. Ao que conste, êste plano inclinado foi o primeiro a transportar, de forma prática, embarcações flutuando ou seja, com a cuba com pêso constante (BARBET - 1902). Êste princípio já havia sido tentado no canal Chard, na Inglaterra, em 1842 (THÉLU - .. - 1966) e no canal South Hadley, nos Estados Unidos, como referimos, porém, sem muito êxito.

Dois marcos importantes na evolução dos planos inclinados na segunda metade do século XIX foram a construção em 1876 da obra de George--- town, nos Estados Unidos, que movia, através de sistema funicular de contrapêso, uma cuba de 390 ton, pêso muito superior a de tôdas as obras até então executadas, e a construção, pelo engenheiro Gordon Thomas, nos últimos anos do século, do plano inclinado de Foxton, na Inglaterra (sistema Thomas, com duas cubas ligadas por cabos), que incluia aperfeiçoamentos da técnica moderna de estruturas metálicas e equipamentos elétricos. Êste último teve poucos anos de uso, tendo sido abandonado durante a primeira guerra porque o reduzido tráfego no canal não compensava a despesa da manutenção.

Os elevadores verticais tiveram também um grande desenvolvi-- mento entre 1800 e 1900. Êste sistema de transposição começou a ser empregado na Inglaterra, em 1789, quando foi completado o primeiro elevador que se tem notícia, em Ruabon, no canal Ellermere; no período de 1836 a 1838, foram construídos sete no canal Great Western. Eram todos do tipo funicular, com duas cubas conjugadas, salvo o do canal Worcester-Birmingham (de contrapesos) e funcionaram durante certo tempo de forma razoável. Êstes elevadores primitivos inglêses, como os norte-americanos, foram construídos por emprêsas particulares concessionárias dos canais em que foram implantados.

O maior sucesso no século passado no campo dos ascensores de embarcação, foi sem dúvida devido ao Eng. Edwin Clark que projetou e executou o primeiro elevador hidráulico, em Anderton, na Inglaterra, no ano de .. 1875. Seu sistema teve tão boa acolhida, apesar do acidente havido na primeira obra e que levou a sua transformação em elevador funicular (GUILLEMAIN - 1885), que foi de pronto adotado em mais cinco obras, realizadas na França (Fontinettes) e Bélgica (Canal do Centro). Em particular, o elevador de La

Louvières, construído em 1888, com uma cuba de 1.160 ton movimentada verticalmente 15,60 m, mostra a grandeza destas obras, que ainda hoje, passados 80 anos, encontram-se em perfeito funcionamento. Dois elevadores hidráulicos foram ainda construídos por Clark no Canadá, em 1904 e 1907, com o mesmo sucesso das obras européias. Ambos estão abandonados.

No fim do século foi construído um nôvo tipo de elevador já então muitas vêzes projetado, estudado e mesmo ensaiado na Inglaterra (Ruabon - 1796): o elevador flutuante de Henrichenbourg, na Alemanha. Êste sistema teve, também, amplo sucesso e a obra mantém-se em funcionamento até hoje. O pêso da cuba dêste elevador, inaugurado em 1899, é de 3.100 ton o que demonstra o grande desenvolvimento técnico ocorrido no período de 10 anos.

Os grandes concursos internacionais realizados entre 1875 e 1900 para projetos de obras destinadas a transpor grandes desníveis mostram bem o estágio de evolução na época. Entre êstes concursos cabe salientar o realizado para o canal Dortmund-Ems de que foi vencedor o projeto que deu origem ao elevador Henrichenbourg I e o concurso para escolha de um ascensor mecânico para o canal de ligação dos rios Marne e Saône. A êste último, realizado em 1881, visando uma queda de 41 m concorreram 13 projetos (CADART - - 1898) sendo: sete com elevadores verticais hidráulicos, com desníveis de 20,50 m e 10,25 m (um único); um com elevadores flutuantes com queda de 20,50 m; doís com elevadores funiculares com 20,50 m; três com planos inclinados, sendo um com o desnível dividido em dois lances de 20,50 m e dois para altura total de 41 m, sendo um com cuba automotora e outro funicular (ambos sôbre patins).

No julgamento dêste concurso, que deu margem a grandes discussões, foram eliminados os 3 projetos de planos inclinados, o de elevador flutuante e um dos dois de elevadores funiculares, todos por falta de segurança. A vitória coube ao elevador funicular simples apresentado por M. Leslie, com duas quedas de 20,50 m cada uma. Entre os elevadores hidráulicos, foi classificado, em primeiro lugar, o de sistema duplo com duas quedas de 20,50 m. Antes mesmo de ter sido publicado o resultado do concurso, o govêrno francês resolveu construir no local uma escada de eclusas, com 8 câmaras de 5,12 m de queda cada uma.

É curioso notar que, neste concurso, foram apresentados pràticamente todos os tipos de ascensores que foram até hoje executados. Nenhum nôvo princípio foi adotado posteriormente, com exceção da rampa hidráulica,

que como já assinalamos, ainda não passou de um estágio experimental.

No início do século XX, os ascensores de embarcações continuaram em voga, bastando lembrar que no concurso aberto em Viena, em 1903, para um ascensor com 35 m de queda a ser construído no canal Oder-Danúbio, foram apresentados 231 projetos. O vencedor dêste concurso foi o projeto de um plano inclinado longitudinal, com duas cubas automotoras elétricas, tracionadas por cremalheiras, com duas vias férreas independentes (era previsto uma equilibragem por corrente elétrica) (WILHELM - 1905). Em segundo lugar classificou-se, como já mencionamos, um elevador de tambor (elevador cilíndrico) com 52 m de diâmetro e 70 m de comprimento. Nenhuma destas obras foi porém realizada.

Neste século, as eclusas sofreram grande evolução. Logo no início (1911 a 1917) foi construída uma série de obras notáveis no canal Erie-Hudson, cinco eclusas com 9,90 a 13,75 m de queda sendo a maior a de Little Falls. Pouco depois, em 1917, era inaugurada uma eclusa simples para duplicar o elevador de Henrichenbourg com 14,50 m de desnível máximo, munida de várias câmaras de recuperação e máscara. Os muros de ala monolíticos em concreto, cuja primeira aplicação fôra feita na nova eclusa de Little Falls ... (1911), permitiram êste rápido progresso.

As eclusas conjugadas do canal do Panamá, também do início do século XX, ainda que destinadas a navios oceânicos, tiveram papel importante na evolução das eclusas fluviais por terem sido munidas de sistemas hidráulicos aperfeiçoadas para enchimento e esgotamento, projetados com base em ensaios em escala reduzida. As portas destas eclusas, também muito bem estudadas, serviram de modêlo para muitas das grandes eclusas construídas posteriormente na América. O mesmo pode ser, aliás, dito das sete eclusas do canal marítimo de Welland, executadas em 1932 para contornar as quedas do Niágara.

Após a primeira guerra mundial, diversas eclusas de grande porte foram construídas na Europa Ocidental, Rússia e Estados Unidos. Entre outras podem ser citadas: as eclusas de Anderton, com 15 m de queda e 5 bacias de recuperação; a de Furstenberg no canal Oder-Sprée, com a mesma queda e duas câmaras conjugadas (ambas na Alemanha); a eclusa da barragem de Kembs, no Grande Canal da Alsácia (França), concluída em 1933 e refeita em 1945,com 15,87 m de queda; a eclusa Born em 1935, no canal Juliana com 11,35 m; a eclusa Lanaye, em 1938 na Bélgica, com 13,60 m, etc.

Para quedas maiores que 16 m eram, porém, ainda utilizadas escadas de eclusas ou eclusas de câmara múltipla, como a de câmara dupla John Hollis Baukhead, no rio Black-Warrior, para vencer uma queda total de 21,60m, completada em 1915, porém só equipada muito posteriormente e a escada de duas eclusas, com a superior de câmara dupla, da barragem Wilson, no rio Tennessee, construída em 1927, para vencer 30 m de desnível (ambas nos Estados Unidos).

O limite de 16 m de queda parece ter sido ultrapassado, pela primeira vez, no rio Tennessee, na eclusa Pickwick Landing construída em 1937 com 16,80 m de queda. Em 1938, foi inaugurada a eclusa de Bonnevillo, com 19,75 m de altura, que, durante cinco anos, conservou o recorde de desnível em uma única câmara. Nesta última eclusa, foram introduzidas diversas inovações, entre as quais o sistema de enchimento que não foi, porém, muito satisfatório.

Datam também do período entre as duas guerras, dois elevadores verticais construídos na Alemanha: o elevador vertical do tipo funicular de Niederfinow concluído em 1934 e o elevador vertical flutuante de Rothensee, em 1938. Êstes ascensores foram construídos para receberem embarcações com 1.000 ton de carga, tendo por êste motivo cubas com mais de 4.000 ton de pêso. O elevador de Niederfinow é uma das mais primorosas obras de engenharia da primeira metade do século: vence um desnível de 36 m, desnível êste que só muito recentemente foi ultrapassado por uma obra de transposição de lance único. A figura 8 dá uma vista desta imponente obra de navegação.

O elevador de Rothensee vence um desnível de 18,70 m de altura; foi executado em terreno com condições excepcionais que permitiram a abertura dos dois poços dos flutuadores com 11 m de diâmetro e 65 m de profundidade abaixo do nível inferior da cuba. Na verdade esta obra não representou uma evolução nos meios de transposição de embarcações em canais, pois não teve grandes inovações em relação ao elevador Henrichenbourg I e na época em que foi feita, sua altura já era alcançável pelas eclusas simples.

Um terceiro elevador flutuante, com duas câmaras isoladas, teve sua construção iniciada em 1938, na ligação do rio Elba ao canal Elba-Havel, em Hohenwarthe; êste elevador duplo, que deveria vencer um desnível de 19 m teve as obras interrompidas pela guerra e nunca foi concluído (ARP - - 1939).

Compreende-se que no período de 1918 a 1939 poucos ascensores tinham sido construídos: a rápida evolução da altura das eclusas tirou o interêsse pelos sistemas mecânicos, apesar dos bons resultados obtidos com as obras anteriormente feitas.

Data ainda dêste período a introdução do concreto armado nas obras de transposição. No início, êste material foi recebido com cepticismo, pois julgavam os técnicos que não resistiria aos choques freqüentes das embarcações. Até 1925, pràticamente nenhum emprêgo dêste material havia sido feito em eclusas, na França. A primeira eclusa totalmente em concreto armado parece ter sido a de Miuden, no canal Ems-Weser, com altura de 14,70 m, completada em 1913. Os resultados não foram muito satisfatórios, e sòmente após quase 15 anos tornou-se o concreto armado usual para a construção das soleiras e muros de queda. Modernamente passou a ser muito utilizado e tem sido o responsável pelo contínuo aumento das alturas de queda nas eclusas construídas nos últimos anos.

Cabe notar que, na primeira metade do século, houve um aumento substancial das alturas da barragem utilizadas na canalização das vias fluviais em conseqüência do desenvolvimento do conceito de aproveitamento para fins múltiplos. Resultou dai passarem as eclusas nos rios a terem maior queda que as eclusas de canais, nos quais é mais fácil ater-se aos desníveis mais convenientes às obras de transposição.

O limite dos 20 m de desnível, considerado até então como a altura máxima que uma câmara de eclusa poderia admitir, foi ultrapassado pela primeira vez na barragem de Stěchovice no rio Vlotava na Tchecoslováquia, onde uma eclusa excepcional, com 20,10 m de queda foi parcialmente concluída pouco antes da segunda guerra mundial. Esta eclusa, porém, não teve utilização regular, pelo menos durante um longo período.

Nos Estados Unidos a primeira eclusa de mais de vinte metros de queda, foi construída em 1943 no rio Tennessee na barragem de Fort Loudoun, com 22 m de desnível máximo. Várias outras a seguiram, com quedas comparáveis.

A eclusa de Donzère-Mondragon, completada em 1952, com 26 m de queda máxima, representou outro marco importante na evolução das obras de transposição, sobretudo importante pelo sistema hidráulico adotado, que possibilitou uma velocidade de enchimento da câmara nunca antes atingida. No a

no seguinte a eclusa da barragem de McNary, no rio Columbia com uma de queda de 28 m ultrapassou a obra francêsa; em 1959, a nova eclusa construída na barragem Wilson para substituir a escada já referida, vencia a queda de 30 m, que foi posteriormente atingida por duas eclusas americanas no rio Columbia: a eclusa de Ice-Harbor, concluída em 1962, com 32 m de queda e John Day, concluída em 1968, com 32,40 m de queda.

A eclusa de câmara única de maior desnível atual está situada no rio Irtysh, na Rússia. Trata-se da eclusa da barragem de Ust-Kamenogorst, com altura de queda máxima de 42 m, que consta ter sido concluída em 1963. As informações sôbre esta obra são pouco numerosas sabendo-se, porém, que estruturalmente é constituída de duas partes: uma inferior, escavada em rocha, e outra superior, em concreto maciço. A câmara tem 18 m de largura por 110 m de comprimento e o sistema de enchimento é pelo fundo, com bacia de amortecimento a montante (SEMANOV e VOVKUSHEVSKY - 1965, TENAUD - 1968).

Nos últimos 25 anos, a altura máxima ultrapassada pelas eclusas em um único lance dobrou de 20 m para 40 m. Verificamos a rapidez desta evolução atual quando lembramos que a altura máxima das eclusas levou 45 anos para passar de 10 m a 20 m, e cêrca de 450 anos para atingir 10 m. Analisando-se ùnicamente as eclusas de rio, verificamos que a evolução foi ainda mais acentuada: em pouco mais de 30 anos a altura máxima quintuplicou. A figura 18 mostra a evolução ocorrida nas quedas das eclusas no último século.

Cabe aqui acentuar que as escadas de eclusas e as eclusas de câmaras múltiplas continuam sendo utilizadas, apesar das possibilidades, atualmente existentes de vencer grandes desníveis em um único lance. Como exemplos mais recentes entre outros incluídos nas tabelas 2 e 3, podemos citar a de eclusa da barragem de Bukhtarmiusk no rio Irtysh (Rússia), que entrou em serviço em 1965, e vence um desnível total de 67 m em quatro câmaras, a maior das quais com 22,40m de queda; a eclusa de câmara dupla de St. Anthony Falls, no rio Mississipi com uma câmara (superior) de 15 m e outra (inferior) de .. 7,20 m de queda, concluída em 1967, bem como diversas obras na bacia do rio Volga (KABELAC - 1961, RUSSO - 1960).

Outro aspecto que merece ser notado é que o progresso atual das eclusas não se fêz sentir sòmente na altura da queda, apesar de ser êste o aspecto mais significativo. Fêz-se sentir, também, nos sistemas hidráulicos que permitem encher as câmaras de grande volume em curto prazo, sem qualquer perigo para as embarcações, e nas concepções estruturais que cada vez

se tornam mais ousadas. A par dêste progresso técnico na construção, uma melhoria constante dos métodos de operação e manutenção permite, atualmente, um elevado rendimento das obras.

Dentro desta moderna técnica, grande número de eclusas foram construídas ou estão em construção. Nos Estados Unidos, nos últimos dez anos, foram completadas cêrca de 30 eclusas de grande porte (tabela 1). Na Rússia, de 1940 para cá entraram em serviço cêrca de 50 eclusas e estão em fase final de construção pelo menos outras dez (KHALTURIN et al. - 1959). A maioria destas obras encontra-se na bacia do rio Volga, sendo 11 no leito principal e as demais nos canais artificiais que o conectam com os mares Branco, Báltico e Negro. Na Sibéria, iniciam-se vários aproveitamentos múltiplos com eclusas de grande queda.

Entre as eclusas simples de maior queda atualmente em construção merecem ser ressaltadas: a eclusa da barragem de Carapatelo, no rio Douro, em Portugal, com uma queda de 36 m e que deverá ser, quando concluída nos próximos dois anos, a mais alta da Europa e a segunda eclusa em altura do mundo; as duas eclusas da barragem da "Porta de Ferro" no rio Danubio, com desnível máximo de 33,50 m, sendo uma na margem iugoslava e outra na margem rumena, que deverão entrar em serviço em 1971 e 1973 e a eclusa Lower Monumental no rio Snake.

Há ainda diversas eclusas de câmara múltipla e escadas de eclusas em construção, como se verifica nas tabelas 1, 2 e 3, entre as quais a escada dupla de eclusas para o aproveitamento múltiplo de Kaiuji-Island, no rio Niger, na Nigéria, com altura total de queda de 41,20 m (VAN DER LAAN e KOLKMAN - 1965).

Quanto aos ascensores, cabe assinalar que, nos últimos 30 anos, apenas um elevador vertical entrou em funcionamento: o elevador flutuante de Henrichenbourg II na Alemanha (figura 6) concluído em 1962. Êste elevador, apresenta como peculiaridade ter sido construído no mesmo local em que, em 1917, tinha sido executada uma eclusa para duplicar outro elevador que datava de 1899. A escolha dêste tipo de obra para aumentar a capacidade de tráfego no sobrecarregado canal Dortmund-Ems, resultou de um acurado exame de tôdas as circunstâncias intervenientes e veio provar que, mesmo para alturas de quedas consideradas pequenas para as eclusas atuais (14,50 m no caso), determinadas peculiaridades locais justificam a adoção de um sistema

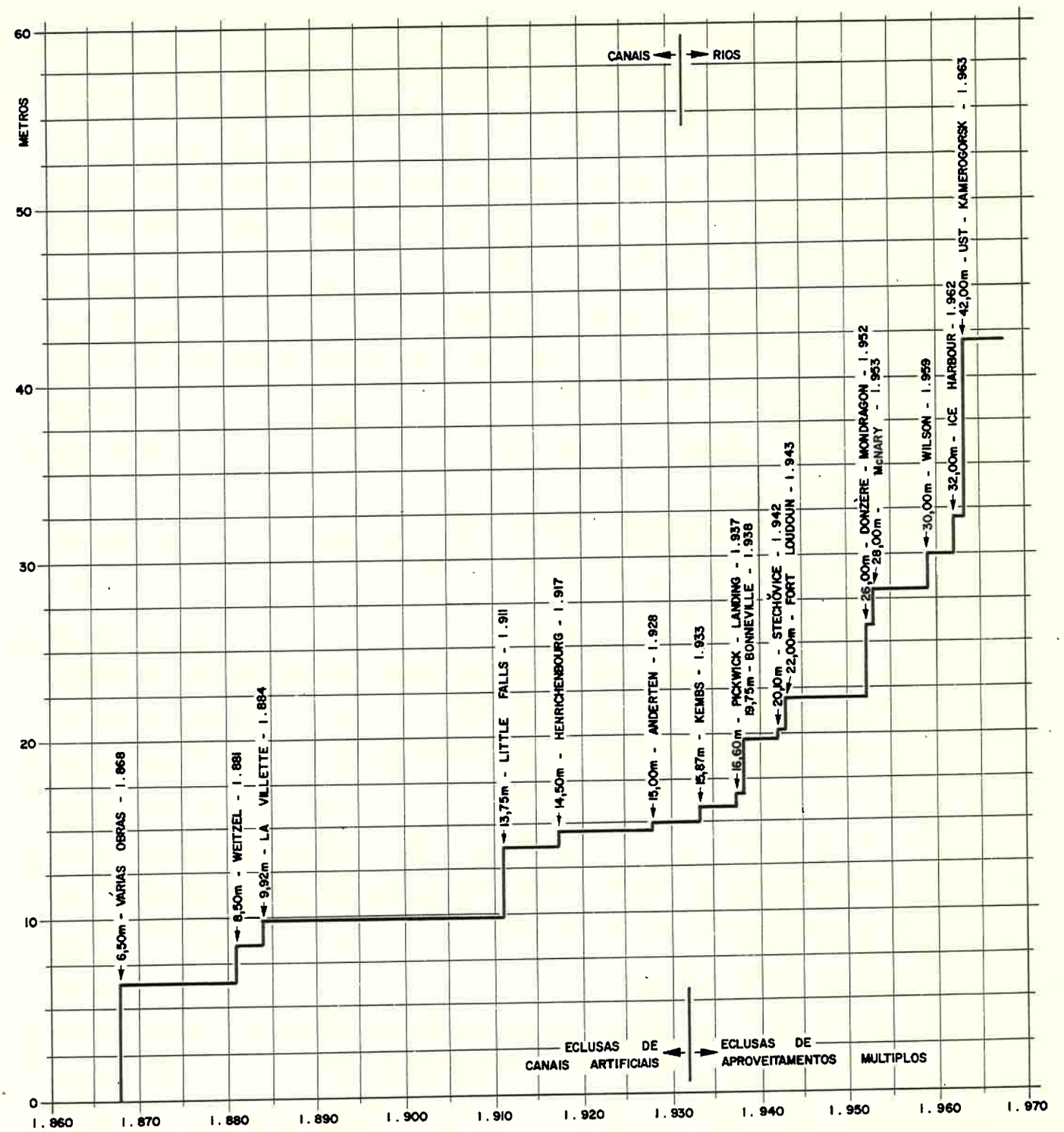


FIGURA 18

EVOLUÇÃO DOS DESNÍVEIS MÁXIMOS DAS ECLUSAS SIMPLES NO ÚLTIMO SÉCULO

mecânico da transposição; demonstrou, também, o acêrto com que foi escolhida, há cêrca de 70 anos, a obra primitiva e os resultados satisfatórios obtidos com a exploração, do elevador inicial, durante êste longo período.

Como indicamos no ítem anterior, três planos inclinados estão atualmente em fase final de construção: Arzviller, na França; Ronquières, na Bélgica e Krasnoyarsk, na Rússia. Êstes três ascensores foram projetados cêrca de 65 anos após a conclusão da última obra dêste tipo, o plano inclinado de Foxton (figura 11), que deixou de funcionar há 50 anos. A diversidade de tipos destas três obras, construídas concomitantemente, é um aspecto que merece ser ressaltado: resulta, sem dúvida, da falta de experiência atual em planos inclinados.

Quanto a novos tipos de ascensores, sòmente as rampas hidráulicas merecem ser citadas, dado que estudos avançados e mesmo um modêlo, que vem funcionando satisfatòriamente há algum tempo, parecem indicar que dentro em breve êste sistema será adotado em algum local. Todos os demais ascensores construídos e projetados neste século são baseados nos mesmos princípios que já foram experimentados no passado.

Vários ascensores estão em projeto ou em estudo atualmente, podendo ser citados entre outros, os seguintes:

- Elevadores verticais de Leersfetten, Heuberg e Deitfurt (com 28, 49 e 35 m de desnível, respectivamente) para a reconstrução do canal entre os rios Reno e Danúbio, na Alemanha, com alternativas de planos inclinados e escadas de eclusas; êstes ascensores deverão receber embarcações de 1.500 ton e terão câmaras de 12 m de largura por 190 m de comprimento (SIMON - 1957).

- Elevadores para a ligação dos rios Oder e Danúbio (vertente Sul, oito eclusas e três elevadores, vertente Norte, quatro eclusas e três elevadores) .. (PRESS - 1956).

- Ascensores para a ligação dos rios Elba e Danúbio (um elevador e uma eclusa em cada vertente) (SMETANA - 1949).

- Elevadores para a ligação do canal Albert ao rio Reno no canal Visé-Aix-La-La Chapelle-Reno (sete elevadores, com desníveis entre 20 e 80 m) (BONNET - - 1953).

- Ascensor para o canal da "Grande Ligação Mar do Norte-Mediterrâneo", na França, com altura de queda entre 47 e 93 m (dependendo da solução adotada).

Um concurso prévio para definição do ante-projeto desta obra, foi realizado em 1964, tendo sido analisadas as seguintes alternativas: plano inclinado transversal, elevador vertical funicular e de contrapêso, plano inclinado longitudinal (equilibrado por contrapêso ou com duas cubas conjugadas)e rampa hidráulica. É prevista a passagem de comboios de empurra de 172 m de comprimento por 11,40m de largura, com calado máximo de 2,50 m, devendo as cubas ter 176 m para comboios inteiros ou 100 m para comboios desmembrados. Os estudos prosseguem para definir a solução a ser adotada (VADOT et al. - 1965).

- Elevadores para as barragens de Irkoutsk, com 31 m de desnível e Bratsk com altura de 106 m, no rio Ankara, na Sibéria. Estas duas barragens estão prontas e reservados os locais para as obras de transposição (LECLERQ - 1967).

- Planos inclinados para as demais barragens do rio Iénissei também na Rússia. Em princípio, êstes planos inclinados, em número de três, que talvez já estejam com as obras iniciadas, serão semelhantes ao plano inclinado de Krasnoyarsk, ou seja, com cubas automotoras e rampas de 1:10. O previsto para a barragem de Safan-Chouchensko deverá vencer um desnível de cêrca de 200 m, os demais 56 e 61 m (BRETSCHNEIDER - 1965).

- Ascensor para o aproveitamento múltiplo de barragem de Cabora-Bassa, com altura de queda de 180 m, no rio Zambeze, em Moçambique. Para êste local estão em estudo as seguintes alternativas: escada de eclusas, eclusa-poço, elevador de câmara submersível, plano inclinado longitudinal e transversal, elevador vertical, assim como contenedores anfíbios. Em princípio, a solução escada de eclusas parece ter-se mostrado mais conveniente para uma capacidade de carga reduzida. A barragem já está em construção e os estudos da obra de transposição das embarcações prosseguem (MANZANARIS et al. - 1965).

No exame da evolução das obras de transposição de desnível, devemos, ainda, considerar o aspecto capacidade de tráfego, intimamente ligado às dimensões das câmaras. Na verdade não houve uma tendência muito acentuada de aumento das dimensões das câmaras nos últimos anos. Isto compreende-se porque, em geral, não há dificuldades para construção de eclusas de baixa queda com grande comprimento, que necessitam, apenas, maiores muros de ala. As larguras, por outro lado, desde há muito, puderam ser também aumentadas até os valores hoje usuais, devido a invenção de tipos apropriados de portas. Nos primórdios das obras de transposição, as câmaras eram muito pequenas, aptas a receber apenas um barco de cada vez como nas eclusas dos canais inglêses (dimensões da câmara 5 x 25 m, em geral). Logo, porém passaram a ter capacidade para receber vários barcos e assim possibilitaram a utilização de maiores embarcações. Nos séculos XVII e anteriores, as embarcações

empregadas na navegação interior eram simples canoas, com três a oito metros de comprimento e 0,50 a 2 m de largura, que exigiam câmaras com dimensões como as dos ascensores primitivos, indicadas nas tabelas 4 e 5. As embarcações, no início do século XIX, já necessitavam câmaras com 20 a 30 m de comprimento e quatro a cinco m de largura, dimensões das primeiras eclusas construídas nos canais norte-americanos.

Em 1879, a célebre lei Freycinet fixou para as eclusas da França, porém com repercussão em tôda a rêde européia interligada, as dimensões padrão de 38,50 m de comprimento e 5,20 m de largura, que eram apropriadas "péniches flamengas" então em uso. Na época desta lei, existiam, porém, eclusas bem maiores na França e em outros países, por exemplo as do rio Marne, com 7,80 por 38 m; as do canal do Midi, com 6 por 38 m; as do rio Yone, com 10,50 por 58,80 m; as do rio Sena, com 12 por 188 m e as do Baixo Saône, com 16 por 160 m (GUILLEMAIN - 1885). Estas dimensões de 1885 são muito semelhantes às das eclusas européias modernas, como se verifica pela tabela 1. Nos Estados Unidos, o aumento das eclusas foi muito rápido, no século passado, e as primeiras obras fluviais já tinham dimensões muito próximas às atuais, por motivos que serão oportunamente ressaltados. Assim é que, em 1840, a dimensão normal no Green River era de 11,70 por 43 m; em 1878 foi construída a primeira eclusa no rio Ohio com 33,50 m por 182 m, dimensões estas adotadas desde 1910, para tôdas as eclusas nos grandes rios (Ohio, Mississipi, Illinois etc.). Só recentemente passaram a ser feitas eclusas com 33,50 por 366 m, padrão introduzido inicialmente em 1959, na eclusa da barragem de New Cumberland).

A evolução do tamanho das câmaras das eclusas foi muito influenciada pelas eclusas marítimas e lacustres, como as do rio São Lourenço, Canal do Panamá etc., que sempre exigiram dimensões bem maiores que as de navegação interior e forçavam a resolução das dificuldades técnicas.

Em relação às câmaras dos ascensores, como se pode observar pelas tabelas 4 e 5, também não houve aumento considerável nem nas larguras nem nos comprimentos, que pràticamente dobraram desde Fontinettes (1888). Êste fato, é sem dúvida, devido à influência preponderante das dimensões das cubas na "potência" dos equipamentos mecânicos.

Deve-se notar, finalmente, que a evolução das obras de transposição pode ser bem acompanhada, desde 1885, pelas resoluções dos Congressos Internacionais de Navegação da A.I.P.C.N. das quais transcrevemos a seguir al

guns trechos mais significativos:

"O Congresso estima que a maior altura que se pode dar a queda (das eclusas) é determinada em cada caso particular pela natureza do solo de fundação. Para os terrenos nos quais o transporte por infiltração é de se temer, quedas de 1,50 m a 2,20 m puderam ser adotadas sem inconvenientes na Holanda. Para os demais terrenos os limites atingidos na França e que ultrapassam 5 m, não apresentam nenhum inconveniente quando as fontes de alimentação são suficientes". (1º Congresso, Bruxelas 1885)

"O Congresso propõe para as vias navegáveis artificiais de grande tráfego as dimensões mínimas seguintes: ..... Eclusa: a) profundidade sôbre os buscos, 2,50 m; b) largura livre entre os muros de ala, 7,50 m; c) comprimento útil da eclusa, medido entre a corda do muro de queda de montante e a origem do encaixe das portas de jusante: 57,50 m". (2º Congresso, Viena 1886).

"As eclusas continuam a ser os equipamentos mais simples e os mais robustos para vencer as quedas dos canais". (4º Congresso, Dusseldorf 1902)

"Se as fontes de alimentação são escassas, os elevadores verticais constituem uma solução que tem a sanção da experiência". (10º Congresso, Milão 1905)

"Para um tráfego importante é desejável efetuar mecânicamente a manobra das eclusas. Convém particularmente facilitar a entrada e a saída das embarcações". (12º Congresso, Filadélfia 1912)

"Convém não explorar, em regra geral, a energia elétrica disponível ao longo de uma via navegável senão a "fio d'água", isto é, utilizando a todo instante a descarga natural do rio". (16º Congresso, Bruxelas 1935)

"É provável que os elevadores ou os planos inclinados sejam mais econômicos e permitam, no caso de tráfego intenso, ganhar tempo nas passagens quando as disponibilidades de água são restritas e

o desnível é considerável em uma pequena extensão". (17º Con--- gresso, Lisboa 1949)

"Quando a altura aumenta, o custo de construção de eclusas cresce mais ràpidamente que o dos ascensores; para alturas de mais de 30 m a vantagem é em geral dos ascensores; não há prâti camente nenhum limite a altura dos ascensores". (19º Congresso, Londres 1957)

"As condições seguintes são determinantes para a escolha da implantação das eclusas e seus canais de acesso: a) De preferên-- cia, a eclusa será situada próxima à margem oposta àquela em que é situada a usina". (20º Congresso, Baltimore 1961)

"Levando-se em conta os progressos técnicos, pode-se distinguir entre as obras de transposição de desnível as de pequena queda, até 10 m e as obras de queda muito grande acima de 40 m. Atual mente o tipo normal de obra de transposição das pequenas quedas é a eclusa, das quedas muito grandes os elevadores verticais; para as quedas intermediárias, os fatôres técnicos e econômicos determinam a escolha entre êstes dois tipos de obras. O número de elevadores em serviço sendo muito reduzido, não é possível formular conclusões concernentes a êste tipo de obras". (21ºCon gresso, Estocolmo 1965)

3 - OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEIS NO BRASIL

A navegação interior no Brasil, por motivos que não cabem aqui serem analisados, encontra-se ainda em uma fase embrionária, malgrado as amplas possibilidades da imensa rêde fluvial do país e a existência de regiões sôbre todos os pontos de vista favoráveis à implantação dos transportes aquaviários.

Nos séculos passados, devido a não haver outros meios de locomoção, existiu, sobretudo na região Centro-Sul do Brasil, uma navegação relativamente intensa. Dado porém o caráter eminentemente colonizador do transporte, não chegaram a serem feitas obras de grande vulto no setor.

Atualmente, são utilizados apenas alguns cursos d'água natu--

rais, pràticamente sem qualquer melhoramento e, em geral, embarcações não adaptadas às condições modernas. Sòmente nos rios Paraná e Paraguai e na bacia formadora do rio Guaíba, desenvolve-se uma navegação com características relativamente econômicas. Nas demais vias fluviais, inclusive em tôda a bacia Amazônica, subsiste uma navegação de caráter pioneiro, mantida apenas pela precariedade dos meios de transporte terrestres.

Em conseqüência, muito poucas obras de transposição de desnível foram até hoje construídas entre nós.

Sem insistir nos períodos heróicos dos bandeirantes, quando os batelões eram empurrados a braço em todos os acidentes dos rios, como imortaliza o monumento das Bandeiras em São Paulo, podemos lembrar que, no século passado, rios como o Tietê, Piracicaba, Mogi-Guaçú, Pardo, Ivinhema, Jaguarí, Madeiras, Cuiabá, São Francisco, Parnaíba e muitos outros, foram trafegados. Nos obstáculos das vias mais freqüentadas chegaram a ser feitos alguns melhoramentos primários que facilitavam a transposição dos batelões e pequenas embarcações. Um exemplo notável dêstes "sistemas de transposição de desnível primitivos" foi a Fazenda do Desembarque, no varadouro de Camapuã, onde os barcos eram retirados das águas do rio Pardo, afluente do rio Paraná, e descidos sôbre roletes, por caminho íngreme, numa distância de cêrca de 2 km, até as cabeceiras do rio Coxim, da bacia do rio Paraguai quase 100 m à baixo.

A primeira eclusa construída no Brasil, parece ter sido a eclusa do canal de Macaé a Campos, aberto por volta de 1844. A eclusa tinha cêrca de 5 m de largura, por 25 m de comprimento, e altura de queda de pouco mais de um metro. Em 1920 foi totalmente reconstruída, tendo continuado a prestar serviços por alguns anos, após o que, foi suprimida, dentro dos planos das obras de saneamento realizadas na região pelo D.N.O.S. A fotografia da figura 19, tirada em 1921, mostra uma vista das portas de jusante desta eclusa.

Entre 1895 e 1906 foi construída a eclusa Rio Branco, no rio Cai, próximo à cidade do mesmo nome, pelo engenheiro Costa Gama. A eclusa, com muros de ala em alvenaria de pedra e portas de madeira tem uma largura de 8,85 m e um comprimento de 37 m; vence o desnível de 1,50 m produzido por uma barragem móvel construída por uma emprêsa particular. Encontra-se ainda hoje, em uso, após ter sofrido remodelamento total em 1930, e permite a passagem de embarcações com 1,20 m de calado, pois tem uma profundidade mínima sôbre os buscos de 1,50 m.



- Figura 19 -

ECLUSA DO CANAL DE MACAÉ
(EM 1.921)

A seguir devemos nos referir às duas eclusas do canal do rio Pinheiros, em São Paulo, projetadas pela São Paulo Light e que não foram terminadas: a eclusa da usina elevatória de Pedreira (concluída em 1937) e a eclusa da usina elevatória de Traição (concluída em 1944). Da primeira, que teria sido a mais alta eclusa do mundo se completada com a barragem, pois venceria uma queda de 24,50 m, foi construído um dos muros de ala e a cabeça de montante que se encontra obturada por um diafragma de concreto. A segunda, com queda máxima de 5,50 m teve suas obras civis pràticamente concluídas, faltando ùnicamente, para o funcionamento normal, a instalação do equipamento mecânico (portas e sistema de alimentação). Da forma que se encontra, permite esta eclusa a passagem de embarcações de serviço (dragas de manutenção do canal) pela movimentação dos sistemas de "stop-logs" de vedação da câmara; as eclusas teriam 7,50 m de largura por 34,45 m de comprimento, sendo de salientar-se que em Traição foi prevista a duplicação da obra por outra igual.

No rio São Francisco, próximo a Juazeiro, foi completada em 1945 a eclusa do Sobradinho, conjugada a um dique de enrocamento destinado a manter o nível d'água naquele braço do rio. A eclusa tem um comprimento de 60 m e uma largura de 12 m, desnível máximo de 3,80 m. Logo após sua conclusão, o dique ruiu ficando a eclusa sem função. Atualmente acha-se em estudo uma nova solução para a passagem daquele trecho difícil do rio São Francisco que não prevê o aproveitamento da eclusa existente.

Em 1958 foi concluída, no Rio Grande do Sul, próximo à cidade de Cachoeira, a barragem móvel do Fandango, a primeira obra moderna construída no país exclusivamente para navegação e que corresponde ao terceiro estirão previsto para a canalização completa do rio Jacui. A eclusa, de que é munida esta barragem, tem uma câmara com 15 m de largura por 165 m de comprimento e vence um desnível máximo de 4,50 m. As duas portas de busco são comandadas por sistema elétrico e o enchimento é feito pelo fundo, por aqueduto longitudinal. Encontra-se atualmente em funcionamento normal, porém com tráfego reduzido, devido as precárias condições da via fluvial a jusante. Com a conclusão da barragem do Anel Don Marco, dentro em breve, passará a ser acessível à navegação durante todo o ano.

Uma pequena eclusa (eclusa de Camboinhas) foi construída, em 1957, nas proximidades da cidade de Cabo Frio, no Estado do Rio pela Companhia Nacional de Álcalis (figura 20). Destina-se a permitir o acesso das barcaças que transportam calcáreo retirado da lagoa Araruama ao pôrto da fá-

brica, através de um canal com seis quilômetros de extensão. Consta esta eclusa de uma câmara, com 45 m de comprimento por 9 m de largura, com uma variação de nível máxima de 1,60m. Esta eclusa tem, como peculiaridade, o sistema de enchimento e esgotamento que é feito por intermédio de sifões.

Finalmente devem ser mencionadas as duas eclusas das barragens já terminadas na canalização do rio Tietê, no Estado de São Paulo: Barra Bonita e Bariri. Ambas são eclusas de alta queda, integradas em aproveitamentos para fins múltiplos de moderna concepção, nas quais encontram-se instaladas consideráveis potências hidroelétricas.

A eclusa de Barra Bonita teve suas obras civis concluídas há cêrca de 4 anos, e aguarda a instalação dos equipamentos mecânicos, o que deverá ser feito brevemente. O desnível vencido por esta eclusa é de 26 m, o que a coloca entre as de maior altura do mundo. A câmara da eclusa de Barra Bonita tem 148 m de comprimento e 12 m de largura, com profundidade mínima de 3,50 m e será enchida e esvaziada através de sistema hidráulico balanceado com aqueduto longitudinal e alimentação por orifícios no fundo.

A eclusa de Bariri, completamente terminada em 1966, vence um desnível máximo de 24 m. A câmara tem uma largura de 12 m e um comprimento de 142 m sendo dividida por uma porta intermediária em duas câmaras parciais, com 45 m a de montante e 89,70 m a de jusante. A porta de montante, é plana, a intermediária é do tipo "de busco" (vincianas) e a porta de jusante, do tipo plano-levadiço, com máscara. O nível d'água mínimo na câmara corresponde a uma profundidade sôbre os buscos de 3,50 m, sendo prevista a utilização de embarcações com calado máximo de 2,50 m. A alimentação da câmara é realizada através de aquedutos longitudinais, um para cada câmara parcial, com entrada pelo fundo, sendo a tomada d'água e a restituição feitas diretamente no reservatório e no leito do rio. Êste sistema hidráulico garante o enchimento e o esgotamento da câmara num tempo mínimo de 12 minutos e 15 segundos (MOURA - 1961).

A eclusa de Bariri, apesar de estar pronta para entrar em funcionamento normal, aguarda, para receber tráfego, a conclusão das demais obras da canalização do rio Tietê, o que deverá dar-se num futuro próximo; a figura 1 mostra uma vista desta magnífica obra.

Um único ascensor de embarcações parece ter sido cogitado no Brasil: o plano inclinado, sistema "Summit-plane", de Conceição do Arroio, no

célebre canal do Príncipe Don Afonso, que ligaria Pôrto Alegre a Torres, através das lagoas costeiras do Estado do Rio Grande do Sul. Um projeto completo dêste canal foi elaborado por técnicos francêses, entre 1918 e 1922, para a Comissão de Melhoramentos da Navegação Fluvial e Lacustre do Estado do Rio Grande do Sul. Incluia 4 eclusas com 10 m de largura e 59 m de comprimento e o mencionado plano inclinado, que venceria um desnível total de 13 m entre as lagoas Barros e Pinguela, com embarcações de 400 ton de carga máxima movimentadas a sêco.

Pela enumeração das eclusas construídas no Brasil, cujas características principais estão resumidas na tabela 6 verificamos que, pràticamente, não existe nenhuma obra em tráfego normal. Como única exceção temos apenas a eclusa da Companhia Nacional de Álcalis, que vem funcionando dentro das finalidades previstas. Duas eclusas, a de Fandango e Bariri, são obras modernas e encontram-se prontas para receber o trânsito de embarcações, quando concluídas, nos estirões contíguos, as demais obras previstas para a canalização dos rios Jacui e Tietê.

Além destas oito eclusas executadas, um certo número de obras de transposição encontra-se atualmente em diferentes estágios de construção podendo ser citadas as seguintes:

- Eclusa da barragem do Bom Retiro, no rio Taquari, Estado do Rio Grande do Sul, com desnível máximo de 10,50 m e câmara com 17 m de largura por 120 m de comprimento para embarcações de 2,50 m de calado em construção adiantada.

- Eclusa da barragem do Anel Don Marco, no rio Jacui, Estado do Rio Grande do Sul, com desnível máximo de 7,50 m e câmara de 17 m de largura por 165 m de comprimento para embarcações de 2,50 m de calado, com conclusão prevista para 1969.

- Eclusa da barragem de Ibitinga, no rio Tietê, Estado de São Paulo, com desnível máximo de 20 m, câmara de 12 m de largura por 140 m de comprimento, prevista para embarcações de 2,50 m de calado, com conclusão prevista para 1969.

- Eclusa da barragem de Jupiá, no rio Paraná, entre os Estados de São Paulo e Mato Grosso, com desnível máximo de 24,50 m, câmara de 17 m de largura por 210 m de comprimento, prevista para embarcações com 3,50 m de calado, com conclusão prevista para 1969.

- Escada de eclusa da barragem de Boa Esperança, no rio Parnaíba, entre os Estados do Piauí e Maranhão com duas eclusas iguais de 22,50 m de desnível

cada uma, câmaras de 12 m de largura e 50 m de comprimento, para embarcações de 1,20 m de calado. O reservatório intermediário entre as duas eclusas será obtido por uma barragem com 360 m de comprimento e altura máxima de 18,50 m; em início de construção (PORTUGAL - 1967).

Destas merece particular atenção a eclusa da barragem de Jupiá, única projetada para receber comboios de empurra, e que será, quando concluída, a eclusa com maior câmara do Brasil.

Numerosas obras de transposição estão atualmente em projeto ou com estudos adiantados, merecendo ser citadas as seguintes, com suas características (quando já definidas):

- No rio Jacuí, as eclusas das barragens de Pôrto Três Irmãos, com 5 m de queda, Itaipava dos Carvalhos, com 10 m de queda e Itaipava dos Jacintos com 7 m de queda. Estas eclusas terão 12 m de largura por 85 ou 165 m de comprimento para calado de 2,50 m.

- No rio Taquari, as eclusas das barragens de Arroio do Meio com 14 m de queda, e Roca Sales, com 8 m de queda, ambas previstas com largura de 17 m e 86 ou 165 m de comprimento, para calado de 2,50 m.

- No canal de ligação dos rios das Pedras e rio Comprido no Estado de São Paulo, uma pequena eclusa com desnível máximo de 1,92 m, largura de 4,20 m e 19,50 m de comprimento, para embarcações com 1 m de calado.

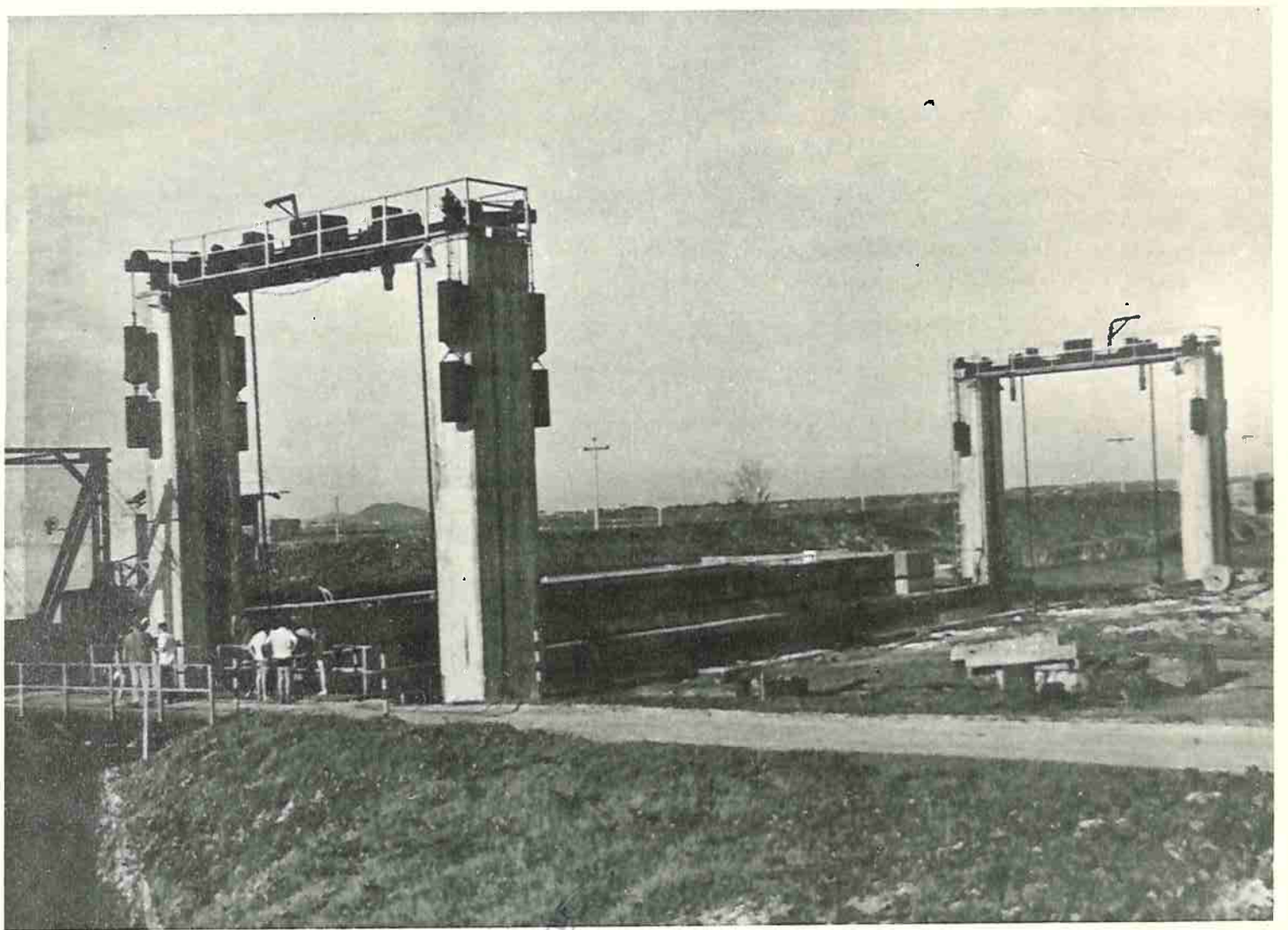
- No rio Tietê, obras de transposição de desnível das barragens de Laras,com 17 m de queda, Anhembi, com 5 m de queda, Ilha Sêca, com 36 m de queda e o "sistema Promissão Lageado" com 54 m de desnível. Para estas obras, que ainda não estão perfeitamente definidas, deverão ser examinadas alternativas de escadas de eclusas e ascensores (para quedas elevadas).

- No rio Paraná, a eclusa de câmara dupla (ou talvez escada de eclusas), para a barragem de Ilha Solteira, com 48 m de desnível.

- No rio São Francisco, a escada de eclusas da barragem de Três Marias, com 2 eclusas com câmaras duplas, e um reservatório intermediário, vencendo um desnível total de 57 m, e a eclusa da barragem de Juazeiro, próxima à Sobradinho.

- No rio Tocantins, as obras de transposição da barragem de São Felix, com 100 m de queda e da barragem de Itaboca, com 20 m de queda.

- No rio Ribeira de Iguape, a escada de eclusas da barragem de Eldorado Paulista, com 50 m de queda total, vencida por 3 eclusas iguais de 16,60 m de



- Figura 20 -

ECLUSA DE CAMBOINHAS

queda cada uma. As câmaras destas eclusas são previstas com 20 m de largura e 100 m de comprimento, aptas para receber embarcações com 1,50 m de calado.

Há ainda, além das obras citadas, numerosas obras de transposição que deverão ser projetadas num futuro próximo, seja para barragens ainda em fase inicial de estudos, seja para barragens já construídas que não contam com órgão de transposição para a navegação. As de maior probabilidade de serem executadas são:

- Eclusas para as barragens (3 ou 7) de canalização do rio Paranapanema, com alturas variáveis, entre 5 e 17 m (no caso de ser adotada a alternativa de 7 obras).

- Eclusas para as barragens de canalização do rio Doce (seis eclusas) com alturas de queda de 15 a 30 m.

- Obras de transposição para as barragens do rio Grande, Furnas e Peixotos, já construídas, Jaguara, em construção, Corôa Vermelha e outras em estudo.

- Obras de transposição para as barragens do rio Parnaíba, incluindo Cachoeira Dourada, com 32,40 m de queda, já construída e São Simão, projetada com 73 m de queda.

- Eclusa para a barragem de Paranaiara, no rio Paraná, com queda provável de 18 a 20 m.

- Obra de transposição das quedas de Sete Quedas, no rio Paraná, provàvelmente com altura variável entre 20 e 50 m.

- Obras de transposição para a barragem de Paulo Afonso, no rio São Francisco.

- Eclusas para a canalização do rio Ibicui, no Estado do Rio Grande do Sul.

- Eclusas para a canalização do rio Paraíba e canal de ligação dêste rio ao rio Tietê, no Estado de São Paulo.

- Obras de transposição para a ligação do Médio ao Alto Tietê, vencendo um desnível total da ordem de 150 m.

Num futuro mais remoto, pode ainda ser vislumbrado um grande número de obras de transposição necessárias à complementação das grandes rêdes fluviais que vêm sendo projetadas e a interligação das mesmas por canais de partilha entre as diversas bacias hidrográficas do país.

Em resumo, se até hoje foram construídas muito poucas obras de transposição de desnível no Brasil e cêrca de meia dúzia de obras estão em

construção, é de se prever, para os próximos anos, um grande surto de obras dêste tipo.

Verifica-se pela comparação das características das obras citadas, resumidas na tabela 6, haver uma grande diversidade, no que diz respeito às dimensões adotadas para as câmaras de transposição. Sem dúvida, êste fato resulta da pouca experiência no assunto, mas é, também, um reflexo das modificações que vêm sendo introduzidas sistemàticamente na navegação interior nos países em que êste meio de transporte é muito utilizado.

Tradicionalmente os critérios para dimensionamento de nossas obras eram oriundos das obras realizadas na Europa. Ùltimamente, a introdução do sistema de navegação americano veio modificar, como veremos, a própria concepção da navegação interior européia, com reflexos importantes no dimensionamento das obras de transposição. Resultou dai, por exemplo, a diferença de largura das eclusas executadas no rio Tietê e a eclusa de Jupiá: enquanto aquelas foram projetadas por volta de 1952 visando o emprêgo da navegação pelo sistema clássico de tração ou automotores, a obra do rio Paraná foi projetada para a navegação por empurra.

Entre as obras de transposição cuja execução é previsível para um futuro não muito distante, podem ser apontadas diversas, destinadas a vencer desníveis que, mesmo dentro da técnica atual, são considerados como excepcionais. O elevado custo destas obras exigirá grandes esforços dos projetistas, no sentido de obtenção de um rendimento máximo do capital invertido.

TABELA 1

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DE ALGUMAS ECLUSAS SIMPLES

NOME	LOCALIZAÇÃO	ANO DE ENTRADA EM SERVIÇO	ALTURA DE QUEDA MÁXIMA (m)	DIMENSÕES DA CÂMARA (m) Larg.(m)	Compr.(m)	Observações
Bonneville (A.M)	Rio Columbia - (USA)	1938	19,8	23,5	150	
The Dalles (A.M)	Rio Columbia - (USA)	1957	27,6	26,0	206	
John Day (A.M)	Rio Columbia - (USA)	1968	32,4	26,0	206	
Mc Nary (A.M)	Rio Columbia - (USA)	1951	28,0	26,0	206	
Ice Harbor (A.M)	Rio Snake - (USA)	1962	32,0	26,0	206	Maior queda no U.S.A.
Lower Monumental (A.M)	Rio Snake - (USA)	Em constr.	29,2	26,0	206	
Little Goose (A.M)	Rio Snake - (USA)	Em constr.	31,4	26,0	206	
Lower Granite (A.M)	Rio Snake - (USA)	Em constr.	26,0	26,0	206	
Kentucky (A.M)	Rio Tennessee - (USA)	1942	17,1	33,5	183,0	
Pickwick Landing (A.M)	Rio Tennessee - (USA)	1937	16,8	33,5	183,0	
Wilson (A.M)	Rio Tennessee - (USA)	1959	30,5	33,5	183,0	Substituiu a escada que datava de 1925
Wheeler (A.M)	Rio Tennessee - (USA)	1963 (1934)	14,6	33,5 (22,5)	183,0 (120,0)	
Guntersville (A.M)	Rio Tennessee - (USA)	Em constr. (1937)	11,9	33,5 (22,5)	183,0 (120,0)	
Holes Bar (A.M)	Rio Tennessee - (USA)	Em constr. (1913)	10,4	33,5 (22,5)	183,0 120,0	
Chickamauga (A.M)	Rio Tennessee - (USA)	1937	15,6	22,5	120,0	
Watts Bar (A.M)	Rio Tennessee - (USA)	1941	17,4	22,5	120,0	
Fort Loudoun (A.M)	Rio Tennessee - (USA)	1943	22,0	22,5	120,0	
Mound City	Rio Ohio (USA)	Em projeto	9,0	33,5 (33,5)	366,0 (183,0)	Substituiu as antigas eclusas nº 53 e 52
Dog Island	Rio Ohio (USA)	Em projeto	5,8	33,5	183,0	idem as nºs 49, 50 e 51
Uniontown	Rio Ohio (USA)	Em constr.	5,5	33,5	183,0	idem as nºs 48, e 47
Newburg	Rio Ohio (USA)	Em constr.	4,8	33,5	183,0	idem as nºs 47, e 46
Cannelton Reach	Rio Ohio (USA)	Em constr.	7,6	33,5	183,0	idem as nºs 45, 44 e 43
Mc Alpine	Rio Ohio (USA)	1964	11,2	33,5 (33,5)	366,0 (183,0)	Três eclusas paralelas
Markland	Rio Ohio (USA)	1963	10,6	33,5 (33,5)	366,0 (183,0)	Substituiu as antigas eclusas nºs 35, 36, 37, 38 e 39
C^{t} Anthony Meldahl	Rio Ohio (USA)	1962	9,0	33,5 (33,5)	366,0 (183)	Substituiu as antigas eclusas nºs 31, 32, 33 e 34
Greenup	Rio Ohio (USA)	1961	9,7	33,5 (33,5)	366,0 (183,0)	Substituiu as antigas eclusas nºs 27, 28, 29 e 30
Gallopolis	Rio Ohio (USA)	1937	7,0	33,5 (33,5)	183,0 (110,0)	Em reforma

(continua)

(CONTINUAÇÃO-a)

Racine	Rio Ohio (USA)	Em constr.	7,0	33,5	110,0	Substituirá as antigas eclusas nºs 21, 22 e 23
Belleville	Rio Ohio (USA)	Em constr.	6,6	33,5	110,0	idem nºs 17, 18 e 19
Willow Island	Rio Ohio (USA)	Em projeto	6,0	33,5	110,0	idem nºs 15 e 16
Hannibal	Rio Ohio (USA)	Em projeto	6,3	33,5	110,0	idem nºs 14, 13 e 12
Pike Island	Rio Ohio (USA)	1967	6,3	33,5 (33,5)	366,0 (183,0)	Substituiu as antigas eclusas nºs 9, 10 e 11.
New Cumberland	Rio Ohio (USA)	1959	6,8	33,5 (33,5)	366,0 (183,0)	
Montgomery Island	Rio Ohio (USA)	1936	5,8	33,5 (17,0)	183,0 (110,0)	
Dashields	Rio Ohio (USA)	1929	3,1	33,5 (17,0)	183 (110,0)	
Emsworth	Rio Ohio (USA)	1936	5,5	33,5 (17,0)	183 (110,0)	
nº 7 e 53	Rio Ohio (USA)	1910 a 1929	2,0 a 11,5	33,5	183	Substituidas ou em substituição pelas 19 eclusas anteriores
nº 1	Rio Mississípi	1917	11,5	17,0 (17,0)	120,0 (120,0)	
nº 2 a 26	Rio Mississipi	1930 a 1940	1,8 a 8,3	33,5	183	Algumas duplas.
New Hasting	Rio Mississipi		4,3	33,5	366	
nº19 (Keokuk)	Rio Mississipi	1956 (1913)	11,0	33,5 (33,5)	366,0 (110,0)	
nº 27	Rio Mississipi	1951	3,2	33,5 (33,5)	366,0 (180,0)	
Lockport	Rio Illinois (USA)	1933	12,0	33,5	180	
Bradon Road	Rio Illinois (USA)	1933	10,5	33,5	180	
Dresden Island	Rio Illinois (USA)	1933	6,5	33,5	180	
Marseilles	Rio Illinois (USA)	1933	7,5	33,5	180	
Starved Rock	Rio Illinois (USA)	1933	5,6	33,5	180	
Peoria	Rio Illinois (USA)	1939	3,4	33,5	180	
La Grange	Rio Illinois (USA)	1939	3,0	33,5	180	
nº 1 a 8	Rio Monongahela (USA)	1907 a 1926	2,5 a 4,5	17,0	110,0	Duas eclusas iguais em cada barragem
nº 9 a 15	Idem	1903	3,0 a 3,5	17,0	55,0	
nº 2	Idem	1960	2,7	33,5 (17,0)	220,0 (110,0)	Substituiu as antigas eclusas nºs 1 e 2
Maxwell	Idem	Em constr.	5,5	33,5	220,0	
Morgantown	Idem	1951	6,3	25,5	180,0	
Hildebrand	Idem	1964	6,6	33,5	220,0	
Opekiska	Idem	Em constr.	6,6	33,5	220,0	

(continua)

(CONTINUAÇÃO-b)

nº 2 a 9	Rio Alleghary (USA)	1927 a 1938	3,2 a 6,7	17,0	110,0	
nº 1 a 16	Rio Tombigbee - -Warrior (USA)	1903 a 1914	2,7 a 6,30	15,6	86,0	
Jackson	Rio Tombigbee	1961	10,4	33,5	180,0	Substituiu as antigas eclusas nºs 1, 2 e 3
Denopolis	Idem	1955	12,0	33,5	180,0	Substituiu as antigas eclusas nºs 4, 5, 6 e 7
Warrior	Rio Warrior (USA)	1958	6,6	33,5	180,0	Substituiu as antigas eclusas nºs 8 e 9
Holt (A.M)	Rio Warrior (USA)	1966	19,5	33,5	180,0	Substituiu as antigas eclusas nºs 13, 14, 15 e 16
Willian Bacon Oliver	Rio Warrior (USA)	1940 Em constr.	9,0	28,5 (33,0)	144,0 (180,0)	Substituiu as eclusas antigas nºs 10, 11 e 12.
E a A e nº 1 a 8	Rio Cumberland (USA)	1904 a 1924	1,7 a 4,0	15,6	85,0	Só a nº 8 ainda está em operação
Barkley (A.M)	Rio Cumberland (USA)	1963	17,3	33,5	240,0	Substituiu as antigas eclusas B, C, D, E e F.
Cheatham (A.M)	Rio Cumberland (USA)	1952	9,3	33,5	240,0	Substituiu as antigas eclusas A - 1, 2 e 3.
Old Hickory (A.M)	Rio Cumberland (USA)	1954	18,0	33,5	240,0	Substituiu as antigas eclusas nºs 4, 5, 6 e 7
Cordell Hull	Rio Cumberland (USA)	Em constr.	17,8	25,3	135,0	
Dardsuelles	Rio Arkansas (USA)	Em constr.	16,2	33,5	180,0	
Weitzel	Canal St. Mary Falls (USA)(entre os lagos Superior e Huron	1881	8,5	24,0	160,0	outras três no mesmo local construídas em 1896, 1914 e 1919
nº 1 a 35	Canal Erie (New York State Barge (USA)	1918	1,8 a 13,7	13,5	90,0	
Walter F. George	Rio Chattahoochie (USA)	Em constr.	26,4	25,0	135,0	
Columbia	Idem	Em constr.	7,3	25,0	135,0	
Millers Ferry	Rio Alabama (USA)	Em projeto	14,5	25,3	180,0	
Port Allen	Intracoastal Water-Way (USA)	1961	13,8	25,3	366,0	
Carrilon	Rio Ottawa (Can.)	1963	19,5	13,5	60,0	Para barcos de recreio exclusivamente
Big Chute	Canal Trent (Can.)	Proj.	17,4	9,0	40,0	
Swift Rapids	Idem	Proj.	14,2	9,0	40,0	
Kembs (A. M.)	Rio Reno (Fr.)	1932	15,8	25,0 (25,0)	185,0 (100,0)	
Ottmarsheim (A.M.)	Rio Reno (Fr.)	1952	18,0	23,0 (12,0)	185,0 (185,0)	
Fessenheim (A.M.)	Rio Reno (Fr.)	1957	18,0	12,0	185,0	
Vogelgrun (A.M.)	Rio Reno (Fr.)	1959	13,8	12,0	185,0	
Markolsheim (A.M.)	Rio Reno (Fr.)	1961	15,0	12,0	185,0	

(Continua)

(CONTINUAÇÃO-c)

Rhinau (A.M.)	Rio Reno (Fr.)	1963	15,0	12,0	185,0	
Gerstheim (A.M.)	Rio Reno (Fr.)	1967	13,1	24,0 (12,0)	190,0 (190,0)	Dimensões adotadas para navegação por empurra
Strasbourg (A.M.)	Rio Reno (Fr.)	Em constr.	13,40	12,0	190,0	
Gambsheim (A.M.)	Rio Reno (Fr.)	Em projeto	10,5	12,0	190,0	
Neuhacusel (A.M.)	Rio Reno (Fr.)	Em projeto	10,5	12,0	190,0	
Pierre Benite (A.M.)	Rio Ródano (Fr.)	1966	12,0	12,0	195,0	
Vaugris (A.M.)	Rio Ródano (Fr.)	Em projeto		12,0	195,0	
Sablous (A.M.) (St.Pierre de Boeuf)	Rio Ródano (Fr.)	Em projeto		12,0	195,0	
Gervaus	Rio Ródano (Fr.)	Em projeto		12,0	195,0	
Bourg le Valauce (A.M.)	Rio Ródano (Fr.)	1967	12,25	12,0	195,0	
Beauchastel (A.M.)	Rio Ródano (Fr.)	1964	14,0	12,0	195,0	
Baix-le Logis Neuf (AM)	Rio Ródano (Fr.)	1960	14,7	12,0	195,0	
Montelimar (A.M.)	Rio Ródano (Fr.)	1957	19,0	12,0	195,0	
Donzère-Mondragon (AM) (St. Pierre)	Rio Ródano (Fr.)	1952	26,0	12,0	195,0	
12 eclusas	Rio Mosele (Fr-Al)	1966	3,9 a 9,0	12,0	170,0	
11 eclusas	Alto Sena (Fr.)	1910	0,6 a 1,8	11,8 - 16,0	180-172	
nº 1 a 5	Alto Sena (Fr.)	Em projeto	3,0 a 3,2	16,0	180,0	
nº 1 a 13	Pequeno Sena (Fr.)	-	1,0 a 3,0	7,9	45,0	
18 eclusas	Rio Marme (Fr.)	-	2,7 a 3,5	7,8 e 12,0	125,0 e 45,0	
26 eclusas	Rio Yone (Fr.)	-	1,8	8,3	95,0	
19 eclusas	Canal do Norte (Fr.)	1965	6,0 a 8,0	6,0	91,9	
Goeulzin	Canal Dunkerke - Valenciennes (Fr.)	1966	4,9	12,0	144,6 (91,6)	Duas eclusas conjugadas
Jeu de Mail	Canal Dunkerke (Fr.)	1948	1,7	12,0	110,0	
Frandre	Canal Neufossé (Fr.)	1950	4,6	12,0	113,5	
Nifer	Canal Ligação ao Reno (Fr.)	1961	5,0	12,0	85,0	
Diriguies	Canal Derivação de Scarpe-en Doumi (Fr.)	1961	4,5	12,0	144,6	
Fontinettes	Canal Neufossé (Fr.)	1967	13,13	12,0	144,6	
12 eclusas	Sena Inferior (Fr.)	1880	-	17,0	151,0	Em reconstrução.

(continua)

(CONTINUAÇÃO-d)

Poses	Rio Sena (Fr.)		3,0	17,0	220,0	
Andrésy	Rio Sena (Fr.)	1959	2,8	12,0	160,0	
Verennes	Rio Sena (Fr.)	1962	3,0	16,0	180,0	
Chatou	Rio Sena (Fr.)	1964	3,2	18,0	185,0	
Suresnes	Rio Sena (Fr.)	1882	3,2	17,0 (12,0)	176,7 (57,0)	Porta com 12m de largura (substituída)
La Villete	Canal St.Denis (Fr)	1899	9,9	5,2 (8,2)	38,8 (48,9)	Com câmaras de recuperação e máscara - dupla
Bourg - le - Conte	Canal Roanne a Digoin (Fr)	1899	7,2	5,2	38,8	
Carapatelo (A.M)	Rio Douro (Portugal)	Em constr.	36,0	12,0	85,0	
lo eclusas (A.M.)	Rio Guadalquivir(Esp.)	Em constr.	4,2 a 18,0	8,0	58,0	Várias obras já construídas
Battaglia	Canal de Battaglia(It.)	1923	7,4	7,2	40,0	
Pentalaguscuro	Canal Boicelli-Pó (It.) / de Volano (It)	1929	4,8	10,0	137,0	
Gevernolo	Rio Mincio (It.)	1921	2,8	10,0	81,0	
Volta Grimana	Rio Pó-Brando (It.)	1921	4,8	10,0	81,0	Porta intermediária
Isola Serafina (A.M.)	Rio Pó (It.)	1959	5,0	12,0	85,0	
Roselies	Rio Sambre (Be)	1967	3,6	12,5	110,0	
Morminont	Idem	1964	4,3	12,5	110,0	
Marcinelle	Idem	1964	3,5	12,5	110,0	
Floriffoux	Idem	1965	3,9	12,5	110,0	
Monceau	Idem	Em constr.	4,4	12,5	110,0	
1 F, 2 F e 3 F	Canal Charleroi-Bruxelas (Be)	1958/1960	7,0	11,5	85,0	
5 F (Ittre)	Idem	1967	13,7	12,0	85,0	
Lanaye	Ligação Canal Juliana e Albert (Be)	1962	13,6	16,0	136,0	Substituiu a antiga construída em 1938
6 eclusas	Canal Albert (Be)	1939	10,0	16,0 (7,0)	136,0 (55,0)	3 câmaras em cada local. Refeito após a guerra.
Wijnegen	Idem	1935	5,70	16,0 (16,0)	139,0 (139,0)	
Jochenstein (A.M.)	Rio Danúbio (Au)	1955	9,4	24,0 (24,0)	230,0 (230,0)	Duas eclusas ligeiramente diferentes.
Ybbs - Persenberg (A.M)	Rio Danúbio (Au)	1957	10,2	24,0 (24,0)	230,0 (230,0)	
Aschasch	Rio Danúbio (Au)	1965	15,8	24,0	230,0	
16 eclusas	Rio Reno Superior (Suiça)	Em const.	6,3 a 11,5	12,0	180,0	13 obras construídas
Birsfelden (A.M.)	Rio Reno (Suiça)	1954	9,1	12,0	180,0	
Volkerak	Plano "Delta" (Ho)	1967	5,0	24,0	320,0	Maior câmara fluvial da Europa Duas eclusas paralelas.

(continua)

(CONTINUAÇÃO-e)

4 eclusas	Canal Juliana (Ho)	1935	5,0 a 15,3	16,0	136,0	Largura nas portas 14,0 m
Born	Canal Juliana (Ho)	1962	11,3	16,0	142,0	Substituiu a antiga construída em 1935
Maasbracht	Canal Juliana (Ho)	1962	15,3	16,0	142,0	Maior queda da Holanda (3 eclusas iguais).
Panheel	Canal Wessen - Neder Weert (Ho)	1928	8,1	7,5	153,0	
Princes Beatrix	Canal Amsterdan - Reno (Ho)	1930	-	18,0	260,0	
Hagestein	Rio Reno (Nederrijn) (Ho)	1932	-	18,0	220,0	
5 eclusas (A.M.)	Rio Meusa (Ho)	-	-	16,0	260,0	2 câmaras conjugadas
Minden	Canal do Weser ao canal Ems Weser (Al)	1913	14,7	10,0	87,0	Com 4 câmaras de recuperação
FÜstenberg	Canal Oder-Sprée (Al)	1928	14,5	12,0	130,0	2 câmaras conjugadas
Anderten	Canal Mitteland	1928	15,0	12,0	225,0	Com 5 câmaras de recuperação
Henrichenbourg	Canal Dortmund-Ems	1911	14,5	10,0	95,0	Com câmaras de recuperação
Offenbach	Rio Meno (Al)	1953	4,6	12,0	300,0	
2 eclusas	Canal Bromberger (Al)	1918	7,6	9,6	57,4	
23 eclusas	Rio Neckar (Al)	1952	-	12,0	110,0	
Besigheim	Rio Neckar (Al)	1954	6,30	12,0	110,0	
Geesthacht	Rio Elba (Al)	1950	6,0	25,0 (25,0)	230,0 (85,0)	
MÜnster	Canal Mitteland (Al)	1925	6,20	12,0	225,0	Câmaras de recuperação
Duisbourg-Ruhrort	Canal Reno-Herne	1926	3,40	10,0	165,0	
41 eclusas (A.M.)	Rio Meno (Al)	Em constr.	-	12,0	190,0-300,0	Construídas 36 obras
7 eclusas	Canal Reno-Herne (R.H.K) (Al)	1914	3,2 a 8,0	10,0	165,0	
Ust - Kamernogorsk (A.M)	Rio Irtysh (URSS)	1963	42,0	18,0	110,0	Funcionou entre 1959 e 1963 parcialmente concluídas
Saratov (A.M.)	Rio Volga (URSS)	Em constr.	13,0	30,0 (30,0)	290,0 (290,0)	
Rybinsk (A.M.)	Rio Volga (URSS)	1945	18,0	30,0 (30,0)	290,0 (290,0)	Duas câmaras conjugadas
Uglich (A.M.)	Rio Volga (URSS)	1941	13,0	30,0	290,0	
Ivan'Kovo (A.M.)	Rio Volga (URSS)	1937	17,0	30,0	290,0	
Tcheboksary (A.M.)	Rio Volga (URSS)	Em constr.	15,0	30,0 (30,0)	290,0 (290,0)	
Astrakhan (A.M.)	Rio Volga (URSS)	Em constr.	17,0	30,0 (30,0)	290,0 (290,0)	
Votkinsk (A.M.)	Rio Kama (URSS)	1961	17,0	30,0 (30,0)	290,0 (290,0)	

(continua)

(CONTINUAÇÃO-f)

Nijni - Kamsk (A.M.)	Rio Kama (URSS)	Em constr.	15,0	30,0 (30,0)	(290,0) (290,0)	
Solikamsk (A.M.)	Rio Kama (URSS)	Em projeto	17,0	30,0 (30,0)	290,0 (290,0)	
nº 1 a 13	Canal Volga-Don (URSS)	1952	11,4 a 9,0	17,0/ 18,0	145,0	
nº 1 a 10	Canal Volga-Moscou (ex-Canal Maria)(URSS)	1937	-	30,0	270,0	Reformado em 1957
nº 1 a 6	Rio Moscou (URSS)	1876	3,0	15,8	205,0	
nº 1 a 6	Rio Moscou (URSS)	Em constr.	3,0	18,0	270,0	Substituirão as anteriores.
nº 1 a 6	Canal Volga-Báltico (URSS)	1964	13,0 a 16,0	18,0	270,0	
Tcherepovets (A.M.)	Canal Volga Báltico (URSS)	1964	17,0	18,0	290,0	
Svirstroi (A.M.)	Rio Svir (URSS)	1933	14,0	18,0	140,0	Refeita em 1947
Podporojé (A.M.)	Rio Svir (URSS)	1952	15,0	18,0	140,0	
Portas de Ferro	Rio Danúbio (Youg-Roum.)	Em constr.	33,50	34,0 (34,0)	310,0 (310,0)	Uma eclusa em cada margem (início de constr. em 1968)
Masaryk	Rio Elba (Tch)	1930	9,0	24,0 (13,0)	170,0 (177,0)	Duas câmaras paralelas
3 éclusas (A.M.)	Rio Vah (Tch)	Em constr.	10,0a24,0	12,0	85,0	
Pnov (A.M.)	Rio Elba (Tch)	1950	2,0	12,0	85,0	
Stechovice (A.M.)	Rio Vtola (Tch)	1949	20,1	12,0	118,0	
6 eclusas	Canal Gliwice (Po)	-	-	12,0	72,0	
23 eclusas (A.M.)	Rio Oder (Po) (trecho superior)	Em constr.	-	9,6	180,0	
5 eclusas (A.M.)	Rio Vistula (Po)	Em constr.	4,7 a 16,0	12,0	85,0	3 barragens construídas a partir de 1945.
nº 3	Rio Vistula (Po)	1958	12,8	12,0	85,0	
Bokeny	Rio Koros (Hung.)	1906	3,0	10,0	70,0	Primeira eclusa em que foi empregado concreto armado.
Södertälje	Hammarby (Suécia) (canal lago Mälar ao Baltico)	1923	2,0	20,0	135,0	
Stanstull	Idem	1927	3,0	20,0	135,0	
Goena	Delta do Rio Nilo (Egt)	1927	3,8	6,0	45,0	
Delta Nilo	Rio Nilo (Egt)	-	3,0	15,0	70,0	
Roseta (Barragem Mohammad Aly) (A.M.)	Rio Nilo (Egt)	1951	6,5	12,0	80,0	
Damieta	Rio Nilo (Egt)	1951	6,0	12,0	80,0	
Esna	Rio Nilo (médio) (Egt)	1907	1,8	16,0	80,0	Remodelada em 1946
Apipe	Rio Paraná (Ar-Par)	Projeto	-	24,0	230,0	Uma, duas ou três eclusas em canal lateral (em estudo).
29 eclusas	Canal Rio Bermejo (Ar)	Projeto	-	12,0	140,0	
Hervidero	Rio Uruguai (Ar-Ur)	Projeto	8,0	18,0	116,0	
	Rio Uruguai (Ar-Ur)	Projeto	12,0	18,0	116,0	
Salto Chico	Rio Uruguai (Ar-Ur)	Projeto	15,5	18,0	116,0	

NOTA: A.M. : Aproveitamento múltiplo.

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DE ALGUMAS ECLUSAS DE CAMARAS MULTIPLAS

TABELA 2

NOME	LOCALIZAÇÃO	ANO DE ENTRADA EM SERVICO	ALTURA DE QUEDA MÁXIMA (m)	NÚMERO DE CÂMARAS	DIMENSÕES DA CÂMARA		OBSERVAÇÕES
					LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	
WINFIELD - MARMET - LONDON	RIO KANAWHA (USA)	1.934 - 1.937	32,00	3	17,00	110,00	DESNÍVEIS PARCIAS: 7,50 - 7,50 - 8,00 m
ABBLETON	RIO FOX (USA)	1.884 - 1.907	11,00	4	10,50	43,40	DESNÍVEIS PARCIAIS: 2,30 - 2,60 - 2,90 - 3,30 m
Nº 28 A e B	CANAL ERIE (USA)	1.918	9,40	2	13,60	90,00	DESNÍVEIS PARCIAIS: 3,60 - 5,80 m
JOHN HOLLIS BANKHEAD	RIO TOMBIGBEE (USA)	1.915	21,80	2	15,70	76,00	DESNÍVEIS PARCIAIS: 11,00 - 10,80 m
WILSON	RIO TENNESSEE (USA)	1.927	30,10	2	18,00	90,00 (88,00)	REFORMADO EM 1.963
St ANTHONY FALLS	RIO MISSISSIPI (USA)	1.967	22,60	2	33,00	366,00	DESNÍVEIS PARCIAIS: 7,60 - 15,00 m
BOUKHTARMA	RIO IRTYSH (URSS)	1.965	68,60	4	18,00	100,00	DESNÍVEIS PARCIAIS: 15,40 - 15,40 - 15,40 - 22,40 m
PERM	RIO KAMA (URSS)	1.957	22,00	6	33,00	290,00	DUAS CÂMARAS CONJUGADAS - DESNÍVEIS IGUAIS
STALINGRAD (VOLVOGRAD)	RIO VOLGA (URSS)	1.960	27,00	2	33,00	290,00	DUAS CÂMARAS CONJUGADAS - DESNÍVEIS IGUAIS
TSIMLIANSK	RIO DOM (URSS)	1.941	27,00	2	30,40	300,00	DESNÍVEIS PARCIAIS: 12,20 - 14,80 m
ROGNY	CANAL BRIARE (FR.)	SÉCULO XVII	24,80	7	-	-	ABANDONADO
FOUSERANNES	CANAL DO MIDI (FR.)	1.681	21,00	8	5,50	30,00	REFORMADO EM 1.920
FONTINETTES	CANAL DE NEUFOSSÉ (FR.)	SÉCULO XVIII	13,10	5	5,60	39,50	DESTRUÍDO EM 1.966
SHANNON	RIO SHANNON (IRLANDA)	1.931	32,20	2	6,10	32,20	DESNÍVEIS PARCIAIS: 18,70 13,50 m
SOROKSAR	BRACO DO RIO DANUBIO (HUNGRIA)	1.870	9,40	2	12,00 (10,00)	85,00 (72,00)	DUAS CÂMARAS DIFERENTES - DESNÍVEIS: 4,90 - 4,50 m
KAIUJI ISLAND	RIO NIGER (NIG.)	EM CONSTR.	41,20	2	13,50	200,00	DESNÍVEIS PARCIAIS: 25,40 - 15,80 m
ASSUÂ	RIO NILO (EGITO)	1.935	35,50	5	16,00	80,00	DESNÍVEIS IGUAIS - CONSTRUÍDO EM 1.902 REFORMADO EM 1.912 E EM 1.934
GATUN	CANAL DO PANAMÁ	1.914	13,00	3	33,50	305,00	ECLUSA MARÍTIMA - DUAS CÂMARAS CONJUGADAS
PEDRO MIGUEL	CANAL DO PANAMÁ	1.914	13,00	2	33,50	305,00	ECLUSA MARÍTIMA - DUAS CÂMARAS CONJUGADAS
Nº 4 - 5 - 6	CANAL WELLAND (CA.)	1.932	43,20	3	24,00	258,00	ECLUSA MARÍTIMA - DUAS CÂMARAS CONJUGADAS

CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DE ALGUMAS ESCADAS DE ECLUSAS

TABELA 3

ESCOLA POLITÉCNICA
BIBLIOTECA

NOME	LOCALIZAÇÃO	ANO DE ENTRADA EM SERVIÇO	DESNÍVEL TOTAL (m)	NÚMERO DE ECLUSAS	DIMENSÕES DAS CÂMARAS		OBSERVAÇÕES
					COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)	
WILSON (A.M)	RIO TENNESSEE (U. S. A.)	1.927	30 , 40	2	18 , 00	90 , 00 (88 , 00)	ECLUSA SUPERIOR DUPLA DESNÍVEIS : 1,70 – 14,60 + 14,60 SUBSTITUÍDA EM 1.959
KOUIBYCHEV (A.M)	RIO VOLGA (URSS)	1.957	30 , 00	2	30 , 00 (30 , 00)	290 , 00 (290 , 00)	CANAL INTERMEDIÁRIO 3,80 Km. DESNÍVEIS IGUAIS
GOR' KII	RIO VOLGA (URSS)	1.955	17 , 00	2	30 , 00 (30 , 00)	290 , 00 (290 , 00)	CANAL INTERMEDIÁRIO 1,90 Km. DESNÍVEIS IGUAIS
TSIMLYANSK	CANAL VOLGA – MOSCOU (URSS)	1.941	27 , 00	2	30 , 40	300 , 00	DESNÍVEIS IGUAIS
NIEDERFINOW	CANAL FINOW (AL.)	1.914	36 , 00	4	12 , 00	90 , 00	TRAÇÃO POR LOCOMÓVEIS CANAIS INTERMEDIÁRIOS COM 260 m. DESNÍVEIS IGUAIS
TADERBIGGE (THIRTY AND TWELVE)	CANAL WORCESTER AND BIRMINGHAN (ING.)	1.815	61 , 00	30	—	—	EM TRÁFEGO (PRECÁRIO)
FONSERÈNES	CANAL DO MIDI (FR.)	1.680	21 , 10	8	—	—	MODIFICADA POSTERIORMENTE
EISENHOWER E GLASS	CANAL LONG SAULT – SÃO LOURENÇO (U. S. A.)	1.958	27 , 30	2	24 , 00	26 , 00	ECLUSAS MARÍTIMAS DESNÍVEIS PARCIAIS – 12,60 – 14,70 m.
BEAUHARNOIS	RIO SÃO LOURENÇO (CA.)	1.960	27 , 00	2	24 , 00	27 , 00	ECLUSAS MARÍTIMAS DESNÍVEIS IGUAIS

RELAÇAO DOS ELEVADORES VERTICAIS CONSTRUÍDOS

TABELA 4

NOME	LOCALIZAÇÃO	ANO DE ENTRADA EM SERVICO	ALTURA DE QUEDA MÁXIMA (m)	PÊSO DA CUNHA (ton)	DIMENSÕES DA CAMARA			TIPO DE ELEVADOR	CAPACIDADE DE CARGA DA EMBARCAÇÃO TIPO (ton)	VELOCIDADE DESLOCAMENTO VERTICAL (m/mim)	OBSERVAÇÕES
					L (m)	l (m)	h (m)				
RUABON (DENBIGHSIRE)	CANAL ELLESMERE (ING.)	1.796	3,70	–	21,00	–	–	FLUTUANTE	–	–	NÃO CHEGOU A SER LIGADO AO CANAL
DUNKERTON	CANAL SOMERSET (ING.)	1.798	13,70	–	21,30	2,10	0,70	CÂMARA SUBMERSÍVEL	20	–	NÃO CHEGOU A ENTRAR EM SERVIÇO NORMAL
TARDEBIGGE	CANAL WORCESTER – – BIRMIGHAN (ING.)	1.809	3,60	–	21,80	2,40	1,40	FUNICULAR COM CONTRAPÊSO	40	–	ABANDONADO
TAUNTON (Nº 1)	CANAL GRAND – WESTERN (ING.)	1.838	14,02	–	7,93	1,98	0,63	FUNICULAR BERÇOS CONJUGADOS	7	4,20	ABANDONADO
(Nº 2)	〃	〃	—	–	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
(Nº 3)	〃	〃	—	–	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
(Nº 4)	〃	〃	—	–	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
(Nº 5)	〃	〃	—	–	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
(Nº 6)	〃	〃	—	–	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
LOUD – WELL (Nº 7)	〃	1.836	—	–	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
ANDERTON	CANAL TRENT MERSEY (ING.)	1.875	15,35	240	22,85	4,73	1,37	HIDRÁULICO DUPLO (SISTEMA CLARK)	120	–	TRANSFORMADO EM FUNICULAR EM 1.906 – MODIFICADO EM 1.912
FONTINETTES	CANAL NEUFOSSE (FR.)	1.888	13,13	700	39,50	5,60	2,10	HIDRÁULICO DUPLO (SISTEMA CLARK)	300	4,80	EM USO ATE 16 / 8 / 1.967
LA LOUVIÈRES	CANAL DO CENTRO (BE.)	1.888	15,40	1.160	43,00	5,80	3,15	HIDRÁULICO DUPLO (SISTEMA CLARK)	360	5,30	EM FUNCIONAMENTO
HOUDERG – AIMERIES	〃	1.910	16,93	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
STREPY – BROCQUENGNIES	〃	1.914	16,93	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
THIEU	〃	1.908	16,93	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
HENRICHENBOURG I	CANAL DORTMUND – EMS (AL.)	1.899	14,00	3.100	68,20	8,50	2,50	FLUTUANTE (5 FLUTUADORES)	700	7,20	〃
PETERBOROUGH	CANAL TRENT – LAGO HURO (CA.)	1.904	19,81	1.300	40,80	10,06	2,44	HIDRÁULICO DUPLO (SISTEMA CLARK)	1.100	4,80	ABANDONADO
KIRKFIELD	〃	1.907	15,24	1.700	〃	〃	〃	〃	1.100	4,80	ABANDONADO
NIEDERFINOW	CANAL FINOW (AL.)	1.934	36,00	4.300	85,00	12,00	2,50	FUNICULAR COM CONTRAPÊSO	1.000	7,20	EM FUNCIONAMENTO
ROTHENSEE	CANAL MITTERLAND-ELBA (AL.)	1.938	18,70	4.000	85,00	12,00	2,50	FLUTUANTE (4 FLUTUADORES)	1.000	9,00	〃
HENRICHENBOURG II	CANAL DORTMUND – EMS (AL.)	1.962	14,50	5.000	90,00	12,00	3,00	FLUTUANTE (2 FLUTUADORES)	1.350	9,00	〃

RELAÇÃO DOS PLANOS INCLINADOS CONSTRUÍDOS

TABELA 5

NOME	LOCALIZAÇÃO	ANO DE ENTRADA EM SERVIÇO	ALTURA DE QUEDA MÁXIMA (m)	PÊSO DA CUNHA (ton)	DIMENSÕES DA CÂMARA			TIPO DO PLANO INCLINADO	CAPACIDADE DE CARGA DA EMBARCAÇÃO (ton)	INCLINAÇÃO DA VIA	VELOCIDADE DE TRANSLAÇÃO (m/min)	OBSERVAÇÕES
					L (m)	l (m)	h (m)					
OWERDRAKS	FLANDRE	SÉC. XII AO XV	–	–	–	–	–	EMBARCAÇÕES ARRASTADAS SÔBRE PRANCHAS	–	–	–	–
OWERDRAKS DE WATTEN	RIO COLME (FR.)	SÉC. XV	–	–	–	–	–	〃	–	–	–	DESTRUÍDO EM 1.638
LIZZAFUSINA	CANAL DO RIO BRENTA A VEBEZA (IT.)	SÉC. XV	3,00	–	–	–	–	LONGITUDINAL - BERCOS CONJUGADOS (A SÊCO)	–	–	–	–
BRACKAVILLE	CANAL TYRONE (IRL.)	1.777	16,75	–	3,00	1,35	–	TRANSVERSAL - SIMPLES (A SÊCO)	1	–	–	ABANDONADO EM 1.787
FARLOUGT	〃	〃	–	–	–	–	–	〃	1	–	–	–
DRUMREAGH	〃	〃	21,35	–	–	–	–	〃	1	–	–	–
KETLEY	CANAL KETLEY (ING.)	1.788	21,30	–	5,80	1,80	*0,60	LONGITUDINAL - BERÇOS CONJUGADOS (A SÊCO)	8	1 : 2,5	–	ABANDONADO EM 1.818
SHROPSHIRE (3) (TRENCH)	CANAL DE SHROPSHIRE (ING.)	1.790	36,50 A 63,00	–	5,80	1,80	*0,60	LONG.-BERÇOS CONG. (A SÊCO) TIPO SUMMIT - PLANES	5	1 : 20 A 1 : 8,5	–	–
PLANO INCLINADO DE PRESCOTT	CANAL SOUTH - HADLEY (U.S.A.)	1.794	16,80	–	–	–	–	LONGITUDINAL COM RODAS HIDRÁULICAS (AUTOMOTOR)	–	1 : 4	–	PRIMEIRO COM EMBARCAÇÃO FLUTUANDO LOGO ABANDONADO
WORSLEY	CANAL WALKDEN - MOOR (ING.)	1.797	32,40	–	5,80	1,80	*0,60	LONGITUDINAL - BERÇOS CONJUGADOS (A SÊCO)	8	1 : 2,5	–	ABANDONADO EM 1.842
SUMMIT - PLANES (33)	(U.S.A.)	SEC. XIX (INÍCIO)		–	–	–	–	LONGITUDINAL (A SÊCO)	–	–	–	–
CORNWALL (6)	CANAL BUDE (ING.)	1.823	15,50 A 68,60	–	6,00	1,70	*0,80	LONGITUDINAL (A SÊCO) EMBARCAÇÕES COM RODAS	–	1 : 4	–	ABANDONADO EM 1.885
SUMMIT - PLANES DO CANAL MORRIS (23)	CANAL MORIS (U.S.A.)	1.831 A 1.835	10,68 A 30,50	110	24,00	3,20	–	LONGITUDINAL - BERÇOS CONJUGADOS (A SÊCO)	70	1 : 12 A 1 : 10	–	ABANDONADOS
TORUFACOU	CANAL CHARD (ING.)	1.842	8,50	–	8,70	2,05	1,83	TRANSVERSAL - BERÇOS CONJUGADOS	–	1 : 8	–	ABANDONADO EM 1.866
WRANTAGE	〃	〃	–	–	–	–	–	〃	–	–	–	〃
ILMINSTER	〃	〃		–	–	–	–	〃	–	–	–	〃
SOMERSET	〃	1.850	28,50	–	–	–	–	〃	–	–	–	〃
CANAL OBERLAND (5)	CANAL WARNIA (POL.)	1.860 A 1.880	18,83 A 24,28	105	14,30	5,20	–	LONG.-BERÇOS CONJ. (A SÊCO) TIPO SUMMIT - PLANES	12	1 : 12	60,00	EXISTENTES PORÉM FORA DE USO NORMAL
COALPORT	CANAL COALPORT (ING.)	1.880	–	–	5,80	1,80	–	LONGITUDINAL DUPLO (A SÊCO)	–	–	–	ABANDONADO EM 1.902
BLACK - HILL	CANAL MONKLAND (ESC.)	1.850	29,28	80	21,34	4,36	0,84	LONG. - CUBAS CONJUGADAS EMBARCAÇÕES VAZIAS	60	1 : 10	54,00	ABANDONADO EM 1.887
GEORGETOWN	CANAL CHESAPEACK - OHIO (U.S.A.)	1.876	11,60	390	34,12	5,10	2,39	LONGITUDINAL COM CONTRAPÊSO	115	1 : 12	–	ABANDONADO EM 1.890
BEAUVAL	CANAL OUREG - MARME (FR.)	1.888	12,17	110	28,00	3,10	*1,20	LONGITUDINAL - BERÇOS CONJUGADOS (A SÊCO)	75	1 : 25	15,00	ABANDONADO EM 1.892
FOXTON	CANAL GRAND - JUNCTION (ING.)	1.900	22,92	120	24,40	4,57	1,50	TRANSVERSAL - CUBAS CONJ. (SISTEMA THOMAS)	70	1 : 4	7,60	ABANDONADO EM 1.915
ARZVILLER	CANAL MARME AO RENO (FR.)	CONSTR.	45,00	894	42,50	5,50	3,20	TRANSVERSAL COM CONTRAPÊSO	300	1 : 4	36,00	EM CONSTRUÇÃO PREVISTO PARA 1.968
RONQUIÈRES	CANAL CHARLESROI - BRUXELAS (BE.)	CONSTR.	67,55	5.700	91,00	12,00	3,70	LONGITUDINAL COM CONTRAPÊSO (DUAS CUBAS)	1.350	1 : 20	72,00	EM CONSTRUÇÃO PREVISTO PARA 1.968
KRASNOYARSK	RIO IÉNISSEI (URSS)	CONSTR.	116,00	6.700	90,00	18,00	3,30	LONGITUDINAL, AUTOMOTOR	2.000	1 : 10	60,00	EM CONSTRUÇÃO PREVISTO PARA 1.970

(*) : ALTURA DA CÂMARA ONDE AS EMBARCAÇÕES ERAM MOVIMENTADAS APOIADAS NO FUNDO.

TOTAL : 90 PLANOS INCLINADOS

ECLUSAS BRASILEIRAS

TABELA 6

NOME	LOCALIZAÇÃO	ANO DE ENTRADA EM SERVIÇO	ALTURA MÁXIMA DE QUEDA (m)	DIMENSÕES DA CÂMARA		OBSERVAÇÃO
				LARGURA (m)	COMPRIMENTO (m)	
MACAÉ	CANAL MACAÉ A CAMPOS (EST. DO RIO)	1.844	1 , 50 *	5 , 00 *	25 , 00 *	ABANDONADA - REFORMADA EM 1.922
RIO BRANCO	RIO CAI (R. G. S.)	1.906	1 , 50	8 , 85	37 , 00	EM TRÁFEGO - REFORMADA EM 1.930
TRAIÇÃO	CANAL DO RIO PINHEIROS (S. PAULO)	1.944	5 , 50	7 , 50	54 , 45	NÃO EQUIPADA
SOBRADINHO	RIO SÃO FRANCISCO (BAHIA)	1.956	3 , 80	12 , 00	60 , 00	NÃO CHEGOU A ENTRAR EM TRÁFEGO
FANDANGO	RIO JACUI (R.G.S.)	1.958	4 , 50	15 , 00	165 , 00	EM TRÁFEGO
CAMBOINHAS	CANAL DA LAGOA ARARUAMA À FABRICA NACIONAL DE ÁLCALIS (EST. DO RIO)	1.957	1 , 60	9 , 00	45 , 00	EM TRÁFEGO - (CHATAS DE 150 ton.)
BARRA BONITA	RIO TIETÊ (S. PAULO)	1.964	25 , 50	12 , 00	148 , 00	NÃO EQUIPADA
BARIRI	RIO TIETÊ (S. PAULO)	1.966	24 , 00	12 , 10	142 , 00	EM TRÁFEGO

(*) : VALORES ESTIMADOS

TEMPO DE ENCHIMENTO ESGOTAMENTO E CIRCUITOS HIDRÁULICOS DE ALGUMAS ECLUSAS

TABELA 7

NOME	ANO DE ENTRADA EM SERVIÇO	TIPO DE ENCHIMENTO (VER NOTA)	ALTURA MÁXIMA DE QUEDA (m)	TEMPO DE ENCHIMENTO (min - S)	TEMPO DE ESGOTAMENTO (min - S)	VELOCIDADE MÉDIA DE SUBIDA N.A (m/min)	OBSERVAÇÕES
MCNARY (USA)	1.951	3B - (TÊRÇO CENTRAL)	28 , 00	17 - 00	17 - 00	1 , 70	
BONNEVILLE (USA)	1.938	3A - (AQUEDUTO CENTRAL)	21 , 00	11 - 30	11 - 30	1 , 85	TEMPOS VARIÁVEIS COM EMBARCAÇÕES
ICE HARBOUR (USA)	1.962	3B - (DOIS CONJUNTOS AQUEDUTOS TRANSVERSAIS)	32 , 00	11 - 24	14 - 06	2 , 80	
WHEELER (USA)	1.963	2B - (812 ORIFÍCIOS DE 8")	15 , 60	9 - 36	10 - 30	1 , 62	Fa = 1,5 ton.
GUNTERSVILLE (USA)	EM CONST.	2B -	12 , 60	—	—	—	
KENTUCKY	1.942	3B -	22 , 60	14 - 00	14 - 00	1 , 61	
HOLLES BAR (USA)	EM CONST.	2B -	18 , 00	—	—	—	
WILSON (USA)	1.959	3B - (DOIS AQUEDUTOS TÊRÇO MÉDIO)	30 , 40	13 - 30	15 - 00	2 , 30	
GREENUP (USA)	1.961	3B -	9 , 70	8 - 00	8 - 00	1 , 25	
HOLT (USA)	1.966	3B - (AQUEDUTO TRANSVERSAL TÊRÇO MÉDIO)	19 , 50	11 - 00	11 - 00	1 , 78	
CORDELL - HULL (USA)	EM CONST.	2B -	17 , 80	—	—	—	
MILLERS FERRY (USA)	EM PROJ.	3C -	14 , 50	11 - 00	11 - 00	1 , 32	Fa = 4,5 ton.
DARDANELLES (USA)	EM CONST.	3B -	16 , 20	—	—	—	
WALTER F. GEORGE (USA)	EM CONST.	3B - (DOIS AQUEDUTOS LONGITUDINAIS)	26 , 40	13 - 00	12 - 30	2 , 03	
St ANTHONY FALLS (USA) - (INFERIOR)	1.963		7 , 60	6 - 42	7 - 12	1 , 05	ECLUSA DE CÂMARA DUPLA
St ANTHONY FALLS (USA) - (SUPERIOR)	1.963		15 , 00	8 - 00	7 - 00	2 , 14	
KEOKUK (USA)	1.956	3B (UM AQUEDUTO LOGITUDINAL)	11 , 00	18 - 00	16 - 00	0 , 61	TEMPO DE ENCHIMENTO DE PROJETO 15 MINUTOS
DONZÈRE MONDRAGON (FR.) (St PIERRE)	1.952	3C - (ENTRADAS A 2/3 DE L)	26 , 00	7 - 20	8 - 00	3 , 60	Fa = 0,0006 P
MONTILIMAR (FR.)	1.957	3C - (ENTRADAS A 2/3 DE L)	19 , 50	8 - 00	8 - 45	2 , 40	
BAIX (FR.)	—	3C -	13 , 80	8 - 00	—	1 , 70	
BEAUCHARTEL (FR.)	1.964	3C -	13 , 80	8 - 00	—	1 , 70	
KEMBS (FR.) - (GRANDE)	1.932	2A -	16 , 60	12 - 20	15 - 00	1 , 35	
OTTMARSHEIN (FR.) - (GRANDE)	1.952	3C -	18 , 00	7 - 30	7 - 30	2 , 40	Fa = 0,0002 P
FESSENHEIM (FR.) - (GRANDE)	1.957	3C -	18 , 00	7 - 30	7 - 30	2 , 40	
ANDRESY (FR.)	1.959		2 , 80	7 - 00	7 - 00	0 , 39	Fa = 5 ton.
12 - CANAL NORTE (FR.)	1.965	2A - (DOIS AQUEDUTOS NOS MUROS)	8 , 00	5 - 30	5 - 30	1 , 45	
TREVES (FR.)	1.959	1A - (COM CÂMARA DE DISSIPAÇÃO A MONTANTE)	6 , 70	8 - 00	8 - 00	0 , 83	Fa < 0,02 P
FONTINETTES (FR.)	1.967	3C -	13 , 10	7 - 00	10 - 30	1 , 87	
JOCHENSTEIN (AU.)	1.955	1A -	9 , 40	13 - 00	13 - 54	0 , 73	

(CONTINUA)

TEMPO DE ENCHIMENTO ESGOTAMENTO E CIRCUITOS HIDRÁULICOS DE ALGUMAS ECLUSAS

(CONTINUAÇÃO)

TABELA 7

NOME	ANO DE ENTRADA EM SERVIÇO	SISTEMAS DE ENCHIMENTO (VER NOTA)	ALTURA MÁXIMA DE QUEDA (m)	TEMPO DE ENCHIMENTO (min - S)	TEMPO DE ESGOTAMENTO (min - S)	VELOCIDADE MÉDIA DE SUBIDA N.A (m/min)	OBSERVAÇÕES
YBBS - PERSENBEG (AU.)	1.957	IA -	10 , 20	15 - 30	14 - 00	0 , 66	
ASCHACH (AU.)	1.965	3A - (QUATRO AQUEDUTOS)	15 , 80	14 - 00	15 - 00	1 , 13	VALORES DE PROJETO
BORN (HOL.) - (ANTIGA)	1.935	IA - (COM DISPERSORES)	11 , 30	8 - 00	—	1 , 40	TEMPO DE ENCHIMENTO VARIÁVEL COM EMBARCAÇÃO
BORN (HOL.) - (MODERNA)	1.962	IB - (COM CÂMARAS DISSIPADORAS)	11 , 30	9 - 00	7 - 00	1 , 25	Fa = 0,01 P
WIJUEGEN (BE.)	1.935	IA - (COM DISPERSORES)	5 , 70	12 - 00	13 - 00	0 , 47	
LANAYE (BE.)	1.962	3A - (DOIS AQUEDUTOS)	14 , 00	9 - 00	9 - 00	1 , 55	Fa < 0,001 P
5F (CH BRUX) (BE.)	EM CONST.	2A - (DOIS AQUEDUTOS)	14 , 00	9 - 00	—	1 , 55	VALORES DE PROJETO
STECHOVICE (TCH.)	1.942	2A - (DOIS AQUEDUTOS COM 13 ORIFÍCIOS)	20 , 10	12 - 00	12 - 00	1 , 68	
CARAPATELO (PORT.)	EM CONST.	3C -	36 , 00	12 - 00	12 - 00	3 , 00	
UGLICH (URSS)	1.941	3B - (DOIS AQUEDUTOS)	13 , 00	7 - 00	8 - 00	1 , 86	
UST KAMERNOGORSK (URSS)	1.959	3A - (DOIS AQUEDUTOS - 15 PARES DE ORIFÍCIOS)	42 , 00	27 - 00	28 - 00	1 , 50	Fa = 3 ton.
RUBINSK (URSS)	1.945	3B - (DOIS AQUEDUTOS GEMINADOS COM CÂMARAS AMORTECEDORAS)	18 , 00	7 - 30	7 - 00	2 , 40	ECLUSA GEMINADA
GOR KII (URSS) - (CADA CÂMARA)	1.955	IA - (ESGOTAMENTO) - (IB - COM DISSIPADOR)	8 , 00	12 - 00	13 - 20	0 , 66	ESCADA DE DUAS ECLUSAS
TCHEREPOVETS (URSS)	1.964	IB -	17 , 00	10 - 00	12 - 00	1 , 70	
SWIFT RAPIDS (CAN.)	EM PROJ.	3C -	14 , 20	5 - 20	6 - 00	4 , 20	
BIG - CHUTE (CAN.)	EM PROJ.	3C -	17 , 40	7 - 00	7 - 00	2 , 50	
CAVILLON (CAN.)	EM PROJ.	3C -	19 , 50	15 - 30	15 - 30	1 , 20	
KAIUJI (NIG.) - (SUPERIOR)	EM PROJ.	3A - (UM AQUEDUTO - ORIFÍCIOS MÚLTIPLOS NO CENTRO)	25 , 40	15 - 00	15 - 00	1 , 70	ECLUSA DUPLA - Fa = 1,15 ton.
BARIRI (BR.)	1.966	3A - (DOIS AQUEDUTOS COM PORTA INTERMEDIÁRIA)	24 , 00	12 - 15	12 - 15	1 , 96	VALORES DE PROJETO
BARRA BONITA (BR.)	1.964	2A - (COM PORTA INTEMEDIÁRIA)	25 , 50	13 - 20	12 - 36	1 , 94	VALORES DE PROJETO
JUPIÁ (BR.)	EM CONST.	3C - (AQUEDUTO ALIMENTADO NO CENTRO)	24 , 50	15 - 30	15 - 30	1 , 58	Fa = 3,1 ton.
FANDANGO (BR.)	1.958	3A -	4 , 50	15 - 00	—	0 , 30	Fa = 3,1 ton.

NOTA : SISTEMAS DE ENCHIMENTO E ESGOTAMENTO.

1 - PELAS EXTREMIDADES

- IA - PELAS PORTAS (OU SOB AS PORTAS)
- IB - AQUEDUTOS DE CONTÔRNO DAS PORTAS

2 - PELOS MUROS, COM AQUEDUTOS LONGITUDINAIS

- 2A - ORIFÍCIOS LATERAIS (SIDE - PORT SYSTEM)
- 2B - ORIFÍCIOS MÚLTIPLOS (MULTIPORT SYSTEM)

3 - PELO FUNDO, COM AQUEDUTO (OU AQUEDUTOS) LONGITUDINAL

- 3A - DIRETO, COM ORIFÍCIOS MÚLTIPLOS (COM OU SEM RAMAIS) (BOTTOM LONGITUDINAL CUVERTS)
- 3B - AQUEDUTOS TRANSVERSAIS (BOTTOM LATERAL CUVERTS)
- 3C - BALANCEADOS DINÂMICAMENTE

ESCOLA POLITÉCNICA BIBLIOTECA

CAPÍTULO II

A TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL NOS APROVEITAMENTOS PARA FINS MÚLTIPLOS

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os conceitos de aproveitamento múltiplo dos cursos d'água e de aproveitamento integral (maximalização) propostos por Timonoff (TIMONOFF-- 1935) são hoje em dia acatados universalmente e não necessitam mais justificação. Não se cogita, atualmente, de uma obra fluvial sem pelo menos verificar quais as diversas utilizações que podem ser obtidas conjuntamente, e sobretudo, quais as implicações que a obra terá sôbre os demais usos da água.

Dentro dêstes conceitos, consideraremos neste trabalho ùnicamente os aproveitamentos para fins múltiplos de um curso d'água com retenções que visem, pelo menos, uma utilização da água além da navegação fluvial (produção de energia, irrigação, abastecimento urbano, etc.). O uso da água para diversas finalidades, evidentemente, impõe restrições a cada uma das utilizações. Estas restrições devem ser harmonizadas, visando o melhor proveito global.

As obras de aproveitamento múltiplo, com o sentido aqui adotado, vêm sendo construídas pràticamente desde o início dêste século. Na verdade, as antigas canalizações dos cursos d'água com barragens móveis, não deixavam de ser, até certo ponto, aproveitamentos múltiplos, porquanto permitiam outros usos da água, como irrigação, contrôle contra inundações, etc. Os projetos de obras destinadas especìficamente a outras finalidades além da navegação surgiram, porém, com a implantação de usinas hidroelétricas nas vias fluviais. Entre as mais antigas e importantes destas obras, pode ser citado o aproveitamento múltiplo de Keokuk no rio Mississipi, construído em 1908; o aproveitamento múltiplo de "Muscle Shoals", no rio Tennessee (barragem Wilson) que data de 1918 e o aproveitamento múltiplo de Volkhoff, na bacia do rio .. Dnieper, concluído em 1923.

O principal conjunto de obras de maximalização executado até

hoje, ainda é, sem dúvida, o aproveitamento múltiplo do rio Tennessee, iniciado em 1930 pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano, e prosseguido pela Tennessee Valley Authority, criada em 1933.

Entre os grandes projetos de aproveitamento múltiplo com navegação, atualmente em construção, podem ser citados os do rio Columbia e seu afluente Snake nos Estados Unidos, onde estão localizadas as eclusas mais altas do mundo ocidental; os do rio Iénissei, na Rússia, onde se encontra em construção o ascensor destinado a vencer a maior queda até hoje ultrapassada pela navegação em um único lance, e os do rio Reno, Rodano e Danúbio na Europa Central. No Brasil, merecem especial relêvo os aproveitamentos múltiplos do rio Paraná.

As obras de aproveitamento para fins múltiplos abriram novos horizontes para a navegação, permitindo a canalização de grandes rios de pouca declividade. O custo das vias fluviais obtidas desta forma é reduzido consideràvelmente e, sobretudo em rios volumosos, torna-se possível ter características técnicas econômicamente impraticáveis com obras destinadas tão sòmente à melhoria da navegabilidade.

Nas regiões em que o transporte fluvial é pouco utilizado, por falta de uma tradição aquaviária e deficiência dos cursos d'água naturais, os aproveitamentos para fins múltiplos vieram permitir romper o ciclo vicioso da não execução de melhoramentos na via por falta de justificativa econômica, derivada do reduzido tráfego, e de tráfego reduzido por falta de condições técnicas na via.

Nota-se, nos modernos aproveitamentos para fins múltiplos, uma tendência acentuada de concentrar os desníveis, derivada em grande parte do melhor rendimento energético das usinas de grande queda. Êste fato é bastante favorável à navegação, sob diversos pontos de vista, em particular, pela redução considerável do tempo de percurso das embarcações que dêle resulta. Leva, porém, a obras de transposição mais complexas que as utilizadas normalmente nos rios canalizados com barragens móveis ou nos canais artificiais, onde o desnível é fixado quase que exclusivamente em função dos interêsses da navegação.

Cabe ainda lembrar que as obras de transposição de desnível quando associadas a aproveitamentos múltiplos, ficam sujeitas a imposições decorrentes do funcionamento dos demais órgãos do conjunto, resultando várias

dificuldades para os projetos.

A utilização dos órgãos de passagem das embarcações com outras finalidades além das específicas da navegação, permite economias no conjunto, ou indiretamente, para a própria obra de transposição. Êste aspecto, em geral, não tem merecido a atenção dos projetistas e muito poucas obras tem sido realizadas com os princípios do que poderíamos chamar de "integração das obras de transposição no aproveitamento múltiplo". Apenas algumas eclusas foram assim concebidas e visando sòmente utilização para refôrço do sistema de extravasamento das enchentes. Dentro de uma maior generalidade, esta integração foi aventada por Grzywienski que apresentou, no XVIIIº Congresso Internacional de Navegação, um sistema patenteado de barragem, para quedas médias (da ordem de 15 m), no qual a eclusa desempenha funções não ligadas à navegação e outros equipamentos da barragem são empregados para o funcionamento da eclusa.

É de se notar logo que estas utilizações recíprocas de órgãos do aproveitamento múltiplo com finalidades que não as específicas, dependem de diversos fatôres, como a disposição geral do conjunto, vazões em jôgo, alturas de queda, etc., e não podem ser generalizadas. Um estudo detalhado deve ser elaborado em cada situação especial, sendo dificilmente prescindido um exame em modêlo reduzido.

Como princípio fundamental deve ser estabelecido que as restrições impostas à navegação, por estar o sistema de transposição integrado no aproveitamento múltiplo, sejam reduzidas ao mínimo, a fim de permitir que o meio de transporte seja implantado econômicamente. Estas restrições deverão, além do mais, ser fàcilmente removíveis quando o tráfego justificar, seja através de nova obra de transposição, que deverá ser prevista desde o projeto inicial, seja através do necessário refôrço de equipamento.

As retenções de aproveitamentos para fins múltiplos podem ser concebidos com todos os órgãos constituintes grupados na barragem ou com um ou alguns órgãos isolados em canais laterais de maior ou menor extensão. Evidentemente, os problemas específicos das obras de transposição das embarcações vão depender bàsicamente da disposição adotada. Em particular, pode-se conceber a obra de transposição isolada, num canal extenso, quase sem influência direta do aproveitamento múltiplo.

Destas considerações gerais conclue-se que as obras de trans-

posição de desnível nos aproveitamentos múltiplos devem ser projetadas com critérios especiais e não simplesmente adaptadas de soluções clássicas que, isoladamente, podem convir melhor à navegação, porém deixam a desejar dentro do conjunto.

2 - INTEGRAÇÃO DA OBRA DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL NO CONJUNTO DO APROVEITAMENTO MÚLTIPLO

2.1 - Utilização das obras de transposição para desvio provisório durante a construção

O difícil problema do desvio provisório das águas durante as fases de construção da barragem, pode ser em parte solucionado com a utilização da eclusa, prèviamente executada, para escoamento de parte da descarga. Esta possibilidade, bastante empregada na construção de barragens móveis, não tem sido devidamente explorada para barragens de queda mais elevada. Se a eclusa é encravada no maciço da barragem, muitas vêzes basta postergar a construção do trecho da barragem correspondente ao muro de queda para dispor-se de um cômodo vão de escoamento em nível inferior ao mínimo de jusante.

O sistema hidráulico de enchimento e esgotamento da eclusa pode também ser utilizado como refôrço do desvio de descarga, em certas fases da construção, desde que a tomada d'água seja suficientemente profunda. As seções dos aquedutos longitudinais adotadas para permitir o rápido enchimento da câmara são relativamente grandes, permitindo a passagem de vazões da ordem de algumas centenas de metros cúbicos por segundo, que podem ser porcentagens consideráveis da vazão total a ser desviada.

A facilidade com que a câmara da eclusa e o sistema hidráulico podem ser isolados para posterior acabamento é um fator a ser considerado na utilização para desvios provisórios. Em particular, os muros de acesso de montante podem ser adaptados para sustentar "stop-logs" de vedação, caso não seja exequível o uso da própria cabeça da eclusa com esta finalidade.

As eclusas sem muro de queda são evidentemente as que melhor se prestam para êste emprêgo provisório, sendo possível utilizá-las já devidamente equipadas, desde a fase construtiva da barragem.

Nas vias onde já existe navegação, muitas vêzes a construção

antecipada da eclusa torna-se obrigatória, a fim de garantir o tráfego, tal como foi feito na eclusa da barragem de John Day (rio Columbia). Mesmo nestes casos é possível utilizar a obra para desvio, durante períodos críticos.

Como exemplo característico de utilização da eclusa como obra de desvio provisório com tráfego merece ser citado a reconstrução da barragem Captain Anthoney Meldahl, no rio Ohio, onde as novas eclusas foram executadas prèviamente, tendo servido, com portas abertas, para escoamento das águas durante a fase final do alteamento das comportas.

As escadas de eclusas, e os ascensores, de um modo geral, não se prestam para utilização como desvio provisório das descargas, por terem as soleiras das portas de montante sempre em cotas muito elevadas em relação aos níveis d'água nas fases de construção.

2.2 - Utilização das obras de transposição como extravasores de cheias

Os órgãos normais de extravasamento das barragens são sempre, por motivo de segurança, projetados para receber uma descarga correspondente a um período de recorrência muito elevado (cheia milenar em geral). Parte desta vazão de dimensionamento dos vertedores poderá ser escoada pela obra de transposição de desnível, desde que a mesma seja preparada para tal.

A freqüência de ocorrência destas enchentes excepcionais sendo baixa, e, de um modo geral, o trânsito de embarcações sendo interrompido por outros motivos nas épocas de grandes cheias, a navegação poucas restrições terá devido a esta utilização da obra de transposição como vertedouro de emergência. Assim, sem qualquer prejuízo para a navegação, podem ser escoadas as vazões que ultrapassem as correspondentes ao nível máximo navegável, desde que sejam tomados cuidados para proteção das embarcações que estacionam próximas ao acesso da obra.

A fixação do nível máximo navegável é arbitrária. Estudos econômicos têm levado a estabelecer êste nível, importante para fixar a altura mínima das pontes que atravessam a via, como o superado ou igualado em média em um dia por ano. A vazão correspondente pode ser muito inferior à vazão de dimensionamento dos órgãos extravasores, restando uma ponderável fração que poderia ser escoada pela obra de transposição sem maiores dificuldades. Como exemplo, podemos lembrar que para a barragem de Jupiá, no rio Paraná, foi adotado como vazão de dimensionamento dos extravasores 50.000 m^3/s e a vazão

limite de navegabilidade (tempo de recorrência - um dia por ano) é de ... 21.090 m^3/s, restando pois mais de 55% do total a ser descarregado sem tráfego de embarcações.

Cumpre salientar ainda que normalmente a soleira de montante do órgão de passagem das embarcações é arrazada numa cota inferior a das soleiras dos vertedores de superfície, a fim de permitir a passagem das embarcações no nível mínimo do reservatório, dando, portanto uma vazão específica, por metro de largura, superior a das soleiras vertentes.

Devido à importância de que o assunto se reveste, a possibilidade de escoamento através da obra de transposição merece ser examinada para cada tipo em particular.

2.2.1 - Eclusas

As eclusas simples e de câmara múltipla prestam-se razoàvelmente bem para funcionar como órgãos de extravasamento. A condição básica para esta utilização acessória é a existência de um sistema que permita o contrôle do fluxo líquido e sua interrupção. Diversos tipos de portas podem satisfazer esta condição como as portas planas(levadiças ou baixadiças), as portas de segmento de eixo horizontal ou vertical, as portas de setor e todos os demais móveis "sob carga". Evidentemente apenas uma das portas deve satisfazer a esta imposição, podendo a outra (de preferência a de jusante, de maior dimensão) ser de modêlo só manobrável sem carga, como as portas de busco, as portas laterais corrediças, etc.

Mesmo que ambas as portas não satisfaçam àquela condição, pode-se prever um sistema de fechamento de emergência que a satisfaça ("stop - -logs" especiais, ou portas de emergência de funcionamento "sob carga"). Aliás, há hoje uma tendência acentuada em munir tôdas as eclusas de um sistema que possa interromper o eventual escoamento com portas abertas, o que pode evitar sérios acidentes, como o ocorrido durante a reconstrução da eclusa Wheeler, no rio Tennessee. Vinte e uma das 44 principais eclusas de grande queda construídas recentemente nos Estados Unidos contam com êstes sistemas de segurança (RICHARDSON - 1964). De todos os modelos ensaiados para esta função de emergência, os sistemas plano-vertical de um ou dois elementos e o de comporta de segmentos submersíveis, como o da eclusa Greenup no rio Ohio, parecem ser os mais apropriados (BLEE - 1951).

Tradicionalmente, nas barragens móveis, nas épocas de enchente, as eclusas ficam abertas, servindo como elemento de escoamento enquanto a navegação se faz através do "vão navegável" da barragem. Algumas barragens de baixa queda também têm sido construídas com previsão de escoamento pela eclusa merecendo ser citadas, entre outras, as de Ybbs Persenberg e Jochenstein, no rio Danúbio, ambas com 10 m de queda, construídas entre 1954 e 1957. Nestas barragens, com vazões máximas de 10.000 e 8.400 m^3/s, respectivamente (tempo de recorrência - 1.000 anos) é previsto escoar pelas eclusas 3.400 e 2.320 m^3/s respectivamente (em cada barragem há duas eclusas de 24 m de largura por 230 m de comprimento) (VAS - 1957). Uma terceira barragem no Danúbio, Aschach, com 15,80 m de queda, concluída bem posteriormente, também foi prevista com escoamento pelas eclusas, demonstrando os bons resultados obtidos com cêrca de 10 anos de experiência das obras iniciais. Ainda na Áustria, no "Canal do Danúbio", a antiga eclusa de Nusdorf, vem de ser reconstruída para servir de extravasor de cheias (GRZYWIENSKI - 1967).

As eclusas de média e grande queda não têm sido projetadas para funcionar com portas abertas, devido sobretudo ao problema da dissipação de energia da água que tomba no muro de queda. Êste problema pode ser, porém, resolvido pelo estudo em modêlo reduzido, de um muro de queda formando uma clássica soleira vertente, inclusive com dissipador de energia. Tal solução acarreta um aumento no comprimento da eclusa e exige um sistema de proteção para as embarcações como os pára-choques das portas, porém não cria maiores dificuldades para a navegação. O aumento do volume de água para encher a câmara deve ser justificado por um estudo econômico. Assim, por exemplo, uma eclusa de 17 m de largura, com 25 m de desnível, munida de uma soleira Creager normal no muro de queda, permitiria a passagem, com 8 m de lâmina sôbre a soleira (4 m em águas mínimas, mais 4 m para enchente excepcional) de uma vazão de cêrca de 850 m^3/s. A soleira vertente exigiria um aumento de comprimento da câmara, para conservar o mesmo comprimento útil, de cêrca de 24 m (figura 21). O volume extra de água consumido por eclusagem (no nível máximo) corresponderia a cêrca de 5.000 m^3. Uma alternativa para economizar êste volume seria colocar a porta de montante abaixo da soleira, como indicado na figura 21.

O muro de queda vertical, dada a baixa freqüencia com que será utilizado, não apresenta um inconveniente muito grande para o escoamento, desde que previsto um sistema que garanta o descolamento da veia líquida. A dissipação da grande energia da água na câmara é que seria o principal problema. O rebaixamento do fundo da eclusa, formando uma bacia de amortecimento,

seria uma forma de contornar esta dificuldade. Outra solução seria a conjugação do escoamento pela porta de montante com o escoamento pelo sistema de enchimento, o que, além de aumentar a vazão desviada pela obra, permite maior dispersão de energia e evita assoreamentos no circuito hidráulico.

Um aumento considerável da vazão escoada pela eclusa pode ser obtido pelo rebaixamento ou, mesmo pela eliminação do muro de queda. Em conseqüencia, tem-se um aumento da altura da porta de montante, que, no caso limite, seria igual a de jusante (sem máscara). Podemos sugerir o emprêgo de um tipo especial de porta, no qual, para as necessidades da navegação, bastasse movimentar a parte superior (por exemplo, com um sistema de comporta plana levadiça de vários elementos sobrepostos). A movimentação total da porta só seria feita quando a eclusa funcionasse como extravasor. Para alturas elevadas, evidentemente é necessário verificar se as velocidades atingidas sem muro de queda, no interior da câmara e nos acessos, não ultrapassam valores aceitáveis, inclusive para permitir o corte do fluxo líquido.

Cuidados especiais devem ser previstos quando a eclusa funciona como extravasor, visando a proteção dos acessórios móveis existentes no interior da câmara (cabeços de amarração flutuantes, articulações de portas, sistemas de proteção, etc.) que devem ser projetados tendo em vista esta possibilidade. Os orifícios de enchimento e esgotamento, os buscos, as reentrâncias das portas, apoios dos "stop-logs" e escadas também deverão ser construídos considerando-se as altas velocidades que poderão ocorrer e os esforços resultantes.

É, também, necessário prever possíveis abrasões provocadas pelo atrito do material sólido arrastado pelas águas, quando a descarga sólida é muito elevada nas enchentes. Proteções especiais, como revestimento de pedra ou mesmo de chapas de aço deverão sem empregados neste caso particular (como aliás tem sido feito nas mencionadas eclusas do rio Danúbio), sendo, porém, de se notar que um estudo econômico deverá justificar êstes cuidados, dada a fraca probabilidade de escoamento pela eclusa e as facilidades de reparação sempre existentes no interior da câmara.

A deposição de material sólido na câmara não é problema sério, pela raridade com que se daria e pela possibilidade de manutenção e limpeza, através do esgotamento total da câmara, que aliás deverá sempre ser previsto visando a manutenção normal da eclusa. O mesmo podemos dizer de possíveis erosões do fundo da câmara pelo impacto d'água, no caso de muro de queda ver-

tical. Atenção particular deve ser dada a êste aspecto, pois, devido à grande energia do jato livre, podem ocorrer ràpidamente grandes estragos, que levariam até a ruína da obra.

Merece ser lembrada a utilização particular das eclusas como vertedouros, adotada no aproveitamento múltiplo do rio Vah (Tchecoslováquia). No esquema dêste aproveitamento, que prevê várias usinas hidroelétricas com 10 a 24 m de queda em canais navegáveis ligando diversos reservatórios, as eclusas acopladas às usinas, além da função de órgão de transposição para as embarcações, têm a função de permitir o escoamento da vazão, não absorvida pelas turbinas, necessária à alimentação das usinas de jusante (CABELKA e PUZANOV - 1957). No caso particular, esta função acessória não conduz a grandes dificuldades para a navegação, dado que as instalações hidroelétricas funcionam como usinas de ponta, ùnicamente algumas horas por dia. As portas de montante das eclusas, do tipo "alhetas com articulação inferior", são providas de sistema especial de dissipadores de energia e aeradores, que reduzem o impacto contra o fundo das câmaras.

Para as escadas de eclusas e eclusas de câmara múltipla são válidas considerações análogas às feitas para as eclusas simples. Há apenas a considerar que, além dos problemas de cada eclusa em particular, existem problemas de escoamento nos canais intermediários, que deverão ser projetados para receber a vazão máxima desviada através da obra, o que evidentemente poderá encarecer consideràvelmente o custo total, tornando mesmo contra indicada a utilização acessória da obra como extravasor de cheias.

2.2.2 - Elevadores verticais

Os elevadores verticais, como vêm sendo construídos até agora, não se prestam para o escoamento de cheias através de suas estruturas. É de se convir, porém, que todos os elevadores construídos equipam canais artificiais, portanto em condições totalmente diversas das aqui visadas. O único elevador vertical projetado para um aproveitamento múltiplo que temos conhecimento, foi o da barragem Ust-Kamernogorsk, no rio Irtysh (Rússia) que não chegou a ser construído, sendo preterido por uma eclusa simples, como já assinalamos. Êste elevador seria ligado ao reservatório através de uma ponte-canal integrada à estrutura da barragem. Há poucos detalhes sôbre êste projeto (ZINEVICH - 1957), mas nada indica que houvesse qualquer previsão para sua utilização com outra finalidade além da de passagem das embarcações.

De um modo geral, os elevadores hidráulicos e flutuantes dificilmente poderiam ser adaptados para dar passagem a uma lâmina líquida, exceto talvez, muito eventualmente, no sistema de flutuantes em tôrres, proposto por Faure. Os elevadores funiculares poderiam ser adaptados a uma soleira vertente, com uma movimentação horizontal da cuba, concomitante com o movimento vertical. Um sistema semelhante a esta concepção foi estudado pela firma August Klönne, como mencionamos no Capítulo I. A cuba poderia mesmo apoiar-se e ser guiada sôbre o perfil de um **vertedor** e afastada da lâmina d'água líquida durante o escoamento, por um deslocamento vertical que inclusive poderia ser feito com a câmara esgotada. Apesar da grande estrutura que uma solução dêste tipo requeréria, as vantagens de integração da mesma no conjunto do aproveitamento múltiplo fazem que mereça certa atenção, especialmente visando as pequenas embarcações de recreio que causam grandes transtornos nas modernas obras de transposição. Aliás, cabe assinalar que algo semelhante foi estudado para as barragens Morris, no rio Clinch e a barragem Bagnell, no rio Osage, nos Estados Unidos (GRIMM e MACKENZIE - 1949) e que soluções parecidas vêm sendo indicadas por Grzywienski (GRZYWIENSKI - 1948).

2.2.3 - Planos inclinados

Os planos inclinados não permitem o escoamento através de suas obras civis. Os cuidados que requerem as linhas férreas, sem outras considerações, impedem totalmente a passagem da água em grande velocidade. Como única alternativa viável, poderia ser imaginada uma via de rolamento elevada, formando um verdadeiro canal no qual mover-se-ia a cuba. O alto custo de uma tal solução afasta suas possibilidades executivas.

2.2.4 - Rampas hidráulicas

As rampas hidráulicas, dos diversos tipos de ascensores, são as que melhor se prestam para funcionar eventualmente como extravasor de cheias. De fato, mediante mínimas adaptações na porta de montante, que deverá ser prevista para regular e interromper o escoamento líquido, pode-se soltar pelo canal de grande declividade vazões elevadas, sem qualquer problema seja para a obra seja para o sistema propulsivo (trator e máscara). A dissipação de energia na saída de jusante é facilitada pela conformação especial que deve ser dada ao trecho final da rampa hidráulica, visando a entrada das embarcações (figura 15). Evidentemente, um estudo detalhado do problema se impõe em cada caso particular.

Biblioteca da Escola Politécnica
São Paulo
E 1159

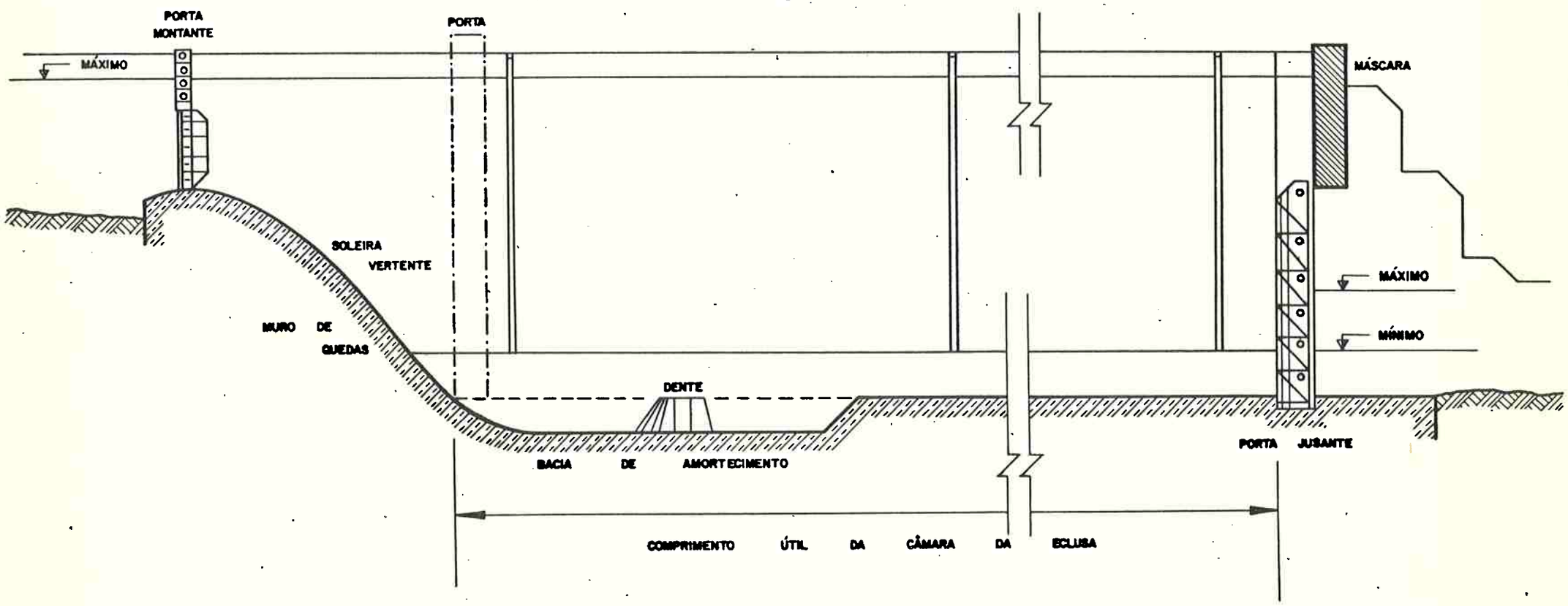


FIGURA 21

ESQUEMA DE UMA ECLUSA DE DESNÍVEL MÉDIO COM MURO DE QUEDA EM FORMA DE SOLEIRA VERTENTE COM DISSIPADOR DE ENERGIA

Para uma rampa hidráulica prevista para receber embarcações com 2,50 m de calado e 50 m de comprimento, tendo 12 m de largura, com rampa de 5%, o cálculo mostra a possibilidade de escoar cêrca de 800 m^3/s, desde que a soleira de montante seja situada em cota conveniente.

2.3 - Utilização das obras de transposição de desnível como descarregadoras de fundo

Os órgãos de descarga de fundo das barragens de grande e média queda visam permitir o esvaziamento do reservatório para possibilitar inspeções e reparações e, eventualmente, permitir a passagem de material sólido através do barramento. Esta última utilidade é, em geral, de pouca aplicação nos aproveitamentos múltiplos de grande porte, onde a considerável dimensão dos reservatórios faz com que dificilmente os assoreamentos atinjam as proximidades das barragens, pelo menos durante um longo período após a construção.

O uso pouco freqüente dos descarregadores de fundo, que tem levado muitos projetistas a dispensar sua instalação, se coaduna com um eventual emprêgo da obra de transposição para esta finalidade. De fato, a prática demonstra que o esgotamento pelo fundo só é realizado em situações extremas, cuja freqüência não chegaria quase a prejudicar a navegação.

De duas formas podemos conceber a utilização da obra de transposição como elemento de esgotamento do reservatório: pelo escoamento através da própria obra, ou pela utilização do canal de acesso de jusante para descarga da vazão suplementar. A segunda forma dificilmente poderá ser de interêsse, porquanto, em geral, há espaço disponível para a localização das comportas de fundo no corpo da barragem ou na própria estrutura vertedoura, em posições mais favoráveis que junto às obras de transposição.

Parece porém difícil escoar as vazões elevadas necessárias ao esvaziamento dos reservatórios de grandes rios ùnicamente através da obra de transposição, até uma cota bastante baixa. De tôda a forma, pode-se imaginar o funcionamento da obra de transposição como elemento auxiliar do esvaziamento ou como descarregador de "meio fundo", de grande utilidade para manutenção das tomadas d'água em geral.

As eclusas, quando previstas para funcionar como descarregadoras de cheias, podem facilitar o esgotamento total ou parcial do represamento dependendo da vazão de alimentação da retenção e da cota da soleira da por

ta de montante. Sob êste ponto de vista, há também interêsse em reduzir o mais possível a altura do muro de queda, ou mesmo eliminá-lo, o que, como já referimos, tem outras vantagens.

O sistema de enchimento da câmara pode ser empregado como auxiliar de descarregamento de fundo, bastando para tal que as tomadas d'água sejam localizadas em profundidade conveniente e que os aquedutos e válvulas possam funcionar totalmente em aberto. Nota-se que os sistemas hidráulicos que vêm sendo adotados para eclusas de queda superior a 10 m, satisfazem bem estas exigências. Assim, por exemplo, para uma eclusa como de Bariri, onde foram previstos dois aquedutos longitudinais com seção circular com área total de 13,75 m^2, para uma carga de 10 m é possível escoar cêrca de 100 m^3/s (MOURA - 1961) valor que pode ser considerável em face da vazão afluente do rio no período de estiagem.

As eclusas de câmara múltipla bem como as escadas de eclusas são dificilmente adaptáveis para auxiliar o esvaziamento do reservatório.

Os ascensores de embarcação, também não se prestam a esta finalidade, com exceção dos "elevadores com câmara submersível", como o proposto por Rothmund. Neste sistema é prevista a passagem das embarcações por uma porta estanque no fundo do reservatório. Esta porta poderia ser prevista para permitir o escoamento d'água, funcionando, então, como descarregador de fundo, o que aliás seria recomendável para a própria segurança de obra de transposição.

2.4 - Utilização das obras de transposição de desnível para passagem de peixes

A maioria dos aproveitamentos múltiplos que vêm sendo construídos no Brasil não contém qualquer sistema que permita a passagem dos peixes através das barragens. O custo dêstes sistemas é muito elevado, existindo ainda dúvidas quanto à sobrevivência, a longo prazo, das espécies migratórias que povoam nossos rios, quando os mesmos forem totalmente canalizados, devido sobretudo à variação artificial a que ficarão sujeitos os níveis dos reservatórios. A orientação geral que vem sendo seguida com respeito a êste problema é a de povoamento dos lagos artificiais com espécies não migratórias para garantir o necessário equilíbrio biológico.

De tôda forma, a necessidade de previsão de passagem dos pei-

xes através das barragens requer ainda estudos e a possibilidade de utilização das obras de transposição das embarcações com esta finalidade, como órgão único ou auxiliar, merece ser cogitada.

A principal dificuldade para subida do desnível pelos peixes, é atrair os animais aos locais convenientes, especialmente nos rios largos. Diversos sistemas têm sido ensaiados para provocar esta atração, porém, ao que tudo indica, a forma mais exeqüível é a atração pela velocidade da corrente (nos países frios também tem tido certo sucesso a atração por aquecimento da água).

Cabe lembrar que a descida dos peixes através da barragem não apresenta dificuldade pois a experiência tem demonstrado que êles passam fàcilmente pelos vertedores de superfície ou extravasores de fundo e até mesmo, os de pequeno porte, pelas grandes turbinas.

Outrossim, devemos notar que a subida dos peixes nos rios brasileiros ocorre em um período certo, de curta duração, a chamada "piracema", o que faz com que o uso eventual das obras de passagem das embarcações com esta finalidade não prejudique muito a navegação.

Nos Estados Unidos considera-se que, para o salmão, a máxima queda que pode ser vencida nas escadas de peixe clássicas é de cêrca de 30 m. Estas limitações que foram decisivas para a concepção do projeto de canalização do rio Columbia e seu afluente o rio Snake (RICHARDSON et al. - 1957)não devem ser perdidas de vista na análise do problema.

O emprêgo das eclusas de câmara simples ou múltipla e mesmo de escadas de eclusas para a passagem dos cardumes é possível desde que sejam projetadas visando tal finalidade. Na Rússia, ensaios neste sentido vêm sendo feitos sistemàticamente nas eclusas Tsimlyanski, no rio Don, Ust'Manich, no rio Manich, Keguns no rio Daugava e Aparin no rio Severnyi Douets (MINISTRY FOR CONSTRUCTION OF ELECTRIC POWER - 1964) com resultados satisfatórios.

A atração dos peixes para a câmara pode ser realizada pela abertura parcial da porta de montante, com a porta de jusante totalmente aberta, de forma a obter no canal de acesso velocidades da ordem de 0,50 a 1 m/s. Uma vez constatada a entrada de um número considerável de espécimens na câmara, a porta de jusante é fechada e a câmara cheia pelo sistema normal. A saída dos peixes é conseguida pela abertura de montante e escoamento pela mesma

obtido pela abertura da válvula de esgotamento da eclusa.

Também com esta finalidade, constatamos a vantagem de ser reduzida a altura do muro de queda, a fim de facilitar a saída dos peixes da câmara.

As portas levadiças ou baixadiças ou de outros modelos que permitam o escoamento com abertura parcial são recomendáveis para êste uso eventual das eclusas. Todavia, mesmo com portas de abertura total e até com portas que não possam ser movidas em carga é possível, mediante um conveniente uso do sistema hidráulico de enchimento e esgotamento da câmara, prever várias maneiras para permitir a passagem de peixes por eclusadas sucessivas. Será, porém, necessário estabelecer correntes na câmara com velocidades mínimas da ordem de 0,30 m/s, para que haja a movimentação dos cardumes.

É de se assinalar que as barragens do rio Columbia dispõem de "eclusas para peixes", de funcionamento semelhante ao que descrevemos e que vem operando há muitos anos, a inteiro contento. Em particular, a barragem de Bonneville tem 6 eclusas dêste tipo, com 9 m de comprimento por 6 m de largura, vencendo uma queda máxima de 15 m (DAVIS - 1956).

Para as eclusas de navegação sem muro de queda, pode-se obter a passagem dos peixes diretamente pelas portas, desde que haja uma certa dissipação de energia a fim de que as velocidades não ultrapassem os valores admissíveis. Esta dissipação de energia poderá ser obtida em parte na própria câmara da eclusa, com uma abertura parcial maior da porta de montante que da de jusante. Neste caso, a eclusa de navegação passa a funcionar de forma análoga às "eclusas de pressão" para peixes instaladas em caráter experimental na barragem McNary. Merece ser lembrado que estas instalações experimentais parecem não ter logrado êxito, pois não foram repetidas nas outras obras do rio Columbia.

Quando o aproveitamento múltiplo dispõe de um sistema especial para a passagem de peixes, é possível integrá-lo com a eclusa de navegação de forma a utilizar como chamariz, parte da água lançada fora no esgotamento da câmara da eclusa, poupando assim volumes consideráveis de água. O inconveniente da descontinuidade da descarga pode ser contornado por um circuito hidráulico conjugado ao da eclusa, que garanta um fluxo quase contínuo. Êste circuito poderá utilizar, em parte, os aquedutos de enchimento da eclusa e, em particular, a mesma tomada de água.

Para o funcionamento em conjunto da eclusa e da escada de peixes, é suficiente implantar as bôcas de restituição da câmara próximas à entrada da escada, o que pode ser facilitado pela localização justaposta ao muro de ala da eclusa, que é, aliás, a disposição adotada no rio Columbia.

Os diversos tipos de ascensores podem ser utilizados para permitir a subida dos peixes, utilizando-se a cuba, cheia de água, como veículo portador. Existem algumas instalações especiais destinadas exclusivamente à passagem de peixes, em quedas muito elevadas, em tudo semelhantes aos planos inclinados para navegação. Como exemplo podem ser citados os "elevadores de peixes" existentes em algumas barragens européias, compostos de duas cubas ligadas por sistema funicular, que correm sôbre rampas formando um plano inclinado.

O maior problema para a utilização dos ascensores de embarcação para transporte de peixes é a obtenção de correntes líquidas nos acessos de jusante com velocidades suficientes para atrair os cardumes. Êste problema pode ser resolvido seja pela alimentação por gravidade a partir do estirão superior, seja por circuito especial de bombeamento. Neste último caso, pode-se prever a utilização de bombas com múltiplos usos, como aceleração da entrada e saída das embarcações, esgotamento da câmara, drenagem do berço da cuba e mesmo outros empregos na usina e na barragem.

A retirada dos peixes da câmara no nível superior pode ser feita artificialmente com rêdes prèviamente dispostas, como adotado nas instalações especiais referidas acima.

Os canais das rampas hidráulicas poderiam eventualmente ser adaptados para servirem também como escadas de peixe, dado que nas instalações longitudinais as inclinações de ambos equipamentos são da mesma ordem de grandeza. Os grandes desníveis que as rampas hidráulicas devem vencer não parecem porém possíveis de serem galgados por simples escadas de peixe.

Pode-se todavia prever a elevação mecânica dos cardumes nas rampas hidráulicas de forma análoga a que é feita com as embarcações. Neste caso particular, a atração dos peixes é fácil de obter pela descarga de uma vazão apropriada pelo canal.

2.5 - Utilização dos guindastes do aproveitamento múltiplo nas obras de transposição de desnível

Os aproveitamentos múltiplos dispõem sempre de uma série de guindastes de alta capacidade, móveis sob forma de pontes rolantes ou guindastes-pórticos. Êstes equipamentos, destinados sobretudo a serviços de manutenção e reparo ou a movimentação de comportas nas enchentes, podem ser utilizados com outras finalidades além daquelas para as quais são especificamente destinados.

Devido a baixa freqüência de seu emprêgo normal, podemos prever a utilização dêstes guindastes nas obras de transposição, ao menos numa fase inicial em que o tráfego fluvial ainda não fôr muito intenso. Evidentemente, a utilização proposta pode requerer adaptações especiais nem sempre econômicamente recomendáveis. Em particular, os guindastes-pórticos de uso muito difundido atualmente nas grandes barragens, devido à sua mobilidade prestam-se a estas utilizações múltiplas sem modificações importantes, podendo, em certos casos, ser justificável seu emprêgo, ainda que imponha certas restrições à navegação e à operação normal do conjunto.

O equipamento de alçamento de carga existente numa barragem de aproveitamento múltiplo com usina hidroelétrica é composto essencialmente do sistema de manobra das comportas do extravasor, do sistema de manobra das comportas de segurança das tomadas d'água e canal de fuga da usina e do sistema de elevação dos grupos geradores. Eventualmente, podem ainda existir sistemas de limpeza das grades de tomada d'água, sistemas de manobra de canais de desvio,etc.

Geralmente as comportas do extravasor são movimentadas cada qual por um sistema independente. Quando, porém, o número de luzes é elevado (grandes rios) pode ser mais indicado o emprêgo de um sistema único de manobra, móvel, que atenda a tôdas as comportas. Utilizam-se, então, guindastes-pórticos móveis sôbre trilhos e, no mínimo, duas unidades idênticas por motivo de segurança, capazes de mover isoladamente cada comporta. Êstes pórticos servem, também, muitas vêzes, para a movimentação do sistema de vedação de emergência dos vertedores.

Para o fechamento de emergência das tomadas d'água das usinas hidroelétricas, há duas soluções: a utilização de comportas de fechamento rápido, para proteção das turbinas, ou um sistema de fechamento lento indicado

para turbina do tipo Kaplan. Na segunda solução é possível o uso dos guindastes-pórticos utilizados no extravasor, que podem inclusive ser equipados de limpa-grades. Se empregado um sistema de fechamento rápido há necessidade de mais um guindaste móvel para operação dos "stop-logs" e limpa-grades.

A vedação do canal de fuga das usinas hidroelétricas é garantida, em geral, por "stop-logs" convencionais movimentados por ponte rolante ou pequenos guindastes móveis.

O aparelho de fôrça de maior capacidade do aproveitamento múltiplo é o sistema de elevação dos grupos geradores. Para a maioria dos tipos de grupos utilizados em usinas de baixa e média queda com grande vazão é necessário dispor de meios de movimentar o conjunto alternador-turbina e a tendência a aumentar cada vez mais a potência dêstes grupos conduz a guindastes de capacidade muito alta (400 ton na usina de Jupiá, por exemplo).

Nas usinas dos tipos "a céu aberto" (out-door) e "semi-cobertas" (semi-out-door), utiliza-se guindastes-pórticos para movimentar os grupos, como nas barragens Kentucky, no rio Tennessee e Barnhardt, no rio São Lourenço. Nas usinas cobertas, com uma casa de máquinas pròpriamente dita, utiliza-se normalmente pontes rolantes para o mesmo mister.

Como exemplo de equipamento de uma grande barragem de múltiplas finalidades, podemos citar a barragem de Ilha Solteira, que, segundo o ante-projeto mais recente, disporá de dois guindastes-pórticos para movimentação dos "stop-logs" das comportas do vertedouro, com 30 ton de capacidade de elevação cada um; dois guindastes pórticos para movimentação dos "stop-logs" das tomadas d'água da usina, com capacidade de elevação de 70 ton cada um, e dois guindastes-pórticos para manutenção dos grupos, com capacidade de carga total de 500 ton. Êstes últimos terão cêrca de 20 m de vão e 16 m de altura livre.

O equipamento de movimentação das comportas dos vertedores, por estar em geral em cota superior a da máxima retenção e muitas vêzes caminhar em direção alinhada com a extremidade superior do órgão de navegação, presta-se para operar as portas de montante do sistema de transposição. Igualmente, o equipamento de operação das ensecadeiras de emergência dos vãos vertentes e das tomadas d'água podem ser utilizados para o fechamento provisório da cabeça superior das eclusas e ascensores. Estas utilizações múltiplas dos guindastes são muito facilitadas se fôr adotada uma certa uniformidade de mo

delos e dimensões para as diferentes comportas. Cabe ressaltar que as dimensões econômicas das comportas, em geral, não se afastam muito das dimensões usuais das portas de montante das eclusas e ascensores. Como exemplo, podemos indicar que, na barragem de Barra Bonita, a porta montante da eclusa terá 12 m de largura por 9,50 m de altura, enquanto que as comportas do vertedor tem 11,60 m de largura por 6 m de altura total.

A utilização dos guindastes da usina hidroelétrica nas eclusas é mais difícil devido a diferença de cotas dos planos de rolamento. No caso de quedas não muito altas, digamos até 25 m, é possível prever os pórticos da central como equipamento de manutenção e mesmo eventualmente de operação da porta de jusante da eclusa, o que é do maior interêsse, visto serem aquêles pórticos os mais potentes do conjunto e estas portas, em geral, muito pesadas (a de Ice Harbour pesa cêrca de 700 ton e a de Donzère Mondragon 160 ton). Assim para a barragem de Jupiá, com altura de queda de 24,50 m, na alternativa de projeto com usina semi-coberta, o caminho de rolamento do pórtico principal da usina, estaria situado na cota 275 m, enquanto que o coroamento dos muros de ala está na cota 281 m e o limite inferior da máscara da eclusa, e portanto da extremidade da porta plana levadiça, na cota 270,50 m. Êstes valores mostram bem a possibilidade de utilizar os pórticos da usina, se a posição relativa das obras o permitisse, para mover a porta jusante da eclusa, através de uma passarela situada a meia altura na máscara.

É de se notar que, de um modo geral, a utilização dos guindastes pórticos da usina hidroelétrica nas obras de transposição exige uma rotação dos mesmos pois, normalmente, na usina, o vão maior do pórtico é perpendicular à direção do eixo da barragem e, na utilização nas eclusas e ascensores, deveria ser pelo contrário, paralelo. Esta rotação pode ser obtida por uma placa girante, como a adotada nos projetos de Grzywienski a que nos referimos (GRZYWIENSKI - 1953).

Podemos ainda apontar o emprêgo do equipamento de operação das comportas de emergência dos canais de fuga para fechamento de emergência das extremidades inferiores das eclusas e ascensores, sobretudo indicado pelo caráter eventual dos dois usos.

O uso de cábreas flutuantes para a movimentação dos órgãos provisórios de fechamento do aproveitamento múltiplo pode também ser recomendável, prestando-se um equipamento dêste tipo a um grande número de utilizações, inclusive em diversas obras de um mesmo curso d'água, como adotado nas barragens inferiores do rio Tennessee.

Finalmente podemos lembrar o emprêgo eventual do sistema elevatório dos grupos geradores como equipamento auxiliar de elevadores verti-- cais de embarcações e mesmo como ascensores para pequenos barcos de recreio (GRIMM e MACKENZIE - 1949). Outro emprêgo que pode ser sugerido é o de guindaste para contenedores (containers) anfíbios ou mesmo para contenedores transportados por embarcações que não galgariam o desnível.

2.6 - Utilização comum dos elementos de vedação provisória do aproveitamento múltiplo nas obras de transposição

As obras de transposição de desnível sempre devem ser munidas de um sistema de comportas de vedação provisória que permita a inspeção e manutenção a sêco das portas e da câmara. Como já referimos, em muitos casos é recomendável o emprêgo de um sistema de emergência capaz de interromper o fluxo e ser movimentado sob cargas hidráulicas.

Dentro da idéia de integração da obra de transposição de em-- barcações no aproveitamento múltiplo, pode-se sugerir o emprêgo comum dos elementos vedantes provisórios nos vários órgãos da barragem como tomadas d'água, soleiras vertentes, comportas de fundo, etc., dado principalmente o caráter eventual de uso dêstes elementos. Esta utilização comum tem ainda maior interêsse tendo-se em vista o emprêgo de um mesmo equipamento de operação.

A maior dificuldade para a utilização de um mesmo equipamento para obturar provisòriamente diversos vãos prende-se às diferenças das dimensões e em especial, das larguras das aberturas. Na obra de transposição, na cabeça de montante e na de jusante, a distância entre paredes laterais é a mesma, o que sempre permite o uso de comportas provisórias idênticas. Para os demais órgãos da barragem porém, é necessário procurar uma padronização, que terá de ser baseada nas dimensões do vão navegável que são fixadas em função de outros fatôres (dimensão dos barcos) além do custo. Uma forma de contornar esta dificuldade é a utilização de comportas em elementos múltiplos, que possibilitem a utilização em vãos de diversos tamanhos. A sub-divisão em elementos parciais tem ainda a vantagem de facilitar a movimentação e o transporte das peças de um a outro local da retenção.

Dentre os diversos sistemas de vedação provisória utilizados nas obras de transposição, em particular nas eclusas norte-americanas e que podem ser empregados em vários locais além dos habituais "stop-logs" de vi--

gas horizontais, merecem ser citados os seguintes, que, de acôrdo com os técnicos americanos, são os mais recomendáveis (BLEE - 1951):

Fechamento sem escoamento:

I) - Agulhas apoiadas na soleira e em estrutura horizontal removível ou móvel verticalmente (meedle-dam), utilizado na antiga eclusa Wheeler.

II) - Agulhas apoiadas em estrutura formada por cavaletes articulados no fundo (tipo Poirée), utilizado na eclusa Pickwick.

III) - Caixões flutuantes apoiados na soleira e em uma estrutura horizontal removível, como os projetados para a barragem de Jupiá e Kentucky (não adotados em nenhuma das duas barragens).

Fechamento com escoamento:

I) - Vigas com movimento de rotação no plano vertical, articuladas em ponte-móvel (bridge-dam), utilizado na antiga eclusa de Sault St.Marie.

II) - Estruturas horizontais sobrepostas, com sistema de rolamento (lift-type), utilizado na eclusa de Bonneville (rio Columbia).

Todos êstes sistemas prestam-se para utilização em vários locais das retenções de aproveitamentos múltiplos. Além dêstes, em princípio, todos os sistemas de barragens móveis clássicos podem ser empregados para fechamento provisório e muitos adaptados para uso comum em diversos órgãos.

Cabe finalmente lembrar que os sistemas tipo "stop-logs" de vigas horizontais sobrepostas, encaixadas em ranhuras verticais nos muros ou pilares, parecem ser os mais simples. A adaptação dêstes sistemas para interrupção de fluxo líquido em grandes vãos, segundo estudos feitos em modelos nos laboratórios norte-americanos ("Bonneville Hydraulics Laboratory" e "Waterways Experiment Station"), não é recomendável (RICHARDSON - 1964). Esta conclusão não concorda com os resultados obtidos por Grzywienski para um tipo de estrutura patenteada (GRZYWIENSKI - 1959).

2.7 - Inclusão das obras de transposição de desnível nas estruturas das barragens

Como referido anteriormente, de um modo geral os sistemas de

transposição de embarcações são projetados nos aproveitamentos múltiplos desvinculados do conjunto da obra, obedecendo aos mesmos princípios adotados clàssicamente para os canais artificiais e canalizações com barragens móveis. No nosso entender, em certos casos, é possível uma integração estrutural das obras com economias ponderáveis no conjunto.

A construção da eclusa transversal ao eixo da barragem é, de certa forma, uma integração, pois permite a economia do trecho da estrutura correspondente à largura da câmara. Dentro desta ordem de idéias pode-se conceber a construção da eclusa longitudinalmente ao eixo das barragens de tal forma que os muros de ala fiquem fazendo parte integrante da estrutura de retenção do reservatório. Para eclusas longas, poderia desta forma ser obtida uma economia considerável. Do ponto de vista da navegação êste arranjo acarreta dificuldades de acesso, sobretudo a jusante, porquanto exige uma manobra difícil em zona em geral perturbada pelo escoamento dos canais de fuga da usina e vertedor. Em barragens longas, em rios largos parece, porém, possível adotar esta disposição.

Uma solução intermediária, com a eclusa oblíqua ao eixo da barragem, daria maior facilidade de acesso. Em certos casos particulares, onde motivos topográficos ou geológicos levam a quebrar o alinhamento do eixo, a eclusa pode servir de concordância, resultando uma disposição bastante favorável.

A fim de facilitar o acesso das embarcações à eclusa situada fora da direção do canal navegável, pode ser utilizado um sistema de jatos d'água, como o proposto para acomodação das embarcações nas garagens de espera e na entrada dos planos inclinados transversais (VADOT et al. - 1965). Esta técnica recente não teve ainda aplicação prática, tendo sido porém experimentada com sucesso em modelos reduzidos (AUBERT - 1967).

Outra forma de integrar a eclusa no conjunto do aproveitamento múltiplo com barragens de grande altura seria a utilização do extravasor de cheias do tipo poço vertical com túnel horizontal ("tulipa" ou outros) como "eclusa de poço" com acesso pelo canal de descarga. Uma solução dêste tipo foi proposta para a barragem de Amaria, no rio Konkouré, na ex-Guiné Francêsa. Esta barragem teria cêrca de 65 m de altura e nível d'água de jusante pràticamente constante. A excelente rocha do local permitiria a escavação do poço extravasor necessário ao escoamento das enchentes extraordinárias com uma seção suficiente para receber as embarcações. O acesso inferior seria por

um túnel de descarga com algumas centenas de metros e munido de uma porta de pressão na extremidade interna. Pelo extravasor escoaria uma descarga máxima de 2.500 m^3/s contando para tanto o poço-eclusa com uma seção ovóide de 62 m x 12 m. A velocidade de variação de nível d'água no poço, quando funcionando como eclusa, seria de 3 m/min (Intervenção do Prof. Aubert, no XIXº Congresso Internacional de Navegação) (AUBERT - 1957).

Na aplicação referida, a qualidade da rocha e a variação mínima de nível de jusante foram o fatôres que levaram à adoção dêste esquema. Outras condições, como tipo de estrutura da barragem, condições topográficas, etc., poderiam também acarretar soluções semelhantes para altas quedas e grandes vazões de enchente.

Os elevadores verticais podem utilizar o paramento da barragem como muro de queda e mesmo como guias do movimento vertical, evitando-se a clássica ponte-canal ou os longos diques elevados que acompanham estas obras nos canais artificiais (ponte-canal de Fontinettes 25,75 m, ponte-canal de Niederfinow 156 m). É de se notar que a única obra dêste gênero projetada para uma barragem, o elevador vertical funicular de Ust-Kamernogorsk, a que já nos referimos, não prescindia da ponte-canal, ao que parece devido às grandes variações do nível d'água no reservatório (a ponte-canal seria utilizada como eclusa de guarda).

Os planos inclinados, rampas hidráulicas e escadas de eclusas, por terem uma longa extensão, não se prestam para serem incluídas na estrutura das barragens.

CAPÍTULO III

CONDIÇÕES QUE DEVEM SER ATENDIDAS NAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

As obras de transposição de desnível, do ponto de vista da navegação, devem atender às seguintes condições básicas:

Segurança: os riscos corridos pelas embarcações nas passagens de nível não devem ultrapassar os riscos normais de navegação.

Adaptação às embarcações: a obra de transposição deve ser apta a receber as embarcações mais convenientes para a via fluvial.

Capacidade de tráfego: pela obra de transposição deverá poder transitar, num período determinado, um número de embarcações capaz de transportar a tonelagem de carga prevista.

Rapidez da passagem: o tempo gasto pelas embarcações para vencer o desnível, deverá ser mínimo.

Estas quatro condições são, até certo ponto, contraditórias; opõem-se à condição de mínimo custo, sendo, portanto, necessário obter uma solução de compromisso, especialmente em relação à condição de rapidez da passagem, a fim de que o custo total da obra seja comensurável com os benefícios obtidos pela navegação. Requisitos mínimos são, porém, essenciais para que o meio de transporte possa ser utilizado econômicamente.

Para as aquavias existentes e, mesmo, para as novas aquavias integradas numa rêde navegável, é relativamente simples fixar os requisitos mínimos a serem satisfeitos pela obra de transposição. Para novas hidrovias, sobretudo as implantadas em regiões onde não há navegação como meio de transporte econômico, esta fixação é complexa pois exige hipóteses que só podem ser fixadas com base na experiência obtida em circunstâncias, muitas vêzes, bastante diversas.

A importância relativa das condições básicas referidas, varia em função de vários fatôres, inclusive estranhos à navegação. Assim é que, por exemplo, nas hidrovias norte-americanas é dada grande importância à condição quatro, devido ao alto custo operacional dos comboios que transitam pelas mesmas; nas hidrovias européias, onde tradicionalmente não há navegação noturna, a rapidez de passagem pelas obras de transposição é condição mais secundária.

Destas quatro condições básicas, decorrem as duas características fundamentais das obras de transposição: dimensões da câmara e tempo de passagem (entendido êste como o tempo necessário para as embarcações transitarem normalmente de um nível d'água a outro).

As obras de transposição integradas nos aproveitamentos múltiplos ficam sujeitas a algumas limitações diversas das existentes nas vias fluviais simples, exigindo, portanto, uma análise particular diversa da comumente adotada. A seguir, examinaremos as quatro condições básicas visando particularmente a determinação das características fundamentais das eclusas e ascensores em novas hidrovias não ligadas a rêdes de navegação prèviamente e-- xistentes.

2 - SEGURANÇA

A segurança da navegação exige que a passagem das embarcações através da obra de transposição de nível ocorra sem riscos suplementares e que a própria obra não seja sujeita a acidentes que ponham em risco não só as embarcações em tráfego, como também seus operadores e demais usuários do curso d'água.

Examinaremos, inicialmente, a segurança das embarcações em tráfego normal, deixando para um exame posterior a segurança pròpriamente dita das eclusas e dos diversos tipos de ascensores. Desde logo porém, pode-- mos assinalar que os acidentes com as obras de transposição são extremamente raros, porquanto cuidados especiais são sempre tomados e uma grande experiência no assunto, permite a elaboração de projetos inteiramente satisfatórios. Mesmo os inconvenientes que, em certos casos, poderiam causar riscos sistemáticos às embarcações em trânsito, podem ser contornados através de um aumento do tempo de operação, deixando assim de serem problemas de segurança para serem problemas de eficiência de tráfego.

2.1 - Segurança das embarcações em tráfego normal

Cabe lembrar inicialmente que, sendo a obra de transposição um obstáculo isolado da via navegável, as embarcações não devem ser projetadas tendo em vista o que nelas possa ocorrer, sob pena de encarecimento do transporte. Esta consideração é que contra indica a transposição "a sêco", o emprêgo de "portadas de navegação" e outras soluções que exigem embarcações especialmente construídas para resistirem aos esforços extraordinários a que ficariam sujeitas nestas circunstâncias eventuais. Assim sendo, pelo menos dentro da técnica usual, deve-se admitir que as obras de transposição devem ser adaptadas às embarcações e não às embarcações às obras.

Em tráfego normal, o principal risco é o choque contra outras embarcações ou contra estruturas fixas. Devido às grandes tonelagens em movimento, mesmo choques com pequenas velocidades podem provocar graves acidentes como o naufrágio da embarcação ou o rompimento da estrutura da obra; um barco de 1.000 ton de deslocamento, com uma velocidade de 0,50 m/s, chocando-se contra uma porta de eclusa, desenvolve uma fôrça média de mais de 500 ton. A energia assim concentrada é capaz de arrombar a porta da câmara, causando um acidente de sérias conseqüências se ocorrer na porta de jusante com a de montante aberta.

A movimentação da massa líquida onde flutuam as embarcações produz fôrças hidrodinâmicas que tendem a movê-las, e, portanto, a provocar choques. Sendo impossível impedir totalmente esta movimentação, é necessário prever sempre a atracação ou fundeio dos barcos quando estacionados. A condição de segurança reduz-se, então, a limitação da agitação da massa líquida de forma que não sejam ultrapassados os esforços que podem ser absorvidos pelas amarras, pelos aparelhos de atração e pelas próprias estruturas da embarcação e da obra.

De um modo geral, os tipos de amarras utilizados (cordas de cânhamo, nylon, polietileno ou, mais raramente, cabos finos de aço), têm uma resistência inferior ao limite de segurança dos cabeços de amarração e arganéis do casco e limitam a tração máxima admissível.

O esfôrço total máximo admissível na atracação é fixado em várias nações, não havendo, porém, um critério uniforme: em alguns países é adotado proporcional ao deslocamento da embarcação (P) e igual a P/1000 na Bélgica e Suécia, P/650 na Tchecoslováquia, P/600 na França, Alemanha e

outros países, P/1000 ou P/2500 na Rússia (para embarcações pequenas ou grandes respectivamente), etc. Outros países adotam valores fixos: 5 ton nos Estados Unidos, 2 ton na Áustria, etc.

O valor adotado nos Estados Unidos resulta do limite de resistência de um cabo de manilha de 2,50 polegadas de diâmetro, com um coeficiente de segurança 2 , presumindo que duas amarras devem ser usadas sempre concomitantemente, porém uma só podendo absorver momentâneamente todo o esfôrço. O limite de 5 ton é baixo, segundo certos autores, porém reduz as probabilidades de ocorrência de acidentes e facilita a movimentação das embarcações nas eclusas (DAVIS et al. - 1965).

No XXº Congresso Internacional de Navegação foi proposto pela delegação russa, a adoção de uma fôrça de tração máxima de amarração definida pela expressão:

$$E_A = 0{,}3 \sqrt{P^3} \quad ;$$

esta fórmula empírica não foi aceita por não ter sido julgada satisfatória pela maioria dos técnicos internacionais.

Em geral, o esfôrço máximo admissível acima referido diz respeito apenas à tração horizontal, longitudinal à embarcação; para a tração transversal, considera-se admissível a metade do mesmo valor.

Para embarcações muito pequenas, especialmente embarcações de recreio, devem ser usados critérios diversos dos acima relacionados, porquanto não só estas são, proporcionalmente, muito menos resistentes, como também por estarem sujeitas a esforços hidrodinâmicos diferentes das embarcações maiores, sobretudo devidas a turbulências locais que não influem nas grandes embarcações devido a uma compensação dos esforços.

Na verdade as fôrças de amarração são difíceis de serem bem definidas, pois dependem, até certo ponto, da forma de atracação adotada, como veremos ao tratar dos esforços desenvolvidos no interior da câmara.

Os esforços das embarcações imobilizadas contra as estruturas fixas, seja nas garagens, seja no interior das câmaras, são habitualmente absorvidos pelas defensas de bordo ou das estruturas de acostagem, sem maior problema para a segurança.

De um modo geral, é difícil prever-se as fôrças de amarração ùnicamente por métodos analíticos. Apesar dêstes darem indicações satisfatórias, quase sempre há necessidade de verificações em modelos reduzidos devido à impossibilidade de se considerar teòricamente todos os fatôres intervenientes em cada caso particular. Êstes modelos, destinados à obtenção de valores dinâmicos, são sempre complexos e devem ser construídos em escalas a-- vantajadas. A maior dificuldade que apresentam é o da medição dos esforços nas embarcações em movimento (esforços na câmara). Atualmente, existem, porém, equipamentos e montagens que permitem a determinação, com plena segurança, dos valores necessários.

A extrapolação dos resultados do modêlo para o protótipo é dificultada pelo elevado número de fatôres intervenientes por certas condições difícilmente reproduzidas de forma correta em escala reduzida. Entre estas, temos a resistência ao deslocamento das embarcações e os problemas ligados à cavitação e carreamento de ar.

A comparação entre valores obtidos em modelos de eclusas e nos protótipos, de um modo geral, tem mostrado uma boa concordância no que diz respeito a velocidades de escoamento, pressões, etc. Os tempos de enchimento e esgotamento normalmente são menores de 10 a 15% que os medidos nos modelos (RICHARDSON - 1963, DAVIS et al. - 1965). Os esforços de atracação também são concordantes: por exemplo para a eclusa de The Dalles (rio Columbia) com um comboio de 2.780 ton de deslocamento, foi determinada, no modêlo, uma fôrça horizontal longitudinal máxima durante a eclusagem de 2,80 ton; no real, em igualdades de condições, foi medida uma fôrça de 3,20 ton (15% a mais) (RICHARDSON - 1958). Alguns resultados obtidos na Rússia, porém, discreparam de 80 a 90% dos previstos pelos modelos (SEMANOV et al. - 1961). De tôda a forma, os ensaios são sempre muito úteis para comparar alternativas e obter, às vêzes mediante pequenas modificações, aumento considerável da segurança.

Para os ascensores em geral, os ensaios em modelos têm-se mostrado de grande utilidade. Não se dispõe, ainda, de resultados que possam confirmar as previsões feitas através das maquetes.

Os ensaios em modêlo são quase indispensáveis para definir corretamente, nos aproveitamentos múltiplos, as condições de acesso, os circuitos de tomada d'água e restituição de eclusas de alta queda, etc. Podem também fornecer indicações preciosas para a operação mais segura da obra, indi-

cando, por exemplo, a melhor localização das embarcações na câmara e o funcionamento mais recomendável dos extravasores visando reduzir as fôrças de amarração.

No interior das câmaras das obras de transposição, as embarcações são submetidas a fôrças decorrentes ùnicamente das condições do próprio funcionamento da obra enquanto que, no exterior, influem outros fatôres independentes da obra de transposição. Assim sendo, é razoável analisar separadamente cada uma destas situações, sem entrar em maiores detalhes teóricos que poderão ser obtidos na bibliografia especializada indicada.

2.1.1 - Embarcações no exterior da câmara

A fim de reduzir ao mínimo o tempo de transposição, há interêsse em que as embarcações possam estacionar o mais próximo possível da obra, aguardando o momento de serem introduzidas na câmara. Também há interêsse em que não haja perda de tempo no percurso entre a garagem de estacionamento e a entrada.

No exterior da câmara, os riscos principais provêm do funcionamento de outros órgãos do aproveitamento múltiplo, que podem provocar a formação de corrente ou agitações prejudiciais às embarcações estacionadas nas garagens de espera ou em movimento nos acessos. Cuidados especiais devem ser tomados na localização das obras de transposição visando garantir a maior tranqüilidade possível em suas proximidades. Normalmente, como assinalamos, êstes problemas de localizações e interação dos diferentes órgãos exige estudos em modelos reduzidos, porquanto é difícil a determinação teórica dos turbilhões e contra-correntes que podem ocorrer sobretudo no acesso inferior, onde as agitações são mais pronunciadas e os espaços disponíveis mais restritos.

As fôrças de amarração, salvo casos particulares, não podem ser determinadas com o auxílio de modelos, que, para levarem a resultados quantitativos, deveriam abranger uma extensa área e serem executados, em escala relativamente grande (maior que 1:25).

Como recomendação geral, deve ser evitado situar a obra de passagem das embarcações muito próxima à restituição das usinas hidroelétricas, onde, permanentemente, ocorrem fortes agitações. O mesmo deve-se recomendar em relação à saída dos extravasores, onde são ainda maiores as agita-

ções; o uso pouco freqüente dêste órgão pode, até certo ponto, atenuar as dificuldades, sendo, em particular, possível reservar os vãos mais próximos e que maiores dificuldades possam acarretar para uso exclusivo quando ultrapassada a vazão máxima navegável. Neste caso, as aberturas sistemáticas das comportas necessárias à manutenção e verificação podem ser programadas para períodos em que a navegação esteja interrompida por outros motivos ou para períodos em que não haja embarcações esperando para subir.

De forma semelhante, as tomadas d'água dos grupos geradores e dos extravasores podem provocar correntes e agitações nos acessos de montantes, sendo, por êste motivo, também recomendável afastá-las das obras de transposição. De um modo geral, porém, os problemas de segurança nos acessos, garagens de espera e estacionamento do reservatório são menos importantes que no estirão inferior.

Quando não há possibilidades de contornar êstes inconvenientes, o recurso é a construção de muros de proteção, guias correntes ou bacias de amortecimento das agitações que só podem ser corretamente dimensionadas em modelos. Estas obras são, em geral, muito onerosas no reservatório e devem ser evitadas.

Exemplo típico das dificuldades decorrentes do funcionamento simultâneo dos vários órgãos de um aproveitamento múltiplo é o que ocorria na barragem de Markland, no rio Ohio, até a construção da nova eclusa: para evitar a formação de um forte turbilhão no canal de acesso de jusante, quando a vazão total do rio era turbinada, era necessário a abertura de um dos vãos vertentes próximo à eclusa, com perda de quase 20% da vazão disponível. Estudos prévios podem, porém, resolver a maioria dos problemas, mesmo em situações excepcionais, como as da nova eclusa Wilson, construída com 30 m de queda em uma barragem existente (ELDER - 1959).

Outras dificuldades que podem pôr em perigo a segurança das embarcações fora da câmara de transposição originam-se nas variações bruscas de vazão. Criam-se assim ondas que atingem amplitudes relativamente grandes e que se propagam por extensões consideráveis da via fluvial. Estas ondas, ao atingir as embarcações estacionadas nas garagens, provocam choques e fôrças de tração nas amarras, representando sério risco. O problema é principalmente agudo quando a obra de transposição é situada em um canal lateral, conjuntamente com uma usina hidroelétrica, como nos aproveitamentos múltiplos dos rios Ródano e Reno, na França. Nestes casos, as paradas repentinas das má--

quinas, conseqüentes de acidente de origem elétrica (dijunções totais ou parciais), podem causar a formação de ondas de translação, tanto a montante (ondas positivas) quanto a jusante (ondas negativas) que se propagam, podendo refletir nas amuradas causando fortes agitações. O estudo destas ondas tem merecido muita atenção, porém não é pròpriamente adstrito às obras de transposição e não será aqui abordado. Apenas como indicação pode-se lembrar que três soluções têm sido adotadas para êste problema: o desvio da corrente elétrica que não pode ser despachada pela rêde, para grandes resistências imersas no reservatório, onde é consumida em calor; a abertura de comportas simultânea com o fechamento dos distribuidores das turbinas para absorver a vazão que não pode mais ser turbinada (solução adotada por exemplo na barragem de Fessenheim, no rio Reno), e utilização de turbinas que permitem o escoamento sem produção de energia (solução adotada total ou parcialmente em muitos aproveitamentos múltiplos modernos como na barragem de Montélimar, no rio Rôdano).

Uma situação particular ocorre nas eclusas em que a tomada d'água e a restituição são feitas diretamente aos acessos da obra. Esta disposição, no caso de grandes câmaras com tempos curtos de enchimento e esgotamento, pode causar corrente e agitações sobretudo à jusante. Os riscos a que ficam sujeitos as embarcações na espera, em particular, os comboios desmembrados que, não dispondo de propulsão própria, ficam mais desprotegidos, podem ser consideráveis se cuidados especiais não forem tomados.

Problemas dêste tipo aparecem principalmente quando o enchimento e o esgotamento são feitos diretamente através das portas ou com aqueduto de contôrno. Na antiga eclusa de Born, no canal Juliana, com 11,50 m , de queda, alimentada e esgotada pelas portas, as embarcações eram obrigadas a esperar à distância considerável das entradas, onde ocorriam fortes agitações e correntes, aumentando assim substancialmente, o tempo de passagem.

No acesso de jusante, os problemas são semelhantes aos do enchimento das eclusas levando a soluções análogas às adotadas para dissipar a energia na câmara. As velocidades de escoamento devem ser mantidas inferiores a um limite máximo, que conduza a fôrças de amarração inferiores ao máximo admissível e que não produzam dificuldades à movimentação segura das embarcações. Há grandes divergências a respeito das velocidades toleráveis nos canais de acesso e garagens; os russos admitem 2 m/s (SEMANOV - 1961), os alemães 0,30 a 0,50 m/s (WITTMANN e WICKERT - 1954, WITTMANN et al. - 1961), os americanos 3 m/s (NELSON - 1964), a Compagnie Nationale do Rhône adota 0,20..

m/s (DUMAS - 1957, CLEMENT - 1952) havendo ainda alguns técnicos que adotam 0,70 m/s (KHALTURIN et al. - 1959) e outros valores. Ao que tudo indica, estas divergências originam-se na falta de um critério bem definido que fixe onde é medida esta velocidade e que velocidade deve ser considerada (velocidade máxima, média, instantânea, etc.).

No acesso de montante, as tomadas d'água da eclusa causam dificuldades às embarcações devido às correntes e turbilhões e, eventualmente, vortex formados entre os muros guia. Não havendo dissipação de emergência, como se dá à jusante, as agitações são mais reduzidas, porém suficientes para tender a lançar as embarcações contra os muros e a porta (sobretudo quando a alimentação é feita diretamente através desta). Nas antigas eclusas de Mc Alpine (eclusa nº 4 do rio Ohio) condições extremamente desfavoráveis existiam no acesso de montante, onde ocorriam velocidades da ordem de 0,60 m/s devido a alimentação das câmaras. A amarração das chatas dos comboios desmembrados tinha que ser feita cuidadosamente para evitar que se lançassem contra as portas nas eclusagens por passagens sucessivas; estas e outras dificuldades, obrigavam a aumentar o tempo de enchimento da câmara de 20 para 27 minutos e o tempo de esgotamento de 18 para 21 minutos, causando congestionamentos insuportáveis quando em 1960 foi atingida a capacidade máxima de tráfego, forçando a construção de uma nova eclusa e o remodelamento total das antigas (GRIFFIN - 1960).

Nas obras de aproveitamentos múltiplos é quase sempre possível efetuar a restituição e a tomada d'água das eclusas fora dos acessos, evitando êstes problemas. Disposições dêste tipo vêm sendo adotadas correntemente em tôdas as grandes eclusas modernas de aproveitamentos múltiplos inclusive na eclusa da barragem de Jupiá no rio Paraná.

Merecem também atenção os problemas de segurança das embarcações nos canais intermediários das escadas de eclusas. Por motivo de economia, o esgotamento da câmara é normalmente feito no canal através do qual é alimentada a câmara inferior. A interligação direta das câmaras por aquedutos não é possível devido à distância mínima que deve existir entre as mesmas, para permitir o cruzamento das embarcações e, sobretudo, devido às restrições que imporia a operação simultânea. Assim, o canal intermediário deve preencher as funções de reservatório de acumulação provisória, aqueduto de escoamento entre as câmaras, alimentador da câmara de jusante e dissipador de energia da câmara de montante. Esta multiplicidade de funções obriga a um projeto cuidadoso sob pena de surgirem riscos no trânsito e estacionamento das

embarcações.

No caso de câmara de grande altura e dimensões, esvaziadas ou enchidas ràpidamente, podem formar-se ondas de translação com grande amplitude nos canais intermediários, que são sobretudo perigosas por se refletirem sucessivamente nos extremos do canal, dando agitações que se mantêm por longos períodos. A amplitude destas ondas, em primeira aproximação, é diretamente proporcional à vazão instantânea máxima e inversamente proporcional à largura do canal e à celeridade, que por sua vez, é proporcional a raiz quadrada da profundidade. Para reduzir a amplitude destas ondas, torna-se necessário aumentar a largura do canal ou sua profundidade, além do requerido pela navegação, desde que não seja possível reduzir a vazão, imposta pelo tempo de enchimento e esvaziamento das câmaras.

Nestes canais intermediários, são também de prever-se variações do nível d'água decorrentes de várias eclusagens em uma câmara não compensadas imediatamente pela operação da câmara seguinte. A solução dos problemas que daí podem decorrer pode ser obtida com bacias reguladoras (CADART-e BARBET - 1903), que têm sido utilizadas em muitas obras, especialmente na Rússia, aliás nem sempre com resultados muito satisfatórios. Quando não há espaço disponível para estas bacias e para uma melhor operação do sistema, deve ser previsto um circuito de contôrno (by-pass) das câmaras. Assim foi feito na escada de eclusas americanas do rio São Lourenço (Canal Long Sault, eclusas de Grass Locks e Eisenhower) que vence um desnível total de 27,30 m: ambas as eclusas são munidas de aquedutos especiais para manter constante o nível no canal intermediário, evidentemente a custo de um maior consumo d'água (DAVIS - 1958).

Problema particular ocorre quando há várias eclusas paralelas (independentes ou conjugadas),com tomada de água e restituição muito próximas da entrada da eclusa vizinha. Agitações provenientes da operação de uma podem prejudicar consideràvelmente os acessos da outra, chegando mesmo a impedir a aproximação e utilização da câmara vazia durante o esgotamento, com evidente redução do rendimento global da instalação (CANISIUS e JAMBOR - 1959).

Ainda com respeito aos riscos das embarcações fora da câmara, cabe referir os provocados pela má conformação ou ausência de muros guias. As dificuldades daí decorrentes são contornadas pela redução da velocidade das embarcações: para garantir a segurança é necessária então uma perda de tempo muito prejudicial ao aproveitamento da obra.

2.1.2 - Embarcações no interior da câmara

No interior da câmara, durante o processo de alteamento ou rebaixamento do nível, sempre ocorrem movimentos da massa líquida, e, conseqüentemente, fôrças hidrodinâmicas sôbre as embarcações que aí se encontram, tendendo a deslocá-las e a provocar choques. Não sendo possível anular totalmente estas fôrças, como já indicamos, é sempre necessário manter as embarcações atracadas a pontos fixos da câmara e a condição de segurança impõe que as fôrças nas amarras não ultrapassem o máximo admissível.

A determinação do esfôrço real de tração nas amarras a partir das condições hidráulicas reinantes na câmara é difícil, sendo já bastante complexo o próprio estudo da agitação da massa líquida.

De fato, os esforços nas amarras, sendo essencialmente dinâmicos, dependem das condições de amarração: cabos mais ou menos frouxos, posição e número de amarras, etc. (SCHIJF - 1936). Em geral é adotado um sistema de atracação cruzado, que transforma os esforços longitudinais, que são os mais importantes, em pressões contra as paredes da câmara dando fôrças de atrito que absorvem parte do esfôrço. Não sendo possível controlar eficazmente as condições de amarração, impondo, por exemplo, uma pré-tensão determinada por meio de cabeços de amarração com dinamômetros, os resultados obtidos em condições ideais como as das considerações teóricas, dos modelos reduzidos ou mesmo as das medições em protótipo, tem valor prático discutível. Há ainda a considerar que não se pode esperar uma distribuição uniforme dos esforços entre várias amarras, sendo normal que uma única absorva a totalidade como tem sido mostrado por vários autores (SEMANOV et al. - 1961), derivando dai o interêsse em fixar um valor máximo admissível constante e independente do deslocamento da embarcação.

Destas considerações concluimos que as fôrças de amarração, admitidas como resultantes das fôrças hidrodinâmicas que agem sôbre as embarcações, podem diferir consideràvelmente das tensões nos cabos que ocorrerão na prática, servindo mais como têrmo de comparação entre diferentes graus de segurança, do que pròpriamente nos seus valores absolutos. Por isto o dimensionamento das amarras deve ser feito com elevados coeficientes de segurança.

As fôrças hidrodinâmicas desenvolvidas no interior da câmara dependem das características da embarcação (dimensões, forma e sobretudo deslocamento), como pode ser bem percebido nas deduções teóricas (JANSSON -1949).

Dependem, porém, ainda de outros fatôres, como posição das embarcações em relação às paredes e às outras embarcações, número de embarcações na câmara, etc. (LABETOULE - 1959). Como exemplo destas dependências pode-se citar as observações feitas na nova eclusa Wheeler, no rio Tennessee, onde para um comboio de 3 chatas em linha, foi medido um esfôrço máximo na amarra, no enchimento da eclusa, de 0,40 ton; quando colocadas as mesmas chatas lado a lado, em condições idênticas, a fôrça de tração subiu a 1,30 ton. Os mesmos ensaios feitos ainda em condições similares, com um comboio de 9 chatas, ou seja, um deslocamento três vêzes superior, levaram a uma fôrça de tração de .. 1,50 ton (ELDER et al. - 1964). Resultados do mesmo tipo foram obtidos na eclusa de Aschach no rio Danúbio, para a qual foram ensaiados comboios e automotores em diversas posições na câmara(GRENGG e WEHRSCHÜTZ - 1959).

Estas e outras dependências são explicáveis pelas influências que os cascos exercem sôbre a agitação da massa d'água, dificultando a propagação das ondas, restringindo as agitações localizadas e opondo obstáculos ao escoamento no interior da câmara. Contribuem para tornar ainda mais difícil a estimativa das tensões reais que irão se desenvolver nos cabos a partir de considerações teóricas ou medição em modêlo.

Em princípio, os esforços hidrodinâmicos podem ser decompostos em cada instante em três componentes: um esfôrço longitudinal, um esfôrço horizontal transversal e um esfôrço vertical. Êste último é de difícil determinação nas eclusas por estar a embarcação durante a operação de eclusagem, em movimento vertical em relação à câmara. Só deve ser, portanto, considerado nos ascensores. O esfôrço horizontal transversal, apenas em casos particulares, como nos planos inclinados transversais, pode atingir valores elevados, sendo, em geral, absorvido por compressão das embarcações contra as paredes através das defensas ou por tensões restritas nas amarras. O esfôrço horizontal longitudinal é o mais importante e geralmente o único levado em consideração, sendo sobretudo danoso pela possibilidade de levar a choques contra as portas da câmara.

Fundamentalmente, as fôrças que agem sôbre as embarcações podem ser divididas em: fôrças de atrito ou resistência exercidas pela água em movimento em tôrno da superfície do casco e fôrças hidrostáticas ou do escorregamento das embarcações, resultantes das diferenças de nível na câmara. Estas últimas, como mostra Schijf (SCHIJF - 1936), podem ser expressas muito aproximadamente pelo produto do deslocamento pela inclinação da embarcação, definida esta pela relação entre o desnível proa-pôpa e o comprimento da em-

barcação ou, o que é quase equivalente, ao produto da área molhada da seção mestra da embarcação (w) pela diferença de nível entre seus extremos (z) e o pêso específico da água (γ)

$$F_h = P \frac{z}{\ell} \cong \gamma \, z \, w$$

A resistência oferecida pelo casco ao escoamento pode ser determinada a partir da expressão de Geber:

$$F_r = (kw + \varphi s) v_r^{2,25}$$

onde k é o coeficiente de resistência devido a forma do casco, φ coeficiente de atrito, s a área molhada total do casco e v_r a velocidade relativa da água.

Os numerosos estudos feitos sôbre o assunto, entre os quais merecem ser citados: os de Schijf (SCHIJF - 1949), de Almeras (ALMERAS - 1948), de Jansson (JANSSON - 1949), de Wittmann (WITTMANN e WICKERT - 1954), de Peutot (PEUTOT - 1959), de Khalturin (KHALTURIN et al. - 1959) e de De Ries (DE RIES - 1962), mostram que, mesmo no caso mais desfavorável, que é aquêle em que há um escoamento horizontal na câmara (eclusa alimentada e esgotada pelas portas), as fôrças hidrostáticas são responsáveis por mais de 90% do esfôrço horizontal longitudinal sôbre as embarcações nos diferentes processos de alteamento ou rebaixamento de nível (eclusas e planos inclinados), pelo menos para grandes barcos.

Esta constatação facilita consideràvelmente o estudo dos problemas do comportamento das embarcações na câmara das obras de transposição e da mesma resulta o critério adotado por vários países de considerar o esfôrço máximo de amarração proporcional ao deslocamento da embarcação.

Encarando sôbre êste ponto de vista, um parâmetro bastante significativo para julgar a segurança relativa oferecida pela obra de transposição, é a inclinação máxima da embarcação na câmara. Êste parâmetro, intimamente ligado à fôrça de amarração, é de medição mais simples que a mesma, apesar de que a variação constante do nível dificulta sua determinação, sobretudo em modelos reduzidos. Apresenta ainda a vantagem de ser menos sensível ao sistema de amarração adotado, não sendo porém totalmente independente da forma da embarcação.

Com base nos esforços máximos da amarração comumente admitidos concluimos que são perfeitamente admissíveis inclinações na câmara da ordem de 1:1000.

As medidas feitas na eclusa Wheeler, com 9 chatas carregadas, deram desníveis instantâneos máximos da ordem de 0,06 pés, valor extremamente baixo, no limite mesmo de precisão do equipamento de medida utilizado;por conta, na eclusa nº 1 do canal Welland, onde sabidamente há grandes esforços de amarração, foram medidos desníveis instantâneos de 0,60 m, inaceitáveis a pesar da grande dimensão longitudinal das embarcações que utilizam a obra.

Observações simultâneas cuidadosas das inclinações das embarcações e das fôrças hidrodinâmicas longitudinais em modelos e em protótipos mostraram que os valores não são proporcionais instantâneamente, devido provàvelmente a efeitos de inércia. As curvas registradas, em ambos os casos, têm porém um mesmo andamento (KHALTURIN et al. - 1959).

Ainda dentro dêste ponto de vista, podemos considerar, como parâmetro de comparação da segurança relativa, o desnível instantâneo máximo entre os dois extremos da superfície líquida com a câmara sem embarcações; ainda que êste valor dificilmente possa ser ligado às condições reais de utilização da obra de transposição, é bastante significativo para comparação entre diversas alternativas. Para o plano inclinado de Ronquières, onde êste critério foi, em parte, adotado, espera-se que a desnivelação máxima entre os extremos da câmara vazia (85 m de comprimento) não ultrapasse o valor de 5 cm obtido pelos ensaios em modêlo reduzido da solução adotada. Para êste plano inclinado a fôrça de amarração máxima prevista durante a operação normal é da ordem de 1 ton para embarcações de 1.350 ton de carga, satisfatório face a qualquer dos critérios de esfôrço máximo de amarração citados anteriormente (WILLEMS et al. - 1965).

Cabe ainda ressaltar que, como veremos a seguir, as fôrças hidrodinâmicas desenvolvidas sôbre as embarcações na câmara são proporcionais à velocidades de deslocamento vertical do plano d'água (velocidade de enchimento e esgotamento das eclusas e de deslocamento das cubas nos ascensores), pois quanto menor o tempo de transposição, maior a energia em jôgo e portanto maiores as possibilidades de agitação. A tendência atual de aumentar as quedas das obras de transposição e reduzir o tempo de passagem para tornar o transporte mais econômico, obriga portanto, para garantir a segurança exigida, a adoção de sistemas aperfeiçoados que limitem ao mínimo as agitações da

massa líquida na câmara, reduzindo quase ao supérfluo a atracação das embarcações.

As agitações na câmara nos diversos tipos de obra de transposição têm origens diferentes e portanto devem ser examinados separadamente.

2.1.2.a - Eclusas

Nas eclusas, a movimentação vertical das embarcações é obtida através da energia hidráulica que eleva ou abaixa o nível d'água pelo escoamento provocado pela diferença de nível entre montante e jusante. Do ponto de vista hidráulico, o processo de alteamento das embarcações difere do processo de rebaixamento porque, no enchimento da câmara, uma parte de energia da água deve ser dissipada no seu interior, enquanto que no esgotamento a mesma energia é dissipada totalmente no exterior. Daí resulta que, normalmente, no processo de enchimento, desenvolvem-se maiores fôrças hidrodinâmicas e que, o sistema de enchimento sendo satisfatório, do duplo ponto de vista da segurança e rapidez, o mesmo sistema será quase sempre satisfatório para o esgotamento.

As causas fundamentais da agitação da massa líquida no interior da câmara das eclusas são as seguintes:

i) - Ondas provocadas pela variação da vazão de enchimento (e esgotamento)

Tanto o enchimento quanto o esgotamento da câmara são escoamentos transitórios de montante, a nível variável: nas eclusas simples, o nível de montante (no enchimento) e o de jusante (no esgotamento) são pràticamente constantes e o da câmara varia; nas de câmara múltipla, quando há a passagem da água de uma a outra câmara, ambos os níveis variam.

Uma variação da vazão de alimentação (dQ) produz na câmara uma pequena onda com amplitude dz, que propaga-se com uma celeridade c. Considerando-se dz desprezível em relação à profundidade a câmara (h) e a câmara sem embarcações:

$$dz = \frac{dQ}{\ell c} , \quad c = \sqrt{g.\ h} ,$$

com ℓ a largura da câmara.

A inclinação da superfície líquida será: $I = \frac{dz}{c\ dt}$.

Pode-se admitir que para cada variação $\frac{dQ}{dt}$ forma-se uma onda. Se a variação é brusca a onda formada é de forte encurvamento; se a variação é gradual, a superfície da onda é de inclinação suave. A onda reflete-se nas paredes da câmara, dando uma oscilação de tôda massa d'água que persiste por longo intervalo de tempo, sendo apenas amortecida por atrito.

No início do enchimento a abertura instantânea das comportas, leva a vazão de zero a Q, formando-se uma onda inicial de amplitude $z_i = \frac{Q}{\ell c}$; sendo $Q = A\,\mu\,2.g.H$, onde H é a altura de queda, A é a área das comportas abertas no circuito de alimentação e μ o coeficiente de escoamento, resulta:

$$z_i = \frac{\mu\, A}{\ell} \cdot \sqrt{\frac{2\,H}{h}} \quad .$$

Esta onda inicial, como vários autores indicam (WITTMANN e WICKERT - 1954), dá a oscilação principal da massa líquida, não só porque h é mínimo e H máximo, como porque a variação de vazão é a mais importante. A esta onda refletida nas portas da câmara, vem somar-se uma série de ondulações menores, produzidas pela variação contínua da vazão provocada pela variação contínua da vazão provocada pela variação da altura de queda, perda de carga e manobra das comportas, dando uma inclinação instantânea da superfície de $I = \frac{1}{\ell_c{}^2} \frac{dQ}{dt}$.

Após abertas totalmente as comportas, tem-se:

$$\frac{dQ}{dt} = - \frac{\mu^2\, \bar{A}^2}{S}\, g \quad ,$$

onde $\bar{A}$ é a área da seção transversal dos aquedutos e S a área da câmara da eclusa. A inclinação sem considerar as reflexões será então

$$I = - \frac{\mu^2\, \bar{A}^2}{S\, \ell\, c^2} = - \frac{\mu^2\, \bar{A}^2}{S\, \ell\, h} \quad ,$$

com h a profundidade da câmara no instante considerado.

A reflexão das ondas nos extremos da câmara leva a uma inclinação da superfície, no instante t, após n reflexões, que pode aproximadamente ser expressa por (WITTMANN e WICKERT - 1954):

$$I_n = \frac{z_n - z_{n-1}}{t_n - t_{n-1}} \cdot \frac{1}{c_n} - I_{n-1}\, \frac{c_{n-1}}{c_n} \quad .$$

Conhecida a curva de enchimento, poder-se-ia, desta forma determinar, em qualquer instante, como mostra Jansson (JANSSON - 1949), a inclinação da superfície líquida e, portanto, a fôrça hidrostática que age sôbre a embarcação.

É de se notar que, no enchimento, a inclinação da superfície líquida diminue com o tempo, devido ao amortecimento da onda inicial e à redução da amplitude das novas ondas formadas em conseqüência do aumento da profundidade na câmara e do aumento da massa d'água em movimento. É possível que, no fim do esvaziamento, a inclinação torne-se máxima, maior até que no início do enchimento, por ser então a profundidade pequena e restarem ondas refletidas que interferem entre si.

Evidentemente a presença das embarcações na câmara perturba muito estas ondas; segundo Wittmann, para uma embarcação com um comprimento igual a metade da câmara, a fôrça hidrostática sôbre a mesma será de 1,80 a 2 vêzes a determinada através destas considerações simples.

A amplitude das ondas formadas e, portanto, as fôrças resultantes, decrescem com o aumento do tempo total de enchimento, como percebe-se fàcilmente; decrescem, porém, principalmente com a diminuição de $\frac{dQ}{dt}$, sobretudo no início da manobra. Importante redução pode ser obtida, portanto, pela operação conveniente das comportas do sistema de alimentação, sem com isto reduzir muito o tempo total de enchimento.

ii) - Influência da concentração do fluxo em pontos determinados da câmara

Se o enchimento (esvaziamento) da câmara é feito, em regime permanente, em único ponto, na extremidade da câmara, a teoria mostra que deveria formar-se uma onda estacionária uninodal; se o ponto localiza-se no centro da câmara a onda estacionária seria binodal; teria 4 nós se feita em dois pontos, a 1/4 e 3/4 do comprimento da câmara e assim por diante. O aumento do número de nós, resultante do aumento do número de pontos de injeção, acarreta uma redução da amplitude da onda estacionária e, conseqüentemente, da fôrça hidrostática.

iii) - Influência da falta de uniformidade na distribuição da vazão no interior da câmara

Por melhor que seja o sistema de distribuição de água dentro

da câmara, no caso de serem usados diversos pontos de injeção, à inércia da água nos dutos (ALMERAS - 1948) adicionam-se às diferenças de perda de carga, para produzir variações de vazão entre um ponto de injeção e outro, o que provoca, por si só, o aparecimento de ondas de translação e estacionárias dentro da câmara, além de correntes de compensação.

A procura da uniformização de vazão nos orifícios, tem levado a adotar dutos de seção variável e complexos sistemas de distribuição das descargas na câmara.

A alimentação direta pelas portas ou por aquedutos de contôrno produz correntes longitudinais dentro de tôda a câmara que apesar de não provocarem, como já indicado, fôrças de atrito muito elevadas sôbre o casco (quando comparadas com as fôrças hidrostáticas devidas à inclinação da superfície) podem ocasionar choques das embarcações contra as portas. Em particular, quando êstes sistemas de enchimento e esvaziamento pelo extremo da câmara não são bem projetados, formam-se fortes turbulências no início do enchimento e no fim do esvaziamento muito prejudiciais às embarcações próximas aos pontos de injeção.

iv) - Transformação da energia cinética em energia potencial no interior da câmara

No processo de enchimento, a velocidade da água que entra na câmara é superior à velocidade ascensorial do nível d'água. Há, pois, um excesso de energia cinética que deve ser dissipado na massa d'água ou contra o casco das embarcações. Êste excesso de energia provoca uma turbulência que pode tender a levar as embarcações a se chocarem contra as paredes laterais.

Para reduzir êste efeito da energia cinética não recuperada em potencial, três soluções são possíveis: o emprêgo de uma câmara prévia de dissipação de energia (sistema russo), o aumento da área total dos dutos de injeção na câmara (diminuindo a diferença de velocidades) ou a divisão em um grande número de jatos elementares, convenientemente orientados de forma a distribuir a energia na massa d'água sob forma de uma turbulência fina que não cause dificuldades às embarcações. Esta última alternativa tem ainda a vantagem de facilitar a dissipação local de energia nos dutos que é proporcional ao perímetro molhado dos mesmos (LEJEUNE - 1959).

Com projetos bem elaborados, chega-se a reduzir a energia em excesso na câmara a menos de 5% da total, podendo mesmo esta taxa baixar a 2%, como na eclusa de Donzère-Mondragon (DARISET e GAGNON - 1964).

Evidentemente, esta turbulência, que só ocorre no enchimento da câmara, decresce ràpidamente com a elevação do nível d'água, em parte pela própria redução das velocidades nos dutos após um certo tempo da abertura das comportas, mas sobretudo, pelo aumento da massa d'água na qual a energia é dissipada.

Há ainda a notar que, para grandes embarcações, os efeitos destas turbulências são pouco importantes, havendo uma compensação dos esforços criados ao longo do casco. Para embarcações pequenas, e cabe aqui lembrar que o número de barcos de recreio que usam as obras de transposição tende a aumentar, existindo já eclusas a êles exclusivamente destinadas (eclusa no rio Ottawa), estas turbulências podem ser altamente prejudiciais.

Estas quatro causas de agitação no interior da câmara ocorrem, evidentemente, em conjunto, dando um movimento bastante complexo à água, tanto no enchimento quanto no esgotamento das eclusas.

Do ponto de vista da segurança das embarcações, as causas i e iii são as mais importantes, pelas fôrças hidrostáticas (de arrastamento) que agem sôbre as embarcações em conseqüência dos desníveis provocados pelas ondas formadas.

As fôrças de escorregamento e de atrito sôbre o casco, originadas pela causa ii , só são importantes quando a alimentação e a restituição são feitas pelas portas ou aquedutos de contôrno das mesmas. Nestes casos podem ter influência preponderante, como ocorria na antiga eclusa de Born, no canal Juliana, onde as embarcações deviam manter seus equipamentos propulsivos em marcha, durante a eclusagem, para reduzir as fôrças de amarração. A impossibilidade de contornar estas dificuldades faz com que aquêles sistemas de alimentação e restituição não sejam mais adotados para alturas de queda que ultrapassem 10 m.

Para as modernas eclusas de grande queda e área da câmara, a fim de serem obtidos menores tempos de enchimento e de esvaziamento, bem como a necessária segurança das embarcações, procura-se reduzir ao mínimo cada causa de agitação pela:

a) manobra conveniente das comportas através de leis pré-fixadas de abertura, sendo usual a lei linear (devido a facilidade mecânica para obtenção de velocidade constante na abertura),
b) aumento do número de orifícios de alimentação na câmara visando a distribuição uniforme (tanto transversal quanto longitudinal), das vazões ao longo de tôda a câmara,
c) impedimento da entrada de ar nos condutos de pressão.

Uma condição que pode ser bastante favorável à tranquilização, que, porém, até agora não tem sido muito aproveitada, é o aprofundamento da câmara além do necessário para a navegação. De fato, um maior volume d'água no início da operação de enchimento reduz a amplitude da onda inicial que, como indicamos, é a mais prejudicial. Reduz, também, as turbulências e os efeitos do escoamento de uniformização das vazões ao longo da câmara.

Esta possibilidade, que apresenta ainda inúmeras outras vantagens, merece ser investigada, sobretudo quando as condições do terreno permitem a escavação suplementar sem onerar consideràvelmente o custo. A eclusa de Keokuk, no rio Mississipi, foi construída dentro destas idéias, com uma profundidade suplementar de cêrca de 3 m, com ampla justificativa econômica (PARMENTIER et al. - 1949).

Os sistemas de enchimento e esgotamento das eclusas atualmente utilizados podem ser classificados em 3 categorias fundamentais:

Tipo 1 - Enchimento e esgotamento pelas cabeças da eclusa
  (a) - através das portas (pela sua movimentação ou orifícios em seu corpo)
  (b) - por aquedutos de contôrno (tipo tradicional europeu)

Tipo 2 - Enchimento e esgotamento por aquedutos longitudinais nos muros de ala
  (a) - com orifícios laterais na câmara (tipo tradicional norte-americano)
  (b) - com orifícios múltiplos de pequeno diâmetro, em grande número (tipo introduzido há poucos anos nos Estados Unidos, sob denominação de T.V.A. Multiport System).

Tipo 3 - Enchimento e esgotamento pelo fundo da câmara por aquedutos longitudinais
  (a) - com jatos verticais (sistema moderno europeu)

(b) - com jatos horizontais, a partir de orifícios em pequenos aquedutos transversais (sistema americano dito "Bottom Lateral System")

(c) - "sistema dinâmicamente balanceado" (tipo particular do sistema moderno europeu), com aquedutos longitudinais suplementares alimentados assimètricamente pelos aquedutos principais (sistema "Donzère-Mondragon" - que está sendo introduzido presentemente nos Estados Unidos).

Todos êstes sistemas e suas combinações podem levar a soluções convenientes do ponto de vista da segurança e da rapidez, dependendo a opção entre os mesmos de condições econômicas. O desnível a ser vencido é, porém, o fator preponderante na escolha. Assim, o tipo 1, presta-se bem para eclusas de baixa queda (até 7 ou 10 m); o tipo 2 para eclusas de baixa queda (até 15 m), sendo o T.V.A. Multiport recomendável inclusive para quedas maiores e o tipo 3 para eclusas de média e alta queda (NELSON e JOHNSON--1954, DARISET e GAGNON - 1964). É de se notar que tôdas as eclusas de alta queda (mais de 25 m) são do tipo 3, sendo porém provável que o T.V.A. Multiport System possa ser utilizado para quedas desta ordem de grandeza.

A tabela 7 fornece indicações sôbre o tipo de circuito hidráulico, tempos de enchimento e esgotamento, e velocidade de subida do nível d'água de algumas eclusas modernas.

A seleção do tipo de circuito hidráulico da eclusa depende ainda de outros fatôres, em particular, das dimensões da câmara, do tipo de estrutura, de condições geológicas (sobretudo profundidade da rocha), etc. Uma ampla literatura sôbre o assunto, especialmente de autores norte-americanos, permite a elaboração segura dos ante-projetos; para as eclusas de baixa queda, os elementos disponíveis permitem mesmo a elaboração de projetos definitivos, sendo dispensáveis os ensaios em modelos reduzidos conforme constatação do XXº Congresso Internacional de Navegação. Para eclusas altas, porém, êstes ensaios são necessários, por existirem diversos problemas como formação de vortex, cavitações, distribuição dos orifícios, etc. que só podem ser resolvidos por via experimental.

Cabe notar que, para eclusas baixas o tipo 1, ainda que munido de apropriados sistemas dissipadores de energia, conduz, para mesmas condições de segurança, a tempos de enchimento maiores que os demais tipos. A economia de tempo obtida pelos processos mais complexos, normalmente, porém,

não compensa o custo dos mesmos. Projetos bem elaborados podem justificar o uso de sistema de enchimento e esgotamento pela movimentação exclusiva das portas (SCHIJF - 1964).

Convém ainda assinalar que questões de segurança levaram muitas vêzes a adotar, na operação da obra, tempos de enchimento bem superior à queles previstos nos estudos; é o que ocorreu, por exemplo, com a eclusa da barragem de Bonneville que é operada com uma velocidade de abertura das comportas de enchimento quase uma vez e meia maior que a velocidade indicada no projeto.

Como medidas suplementares da segurança das embarcações no interior da câmara, costuma-se utilizar pára-choques de proteção das portas, em geral, constituídos por sistema de correntes, cabos ou vigas amovíveis, estirados transversalmente na câmara, e que podem acompanhar os movimentos do nível d'água. Vários modelos são empregados, alguns com amortecedores de contrapêso ou molas. O emprêgo dêstes pára-choques pode ser prescindido ou limitado à porta de jusante, quando o sistema hidráulico oferece suficiente garantia de tranqüilidade da massa líquida na câmara.

O emprêgo de cabeços de amarração móveis ("bollards" flutuantes) é outro fator de segurança importante nas eclusas. Evita-se, desta forma, manobras de amarração que podem conduzir a situações perigosas. Atualmente tôdas as eclusas construídas com mais de 10 m de queda são dotadas dêste acessório. Para as eclusas de baixa queda, cuja altura impeça o emprêgo de amarração única (possível só até 2 a 3 m de desnível) é necessário dispor um conjunto de cabeços de amarração bem distribuído, para facilitar as mudanças de amarras.

Um problema hidráulico particular que ocorre nas câmaras das eclusas é o da sobreelevação e do sobreabaixamento do nível d'água no fim das operações de enchimento e esgotamento. Estas diferenças entre o nível d'água interno e externo, devidas aos fenômenos de inércia no fim do escoamento chegam a 0,50 ou 0,60 m, no caso de grandes velocidades nos condutos, sujeitando as embarcações ao risco de chocarem-se contra o fundo da câmara no final da descida (a sobrelevação obriga a aumentar a altura dos muros de ala). Nas eclusas rápidas modernas contorna-se êste inconveniente com a abertura da porta antes dos níveis d'água igualarem-se, o que apresenta ainda a vantagem de reduzir ligeiramente o tempo de transposição. Quando isto não é possível, devido ao tipo de portas, busca-se a solução através de um sistema de

compensação de níveis com abertura de comportas ou válvulas especialmente destinadas a esta finalidade.

Tôdas as considerações acima são válidas para as eclusas de câmaras múltiplas e escadas de eclusas. As eclusas com bacias de recuperação e eclusas geminadas (ligadas por círculo hidráulico) apresentam alguns aspectos peculiares no que diz respeito à agitação nas câmaras: a necessária tranqüilidade, em geral, só pode ser obtida com um aumento considerável de tempo de eclusagem. Normalmente, nestes tipos de eclusas, a alimentação é assimétrica, causando escoamento e ondas transversais, que ainda que menos prejudiciais que as longitudinais, podem causar embaraços.

A utilização de bacias múltiplas de recuperação, que conduzem a grandes economias de água, levam a leis de enchimento e esvaziamento descontínuas e a fortes ondulações. De fato, o número de perturbações possíveis depende do número de elementos perturbadores e, no caso, cada bacia de recuperação, além do sistema direto, é um elemento perturbador. Assim, para n bacias de recuperação o número de perturbações teòricamente possíveis será $2^n - 1$, dando em conseqüência, intensa agitação na câmara e fortes esforços nas amarras. Um sistema especial foi estudado para uma eclusa em construção no canal Bamberg - Nurnberg, com 18 m de queda e 3 bacias de recuperação. Êste sistema conduz, segundo ensaios em modêlo reduzido, a fôrças de amarração máximas de 0,50 ton para barcos de 1.350 ton de carga, com tempo de enchimento de 16 minutos, o que pode ser considerado muito satisfatório (BRAUN - .. - 1965).

Nas eclusas pneumáticas, de forma semelhante ao que se dá com os elevadores verticais, não deverão ocorrer agitações importantes na massa d'água durante os processos de alteamento ou rebaixamento do nível, desde que não haja vibrações e que o fundo se mantenha perfeitamente horizontal. Ensaios em modelos reduzidos confirmaram estas indicações teóricas (JAROCKI - - 1959).

2.1.2.b - Elevadores verticais

O deslocamento de uma cuba com água em superfície livre é sempre delicado, podendo, fàcilmente, formar-se no seu interior agitações que ponham em perigo as embarcações que nela flutuem. No caso do movimento de translação ser efetuado ùnicamente na vertical, como nos elevadores verticais, os riscos são reduzidos, porque não havendo componentes horizontais não

há formação de ondas de translação na câmara. Com velocidade constante, a componente vertical do movimento da cuba, evidentemente, não influe no equilíbrio da água e das embarcações que flutuam. Quando há uma aceleração vertical, mesmo variável em função do tempo, pode-se raciocinar como se a cuba estivesse imóvel, com uma aceleração da gravidade modificada, ou, o que é equivalente, todos os corpos contidos na cuba, com um pêso específico maior (aceleração) ou menor (desaceleração). Se a embarcação está em equilíbrio no repouso, o volume d'água deslocado é tal que o seu pêso é igual ao da embarcação; se o pêso específico tanto da água quanto da embarcação e de tudo que ela contém, se modifica na mesma relação, as condições de equilíbrio continuam a ser realizadas, em qualquer instante, e a embarcação mantém-se imóvel em relação a água. A única diferença é que o empuxo sôbre a superfície imersa do casco muda de valor, sem que, dentro das acelerações possíveis, tal fato possa ocasionar pressões que ponha em perigo a estrutura da embarcação.

Duas objeções podem ser levantadas a êste raciocínio (DE RIES - 1962): uma seria que a transmissão da aceleração da massa fluida à embarcação não é instantâneamente, devido à velocidade de propagação das ondas de pressão não ser infinita, e a água não ser incompressível; na realidade a compressibilidade da água é muito pequena e a velocidade de propagação das ondas de pressão muito grande de tal forma que há apenas um retardo de poucos milisegundos e a aproximação feita é satisfatória; outra objeção refere-se à possibilidade de não haver um equilíbrio no instante inicial de repouso (ondulações na câmara por exemplo). Neste caso, como as variações "aparentes" da aceleração da gravidade são muito reduzidas (1/200 nos elevadores, no máximo) pode-se admitir que os fenômenos cinéticos ou dinâmicos afetados pela aceleração da gravidade sejam muito pouco modificados.

Fortes agitações no interior das câmaras dos elevadores verticais só podem aparecer por defeitos de funcionamento da obra: inclinação da cuba ou deslocamentos horizontais. Ambos os defeitos são, porém, inadmissíveis nos sistemas de elevadores, pela sua própria constituição mecânica.

A experiência dos vários elevadores verticais em uso, confirma plenamente estas suposições (DEHNERT - 1954).

Assim, a velocidade de translação da cuba pouco influe na segurança das embarcações que estejam na câmara, sendo limitada ùnicamente por imposições mecânicas, em particular, pelos esforços de inércia que ocorrem na estrutura, na eventualidade de uma parada brusca da cuba.

As embarcações deverão, porém, ficar sempre atracadas à câmara nos elevadores verticais, devido as oscilações parasitas que possam ocorrer em conseqüência de pequenos movimentos horizontais inevitáveis produzidas por causas externas, como o vento.

2.1.2.c - Planos inclinados

Nos ascensores de planos inclinados, o deslocamento horizontal da cuba cria sérias dificuldades para as embarcações que flutuam no interior da câmara.

As acelerações da cuba devem ser transmitidas às embarcações ùnicamente através da água e de amarras. A transmissão através do meio contínuo permanentemente em movimento, faz-se de forma complexa e conduz a fôrças variáveis que se exercem sôbre a cuba e as embarcações colocando em contínua interação seus movimentos. Se todo o esfôrço de solidarização entre a cuba e as embarcações fôsse transmitido ùnicamente pelas amarras, as tensões no cabo fàcilmente atingiriam valores intoleráveis: uma embarcação deslocando 1.200 ton acelerada de 0,05 m/s^2 exigiria uma fôrça de mais de 5 ton; esta fôrça, por efeito da elasticidade dos cabos, não seria constante, mas variável, podendo atingir valores instantâneos duplos do valor médio ou seja superiores a 10 ton.

Por outro lado, a aceleração da cuba compondo-se com a aceleração da gravidade inclina a superfície livre da água contida na câmara, que se manterá, se a aceleração da cuba fôr constante, normal à resultante das duas acelerações. A passagem da superfície horizontal inicial, correspondente ao repouso, à superfície inclinada, correspondente a uma certa aceleração dá-se com uma agitação na massa líquida e criação de ondas, que se refletem na extremidade da câmara, tornando-se ondas estacionárias de difícil amortecimento. As embarcações tendem, então, a deslocarem-se, por efeito das fôrças hidrostáticas, resultando portanto novos e consideráveis esforços nas amarras.

Como mostra Marchal (MARCHAL e TIPHINE - 1964), para que as variações da inclinação da superfície líquida se dêem de forma gradual, é necessário, no mínimo, que a aceleração seja uma função do 3º grau do tempo, o que conduziria a uma lei de movimento do 5º grau. Uma lei dêste tipo é extremamente difícil de ser obtida e mesmo impossível de ser garantida em uma parada brusca ocasionada por um motivo acidental qualquer.

As reflexões das ondulações na câmara, que não só aumentam a amplitude dos desníveis como também mantêm as agitações iniciais, em geral as mais importantes, poderiam ser reduzidas através da sub-divisão da câmara. Para o plano inclinado de Arzviller, uma das alternativas apresentadas no concurso previa, com tal finalidade, um sistema de anteparos retráteis, no fundo e parede da cuba. Tal sistema, aliás, que já havia sido proposto por Preslin, em 1900 (BARBET- 1902), só pode ser concebido quando há uniformidade nas embarcações que utilizam a obra de transposição (como, até certo ponto, ocorre no canal de dimensões restritas do Marme ao Reno). É, porém, inexequível quando as características das embarcações são muito variadas.

A única forma de restringir as fôrças de amarração a valores toleráveis é limitar a variação da aceleração no início e fim do movimento, dentro de leis simples de serem obtidas, e limitar a velocidade máxima, de forma a que, no caso de parada acidental, a desaceleração (que pode até certo ponto ser controlada através de volantes ou outros sistemas inerciais), não cause agitações e, em conseqüência, fôrças acima das absorvíveis pelas amarras.

Estas limitações sôbre a lei do movimento das cubas por motivo de segurança, resultam num aumento do tempo de transposição que, porém, para uma mesma queda, será sempre bem inferior ao de uma eclusa (ou escada de eclusas).

O complexo estudo das agitações e fôrças de amarração nas câmaras dos planos inclinados foi executado por via analítica por De Ries (DE RIES - 1962), visando o plano inclinado funicular de Ronquières e por Vasiliev (VASILIEV - 1959), visando o plano inclinado de Krasnoyarsk. As principais conclusões dêstes estudos são as seguintes (válidas especificamente para os planos inclinados longitudinais):

1- As fôrças de amarração mais importantes resultam das leis de movimento com aceleração constante (início e fim da operação) e das variações descontínuas das velocidades (choques).

2- No caso de utilização de leis de movimento com aceleração constante, esta não deve ultrapassar 0,01 m/s^2.

3- A menos que sejam tomadas precauções especiais, as descontinuidades de velocidades não devem ser maiores que 0,010 a 0,015 m/s sob pena de provocarem fôrças de amarração superiores às provocadas pela aceleração constante de 0,01 m/s^2.

4- A adoção de leis de movimento, nas quais a aceleração é estabelecida ou suprimida de forma progressiva, sobretudo linearmente em função do tempo, leva a reduções sensíveis das fôrças de amarração devidas à aceleração do conjunto da cuba; êste efeito é máximo quando a duração do período de estabelecimento ou supressão da aceleração coincide com o período de oscilação fundamental da água na cuba.

Os planos inclinados automotores diferem, dêste ponto de vista, dos planos inclinados funiculares, pela possibilidade de se impor naqueles uma lei precisa na partida da cuba, o que é difícil nos funiculares devido à elasticidade dos longos cabos (sobretudo nas obras longitudinais) que impõe resistências adicionais altamente prejudiciais à agitação na câmara. Êste problema pode ser resolvido, no extremo inferior do percurso, onde é mais crítico, mediante um sistema especial de partida, como proposto por De Ries. Para as paradas intermediárias em virtude de acidentes, o problema subsiste, podendo levar a sacudidas violentas da cuba.

Sacudidas violentas podem ocorrer também nos planos inclinados funiculares por diversos motivos que provoquem uma pequena redução da velocidade (obstáculo no trilho, por exemplo). Êste fato pode ser compreendido imaginando-se que num plano inclinado movido por cabos comandados por um guincho com velocidade constante de 1 m/s, a cuba, a uma distância de 1.000 m do guincho, sofra uma resistência suplementar ao deslocamento correspondente a um aumento de tensão no cabo de tração de 1 kg/mm^2. No instante que esta resistência suplementar aparece, a fôrça nos cabos não é suficiente para equilibrar tôdas as fôrças que agem na cuba, que terá assim sua velocidade reduzida mais ou menos brutalmente. Para que o equilíbrio se restabeleça a tração nos cabos deve aumentar de 1 kg/mm^2, o que faz com que êles se alonguem e o guincho enrole mais cabo que o correspondente ao percurso de cuba; sendo o módulo de elasticidade dos cabos de 10.000 kg/mm^2 o alongamento será de .. 100 mm, necessitando um certo tempo para que se restabeleça a tensão do cabo. Durante êste tempo o cabo não para de reduzir a velocidade de tal forma que quando a fôrça desenvolvida no cabo de tração equilibra novamente a cuba, esta possue uma velocidade inferior à que o guincho imprime ao cabo. Pela inércia, a cuba não pode retornar instantâneamente a velocidade do guincho e, em conseqüência, executa um movimento oscilante de maior ou menor amplitude em tôrno da posição média de equilíbrio relativa ao cabo. Como todo movimento da cuba age automàticamente sôbre a água e o barco, êstes executarão movimentos oscilatórios que produzem fôrças violentas de amarração (DE RIES - .. 1962).

Estas fôrças de amarração excepcionais em casos de acidentes, levaram à adoção de um sistema especial de atracação para o plano inclinado de Ronquières, com um deslocamento restrito da embarcação, capaz de absorver esforços muito mais elevados que os normalmente aceitos. Êste sistema é constituído por um conjunto móvel de 2 cabeços de amarração em cada lado da câmara, ligados a um macaco hidráulico, comandado por uma bomba volumétrica de vazão variável que funciona automàticamente se a diferença de pressão entre os dois compartimentos do macaco ultrapassa um valor determinado. Quando o deslocamento de embarcação atinge um limite pré-estabelecido, a bomba realimenta o macaco, deslocando o pistão e trazendo a embarcação para a posição inicial (WILLEMS - 1961). Êste sistema pode absorver trações até 30 ton.

Nos planos inclinados automotores, parece mais simples impor a lei de movimento. Deve-se, porém, não esquecer que, seja qual fôr o sistema de propulsão adotado, sempre haverá uma inércia, que poderá provocar movimentos oscilantes no caso de aumento de resistência ao deslocamento, resultando fôrças de amarração também excepcionais.

Nos planos inclinados transversais, as agitações na câmara são menos importantes que nos longitudinais. As fôrças hidrodinâmicas, que dependem bàsicamente da inclinação do nível d'água, são muito reduzidas, possibilitando, a par de um menor percurso para um mesmo desnível, velocidades e acelerações maiores que nos planos inclinados longitudinais e portanto considerável ganho de tempo.

Há, ainda, a considerar que as fôrças de amarração, como nas eclusas, dependem do grau da ocupação da câmara e características das embarcações. Nas cubas, onde a profundidade é constante durante tôda a operação, estas influências são importantes. Para o plano inclinado de Arzviller, onde as embarcações ocuparão em quase tôdas as operações a área total da câmara (de pequenas dimensões), considera-se que as fôrças de amarração serão muito pequenas.

Para as três obras em construção, foram executados estudos em modelos reduzidos que confirmaram as previsões teóricas. Com base nos estudos elaborados foram fixadas as seguintes leis de movimento:

Ronquières - Um período de aceleração de 32 s com a aceleração variando linearmente de zero a 0,01 m/s^2, seguindo de um período de 1 min 28 s com aceleração constante de 0,01 m/s^2 e um período de desaceleração 32 s até ser a-

tingida a velocidade de 1,20m/s, mantida por um período de 17 min, após o que, a velocidade é levada a zero, através da mesma lei seguida nos três períodos iniciais, dando um tempo total de 22 min 0,40s. Desta forma espera-se que as fôrças de amarração não ultrapassem 1 ton em regime normal e 5 ton nas paradas bruscas, quando volantes garantirão a desaceleração gradual (WILLEMS et al. - 1965).

Arzviller - A lei de movimento é semelhante a de Ronquières, com aceleração máxima de 0,02 m/s^2 e velocidade constante de 0,60 m/s; esta menor velocidade foi fixada tendo em vista que pequeno percurso do plano inclinado transversal leva a um tempo de transposição coerente com o das eclusas do canal, com maior segurança para as embarcações (MARCHAL e TIPHINE - 1964).

Krasnoyarsk - Aceleração máxima de 0,008 m/s e velocidades constante de 1 m/s na subida e 1,33 m/s na descida. A lei de movimento não foi ainda divulgada em detalhes (SEMANOV e VOVKUSHEVSKY - 1965).

É de se notar que a comissão que julgou o concurso para o projeto de Arzviller adotou 3,50 m/s como velocidade máxima da cuba para planos inclinados transversais, aceleração máxima normal 0,02 m/s^2 e excepcional, em caso de acidente, 0,04 m/s^2. Ao que tudo indica, êstes limites poderão ser atingidos nos planos inclinados transversais, após a experiência que será adquirida na exploração das obras atualmente em vias de acabamento.

2.1.2.d - Rampas hidráulicas

O problema de segurança das embarcações no canal inclinado das rampas hidráulicas é, de certa forma, semelhante ao dos planos inclinados: embarcação flutuando numa massa d'água com superfície livre, sujeita a um movimento com componentes horizontais. As acelerações deverão ser transmitidas do elemento motor (trator e máscara) às embarcações através do meio líquido e de amarras, com tôdas as implicações que daí resultam.

Sob dois aspectos importantes, porém, as rampas hidráulicas diferem dos planos inclinados:

1- O volume d'água em movimento tem uma forma, de cunha com uma extremidade limitada por parede vertical e a outra apenas pelo aclive suave do canal.

2- As paredes laterais são fixas, não acompanhando o movimento das embarcações.

O primeiro aspecto é muito importante do ponto de vista da segurança das embarcações: o pequeno ângulo da cunha impede a reflexão das ondas formadas pela variação de aceleração do conjunto; não são criadas portanto ondas estacionárias e as oscilações iniciais, sempre as mais importantes, são ràpidamente amortecidas. De fato, pode-se estimar, com base nos estudos das deformações das ondas que mesmo as pouco encurvadas só são parcialmente refletidas por taludes que ultrapassem 10%; as inclinações do canal das rampas hidráulicas longitudinais sendo no máximo de 5%, pràticamente tôda a energia das ondas é destruída por arrebentação próximo à extremidade da cunha líquida.

Os ensaios realizados em modêlo reduzido na escala de 1/45 no Laboratoire National de Hydraulique (Chatou) e em cunha d'água movimentadas por locomotivas a turbinas confirmaram inteiramente esta suposição.

O segundo aspecto é também importante do ponto de vista da segurança, pois dificulta a solidarização da embarcação ao veículo motor, obrigando a adoção de um sistema de amarração através de braços fixados no trator; por outro lado, cria uma nova dificuldade representada pelo perigo do atrito da embarcação contra as paredes, que deve ser contornado pela utilização de guias, que podem ser, em particular, constituídas por roletes tríplices de borracha que reduzam o atrito a limites convenientes.

Apesar das fôrças de amarração nas rampas hidráulicas serem certamente muito inferiores às dos planos inclinados, há necessidade de reduzí-las a valores toleráveis, limitando as acelerações e velocidades de marcha do trator. Assim, nos projetos até agora elaborados, tem sido adotada a velocidade máxima de 1,66 m/s na subida e 2 m/s na descida e acelerações máximas de 0,03 a 0,04 m/s^2, alcançadas progressivamente. Os estudos teóricos, confirmados pelo modêlo reduzido, indicam que o basculamento máximo do plano d'água nestas condições não deve ultrapassar 0,20 m nas extremidades da cunha (AUBERT - 1961), valor perfeitamente tolerável, dado que a extremidade das embarcações não deverá ultrapassar aproximadamente o meio da cunha d'água. As fôrças de amarração serão, portanto, da ordem de 1/1000 do deslocamento das embarcações.

A fim de garantir a lei de movimento propõe-se utilizar, como elemento propulsor, tratores com rodas pneumáticas movidos por turbinas a gás alimentadas por geradores de pistão livre, sistema que permite obter com tôda facilidade acelerações lentamente variáveis seguindo leis pré-determinadas. Os ensaios efetuados em locomotivas providas dêste sistema demonstra--

ram plenamente esta condição. Além do mais na descida, a limitação do gás nas turbinas permite controlar cômodamente as desacelerações (AUBERT - 1963). O emprêgo de vários geradores de gás, sendo um ou dois de reserva, como previsto no projeto elaborado para Arzviller (seis geradores) garante o funcionamento permanente do conjunto e a obediência da lei de movimento, mesmo em caso de acidente mecânico.

É de se notar que, como em todos os demais sistemas de transposição de desnível, a situação mais crítica, do ponto de vista da segurança das embarcações, ocorre no início do processo de alteamento, quando as agitações na cunha líquida deverão ser mais pronunciadas. Durante a descida porém, devido ao paradoxo de Alembert, a embarcação se move mais ràpidamente que a água, tendendo a chocar-se contra a máscara, o que poderá, talvez, significar uma situação mais desfavorável.

Nas extremidades do canal prevê-se um sistema de proteção especial, para afastar as embarcações da máscara, evitando totalmente as possibilidades de choques. Também como medida de segurança, é prevista uma folga de profundidade na extremidade dos barcos bem superior às necessidades decorrentes das possíveis oscilações do nível d'água, o que permite um certo deslocamento das embarcações sem o risco de tocar no fundo, o que aliás não representa um perigo muito sério.

A instalação experimental de Vinissieux permitirá ensaiar todos os sistemas de proteção, amarração e guias projetados para as rampas hidráulicas e verificar a necessidade de sua adoção na prática.

2.2 - Segurança das embarcações em casos de acidentes nas obras de transposição de desnível

Como já fizemos notar, os acidentes sérios em obras de transposição são extremamente raros. Quase sempre há sinais evidentes de perigo, que permitem tomar a tempo as medidas necessárias e evitar todos os riscos às embarcações.

As eclusas, sendo obras eminentemente fixas, oferecem, quando convenientemente projetadas, uma segurança quase absoluta. O rompimento de uma porta, sobretudo quando a outra está aberta, é o acidente mais temível. Quando isto ocorre, as embarcações que se encontram na câmara ou nos acessos são levadas de roldão, pelo escoamento através da eclusa, ficando sujeitas a

naufrágios e perdas consideráveis. Um acidente dêste tipo ocorreu em 1953, na eclusa de Frandre, na França, quando a porta de montante, do tipo de busco caiu, por efeito da pressão d'água, devido ao rompimento de uma articulação. A câmara estava vazia porém com a porta de jusante aberta. Das quatro embarcações que se aproximavam para entrar, três afundaram e uma ficou seriamente avariada. O acidente não teve, felizmente, maiores proporções porque foi possível fechar a porta intermediária, do tipo segmento de eixo vertical, que pode ser comandada com cêrca de 5 m de carga, por ser prevista com esta finalidade (DUMAS - 1957).

Apesar do elevado número de eclusas em funcionamento em todo o mundo, acidentes como êste são muito pouco citados na literatura técnica. O emprêgo de portas que possam interromper o fluxo, fechando sob carga, além das outras vantagens já apresentadas, é um importante fator de segurança nestes casos.

Outro tipo possível de acidente é o rompimento de uma comporta do circuito de enchimento ou esgotamento. Fortes agitações podem, então, ocorrer na câmara que se interrompem, porém, quando os níveis d'água são igualados. Não há menção de acidentes dêste gênero o que contra indica a utilização de comportas de emergência para fechamento em carga dêstes circuitos (usam-se apenas conjuntos de "stop-logs" para serviços de manutenção e reparos).

Os perigos de falsas manobras, comuns no passado, como, por exemplo, a abertura das portas antes do momento indicado, atualmente são afastados pelos sistemas de tele-comando centralizado, correntemente empregados, que dispõem de contrôles de segurança e impedem a realização de uma operação antes de completada a anterior.

A segurança nas obras de transposição baseadas na transmissão de pressões por sistemas hidráulicos ou ar comprimido como as eclusas pneumáticas, é baseada na estanqueidade do conjunto e principalmente, na garantia das tubulações sob pressão; a perda de pressão acarreta a queda das câmaras conjugadas com conseqüências imprevisíveis. A impossibilidade de reduzir ao mínimo êste risco é que torna pouco recomendável a utilização dêstes sistemas. Do ponto de vista da segurança não há dúvida que dos diversos tipos de eclusas e ascensores pneumáticos propostos, os do tipo "sino mergulhante" modêlo Dulton ou Morawed, são os que oferecem maiores vantagens, dado que as conseqüências de uma queda seriam bem menos danosas que nos modelos Schanzel

ou Tillinger (TILLINGER - 1949). Poderia ser prevista, evidentemente, a utilização de um equipamento de segurança que garantisse a parada da câmara em qualquer posição, como os utilizados em alguns elevadores verticais, à custa porém de complicações mecânicas que tirariam a vantagem principal do sistema, que é a simplicidade.

O principal risco dos elevadores verticais é o esvaziamento brusco da cuba, em conseqüência de um rompimento provocado por um choque ou pela falta de resistência da estrutura. Quando tal ocorre, há um desequilíbrio do sistema (quase todos os tipos de elevadores verticais são equilibrados por contrapêsos ou por duas cubas conjugadas) motivado pela rápida variação de pêso, o que poderia provocar o disparo da cuba (e a queda da outra se fôr um elevador duplo) e até mesmo a ruina da obra. Vários meios podem ser empregados para evitar o esvaziamento da cuba, no caso de naufrágio ou choque de uma embarcação contra as paredes ou portas: construção de fundo e paredes duplas, reforços na chapa do revestimento interno, portas especiais,etc. Todos êstes meios conduzem a um aumento considerável de pêso da cuba.

A experiência de muitos anos de exploração dos elevadores verticais tem demonstrado que as probabilidades de esvaziamento da cuba são muito remotas, devido, sobretudo, à tranqüilidade que reina na câmara. As despesas para prevenção dêste risco não são compensadas, sendo apenas tomados cuidados especiais para a estanqueidade das partes móveis (portas) e previsto um sistema automático de bloqueio, que garanta a parada da cuba (ou de ambas as cubas) em qualquer nível, desde que seja ultrapassada a velocidade de queda de limite. Êste sistema reduz ao mínimo os riscos do desequilíbrio causado pela variação brusca do pêso da câmara ou qualquer outro acidente de origem mecânica (carga catastrófica).

Têm sido adotados, para os elevadores construídos, diferentes tipos de freios e bloqueio da câmara. Para os elevadores hidráulicos, é suficiente um registro de ação rápida que corte o fluxo na tubulação que interliga as prensas. Em geral,o isolamento das cubas é conjugado com um sistema de garras que sustenta a câmara em qualquer posição, na eventualidade do rompimento do circuito hidráulico, como empregado nos elevadores do canal do Centro na Bélgica (GENARD e DENIL - 1902).

Para os elevadores flutuantes, como os elevadores de Rothensee e Henrichenbourg, que têm o movimento controlado por parafusos sem fim verticais (eixos filetados), os próprios eixos são providos de filetes irre-

versíveis que suportam a cuba em qualquer posição (DEHNERT - 1954).

Para o elevador funicular de Niederfinow, movido por sistema de cremalheiras, foi adotado um sistema de quatro "ferrolhos" constituídos por parafusos sem fim que se engrenam em filetes fixos nas colunas suportes quando a cremalheira deixa de agir (os dentes da cremalheira não resistem a cargas extras) (Bulletin A.I.P.C.N. - nº 18 - 1934). Para os elevadores projetados na Rússia, foi estudado um sistema de bloqueio com grampos de fricção com molas (ZINEVICH - 1957).

Outro requisito essencial de segurança dos elevadores verticais é a manutenção da horizontalidade da cuba. Também êste problema tem tido diversas soluções, sendo de assinalar-se nos elevadores mais modernos, construídos ou, simplesmente projetados, o emprêgo de sistemas automáticos, que corrigem elètricamente qualquer desnível acima do tolerável (alguns poucos centímetros).

Se, apesar dêstes sistemas ocorre uma inclinação, o movimento deve automàticamente ser bloqueado sob pena de gravíssimas conseqüências. Os elevadores funiculares projetados na Rússia, disporiam de engenhosos sistemas de equilibragem que garantiriam, através de apropriada suspensão dos contrapesos, a horizontalidade permanente da câmara, impedindo, ao mesmo tempo, movimentos no plano horizontal, de tal forma que as cubas não necessitariam de guias rígidas (ZINEVICH - 1957). Outra solução original do problema da manutenção da horizontalidade da cuba e distribuição do pêso pelos diversos contrapesos foi proposto por Holecek (HOLECEK et al. - 1949): a cuba, como referido no Capítulo I, seria suspensa a quatro pistões por quatro bielas; da mesma forma, os quatro contrapesos seriam suspensos a quatro outros pistões. Os oito pistões seriam ligados entre si por um apropriado circuito hidráulico, que constituiria como que um paralelograma de esforços que mantém a câmara horizontal e equilibrada em qualquer posição. Êste sistema pode ser adaptado a qualquer tipo de elevador vertical para garantir a estabilidade da câmara.

Os elevadores hidráulicos têm, como problema específico, como já mencionado, a estanqueidade do circuito hidráulico sôbre pressão, exigindo, em particular, cuidados especiais nas buchas dos "pistões". O sistema adotado para as buchas nos oito elevadores projetados e construídos pelo eng. Edwin Clark, com guarnições de corda de cânhamo fixadas a "expreme-estopas" simples, que pouco diferem entre si, deram resultados perfeitamente satisfa-

tórios exigindo pouca manutenção; alguns funcionaram mais de 75 anos sem qualquer inconveniente (evidentemente com manutenção apropriada).

Aliás é de se notar que os dois únicos acidentes ocorridos nestes oito ascensores não tiveram origem no sistema hidráulico, como seria de se esperar. O mais célebre se deu em Anderton, em 1882 (sete anos após sua entrada em serviço): provocou a queda de uma das cubas do alto do seu curso, levando à transformação do elevador para sistema funicular. Êste acidente teve origem no rompimento da virola superior da prensa (construída em ferro fundido), por defeito na guia e má qualidade do material (GUILLEMAIN - 1885). O outro acidente, que aconteceu com o elevador de Fontinettes em 1894 (só reparado em 1897), foi devido a um recalque de fundação. A partir de então, aquêle elevador, como os quatro belgas e os dois canadenses, funcionou sem qualquer acidente.

Nos elevadores flutuantes, o principal problema de segurança é a estanqueidade dos flutuadores, pois um vazamento pode fazer com que o sistema perca a estabilidade. A fiscalização no interior dos flutuadores não é fácil, dado as dimensões e dificuldades de acesso. Sendo elevadas as pressões a que estão submetidos, o problema pode tornar-se de difícil solução. A compartimentação resolve, em parte, estas dificuldades; uma solução completa só pode ser obtida mantendo ar comprimido sob pressão constante no interior dos cilindros. No elevador de Rothensee, é mantida uma pressão nos flutuantes igual à máxima pressão hidrostática, de tal forma que, quando o flutuante está no alto do curso, a pressão interna é superior à externa (DEHNERT - - 1954). O elevador Henrichenbourg II também dispõe de um sistema de segurança semelhante (RÉVUE DE LA NAVIGATION INTÉRIEURE ET RHÉNANE - nº 12 - 1959).

Também êste tipo de elevadores verticais não apresentou qualquer defeito grave e há muitos anos as três obras alemãs vêm funcionando pràticamente sem acidentes. O único acidente noticiável, aliás sem conseqüências, foi o que ocorreu em Henrichenbourg, onde após 60 anos de marcha um dos eixos filetados rompeu-se por fadiga do material.

O problema específico, do ponto de vista da segurança da obra, dos elevadores funiculares é a distribuição uniforme dos esforços pelos diversos contrapesos. O engripamento de uma polia (128 polias em Niederfinow), o rompimento ou mesmo a distensão de um cabo (256 cabos em Niederfinow) ou deslocamento de um contrapêso (192 contrapesos em Niederfinow) podem levar a

desequilíbrios e sérios perigos para todo o sistema. Nos elevadores projetados recentemente têm sido previstos dinamômetros especiais que bloqueiam automàticamente o movimento no caso de ocorrência de esforços diferenciais.

O elevador de Anderton, depois de modificado, funciona com sistema funicular há mais de 60 anos sem acidentes; o elevador de Niederfinow vem funcionando desde 1934 e, neste período, sòmente uma vez o sistema de bloqueio entrou em funcionamento, devido a um acidente sem qualquer importância: uma das correntes, destinadas a compensar o pêso dos cabos soltou e ficou presa na guia inferior (DEHNERT - 1954).

Finalmente, cabe referir aos elevadores da câmara submergível, sujeitos sempre a muitas críticas pela pouca segurança que ofereceriam. Não havendo nenhuma obra entrado em funcionamento normal, êstes receios nunca puderam ser desmentidos. Indicamos que um único ascensor dêste tipo foi até hoje construído: o ascensor de Durkenton em 1798 que ruiu poucos meses após a experiência inicial, devido à queda do muro de arrimo do poço. Os estudos recentes efetuados inclusive em modelos em escala reduzida (RÖHNISH - 1964) parecem demonstrar que os riscos que um equipamento dêste tipo oferece não são tão sérios quanto podem parecer à primeira vista. Assim, uma entrada brusca de água na câmara, provocada, por exemplo, por defeito de vedação e que não pudesse ser controlada pelo sistema de bombas que deve existir no seu interior, conduziria a cuba estanque automàticamente ao fundo, sem perigos para a tripulação que ficaria num "sino de mergulhador", devido ao ar retido, e que poderia sair pela porta inferior. Uma fuga na câmara de ar comprimido que garante a flutuabilidade (sistema Rothmund) ocasionaria igualmente o afundamento, sem maiores conseqüências, a menos que a porta de montante estivesse aberta. A compartimentagem da câmara de ar e a própria forma da mesma, estudada em detalhes para os modelos recentes, dificultam a saída brusca do ar, dando tempo para o fechamento de emergência da porta estanque, sem maiores perigos. O esvaziamento do poço em que se move a cuba também não acarreta riscos além do abaixamento simultâneo das duas cubas, que, nestes projetos modernos, flutuam livremente na superfície d'água. Outro acidente possível, qual seja uma parada do sistema de comando do movimento, pode ser contornado com um aumento do lastro, que também conduz a cuba à sua posição inferior.

Resulta, como assinala Braun (BRAUN et al. - 1965), que dos quatro casos de acidentes possíveis, dois, o escoamento da água do "poço" e a parada do sistema de comando, não afetam a segurança dos barcos e suas tripulações; por conta, os outros dois exigem medidas especiais de proteção. Sò

mente a experiência em um protótipo, ainda não prevista, poderá confirmar estas conclusões sôbre a segurança dos elevadores de câmara submergível, obtidas até agora, ùnicamente com base em ensaios em modelos.

Nos planos inclinados, diversos tipos de acidentes de origem mecânica podem pôr em risco as embarcações. Cuidados especiais devem ser tomados visando a segurança total de funcionamento da obra.

O problema da segurança nestes ascensores, sob certos aspectos, é semelhante ao dos elevadores verticais, especialmente os do tipo funicular balanceado, nos quais o maior risco é o esvaziamento brusco das cubas.

De fato, o pêso da água contida na cuba (quando não há embarcações na câmara), é a parte preponderante do pêso a ser movimentado: 5.300 ton em 6.700 ton em Krasnoyarsk, 4.000 ton em 5.700 ton em Ronquières e 750 ton em 894 ton em Arzviller. A possibilidade de uma tal mudança de pêso num sistema equilibrado é aterradora. Para os planos inclinados de Ronquières e Arzviller foram feitos estudos muito aprofundados sôbre a probabilidade do esgotamento subido das câmaras, por defeitos de estanqueidade, choques de embarcações contra as paredes ou portas e acidentes durante o percurso, tendo sido concluído em ambos que as chances de um tal evento são mínimas não exigindo proteções especiais. Aliás, para Arzviller, devido ao pequeno pêso movimentado, mesmo se ocorrer esvaziamento completo da câmara, o atrito dos cabos sôbre os roletes suportes é suficiente para impedir a queda dos contrapesos.

Para os planos inclinados automotores, o esvaziamento da cuba não oferece riscos importantes.

Outro requisito de segurança semelhante ao dos elevadores verticais e também específico dos planos inclinados funiculares é a distribuição equitativa dos esforços pelos diversos cabos, sobretudo nos modelos transversais, quando são empregados grande número de cabos (8 cabos em Ronquières e 24 cabos em Arzviller). A solução moderna dêste problema, que, em Foxton, exigiu grandes complicações mecânicas, é a utilização, para a amarração dos cabos à cuba, de macacos hidráulicos interligados que garantam a igualdade das cargas. Sistemas dêste tipo foram adotados tanto para Ronquières quanto para Arzviller (WILLEMS et al. - 1965, VADOT et al. - 1965) e já tinham sido propostos há muito tempo (CADART - 1898).

Como problema de segurança dos planos inclinados comum aos diferentes tipos, há, ainda, a distribuição do pêso entre as diversas rodas do veículo o que no passado foi julgado como sendo a maior dificuldade dos projetos, e, inclusive, fêz com que alternativas dêste tipo de obra não fôssem aceitas nos concursos internacionais. Atualmente, a experiência obtida nas ferrovias onde problemas dêste tipo e outros comuns aos planos inclinados(como a questão de guias, alinhamentos e fixação dos trilhos,etc.), vêm sendo resolvidos de forma satisfatória, permite adotar tipos de suspensão inteiramente seguros mesmo no caso de obras longitudinais com grande quantidade de rodas (a cuba de Ronquières repousa sôbre 236 rodas dispostas em duas fileiras duplas suportadas por molas helicoidais).

Nos planos inclinados transversais, a manutenção da perpendicularidade entre a cuba e os trilhos é um requisito importante de segurança, devido à grande distância entre os caminhos de rolamento. Em Foxton, esta dificuldade foi ultrapassada fàcilmente por causa da pouca distância entre os 4 grupos de trilhos (SUPPAN - 1902). Para Arzviller, onde a distância entre os caminhos de rolamento é muito maior, teve de ser previsto todo um complexo sistema de regulagem eletro-mecânico composto de um grupo moto-redutor que, por embreagem elétrica, corrige automàticamente as diferenças de rotação de rodas dentadas, situadas nos extremos da cuba, que giram sôbre creamalheiras fixas ao caminho de rolamento (MARCHAL e TIPHINE - 1964).

A possibilidade de parada dos veículos em qualquer ponto do percurso sôbre o plano inclinado é considerada condição essencial para a segurança dos ascensores. Em Arzviller o grande número de cabos, como assinalamos, não exige, para obediência desta condição se não o uso de freios de tambor simples nos guinchos de comando. Em Ronquières foi, também, julgado suficiente o freio através dos cabos, não sendo previsto nenhum sistema de parada do veículo no caso do rompimento simultâneo dos oito cabos. Para Krasnoyarsk, com veículo auto-propulsor com quatro conjuntos de cremalheiras, estas foram dimensionadas de forma a manter fixo o veículo em qualquer circunstância.

Nas extremidades do curso, há, ainda, necessidade de previsão de um sistema especial de fixação da cuba, que absorva os esforços originados quando a câmara é posta em comunicação com os acessos e na entrada das embarcações; em Ronquières será utilizado um equipamento de bloqueio constituído de ferrolhos hidráulicos que impedem a tendência de afastamento das cabeças fixas e móveis.

Finalmente, deve-se considerar que, nas paradas bruscas provocadas por acidentes e nas partidas fora dos extremos do percurso, a lei de movimento deve ser obedecida, a fim de evitar os riscos já examinados de agitação nas câmaras.

Todos os sistemas de segurança mencionados, por serem de concepção nova, requerem ainda aprovação pela experiência que só será obtida com a entrada em serviço das três grandes obras de transposição de desnível citadas (Ronquières e Arzviller em 1968, Krasnoyarsk em 1970).

De todos os tipos de ascensores examinados, as rampas hidráulicas são os que melhores condições de segurança oferecem às embarcações em caso de acidente. De fato, o acidente de maiores riscos, o esvaziamento subido da cunha d'água, tem como conseqüência, colocar a embarcação apoiada a sêco sôbre o fundo de um canal liso de pequena declividade. Evidentemente, se tal ocorrer, a estrutura da embarcação poderá não resistir, porém não haverá qualquer perigo seja para a tripulação seja para a carga.

Visando evitar acidentes dêste tipo, estão sendo estudados tipos especiais de vedação entre a máscara móvel e o canal que, sem aumentarem de muito o atrito e o esfôrço para a movimentação, garantam uma impermeabilização suficiente. Aliás, deve ser lembrado que resta sempre a possibilidade de alimentação da cunha d'água pelo canal, compensando fugas restritas.

Todos os demais acidentes graves que possam ocorrer com o veículo propulsor e a máscara móvel, como o disparo sôbre a rampa por falta de freios, rompimento do suporte da máscara, etc. levam sempre à situação da embarcação apoiada sôbre o fundo do canal, portanto sem riscos mais sérios.

Também para as rampas hidráulicas, como referido, há necessidade de previsão de um sistema de comando que garanta determinadas leis de movimento em caso de paradas excepcionais. As turbinas a gás dos tratores previstos garantem a exeqüibilidade desta condição.

A falta de experiência neste tipo de obra de transposição de desnível faz com que estas suposições sejam encaradas com restrições que sòmente a prática poderá anular.

3 - EMBARCAÇÃO-TIPO

Nas hidrovias resultantes da canalização de cursos d'água, sobretudo com as modernas retenções de fins múltiplos, as condições críticas que limitam as dimensões das embarcações, ocorrem quase sempre nas obras de transposição de desnível. Dêste fato resulta a importância do correto dimensionamento destas obras, porquanto a economia do transporte é intimamente ligada às características das embarcações que trafegam. É necessário, pois, para a elaboração do projeto de qualquer obra de transposição, a fixação prévia dos modelos de embarcações que irão utilizá-la. Estas embarcações, que designaremos por "embarcações-tipo", deverão, evidentemente, ser as mais convenientes, sob todos os pontos de vista, para o transporte pela via fluvial.

Quando a obra de transposição é implantada num rio navegado ou ligado a uma rêde em plena utilização, a fixação da embarcação-tipo é relativamente fácil, a menos que a obra venha modificar radicalmente as condições anteriores. Neste último caso e quando tratar-se de uma nova aquavia, especialmente em regiões onde não há tradição de navegação, a fixação é complexa interferindo um grande número de fatôres ligados às condições econômicas de todo o conjunto.

A seguir, examinaremos as características das embarcações utilizadas na navegação interior visando exclusivamente a escolha de embarcações-tipo e as implicações que possam ter com as obras de transposição de desnível, para, posteriormente, estabelecer as condições que devem satisfazer as eclusas e ascensores para receber estas embarcações. Devemos desde logo evidenciar que dêste ponto de vista, as características mais importantes das embarcações são suas dimensões: bôca, comprimento e calado.

3.1 - Processos de exploração da navegação

Na Europa Ocidental, a necessidade de transporte numa época em que pràticamente não existiam outros meios além da navegação levou à construção de uma ampla rêde de canais artificiais, interligando os rios navegáveis. Primitivamente as embarcações eram propulsionadas nestes canais sobretudo pelo processo de "sirga-animal", em que as barcaças, sem nenhum meio de propulsão e dispondo apenas de um sistema rudimentar de lemes externos, eram puxadas por cavalos que caminhavam nas margens. Outros processos de propulsão, como a espiagem ("touage"), vela, remos, etc. eram sobretudo utilizados

nos rios de corrente livre, onde o emprêgo da sirga era dificultado pelas irregularidades de margens, larguras do leito e velocidade da corrente.

Estas barcaças, conhecidas como "péniches" na França, eram de dimensões relativamente pequenas, de madeira, normalmente de propriedade dos próprios tripulantes, muitas vêzes com os animais alojados a bordo.

A introdução da mecanização nos canais artificiais, no início do século passado, conservou as mesmas embarcações com a substituição da tração animal por tração de locomóveis de emprêsas particulares ou estatais. Nos rios canalizados e de corrente livre surgiram os rebocadores de roda que tracionavam as péniches dos canais, e as embarcações automotoras, de dimensões reduzidas para poderem ter acesso aos canais de seções restritas.

Da evolução do transporte hidroviário na época em que a navegação teve de enfrentar o impacto da concorrência das estradas de ferro, surgiu o que podemos denominar de "processo tradicional europeu de exploração da navegação interior" que, até há poucos anos, era o único utilizado na Europa.

Êste "processo tradicional" manteve as características marcantes de sua origem: embarcações pequenas, sem propulsão, com pouca capacidade de carga, baixo custo e pequena produtividade, o proprietário vivendo a bordo com sua família (que constituia bàsicamente a tripulação). A propulsão garantida nos canais por sirga mecânica e nos rios por rebocadores a vapor, sob forma de grandes comboios de barcaças tracionadas por cabos de aço. Evidentemente, aos poucos, as frotas foram modernizando-se com o emprêgo dos cascos metálicos, da hélice e dos motores diesel nos rebocadores e demais aperfeiçoamentos da técnica naval.

A concorrência sempre crescente dos outros meios de transporte levou paulatinamente ao aumento da capacidade de carga das unidades e ao aumento porcentual das embarcações automotoras, possível sobretudo pela existência de emprêsas de armadores com a possibilidade financeira para arcarem com o custo elevado dêstes barcos. Mantiveram-se, porém, os restícios do sistema artesanal primitivo, com um grande número de barcaças tradicionais, cujos proprietários encontram cada vez maiores dificuldades para obter, nas "bolsas de transporte", as cargas essenciais ao seu sustento (existem ainda na França cêrca de 10.000 péniches de 350 ton em tráfego).

Compreende-se a evolução da navegação européia quando lembramos que o custo da tonelada x quilômetro do transporte em barcaças de 280 ton ("péniche flamande") é, hoje em dia, cêrca de 30% mais caro que em barcaças de 600 ton e cêrca de 50% mais caro que nas "chalands" de 1.350 ton e que um automotor de 1.350 ton de capacidade de carga tem um custo operacional (por tonelada) de menos de 40% de um de 300 ton (BEAU et DEYMIE - 1957).

O sistema tradicional europeu caracteriza-se por uma grande variedade de embarcações que resulta, em parte, do caráter artezanal da navegação, porém, em maior parte, da falta de uniformidade das características das vias fluviais interligadas. Um grande esfôrço foi feito visando uma uniformização das frotas européias, desde 1879, quando na França a célebre lei Freycinet impôs uma padronização nas dimensões das eclusas, até recentemente, quando a Comission Economique Européenne (C.E.E.) classificou as vias fluviais e indicou como embarcação-tipo internacional o automotor modêlo R.K.H., com 1.350 ton de capacidade de carga, 9,50m de bôca, 80 m de comprimento e 2,50 m de calado máximo. A C.E.E. teve, porém, de reconhecer mais quatro embarcações-tipo, adaptadas às quatro categorias de canais com características inferiores, das quais a menor é a clássica "péniche" dos canais franceses do século passado, com 5 m de bôca, 38,50 m de comprimento e 1,80 m de calado para uma capacidade máxima de carga de 280 ton.

Esta diversidade de embarcações é bem representada pela frota que navegava no rio Reno em 1960 quando a navegação por empurra não tinha ainda importância naquele rio. Trafegavam então: 6.700 automotores, com comprimentos entre 40 e 100 m, capacidade de carga entre 300 e 2.000 ton, e potência de motores de 50 a 1.500 HP; comboios de tração com comprimentos entre 1.000 e 1.500 m (na subida) e 300 a 400 m (na descida, quando em geral, as barcaças são conjugadas duas a duas); 3.300 barcaças, com comprimentos entre 38 e 100 m, larguras entre 5 e 12 m, capacidade de carga entre 350 e 2.500 ton; 1.000 rebocadores com potência média de 450 HP e potência máxima de 4.000 HP (VERHEY - 1961).

O processo tradicional europeu apresenta um rendimento econômico baixo, não só devido à falta de padronização das embarcações, mas ,principalmente, pela elevada mão de obra que exige, e pelo caráter "semi-artesanal", que, entre outros inconvenientes, acarreta a quase impossibilidade de navegação noturna.

De fato, as barcaças típicas européias, desprovidas de propul

são, para serem movimentadas por tração seja por rebocadores, seja por sirga, exigem um govêrno próprio e portanto, um pilôto habilitado e muitas vêzes um auxiliar cada uma. Dado que as maiores barcaças têm uma capacidade de carga de 2.500 ton sendo, porém, raras as que ultrapassam de 1.350 ton, verifica-se que dificilmente a relação tonelada transportada por tripulante ultrapassa 400 sendo em média em tôrno de 100 (98 ton/homem em média, na Alemanha, em 1956). Por outro lado, a colocação de uma segunda ou terceira tripulação a bordo, para permitir o tráfego noturno (ou tráfego permanente de 24 horas) é incompatível com as pequenas dimensões das embarcações e o espaço morto que seria necessário dispor, e, mesmo, com o sistema de vida das tripulações habituadas a viver "em família" nos seus barcos, que são verdadeiras residências (até no sentido legal).

A navegação interior européia teve que enfrentar sérios problemas de ordem social. O aumento do padrão de vida das populações foi tornando aos poucos dificilmente aceitável os hábitos nômades tradicionais, com precárias condições de confôrto a bordo (devido ao pequeno espaço disponível) e dificuldades de educação das crianças em idade escolar. As novas gerações tendiam a abandonar a profissão e, em conseqüência, começou a escassear a vultuosa mão de obra necessária (em 1957, na Alemanha, haviam registrados 27.200 tripulantes de navegação interior).

De um modo geral, os melhoramentos introduzidos nas embarcações clássicas européias visaram o aumento do rendimento propulsivo, através de melhores formas de casco, equipamentos de propulsão (motores, hélices, túneis, tubos, etc.) e facilidade de manobras, sendo conservadas, por tradição, as características do método de exploração herdadas ainda da sirga animal, mesmo pelos grandes armadores, que em 1956 já eram proprietários de 56,2% (em tonelagem) da frota alemã (36,6% de propriedade particular e 7,2% de embarcações de serviço).

Os princípios básicos do processo tradicional europeu eram adotados em todos os países da Europa Continental e Grã-Bretanha inclusive nos países socialistas onde haviam condições um pouco diversas. Em particular, na Rússia, os grandes rios e lagos, desde há muito tinham levado ao emprêgo de barcaças de maiores dimensões, sempre utilizadas, porém, em comboios de tração. Assim é que, naquele país, no começo dêste século, no célebre canal Marie, que ligava o Mar Báltico ao rio Volga (construído em 1810, com extensão total de 1.135 km) já navegavam embarcações com 64 m de comprimento por 9,60 m de bôca, dimensões quase padronizadas até 1945.

Nos Estados Unidos, a navegação interior foi introduzida pe-- los primeiros colonizadores, que como não podia deixar de ser, para lá leva- ram os métodos então utilizados na Europa.

A navegação comercial pròpriamente dita que seguiu a fase de utilização dos rios como vias pioneiras de penetração, pode-se dizer que foi implantada com a construção em 1796 do célebre "The Old Erie Canal" entre Al bany e Búfalo que ligou, em 1825, a cidade de Nova York aos Grandes Lagos. Êste canal, transformado em 1903, no "New York Barge Canal", ainda hoje em tráfego (muito modificado), era um típico canal europeu: a navegação era fei ta por sirga animal através de 84 eclusas com 3 m de largura por 21 m de com primento, o que mostra as dimensões das embarcações que o utilizavam; em .. 1897 o número de eclusas foi reduzido a 57 e suas dimensões levadas a 13,50 por 90 m, dimensões atuais (WATTENBERG - 1964).

Muitos outros canais foram construídos nos Estados Unidos, por emprêsas particulares como o canal Morris, o canal South-Hadley (construído antes mesmo do Old Erie Canal), o canal Chesapeake - Ohio, etc., todos para navegação de pequenas embarcações com sirga.

Algumas regiões norte-americanas, em particular os Grandes La gos e a bacia do rio Mississipi, ofereciam amplas possibilidades para a na-- vegação em corrente livre e, nesta, as embarcações típicas dos canais euro-- peus não eram utilizáveis. Para aquelas regiões houve necessidade de cria-- ção de novos tipos de barcos e execução de obras de melhoramento de vulto su perior às européias. Na bacia do rio Mississipi, e, em particular, no rio Monongahela, as grandes riquezas naturais (sobretudo madeira, carvão e minério de ferro) e as restrições impostas pelos rios sem melhoramentos, navegáveis sòmente em épocas de cheias, levaram ao emprêgo de frotilhas de verda-- deiras "balsas" que desciam os rios à deriva, na primavera e eram desfeitas ao fim da viagem com o aproveitamento da madeira (como as que ainda trafegam no rio Parnaíba). Também eram utilizadas outras embarcações, movidas a remo e vela, que subiam os rios vazias. Quando surgiram em 1811 os primeiros va- pores de rodas laterais, construídos sobretudo para tráfego de passageiros , estas "embarcações" sem propulsão passaram a ser movimentadas agrupadas aos mesmos, formando os grandes "packet-boat" clássicos do rio Ohio (PERSON e MY TINGER - 1957). Mais tarde, os vapores foram aperfeiçoados tendo em 1860 sur gido os "steamer", com rodas trazeiras, de características tão apropriadas às condições locais que continuaram a ser construídos até 1940 (DAVID e BAL- LADE - 1958).

Quando se tornou evidente a necessidade de melhorar os rios através de obras de canalização, os usuários impuzeram como condição o livre tráfego dêstes "comboios" primitivos que tècnicamente não teriam mais razão para subsistir. As eclusas tiveram de ser construídas com grandes dimensões.

A experiência adquirida nas grandes obras de acesso aos lagos interiores, em especial no canal de contôrno das quedas do Niágara, onde entre 1824 e 1829 havia sido construído o primeiro canal Welland, ligando o lago Erie ao lago Ontário, com 40 eclusas de 6,60 m de largura, 33 m de comprimento e 8 pés de calado, possibilitou a execução entre 1840 e 1844 das primeiras eclusas da bacia do Mississipi com 15 m de largura por 47,50 m de comprimento. Estas dimensões não foram julgadas ainda suficientes pelos usuários, porém encontravam-se no limite da técnica de então.

Em 1878, as portas corrediças possibilitaram a construção da primeira eclusa do rio Ohio com 33 m de largura por 180 m de comprimento. É de se notar, que, na Europa, naquela época, como aliás ainda hoje, as eclusas raramente tinham mais de 12 m de largura. Esta dimensão, adotada como padrão no rio Ohio, é que permitiu, através da evolução dos primitivos "packet-boats" a implantação de um nôvo processo de navegação, conhecido como processo americano ou "navegação por empurra".

É difícil dizer exatamente quando surgiram os primeiros comboios de empurra ("push-boats") na bacia do rio Mississipi. No fim do século passado já circulavam comboios do tipo "flat-boats" e "treel-boats", propulsionados por rebocadores de roda de pôpa conhecidos por "paddle-well towboat". Na década de 1920 existiam numerosos os comboios bem semelhantes aos atuais, porém só em 1931, surgiu, no rio Ohio, o primeiro rebocador de empurra com motor diesel e as características dos que hoje dominam tôda a navegação interior norte-americana. Estas embarcações adaptam-se de forma tão versátil às condições específicas de cada via fluvial, que se pode afirmar ser seu emprêgo justificável em quase tôdas as circunstâncias.

A designação de navegação "por empurra" universalmente adotada para êste método americano, não exprime bem o caráter do sistema, como assinala Horton (HORTON - 1961), dando principalmente a idéia de que a base é a propulsão na parte posterior do comboio (contrário ao método europeu onde a propulsão localiza-se a frente) quando, na verdade, o fundamental é a concentração da propulsão, comando e govêrno num único elemento que pode ser isolado do restante do comboio, formado por unidades independentes (chatas)li

gadas rìgidamente entre si.

As numerosas vantagens do processo americano, descritas e analisadas pormenorizadamente em inúmeras publicações recentes, são hoje amplamente conhecidas e não necessitam ser aqui enumeradas. Apenas, visando uma comparação com o processo tradicional europeu, podemos lembrar o grande rendimento propulsivo (cêrca de 30% a mais que no sistema de comboios de tração), a redução de mão de obra (mais de 50%, em relação ao método tradicional europeu) e a grande manobrabilidade. Na verdade, os comboios de empurra conjugam as vantagens dos comboios de tração e dos automotores, permitindo, ao mesmo tempo, um grande aproveitamento do sistema propulsor que não precisa ficar estacionado nos portos e velocidades elevadas que só podem ser obtidas em automotores.

Por outro lado o rebocador de empurra que, segundo alguns autores, deveria ser chamado de empurrador, permite, pela concentração da propulsão e govêrno em uma só unidade, manter a bordo várias tripulações em condições de confôrto muito satisfatórias, devido ao grande espaço disponível em relação ao número de tripulantes, possibilitando assim a navegação ininterrupta, o que, por si só, dá uma utilização ao equipamento flutuante do dôbro ou mais do sistema europeu clássico. Além do mais, a rápida "rotação" do rebocador possibilita propiciar repouso em terra aos tripulantes, mesmo quando utilizado em grandes percursos (nos Estados Unidos são usualmente empregadas três tripulações, uma em repouso e duas a bordo operando 24 horas por dia), resolvendo assim os problemas sociais.

O processo americano de navegação é baseado em uma estruturação totalmente diversa do processo tradicional europeu: a necessidade de padronização das chatas dos comboios, suas dimensões avantajadas e o fato de não serem tripuladas, impossibilita a propriedade individual e faz com que as chatas sejam utilizadas como os vagões das estradas de ferro. O elevado capital necessário para a aquisição das embarcações, sobretudo dos rebocadores, só permite que emprêsas de porte médio ou grande possam operar a navegação, apesar da via de tráfego ser aberta a todos. Por outro lado, a exploração do transporte, para ser compensadora, exige homogeneidade e garantia de carga o que, em geral, só pode ser obtido no tráfego regular entre pontos fixos de produção e consumo.

As condições da via navegável também têm importância na utilização da navegação por empurra, porém, como já assinalamos, êste sistema po-

de ser empregado, mediante adaptações, pràticamente em tôdas as condições de navegabilidade. Não há dúvida, porém, que as aquavias obtidas por canalizações de retenções de grande queda, com grandes extensões sem qualquer restrição ao tráfego, representam as condições ideais para os comboios de empurra.

Nos Estados Unidos, a evolução da navegação por empurra tem sido no sentido do aumento da capacidade de carga das chatas e da potência dos rebocadores. As dimensões dos comboios são limitadas apenas pelas restrições das vias e pela perda de tempo na passagem pelas obras de transposição de desnível, sendo que, de um modo geral, há muito foi atingido o limite econômico em cada rio. Assim é que, em 1904, já trafegavam no Mississipi comboios com 56 chatas de carvão deslocando mais de 53.000 ton (recorde do "paddle-well" "Sprague"). Nota-se também uma especialização das chatas para cargas bem determinadas e uma tendência cada vez maior para a padronização das dimensões externas.

A uniformidade da frota utilizada nos rios americanos pode ser verificada pelas características das embarcações que trafegavam no rio Ohio em 1945 (BLOOR - 1951): 2.944 chatas (sendo 254 cisternas) com bôca de 6 a 10,80 m e capacidade de carga entre 800 e 1.500 ton das quais 2.135 com 7,80 m de bôca e 52,50 m de comprimento; rebocadores de empurra com potência entre 2.000 e 2.400 HP, bôcas entre 11,40 e 17,40 m, comprimentos entre 54 e 72 m. Atualmente há chatas com 15 m de bôca e 88 m de comprimento, e com capacidade de carga até 3.200 ton. Os comboios do rio Ohio, em sua maioria, eram formados, em 1945, por 6 chatas, sendo comum os de 7 a 10 chatas. Os mais longos tinham 24 chatas. O calado é também muito uniforme nos Estados Unidos sendo o calado de 7,50 pés (2,25 m), correspondente à profundidade mínima de 9 pés (2,70 m), o mais comum em tôdas as rêdes fluviais.

Dadas as vantagens oferecidas pelo método americano e as dificuldades de prosseguir, em condições modernas, empregando o sistema tradicional europeu, não é de se estranhar que a navegação por empurra fôsse introduzida na Europa.

No período de 1855 e 1875 havia sido feito um "rebocador de empurra" na França, que chegou a ser operado, sem êxito, no canal do Marme ao Reno (VADOT et al. - 1961). Entre 1937 e 1947 algumas tentativas foram realizadas no rio Tâmisa, também sem maiores êxitos (BLENHKARN - 1961). Em 1948 entrou em operação, naquele rio, um pequeno rebocador especialmente construído para empurra, que foi seguido por alguns outros em canais secundários

inglêses.

No rio Danúbio, em 1931, foi testado o método americano por um empurrador alemão que trafegou com irregularidade até 1938; só em 1954 o sistema foi retomado por um rebocador húngaro de 820 HP que entrou em funcionamento efetivo, com alguns outros de outras nacionalidades lançados na mesma época.

No rio Sena, o primeiro comboio de empurra surgiu em 1955, datando pràticamente de então a implantação do método americano na rêde de vias fluviais interligadas da Europa Ocidental.

Em setembro de 1957, um rebocador de empurra francês entrou em operação no rio Reno, com resultados tão satisfatórios que o exemplo foi imediatamente seguido por armadores holandêses, alemães e suíços. O rio Reno, com corrente livre, desde logo mostrou ser a aquavia européia melhor adaptável ao novo método de navegação.

A partir daquela época, a navegação por empurra passou a aumentar ràpidamente em tôda a rêde, de tal forma que, em 1961, quatro anos após a aparição do primeiro comboio renano, trafegavam no rio Reno, entre Strasbourg e Roterdã, 8 empurradores com mais de 1.200 HP, 2 empurradores médios de 400 a 800 HP, 2 empurradores pequenos, com menos de 400 HP e 3 automotores-empurradores, movimentando um total de mais de 60 chatas com 1.000 a 1.700 ton de capacidade de carga (VERHEY - 1961); em 1964 trafegavam no mesmo trecho do rio Reno 46 rebocadores de empurra, com potência total de 51.720 HP, automotores-empurradores (adaptação de antigos automotores) com potência total de 18.000 HP e 218 chatas, com capacidade de carga total de 325.851 ton (LONG-DEPAQUIT - 1965).

A situação da navegação por empurra na Europa Ocidental é fàcilmente constatada pela consulta de qualquer publicação especializada: verifica-se que pràticamente tôdas as embarcações lançadas atualmente pelos estaleiros fluviais destinam-se a êste método. As características destas embarcações são muito variadas e condizentes com as condições diversificadas da rêde fluvial européia. Há também um sério esfôrço para adaptar, na medida do possível, as embarcações existentes à nova técnica, transformando os rebocadores e automotores clássicos em rebocadores de empurra, e as barcaças de tração em chatas de empurra, o que, aliás, é bem mais difícil.

O abandono do sistema tradicional europeu é demonstrado pela recente decisão do govêrno francês de liquidar totalmente a navegação por sirga nos canais até 1970. Os proprietários de "chalands" e "péniches" de madeira estão sendo paulatinamente expropriados e os proprietários de embarcações com casco de ferro, que apresentam condições satisfatórias, estão recebendo indenizações para motorizar suas barcaças, que constituirão pequenos automotores. A Bélgica também está enveredando por êste caminho que deverá ser seguido, em breve, pela Alemanha.

Assim é de prever-se que, dentro em pouco, a navegação por empurra domine o transporte aquaviário europeu, ficando o método tradicional limitado ùnicamente aos pequenos canais e aos automotores que, com velocidade satisfatória, poderão percorrer pràticamente tôda a rêde transportando as cargas de maior valor específico.

O método americano de empurra foi também adotado com sucesso em outras regiões. Na Rússia, os comboios de empurra surgiram na rêde do rio Volga em 1952 (SOYUZOV e RIZHOV - 1961) e atualmente encontram-se embarcações dêste tipo em tôdas as aquavias interiores, inclusive nos grandes lagos naturais e rios da Sibéria. Em 1959 já era movimentada por empurra 27% do total da tonelagem transportada nas hidrovias interiores e atualmente esta porcentagem ultrapassa 50%.

Nos grandes rios africanos, o sistema de empurra é utilizado no rio Congo, onde circulam grandes rebocadores mistos para passageiros, tendo sido introduzido pelos belgas e francêses em 1943 (LEDERER - 1961, VADOT e DELMAS - 1961). No rio Niger surgiu por volta de 1938 (NEDECO - 1959), época em que apareceram os primeiros comboios no rio Nilo e canais interligados (OKEIL - 1961).

Mesmo nos rios asiáticos onde os novos métodos esbarram com o tradicionalismo oriental, encontram-se hoje comboios de empurra, sobretudo nos grandes rios da China e Índia.

Na América do Sul, a navegação por empurra foi implantada em 1945 na Argentina que hoje possue 35 comboios de grande dimensão, de propriedade da Administración General del Transporte Fluvial (MONTI e PRESTIEN - 1965); êstes comboios trafegam no Baixo e Médio Rio Paraná, em conjunto com os tradicionais "buques" automotores e comboios de tração do sistema europeu. Em outros rios como o Magdalena e Orinoco veem-se também comboios de empurra.

No Brasil, a navegação por empurra surgiu por volta de 1948, no Alto Paraná, onde, aliás, é o único processo em uso atualmente. Cêrca de 35 comboios de empurra (37 rebocadores e 83 chatas) com características típicas, como pequena dimensão dos rebocadores e alojamento da tripulação nas chatas, trafegam entre Guaíra e Presidente Epitácio. É utilizada também no rio Paraguai, onde um grande e moderno comboio transporta minérios para o estuário da Prata, na bacia Amazônica, sobretudo para transporte de combustíveis, e foi introduzida há poucos anos no rio São Francisco.

Se o processo de empurra poude ser implantado fàcilmente nos grandes rios de corrente livre, como o Reno, Congo, Niger, Volga, Amazonas, Paraná, etc., nos rios canalizados e, especialmente, nos canais artificiais, surgem dificuldades, por não serem as características daquelas vias, particularmente os raios de curvatura e as alturas livres nas pontes, aptas a receberem os grandes comboios rígidos (os empurradores, para terem uma boa visibilidade avante, devem ter o passadiço tanto mais elevado quanto maior o comprimento do comboio). As dimensões restritas das câmaras das obras de transposição de nível também dificultam o emprêgo da navegação empurrada, não impondo, porém, limitações para as dimensões totais do comboio, pois é possível passá-lo desmembrado, ou seja, separando as chatas.

Na Europa Ocidental, vários artifícios vêm sendo utilizados para suplantar estas dificuldades, enquanto não fôr possível adaptar as vias ao nôvo processo de navegação: entre outros, podemos mencionar o emprêgo, sobretudo no rio Sena, de passadiços escamoteáveis, para passagem sob as pontes; as tentativas dos comboios articulados, vários dos quais já trafegam regularmente na bacia dos rios Reno e Danúbio (VÖLKER - 1965) e a utilização das "chatas automotoras" que munidas de sistema propulsor e de comando removíveis trafegam escoteiras nos canais de pequena dimensão até atingirem as vias principais onde são ligadas para formar os comboios de empurra.

Êstes artifícios, como outros, por exemplo o uso de leme de proa comandado do rebocador (sistema empregado também nos Estados Unidos para melhorar as condições de manobrabilidade e conhecidos como "bow-steering") evidentemente reduzem o rendimento do processo americano na Europa. O seu uso generalizado e as incessantes pesquisas de meios que facilitem o tráfego de comboios de empurra nas velhas hidrovias européias, bem demonstra sua superioridade nas condições econômicas e sociais atuais, mesmo quando as vias impõem sérias restrições.

Tôdas estas evidências levam à conclusão que as novas hidrovias devem, necessàriamente, ser previstas para receber comboios de empurra, com as obras de transposição de desnível oferecendo as melhores condições para êste tipo de embarcações. Serão assim evitadas as dificuldades que estão sendo enfrentadas pelos técnicos europeus (que podem ser constatadas nos relatórios apresentados nos XXº e XXIº Congressos Internacionais de Navegação, seção 1, ítem 3 e 4 respectivamente) e garantido o melhor rendimento do transporte fluvial.

Quanto aos novos tipos de embarcações surgidos muito recentemente, em particular os "hovercrafts" e os "hydrofoils", ao que tudo indica, pelo menos num futuro imediato, não serão destinados ao transporte de carga. As vantagens que oferecem de maior velocidade e pequeno calado, não compensam o elevado custo de seu emprêgo comercial, especialmente em rios canalizados por retenções de aproveitamento múltiplo. O uso de "containers" flutuantes, como os já mencionados comboios "schwerlastfloss" dos rios Reno e Rhur, é mais viável. Êstes comboios, porém, nada mais são que comboios de empurra especiais, com "chatas" pequenas que poderão sem dificuldade utilizar as obras de transposição projetadas para os comboios normais.

3.2 - Tipos de embarcações

3.2.1 - Embarcações automotoras

Mesmo dentro da adoção generalizada dos comboios de empurra, os automotores, graças à sua grande versatilidade, deverão continuar sendo empregados nas hidrovias pioneiras, onde parte da tonelagem a transportar ainda não atinge valores que compensem o uso dos grandes comboios de empurra e nas hidrovias evoluídas, para determinadas cargas de rápido manuseio nos portos, como os combustíveis líquidos. É possível obter velocidades médias maiores com automotores que com comboios, sobretudo quando êstes devem ser desmembrados para passar nas obras de transposição e êste fato pode compensar seu emprêgo.

Nos Estados Unidos, os automotores não são quase empregados, o que é explicado pelas grandes dimensões das eclusas e as enormes tonelagens de tôdas as cargas movimentadas naquele país; o elevado número de oleodutos também contribue para diminuir o interêsse por êste tipo de embarcação.

Os modernos automotores em tráfego na Europa Ocidental e na

Rússia incorporam as numerosas inovações recentes da construção naval, quer nas formas, resultantes de longos anos de estudo em bacias de carenas, quer nos sistemas de propulsão e govêrno. Estas embarcações são normalmente equipadas com motores diesel superalimentados, várias hélices (duas ou três), tubos Kort ("Kort Nozzel"), lemes duplos ativados, etc., de tal forma que permitem um rendimento propulsivo e ótimas condições de manobra (figura 22).

Como dimensões representativas de automotores modernos adaptáveis à navegação em rios canalizados, podemos considerar os cinco modelos padrões adotados para definição das classes de automotores empregados no rio Reno (DEPRC - 1961) e que são descritos em diversas publicações (tabela 8).

Tabela 8

AUTOMOTORES TIPO DO RIO RENO

N o m e	Comprimento (m)	Bôca (m)	Calado máximo (m)	Capacidade de carga (ton)	Potência (HP)
Johann Welker	80,00	9,50	2,50	1.289	700
Gustav Koenig	67,00	8,20	2,00	750	400
Karl Vortish	57,00	7,04	2,00	496	300
Oskar Teubert	53,00	6,39	2,00	403	250
Theodor Bayer	41,50	5,10	2,00	300	200

Por êstes exemplos, verificamos que os coeficientes de aproveitamento variam, para os automotores modernos, entre 0,62 e 0,73 ton/m^3 e os coeficientes propulsivos (relação entre a potência efetiva e a capacidade de carga) entre 0,54 e 0,67 HP/ton.

3.2.2 - Comboios de empurra

Segundo a definição da "Comission Centrale pour la Navigation du Rhin" (VERHEY - 1961):



- Figura 22 -

AUTOMOTORES EMPREGADOS NA NAVEGAÇÃO EUROPÉIA

"deve-se entender por comboio de empurra todo agrupamento de um ou vários rebocadores de empurra, e de uma ou várias chatas de empurra formando um conjunto rígido; o têrmo rebocador de empurra designando uma embarcação provida de meios próprios de propulsão, destinada pelo seu tipo de construção a deslocar chatas de empurra quando parte de um comboio de empurra e o têrmo chata de empurra designando tôda embarcação não munida de meios mecânicos de propulsão e que pelo seu tipo de construção, destina-se a ser deslocada por rebocadores de empurra".

Dentro desta definição geral, cabem numerosos modelos de comboios desde o constituído por um automotor adaptado que empurra uma simples chata, como os utilizados nos canais europeus, até os grandes comboios do Mississipi com um grande rebocador e 20 ou mais chatas.

De um modo geral, as dimensões das chatas pouco modificam o rendimento propulsivo do conjunto que é influenciado sobretudo pela dimensão total, distribuição e tipo de chatas. Há sempre interêsse em dispor as chatas formando o comboio o mais comprido possível, a fim de obter-se maior velocidade para a mesma potência. O comprimento do comboio é limitado, porém, pelas condições da via (raio de curvatura e altura livre das pontes). Em rios de corrente livre, ou mesmo canalizados com barragens de baixa queda, o comprimento dos comboios é ainda limitado na descida pelas dificuldades de manobra decorrentes da maior velocidade efetiva da embarcação.

A influência das condições da via fluvial no comprimento máximo dos comboios pode ser verificada pela tabela 9 que fornece os comprimentos máximos admissíveis nas mais importantes hidrovias da República Federal Alemã (HARTUNG et al. - 1961). Deve-se notar, porém, que os valores máximos indicados foram estabelecidos levando em conta a coexistência da empurra com comboios tracionados que impõem limitações ao livre tráfego.

Verifica-se, por esta tabela, que das hidrovias alemãs, que são representativas de tôda a rêde principal européia, só nos rios Reno, Danúbio e Elba podem trafegar sem restrições, comboios com 185 m. Nas demais hidrovias, só são admissíveis, e com restrições, comboios com 100 m de comprimento no máximo.

Nas hidrovias norte-americanas, mesmo sem levar em conta o rio Mississipi, Ohio e outros onde trafegam, sem qualquer restrição, comboios com

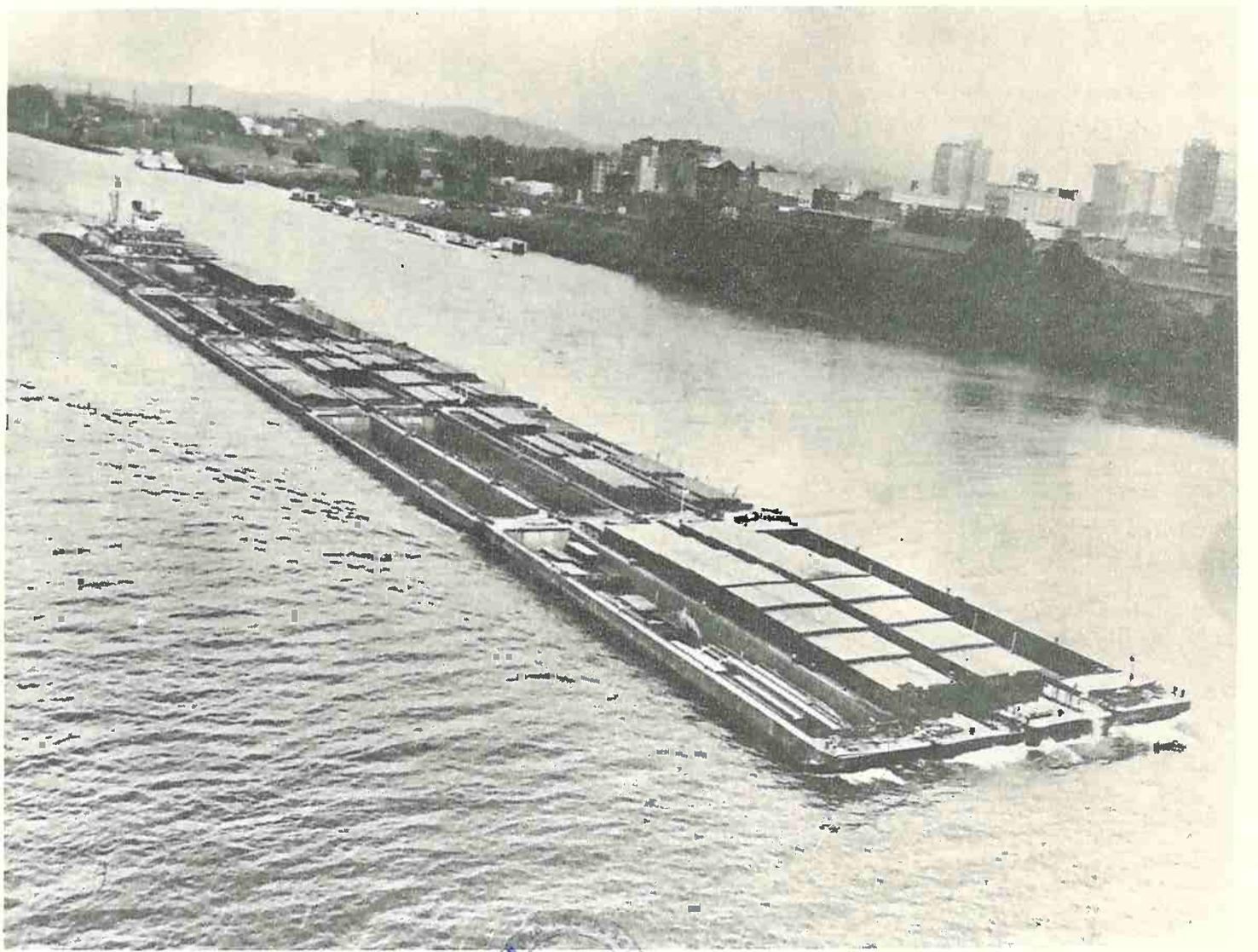
mais de 460 m de extensão, são admitidos comboios bem mais longos. Assim, por exemplo, nos rios Warrior-Tombigbee trafegam normalmente comboios de ... 220 m de comprimento, no rio Monongahela, comboios de 250 m, etc. (figura 23).

A largura máxima dos comboios admissíveis em uma via fluvial é também dependente das características da via e do máximo comprimento permitido. Na Europa, não sendo usual o desmembramento dos comboios, a largura é limitada pelas larguras das câmaras das obras de transposição. Assim na Alemanha, só nos rios Reno Inferior e Elba são admitidos comboios com 33,50 m de largura; e assim mesmo só na descida (22,40 m máximo na subida). Nos rios canalizados a largura máxima autorizada é de 11,50 m, imposta pelas eclusas de 12 m, com exceção do rio Ruhr, onde só podem trafegar comboios com 9,50 m de largura. Nos canais, varia a largura entre 8,20 m no Mittelandkanal e 5,50 m, nos canais secundários.

Nos Estados Unidos são admitidos comboios bem mais largos, sendo normal 33 m (Warrior-Tombigbee e outros). Nos grandes rios trafegam comboios que chegam a atingir no Mississipi 73 m de largura. Estas possibilidades derivam de terem sido executadas as hidrovias com condições bem mais favoráveis, o que é compreensível se atentarmos para o fato que, das 28.996 milhas que compõem a rêde de aquavias interiores norte-americanas, 25.000 milhas, são rios canalizados, com ou sem aproveitamentos múltiplos, onde é bem mais simples obter-se dimensões maiores (o único canal artificial longo em tráfego normal nos Estados Unidos atualmente é o New York State Barge).

Quanto à distribuição das chatas, visando o melhor aproveitamento das obras de transposição e mesmo facilidade de operação e manobra, há interêsse em colocar um número ímpar de chatas em linha (lado a lado), de tal forma que o rebocador, que muitas vêzes tem a mesma largura das chatas, possa ser integrado no conjunto, dando uma forma de retângulo ao comboio; se tal não fôr adotado, a centralização do rebocador (que aliás não é condição obrigatória) faz com que êste fique isolado na pôpa.

A tabela 10 dá as características principais dos comboios de empurra típicos utilizados nas vias fluviais de maior intensidade de tráfego. Nota-se a grande variedade destas características, derivada da versatilidade dêste tipo de embarcações, que permite sua utilização em condições as mais diversas, mesmo quando há agitações fortes (o que sempre foi tido como a condição mais desfavorável) como provam os ensaios em curso no Japão para o emprêgo de comboios de empurra em pleno oceano.



- Figura 23 -

COMBOIO DE EMPURRA NO RIO OHIO

DIMENSÕES MÁXIMA DE COMBOIOS DE EMPURRA NAS AQUAVIAS ALEMÃS

TABELA 9

AQUAVIA	TRECHO	COMPRIMENTO MÁXIMO DOS COMBOIOS DE EMPURRA (m)		
		SENTIDO ÚNICO	CRUZAMENTO COM AUTOMOTOR	CRUZAMENTO DE DOIS COMBOIOS
RIO RENO	EMMERICH - COLONIA	150 - 185	150 - 185	150 - 185
RIO RENO	COLONIA - ST. GOAR	150 - 185	150 - 185	150 - 185
RIO RENO	ST. GOAR - MANNHEIN	150 - 185	150 - 185	150
RIO RENO	MANNHEIN - STRASBOURG	150 - 185	150 - 185	100
RIO RENO	STRASBOURG - BREISACH	150 - 185	80 - 110	185
RIO NECKAR	TRECHO CANALIZADO	100	100	100
RIO MENO	MUNDUNG - OFFENBACK	150 - 170	100	100
RIO MENO	OFFENBACK - BAMBERG	140 - 145	100	100
RIO DANÚBIO	—	150 - 185	100	185
RIO MOSELE	—	170	135	100
RIO RUHR	—	110 - 140	80	80
RIO ELBA	—	150 - 185	150 - 185	150 - 185
CANAL RENO - HERNE	—	110 - 140	80	80
CANAL DURTMUND - EMS	DORTMUND - BERVERGERN	125 - 150	80	80
CANAL DURTMUND - EMS	BERVERGERN - EMDEN	110 - 140	80	80
CANAL MITTEL	—	110 - 140	75	75
CANAL KUSTEN	—	110 - 140	80	80
MITTELWESSER	—	110	80	80

COMBOIOS DE EMPURRA TÍPICOS DAS PRINCIPAIS VIAS FLUVIAIS

TABELA 10

VIA FLUVIAL	COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)	CALADO (MÁXIMO) (m)	TONELAGEM TOTAL (ton)	NÚMERO DE CHATAS	FORMAÇÃO HABITUAL
RIO OHIO (U S A)	307 , 00	32 , 00	2 , 75	16 . 000	20	R , 4 , 4 , 4 , 4 , 4
RIO MONONGAHELA (U S A)	201 , 00	16 , 20	2 , 50	4 . 800	6	R , 2 , 2 , 2
RIO ILLINOIS (U S A)	281 , 00	21 , 20	2 , 75	10 . 000	8	R , 2 , 2 , 2 , 2
RIO WARRIOR - TOMBIGBEE (U S A)	177 , 00 (d)	31 , 80 (d)	-	-	-	I R I , 3 , 3 (d)
RIO COLUMBIA (U S A)	170 , 00	22 , 50	2 , 25	6 . 050	11	I R I , 3 , 3 , 3
RIO TENNESSEE (U S A)	170 , 00	23 , 40	2 , 25	7 . 900	9	R , 3 , 3 , 3
GULF INTRACOASTAL WATERWAY (U S A)	250 , 00	15 , 00	2 , 25	5 . 000	10	R , 2 , 2 , 2 , 2 , 2
NEW YORK STATES BARGE CANAL (U S A)	91 , 50	13 , 25	3 , 30	2 . 200	1	R , 1
RIO RENO (FRANÇA) (ADAPTAÇÃO)	170 , 00	30 , 50	2 , 50	5 . 400	4	I R I , 2
RIO RENO (ALEMANHA)	164 , 00	18 , 40	2 , 75	5 . 600	4	R , 2 , 2
RIO RENO (HOLANDA) (TIPO CEE)	176 , 00	19 , 00	2 , 75	6 . 100	4	R , 2 , 2
RIO DANÚBIO (HUNGRIA)	225 , 00	33 , 00	1 , 90	9 . 000	9	R , 3 , 3 , 3
RIO DANÚBIO (RÚSSIA)	240 , 00	26 , 40	2 , 80	9 . 000	9	I R I , 3 , 3 , 1
RIO SENA (FRANÇA)	123 , 00	11 , 40	2 , 80	3 . 000	4	R , 2 , 2
RIO SENA (FRANÇA)	133 , 00	11 , 40	2 , 80	3 . 000	3	R , 1 , 1 , 1 (I.T.B.)
RIO RÓDANO (FRANÇA)	150 , 00	10 , 15	2 , 20	2 . 873	3	R , 1 , 1 , 1
RIO ODER (ALEMANHA)	90 , 80	8 , 70	1 , 60	740	2	R , 1 , 1 (I.T.B.)
RIO VISTULA (U R S S)	82 , 00	8 , 50	1 , 40	583	2	R , 1 , 1 (I.T.B.)
RIO VOLGA (U R S S)	269 , 30	14 , 00	3 , 20	8 . 600	3	R , 1 , 1 , 1 (I.T.B.)
CANAL VOLGA - DON (U R S S)	281 , 30	26 , 00	2 , 50	7 . 200	4	R , 1 , 2 , 1
CANAL ALBERT (BÉLGICA)	125 , 00	11 , 40	2 , 20	2 . 500	2	R , 1 , 1
RIO NILO (EGITO)	110 , 00	7 , 50	1 , 80	1 . 000	1	RM , 1
RIO CONGO	195 , 00	30 , 50	2 , 50	4 . 500	8	I R I , 3 , 3 (I.T.B.)
RIO NIGER	127 , 00	15 , 00	1 , 50	1 . 410	8	R , 2 , 2 , 2 , 2 (I.T.B.)
RIO NIGER	192 , 00	20 , 00	1 , 50	3 . 500	8	R , 2 , 2 , 2 , 2
RIO PARANÁ (ARGENTINA)	178 , 30	22 , 00	2 , 10	6 . 000	6	R , 2 , 2 , 2
RIO ALTO PARANÁ (BRASIL)	110 , 00	10 , 00	1 , 50	500	3	R , 1 , 1 , 1
RIO PARAGUAI (BRASIL)	234 , 00	24 , 00	2 , 25	14 . 000	8	R , 3 , 3 , 2

LEGENDA :
- I.T.B. = COMBOIO INTEGRADO
- d = SÓ NA DESCIDA
- R = REBOCADOR
- RM = REBOCADOR MISTO

NOTA : NA FORMAÇÃO, OS NÚMEROS INDICAM CHATAS EM CADA LINHA (LADO A LADO)

Ao que parece, o maior comboio de empurra que já trafegou, foi o constituído pelo rebocador United States com 52 chatas e 48.000 ton de cargas, que navegou no rio Mississipi em 1962 (ultrapassado pelo já citado comboio do "paddle-weel" Sprague, com 53.000 ton de carga, que trafegou no mesmo rio, em 1904).

3.2.2.a - Rebocadores de empurra

Aos rebocadores, dentro do comboio de empurra, cabe o desempenho de três funções fundamentais: propulsão, direção e acomodação da tripulação.

A forma da carena do rebocador de empurra não é um elemento essencial, pois a resistência ao deslocamento, em marcha normal, depende essencialmente do comboio como um todo. É importante, porém, nas influências que pode ter sôbre o rendimento da propulsão e a facilidade de manobra do conjunto.

O equipamento propulsivo é, sem dúvida, o fundamental de um rebocador, verdadeira usina de fôrça motriz do comboio "produzindo dia e noite sem interrupções, toneladas-quilômetro de transporte" (VADOT e DELMAS - 1961). Em média, nos comboios modernos de empurra, é necessário instalar de 0,24 a 0,35 HP por tonelada de carga a transportar para obter velocidade, em águas paradas, de 10 a 12 km/h. Nos motores diesel atuais, o consumo de combustível sendo da ordem de 180 gr. de óleo por HP instalado e por hora, estas potências levam a gastos consideráveis de combustível, o que obriga a dotar a embarcação de grandes reservatórios.

A fim de reduzir ao mínimo a potência necessária, os modernos rebocadores dispõem de várias hélices (duas, três ou mesmo quatro) de maior diâmetro possível (20% a 30% maior que o calado, graças ao emprêgo de túneis), colocadas em tubos, como o "Kort Nozzle", que pode aumentar o rendimento propulsivo em cêrca de 25%. Outros tipos de propulsão, como as rabetas (sistema "Schottel" ou "Habormaster") hélices de eixo vertical (sistema "Schneider") e reação hidráulica, têm sido ensaiados e estão em uso normal em algumas unidades, porém sem terem ainda demonstrado uma eficiência que compense o abandono do sistema clássico de propulsão.

O equipamento de direção do rebocador, é, também, de grande importância, pois deve garantir a manobra de todo o conjunto (salvo quando

há o emprêgo de "bow-steering"). A técnica americana emprega três lemes por eixo propulsor, sendo dois na frente da hélice ("backing-rudders"), para manobra em marcha a ré e um atrás da hélice ("steering-rudder"), com movimentação sincronizada. O emprêgo de "tubos" orientáveis e outros sistemas de direção ensaiados não demonstraram ainda uma eficiência compensadora. Da mesma forma as hélices orientáveis (rabetas), que permitem prescindir dos lemes, podem vir a ser bastante difundidas no futuro, porém hoje dificilmente atingem a potência de 1.000 HP por eixo, necessária nos grandes rebocadores. A distribuição da potência em vários eixos (de preferência em número par, dois ou quatro), é muito favorável para facilitar as manobras, sobretudo quando as hélices são bem afastadas entre si, como nos rebocadores de casco duplo, em ensaio na Alemanha.

A instalação da tripulação a bordo dos rebocadores não apresenta maiores dificuldades, dadas as dimensões que a embarcação deve ter para satisfazer as necessidades propulsivas e de comando centralizado. Nos grandes rebocadores norte-americanos são mantidos a bordo de 12 a 17 pessoas, correspondendo a duas equipagens de serviço, cada qual composta de um pilôto (ou comandante),um ou dois mecânicos, três a quatro marinheiros e uma equipagem auxiliar, para cozinha e limpeza dos alojamentos, composta de um cozinheiro, eventualmente com um ajudante e um taifeiro. As equipagens de serviço revezam-se de 6 em 6 horas e a equipagem auxiliar trabalha só oito horas por dia. Como referimos anteriormente, é mantido permanentemente em terra uma equipagem de serviço completa. Na Rússia, os grandes rebocadores de 2.130 HP, que empurram nove chatas de 1.000 ton, têm 11 tripulantes para operar dia e noite.

O alojamento da tripulação nas chatas, como é usual no Alto Paraná, não se justifica para os grandes comboios de empurra, sendo mesmo contrário ao princípio básico de seu funcionamento (concentração do mecanismo e pessoal no rebocador). No rio Paraná, êste hábito resulta da pequena dimensão dos rebocadores e do mau funcionamento do sistema propulsor, que produz vibrações inadmissíveis a um mínimo de confôrto a bordo.

Como dimensões características de modernos rebocadores de empurra (figura 24), podemos indicar as da tabela 11, média de rebocadores fabricados pelo Estaleiro Dravo, de Wicksbourg, no rio Mississipi (DAVID e BALLADE - 1958).

Tabela 11

DIMENSÕES DE REBOCADORES DE EMPURRA

Potência (HP)	Comprimento (m)	Largura (m)	Calado máximo (m)
500 - 800	20	6,00	1,50
1.500	30	8,00	1,80 - 2,00
3.000	45	11,00	2,00 - 2,50
4.500 - 6.000	60	14,00	3,00

Uma inovação interessante em relação aos rebocadores utilizados nos Estados Unidos, é o emprêgo dos "rebocadores-mistos", que transportam carga ou passageiros. No rio Congo, são comuns grandes rebocadores-empurradores com acomodações para dezenas de passageiros (LEDERER - 1957). O alto coeficiente de aproveitamento dos rebocadores de empurra, que ficam retidos nos portos apenas o tempo necessário para ligar e desligar chatas, bem como a velocidade elevada atingidas por estas embarcações (12 km/h em águas paradas) permite perfeitamente esta utilização.

Os rebocadores mistos com carga, surgiram na Europa pela adaptação de automotores modernos para a navegação por empurra. Êstes rebocadores por terem calados variáveis (função da carga que transportam) apresentam a vantagem de garantir uma continuidade da linha de fundo do comboio, tornando possível anular a brusca variação na união com chatas vazias e de permitirem, também, uma adaptação melhor às variações de profundidade da via. Tem como desvantagem que o rendimento ótimo da propulsão só é obtido, como nos automotores, com carga completa, ou seja, durante apenas parte do percurso.

Outra vantagem apresentada pelos rebocadores-mistos, é o melhor aproveitamento da área da câmara das obras de transposição: em geral os rebocadores simples tem a mesma largura das chatas, porém não necessitam de mesmo comprimento. A câmara das obras de transposição sendo dimensionada para as chatas, sua utilização por um rebocador corresponde a uma certa perda de área que pode ser porcentualmente importante, no caso de pequenas câmaras e comboios com poucas chatas. O emprêgo de um rebocador maior, misto, pode

então ser justificável.

3.2.2.b - Chatas de empurra

As chatas de empurra são de concepção simples. Devido ao sistema rígido empregado nos comboios, como assinalamos, suas dimensões e, até certo ponto, suas formas, pouco influem no rendimento propulsivo do conjunto. As carenas usuais nos Estados Unidos (figura 25) aliam a simplicidade das formas ao máximo aproveitamento de carga com razoáveis resistências ao deslocamento, sendo por isto utilizadas em quase todos os países, apenas com ligeiras modificações. A proporção entre largura e comprimento nas mesmas é, em geral, da ordem de 1:4 a 1:6,60 sendo os valores próximos a esta última relação os mais comuns, inclusive na Europa (DAVID e BALLADE - 1958).

Três tipos fundamentais de chatas são utilizadas na navegação de empurra, dando origem, quando reunidas, aos comboios não integrados, aos comboios semi-integrados e comboios integrados (figura 26).

As chatas de comboio não integrado têm pôpa e proa carenadas e colocadas em fila, dão em cada junta uma descontinuidade importante que reduz consideràvelmente o rendimento propulsivo do conjunto. Evidentemente, nestes comboios as dimensões das chatas têm importância, pois delas dependem o maior ou menor número de descontinuidades do casco do conjunto e portanto, a resistência ao deslocamento.

As chatas de comboios integrados têm a proa e a pôpa retangulares verticais (forma paralelepípidica) de maneira que, reunidas, dêem um mínimo de descontinuidade nas juntas. Nestes comboios são usadas chatas especiais para as extremidades, com uma face carenada, para reduzir a resistência ao deslocamento e a outra face vertical. A pôpa e proa do conjunto são, em geral, idênticas.

As chatas para os comboios semi-integrados têm uma face carenada e outra vertical, de forma a reduzirem o número de juntas com descontinuidade conservando uma completa uniformidade de formas.

Os estudos feitos sôbre a resistência ao deslocamento mostraram que, num caso especial de quatro chatas em fila (3 juntas portanto), os comboios integrados tinham cêrca de 30% a menos de resistência que os comboios não integrados, e os comboios semi-integrados aproximadamente 5% de re



- Figura 24 -

REBOCADOR DE EMPURRA EM
UMA ECLUSA DO RIO MONONGAHELA

sistência a mais que os integrados (HARTUNG et al. - 1961).

Os comboios integrados, com linhas interruptas de fundo, correspondem ao melhor aproveitamento do volume (maior coeficiente prismático), menor custo das chatas e maior rendimento propulsivo. Com chatas desiguais, os comboios integrados perdem em flexibilidade operativa para os comboios semi-integrados que não impõe qualquer restrição à escolha das chatas a serem comboiadas, sendo por isto os mais utilizados para cargas diversas sem portos fixos. Em geral, os comboios integrados são reservados para transporte específico entre extremos determinados (minérios das minas para as usinas, por exemplo) ou combustíveis líquidos (de rápido manuseio nos portos), casos em que os comboios conservam, quase sempre, sua integridade.

A escolha da capacidade de carga das chatas depende muito do tipo de operação prevista para o comboio. Há, sem dúvida, vantagem em carregar e descarregar cada unidade completamente em um único pôrto e com uma só qualidade de carga, o que pode limitar o interêsse por grandes chatas, sobretudo quando há diversificação de tipos de mercadoria a movimentar. Ainda aqui cabe acentuar a influência das condições econômicas privilegiadas dos Estados Unidos que conduz ao aumento sistemático do tamanho das chatas, sem que tenha maior importância as circunstâncias apontadas, devido aos grandes volumes de cargas sempre disponíveis. Esta tendência que visa reduzir o custo específico da chata por tonelada, diminuir a resistência nos comboios semi-integrados e facilitar a operação nos portos, conduziu entre 1950 e 1956, ao aumento de 19% da capacidade total da frota da bacia do rio Mississipi, com a ampliação de número de chatas de apenas 8% (MICHIELS et al. - 1956).

Aspecto secundário do ponto de vista das obras de transposição é o da especialização das chatas. De fato, as embarcações especializadas, destinadas ao transporte de combustíveis líquidos, gás liquefeito, produtos químicos, minério, gado, as chatas dos tipos cisternas, de porões abertos ou fechados, com ou sem conveses, etc. podem ter tôdas iguais dimensões externas passando, portanto, sem distinção pelas eclusas e ascensores.

Um detalhe que pode ter importância quando há necessidade de desmembramentos de comboios para passagem pelas obras de transposição é o sistema de ligação das chatas entre si e com o rebocador, que deve garantir a rigidez do conjunto sendo ao mesmo tempo de rápida manobra. A vulgarização de navegação por empurra teve como resultado a introdução de sistemas automáticos ou semi-automáticos de engates mecânicos, como os utilizados na

Rússia (SOYUZOV e RIZHOV - 1961) e Inglaterra (BLENHKARN - 1961); êstes sistemas são bem mais aperfeiçoados que o tradicional americano, com cabos de aço cruzados, tracionados por cabrestantes elétricos. O dimensionamento destas ligações é feito baseado na potência efetiva dos motores do rebocador, admitindo-se, em geral, uma fôrça de tração de 10 kg/HP, com 100% de sobrecarga e coeficiente de segurança quatro (HARTUNG et al. - 1961).

A tabela 12 indica as características das chatas de empurra mais comuns em diferentes vias de navegação interior, ressaltando a ampla gama de dimensões utilizadas.

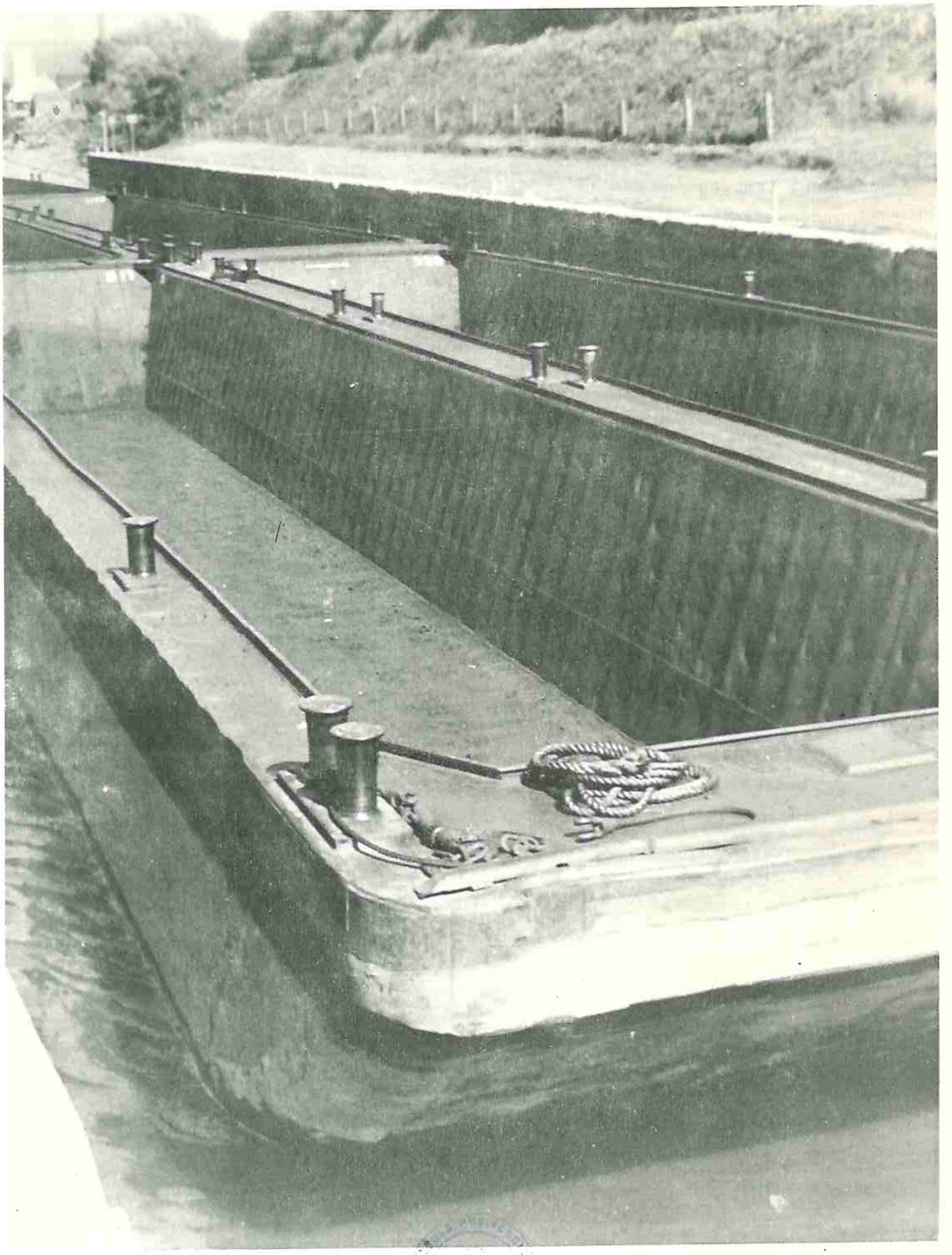
3.3 - Adaptação das obras de transposição de desnível às embarcações-tipo

As obras de transposição de desnível devem ser adaptadas para receber as embarcações-tipo que, em princípio, são as mais convenientes para a via, oferecendo-lhes as melhores condições técnicas. As demais embarcações de modelos e dimensões diversas das embarcações-tipo encontrarão maior dificuldade em utilizar a obra, decorrendo daí, naturalmente, uma tendência à padronização da frota, altamente benéfica sob todos os pontos de vista.

Esta adaptação da obra às embarcações deve ser obtida pelas dimensões convenientes da câmara, facilidades de acesso e espera e, eventualmente, maior mobilidade dos barcos no interior da obra (particularmente nas escadas de eclusas).

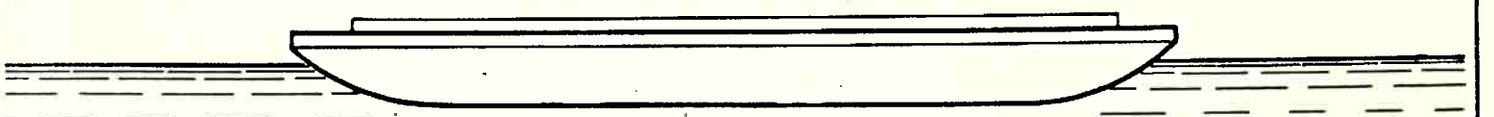
As dimensões pròpriamente ditas da câmara dependem do número de embarcações-tipo a serem admitidas em cada passagem, e sua fixação deve ser feita a partir da capacidade de tráfego, como veremos no ítem seguinte. Abordaremos aqui tão sòmente as folgas a serem deixadas nestas dimensões para acomodar, com rapidez e segurança, as embarcações-tipo, que admitiremos serem do sistema de empurra e eventualmente automotores.

Ensaios feitos recentemente na França (LONG-DEPAQUIT - 1965), Holanda (KLEINJAN et al - 1961, VAN OPSTAL et al. - 1965) e em outros países, tanto em modelos quanto em escala natural, vieram comprovar o fato já constatado nos Estados Unidos que os comboios de empurra exigem folgas muito reduzidas nas dimensões (em planta) da câmara, o que é uma conseqüência da facilidade de manobra e de parada dêstes barcos. Assim, por exemplo, êstes ensaios mostraram que um comboio de 11,40 m de bôca pode utilizar uma eclusa com 12 m de largura, sem qualquer dificuldade. Até mesmo um comboio com ..

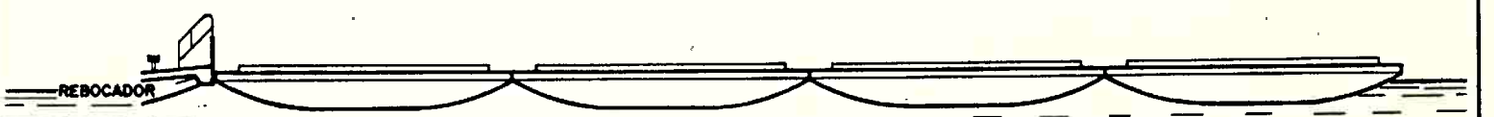


- Figura 25 -

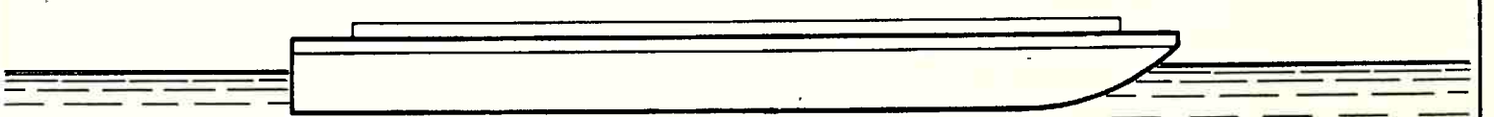
CHATAS DE EMPURRA EM UMA
ECLUSA DO RIO ALLEGHENY



CHATA PARA COMBOIO NÃO INTEGRADO



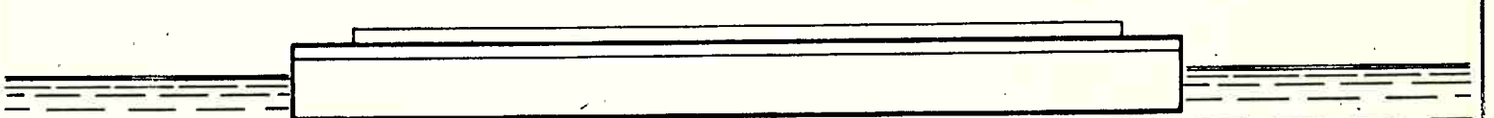
COMBOIO NÃO INTEGRADO



CHATA PARA COMBOIO SEMI - INTEGRADO



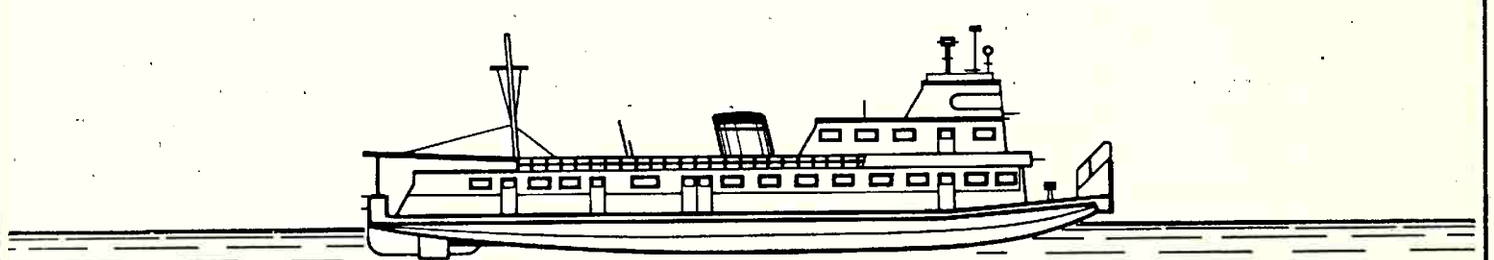
COMBOIO SEMI - INTEGRADO



CHATA CENTRAL PARA COMBOIO INTEGRADO



COMBOIO INTEGRADO



REBOCADOR DE EMPURRA

BIBLIOTECA

FIGURA 26

COMBOIOS E CHATAS DE EMPURRA

(MODÊLOS NORTE - AMERICANOS)

CHATAS DE EMPURRA TIPICAS DAS PRINCIPAIS VIAS FLUVIAIS

TABELA 12

VIA FLUVIAL	COMPRIMENTO (m)	BÔCA (m)	CALADO MÁXIMO (m)	CAPACIDADE DE CARGA (ton)	TIPO
RIOS OHIO E MISSISSIPI ("LARGE")	88 , 50	15 , 20	2 , 75	3 . 200	INTEGRADO
RIOS OHIO E MISSISSIPI ("JUMBO")	58 , 50	10 , 50	2 , 75	1 . 500	SEMI - INTEGRADO
RIOS WARRIOR - TOMBIGBEE ("OLD")	43 , 00	7 , 50	2 , 50	500	SEMI - INTEGRADO
RIOS WARRIOR - TOMBIGBEE ("NEW")	72 , 00	15 , 00	2 , 50	2 . 300	SEMI - INTEGRADO
RIO MONONGAHELA	53 , 50	8 , 00	2 , 75	800	SEMI - INTEGRADO
RIO CUBERLAND	30 , 00	8 , 00	2 , 75	350	SEMI - INTEGRADO
NEW - YORK STATE BARGE CANAL	64 , 00	13 , 00	2 , 75	1 . 800	INTEGRADO
RIO RENO (HOLANDA) (TIPO CEE)	70 , 00	9 , 50	2 , 87	1 . 525	—
RIO RENO (ALEMANHA)	64 , 00	9 , 20	2 , 75	1 . 400	INTEGRADO
RIO DANÚBIO (PROJETO)	65 , 00	11 , 00	1 , 90	1 . 000	INTEGRADO
RIO SENA	50 , 00	5 , 70	3 , 00	725	INTEGRADO
RIO VOLGA	86 , 20	14 , 00	3 , 20	3 . 000	SEMI - INTEGRADO
RIO VOLGA - DON	80 , 00	13 , 00	2 , 50	1 . 800	SEMI - INTEGRADO
RIO CONGO	65 , 00	11 , 50	1 , 80	1 . 000	SEMI - INTEGRADO
RIO CONGO (CISTERNA)	60 , 00	10 , 50	2 , 60	800	INTEGRADO
RIO NIGER	39 , 90	10 , 00	1 , 50	440	SEMI - INTEGRADO
RIO NIGER (CISTERNA)	23 , 50	7 , 50	1 , 45	180	INTEGRADO
RIO PARANÁ (BAIXO)	59 , 40	10 , 97	2 , 00	1 . 000	—
RIO PARANÁ (ALTO - BRASIL)	33 , 00	10 , 00	1 , 50	200	—
RIO PARAGUAI (BRASIL)	58 , 50	12 , 00	3 , 00	1 . 751	SEMI - INTEGRADO

22,80 m de bôca pode utilizar uma eclusa de 23 m de largura, mesmo desprovida de muros guias. No sentido do comprimento, êstes mesmos ensaios mostraram que é perfeitamente possível passar um comboio com 183 m de comprimento por uma câmara com 185 m. Em princípio, é mesmo possível utilizar um comboio com comprimento igual ao comprimento útil de câmara, desde que haja conveniente sinalização e proteção das portas.

As maiores dificuldades para utilização de câmaras de dimensões restritas em relação às do comboio, surgem quando as chatas estão vazias (o que diminui a dirigibilidade e a visibilidade da proa), e especialmente quando sujeitas a fortes ventos.

Pode-se, por conseguinte, admitir que as folgas na câmara (em largura e comprimento) visem sobretudo reduzir a perda de tempo na passagem dos comboios de empurra e não tanto a segurança de operação, como no processo tradicional europeu quando várias embarcações isoladas eram admitidas ao mesmo tempo na câmara.

Com base na experiência norte-americana e nos ensaios referidos, pode-se admitir como folgas mínimas 0,25 m (ou um pé) de cada lado, entre os bordos da embarcação e os muros de ala e 3 m (ou dez pés) entre o comprimento da embarcação e o da câmara. A fim de facilitar as manobras é, porém, conveniente adotar 1 m como folga lateral total, 5 m como folga longitudinal total nas câmaras pequenas (em que a maioria de operações será feita com desdobramento de comboios, havendo pois maior facilidade de operar) e 10 m para as câmaras que deverão receber comboios completos.

Câmaras com largura maior que a das portas não são admissíveis para a navegação por empurra. Mesmo no caso de serem colocadas diversas embarcações isoladas na câmara, não é recomendável esta disposição, pela perda de tempo considerável que acarreta. No rio Meno, onde as eclusas têm 14 m de largura e as portas 12 m, uma embarcação com 11,40 m de bôca perde cêrca de dez minutos para encontrar a saída, ao invés de dois a três minutos, que é o tempo normal quando os batentes da porta se encontram alinhados com os muros de ala.

Quanto à folga em relação ao calado da embarcação, há um interêsse evidente em dispor-se da maior profundidade possível na câmara, pois isto acarreta maior facilidade na dissipação de energia (no enchimento da câmara das eclusas), menor amplitude das ondulações, possibilidade de aumento futuro de calado de via, facilidade de utilização como obra extravasora, etc.

Há, ainda, a questão de resistência à entrada e saída dos comboios na câmara, pelo efeito de "pistonamento" resultante da necessidade de ser escoada sob o casco a maior parte do volume d'água corresponde ao deslocamento da embarcação; êste efeito pode conduzir a consideráveis perdas de tempo, como veremos. O problema, típico dos comboios de empurra, tem pouca importância no sistema tradicional europeu, quando as embarcações entram e saem da câmara isoladamente e têm seção mestra muito inferior à seção molhada mínima do acesso.

Segundo alguns técnicos alemães, tanto no acesso de montante quanto no de jusante e na câmara, a folga vertical deveria ser tal que a relação entre a seção molhada mínima e a seção mestra da embarcação ultrapassasse dois (WITTMANN et al. - 1961). As folgas mínimas assim calculadas parecem, porém, exageradas, a tal ponto que esta norma foi modificada, sendo adotada na Alemanha atualmente, para calados de 2,50 m a 3 m uma folga mínima de 1 m, com preferência a um valor superior no acesso de montante (BIRKENDAHL et al. - 1965).

A folga mínima de um metro parece ser razoável para as eclusas utilizadas por comboios de empurra, sendo bastante próxima da adotada nas eclusas norte-americanas (mínimo de 2 pés nas antigas e 3 a 4 pés nas mais modernas).

Nos elevadores verticais, planos inclinados e mesmo nas rampas hidráulicas, a redução da folga vertical, por representar uma considerável diminuição no pêso a ser movimentado, é um fator econômico importante.

Para as rampas hidráulicas não há pròpriamente problema do pistonamento no acesso de jusante dada a forma de cunha da câmara, podendo a folga ser reduzida ao mínimo necessário para que não haja choques contra o fundo do canal durante a translação (0,50 m na extremidade da embarcação-tipo).

Nos planos inclinados e elevadores verticais, visando reduzir a folga, parece haver interêsse na solução aventada de enchimento ou esvaziamento das câmaras por bombeamento (ou eventualmente por gravidade), evitando o efeito de pistonamento e acelerando a movimentação dos barcos. Para um calado de 2,50 m e uma velocidade da embarcação na entrada da câmara de 1 m/s, a vazão a ser escoada seria de 2,50 m^3/s por metro de largura. Desprezando as folgas, no caso de 17 m de largura na câmara, a vazão de compensação seria

de 4,50 m^3/s valor elevado para um bombeamento direto mas que poderia ser muito reduzido pelo uso de reservatórios externos que possibilitassem o bombeamento durante a movimentação da câmara. Existem outras soluções semelhantes, tôdas só justificáveis através de análises detalhadas dos tempos ganhos e de seus custos, merecendo estudos em modelos reduzidos. Cabe ainda convir que soluções dêste tipo podem ser indicadas, em casos particulares, visando reduzir as escavações nas eclusas.

O acesso dos comboios de empurra à câmara é muito facilitado por um muro guia retilíneo, no prolongamento do muro de ala, tanto no acesso inferior quanto no superior. Na técnica norte-americana, que é a mais conveniente para o sistema de empurra, o comboio aproxima-se da obra com uma pequena obliqüidade (alguns graus) em relação ao eixo da câmara, até a proa chocar-se, em velocidade reduzida, com o muro guia (as chatas têm sempre uma proteção especial nos cantos, com esta finalidade). O comboio prossegue escorregando de proa sôbre o muro até colocar-se no alinhamento correto em tôda sua extensão.

Para atender a esta finalidade, os muros guias devem ser dimensionados para receber choques e serem lisos (nos Estados Unidos costumam ser revestidos de chapa de aço, para reduzir o atrito e resistirem a abrasão). O coroamento dos muros deve ficar no mínimo a 2,50 m acima do nível máximo da água, a fim de que mesmo as chatas vazias toquem no convés e não no casco. O seu comprimento deve ser equivalente ao comprimento da câmara, sendo dispostos, de preferência, no lado da margem, de forma que permitam o acesso com a obliqüidade necessária (figura 27).

Na Europa, onde ainda subsistirão por muito tempo as embarcações e tradições do processo clássico europeu, há grande polêmica sôbre a forma dos muros guias a serem adotados nas novas obras: se a acima descrita ou se a tradicional de muros convergentes. De fato, o muro guia retilíneo no prolongamento do muro de ala é desfavorável para o acesso de comboios de tração, como é fácil perceber-se. Para os automotores, a forma do muro guia é pràticamente indiferente. Na Holanda vem sendo estudada uma solução intermediária, com muros guias parabólicos, que poderiam ser satisfatórios para ambos os processos de navegação (VAN OPSTAL et al. - 1965). Ao que tudo indica porém, os muros continuarão a ser feitos convergentes, o que não acarreta grandes dificuldades para os comboios de empurra.

Também intimamente ligado ao tipo e dimensões das embarcações, é o problema das garagens de espera, sobretudo no caso de desmembramento de comboios de empurra. A solução mais conveniente parece ser colocar as garagens anexas às cabeças da câmara, sendo formadas por um muro de proteção (ou estacada de acostagem) paralelo ao eixo da câmara e distante do muro de ala pouco mais (2 a 3 m) que uma largura da câmara, de forma a permitir o fácil tráfego das embarcações que saem. O comprimento da garagem deverá ser o do comboio tipo (se não interferir com o acesso ao muro guia, caso em que poderá ser reduzido até a metade). A fim de facilitar a entrada, deverá ser prevista uma concordância entre o muro ou estacada e a cabeça da obra, como um trecho de muro guia previsto para escorregamento da proa dos barcos (portanto bem liso), inclinado na relação de 1:1 com respeito a direção do eixo (figura 27).

As garagens de acesso assim projetadas são muito convenientes para a passagem sistemática de comboios desmembrados e passagens sucessivas no mesmo sentido.

Finalmente, um aspecto particular da adaptação da obra de transposição de desnível às embarcações-tipo é o da movimentação das chatas desprovidas de propulsão na câmara ou entre as câmaras (escadas de eclusas). Para tanto deverá ser previsto, como será indicado, um sistema de sirga ou rebocadores de serviço, com capacidade para deslocar as embarcações ou conjuntos de embarcações que utilizarão a obra de transposição.

4 - CAPACIDADE DE TRÁFEGO

A capacidade de tráfego de um rio canalizado, entendida como a tonelagem de carga que pode ser movimentada pela via fluvial num determinado tempo é, normalmente, limitada pelas obras de transposição de desnível. Sòmente em casos muito excepcionais, outros obstáculos, como passagens difíceis, canais estreitos, pontes, etc., podem impor maiores restrições ao tráfego que a passagem pelas barragens.

Resulta que, para obter-se o melhor aproveitamento da via fluvial, é necessário que tôdas as obras de transposição de desnível tenham a mesma capacidade de tráfego. É de se notar porém, que nem sempre a tonelagem total movimentada ao longo do rio passa necessàriamente por tôdas as eclusas ou ascensores. É o que ocorre, por exemplo, no rio Tennessee, onde

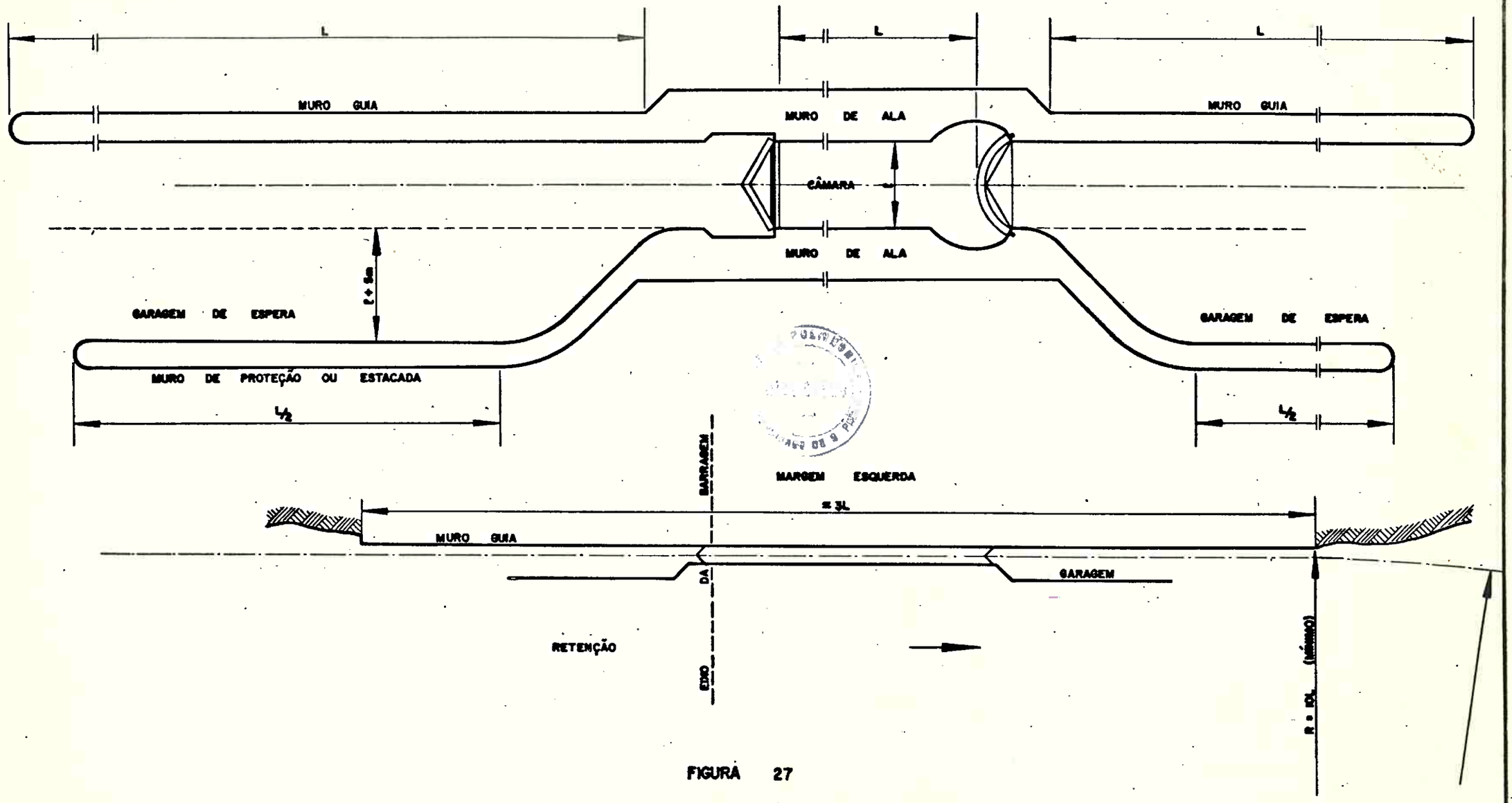


FIGURA 27

DIMENSÕES RECOMENDÁVEIS PARA ACESSOS E GARAGENS DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DESTINADAS A PASSAGEM DE GRANDES COMBOIOS DE EMPURRA. (COM DESMEMBRAMENTO)

em 1960, foram movimentadas 12,40 milhões de toneladas, das quais sòmente 6,70 milhões passaram pela eclusa mais solicitada. Esta observação não tira o interêsse da homogeneidade de capacidade de tráfego, posto que, dificilmente, pode ser previsível a relação entre o tráfego local e o tráfego ao longo de tôda a via. Mesmo no rio Tennessee, as eclusas do trecho superior, que foram construídas com menor capacidade, estão sendo substituídas por outras equivalentes às do trecho inferior.

A capacidade de tráfego das obras de transposição é, assim, uma das suas características mais importantes. É com base neste valor que normalmente são estabelecidas as justificativas econômicas de novos projetos e de substituição de obras existentes. Numerosos estudos têm sido elaborados sôbre o assunto: em particular no XVIII Congresso Internacional de Navegação (Roma - 1954) uma das "Questões", foi dedicada a êste problema e nos sete relatórios apresentados estão consubstanciadas as opiniões de técnicos especialistas dos países em que a navegação fluvial é mais desenvolvida. Ainda recentemente, um artigo técnico publicado nos Estados Unidos (BOTTOMS - 1966), veio novamente despertar interêsse pelo assunto, como se depreende das numerosas "discussões" que se seguiram à publicação.

Há diversos métodos de cálculo da capacidade de tráfego das obras de transposição, existindo pontos de vista muito diversos quando o problema é encarado dentro do processo tradicional de navegação européia e do processo de navegação americano.

Para novas vias fluviais onde não há uma tradição de navegação interior, êstes métodos não podem ser aplicados sem uma conveniente adaptação porquanto são baseados na experiência de operação de determinadas aquavias, com características de tráfego bem definidas, que nem sempre correspondem às de outras regiões com condições diversas. Julgamos por isto preferível analisar o problema de forma um pouco diversa da que tem sido adotada a fim de permitir um ajuste mais simples às condições pouco definidas das novas vias. Utilizaremos os fatôres de eficácia, semelhantes aos empregados por Seifert (SEIFERT e ROHNISCH - 1953), dentro da sistemática proposta por Bottoms, contornando assim as dúvidas levantadas contra o método dêste autor.

Definiremos, inicialmente como "capacidade máxima de tráfego" (c.m.t.) a tonelagem de carga máxima que poderia ser movimentada anualmente através da obra, em condições ideais de fluxo contínuo em ambos os sentidos, por embarcações-tipo totalmente carregadas, com um aproveitamento total da

câmara durante todos os dias e horas do ano. Esta c.m.t. assim definida depende das características da obra de transposição (dimensões da câmara, tempo de transposição e embarcação-tipo), e independe do tráfego (tipo de cargas, tipos de embarcações, interrupções, etc.). Para seu cálculo é necessário fixar um método de operação: normalmente a capacidade máxima de uma obra única correponde à passagem alternada de embarcações nos dois sentidos, porém pode ocorrer, como veremos, que várias passagens sucessivas no mesmo sentido permitam o trânsito de maior número de embarcações ou seja, uma maior capacidade de tráfego. Neste caso, a capacidade de tráfego será função, até certo ponto, do número de passagens efetuadas sucessivamente, que dependerá, por sua vez, de outras condições econômicas (consumo de água ou energia, tempo perdido na espera, etc.) não podendo ser fixado sem levá-las em conta. Admitiremos quando tal ocorrer, que serão efetuadas três passagens consecutivas em cada sentido (o que está de acôrdo com a prática usual), salvo no caso de desmembramento de comboios quando consideraremos um número de passagens sucessivas igual ao de desmembramentos mais um (em geral serão um, dois ou no máximo três desmembramentos), ou seja, o necessário para passar todo o comboio sucessivamente. Esta última consideração justifica-se pelo interêsse de liberar o comboio o mais ràpidamente possível.

A c.m.t. , evidentemente, nunca poderá ser atingida numa obra de transposição. Definiremos então a "capacidade efetiva de tráfego" (c.e.t.) como a tonelagem de carga máxima que poderá ser efetivamente movimentada por ano, dentro das condições normais de tráfego.

À relação entre a c.m.t. e a c.e.t. , sempre menor que a unidade, designaremos por "coeficiente de utilização da obra" (E). Êste coeficiente engloba um grande número de "fatôres limitativos" da tonelagem movimentada, alguns fixos, como número de horas de serviço, números de dias úteis, etc., outros variáveis, que só podem ser estimados com base em estatísticas de tráfego, como diferenças de carregamento nos dois sentidos de movimentação, tipos de embarcações, etc., outros ainda acidentais, como interrupções devido a erros de manobra, enchentes ou vazantes excepcionais, etc.

A importância da correta avaliação da capacidade efetiva de tráfego de uma obra de transposição pode ser verificada pela seguinte consideração válida para hidrovias norte-americanas: 1% de variação na capacidade de tráfego de uma eclusa, capaz de receber 84.100.000 ton por ano corresponde a 841.000 ton. Admitindo-se uma economia de um dólar por tonelada transportada numa nova via ou melhoramento de uma via existente, esta tonelagem e

quivale a US$ 841.000 por ano que, com as taxas de juros adotadas para êstes casos nos Estados Unidos ($3\frac{1}{8}$ %), permite um investimento de 21 milhões de dólares (MAHAFFAY e FERGUSON - 1966).

4.1 - Determinação da capacidade máxima de tráfego

Fixado um método de operação, que deverá ser por passagens alternadas ou por passagens sucessivas no mesmo sentido (três ou o número de desmembramento mais um), conforme o que corresponder à maior capacidade, a c.m.t. , é determinada pelo número total de passagens nos dois sentidos por ano (N), vêzes a capacidade de carga (W) das embarcações-tipo que cabem na câmara:

$$C_{mt} = N\ W \quad \text{(em toneladas por ano)}$$

O número de passagens nos dois sentidos por ano será o número de minutos do ano divïdido pelo tempo médio de transposição ($\overline{T}_t$) em minutos, ou seja:

$$N = \frac{525.600}{\overline{T}_t}$$

A determinação de W não oferece dificuldade uma vez fixada a embarcação-tipo e a dimensão da câmara. Quando se tratar de automotores ou comboios transpostos sem desmembramento deve-se considerar a capacidade de carga de todo o conjunto. Se houver poucos desmembramentos (um ou dois) haverá passagens com tonelagens diferentes, devido à "perda de espaço" na câmara para passar o rebocador sòzinho ou com um número menor de chatas que o máximo admissível; neste caso, deve-se considerar uma capacidade de carga média. Se o número de desmembramento fôr grande (uma ou duas chatas só de cada vez na câmara), pode-se admitir que o rebocador não passe pela obra, fazendo viagens ùnicamente em um estirão, o que corresponde a um melhor aproveitamento da câmara mas que só é possível se não houver grande diversidade de usuários (navegação estatizada, por exemplo).

A determinação de $\overline{T}_t$ é mais difícil sendo feita pela média dos tempos de transposição (T_t) que podem ser diferentes nos dois sentidos, nas passagens alternadas ou sucessivas e nas situações em que passam conjuntos de chatas sem propulsão própria ou propulsionadas pelo rebocador do comboio (quando há desmembramentos).

O tempo de transposição é definido como sendo o tempo mínimo durante o qual a eclusa ou o ascensor fica à disposição das embarcações em cada passagem, ou seja, desde o instante em que a primeira embarcação do conjunto pode ter livre acesso à obra, até o instante em que a obra fica disponível para ser utilizada por outro conjunto de embarcações, no mesmo sentido ou no sentido oposto.

O tempo T_t , pode ser decomposto bàsicamente nos seguintes intervalos consecutivos:

T_1 - acesso das embarcações à câmara, desde o fim do cruzamento com a última embarcação que sai (passagens alternadas) ou desde a da abertura da porta (passagens sucessivas) até o instante em que a porta fica liberada para o fechamento;

T_2 - arrumação e amarração das embarcações na câmara, colocação das defensas e pára-choques e fechamento da porta;

T_3 - deslocamento vertical (enchimento ou esvaziamento nas eclusas, movimentação das cubas ou cunhas d'água), incluindo manobras de válvulas, equipamentos mecânicos e, eventualmente, a abertura parcial da porta (para igualar os níveis);

T_4 - retirada dos pára-choques, abertura das portas, desatracação, arrumação e movimentação das embarcações até o instante de passagem da pôpa da última embarcação pela seção da porta;

T_5 - saída das embarcações da obra de transposição, até o instante de cruzamento com a embarcação que demanda a câmara no sentido oposto (êste intervalo é nulo no caso de passagens sucessivas no mesmo sentido e substituído pelo tempo de operação da obra em vazio).

Para eclusas modernas de queda considerável como as do rio Tennessee, o valor de $T_t = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$ é da ordem de 30 a 40 min, sendo de 18 a 20 min o mínimo para qualquer tipo de obra.

O valor de T_1 , depende essencialmente da conformação dos muros guias, distância e forma das garagens de espera (e bacias de cruzamentos, se fôr o caso), da velocidade das embarcações nos acessos e do tipo de propulsão (sirga ou rebocador auxiliar) se há desmembramentos. Depende ainda

do efeito de pistonamento, já mencionado, que reduz a velocidade na entrada da câmara.

O valor de T_2 depende de várias operações realizadas concomitantemente, sendo determinado pela operação mais demorada, que muitas vêzes é o fechamento da porta. Nas obras modernas, na descida, êste intervalo é da ordem de 2 a 2,50 min e, na subida, de 2,50 a 3 min (em geral, tempo de operação mais longo da porta de jusante, de maior dimensão). Nos elevadores verticais e planos inclinados, há, ainda, um certo tempo gasto para esvaziamento do espaço entre a porta fixa e a solidária à câmara, além do correspondente à movimentação de ambas. Nas rampas hidráulicas, êste tempo T_2 inclue a colocação da máscara móvel do trator em posição.

O valor de T_3 independe pràticamente das características das embarcações que utilizam a obra. Depende, exclusivamente, do circuito hidráulico das eclusas ou da lei de movimento das câmaras dos ascensores e, portanto, da altura da queda. A êste intervalo de tempo, tem sido sempre dedicada maior atenção pelos técnicos, porém deve-se ter em conta que é apenas uma parcela do tempo de transposição, nem sempre a mais importante. A mecanização das operações e o tele-comando das manobras têm contribuído para reduzir êste tempo tanto ou mais que os ensaios em modelos reduzidos dos problemas de agitação nas câmaras.

Com as modernas técnicas em uso, as velocidades máximas de deslocamento vertical que podemos contar, dentro dos padrões mínimos de segurança e dispêndios razoáveis são: nas eclusas 3,50 m/min; nos elevadores verticais 9 m/min; nos planos inclinados longitudinais (rampa de 5%) 5,50 m/min; nos planos inclinados transversais (rampa 50%) 7,50 m/min e nas rampas hidráulicas 4,50 m/min. Dêstes valores resultam os tempos T_3 mínimos para obras de grande queda indicados na tabela 13.

Tabela 13

TEMPOS MÍNIMOS DE MOVIMENTAÇÃO VERTICAL (T_3) EM DIFERENTES TIPOS DE OBRA

(MINUTOS E SEGUNDOS)

Altura de queda (m)	Eclusas simples	Elevador vertical	Planos inclinados		Rampas hidráulicas (longitudinais)
			longitudinais	transversal	
15	4m 20s	-	-	-	-
20	5m 40s	-	-	-	-
30	8m 40s	3m 20s	-	-	-
40	11m 30s	4m 30s	7m 20s	5m 20s	9m -
60	-	6m 40s	11m -	8m -	13m 20s
100	-	-	18m 20s	13m 20s	22m 20s

É interessante comparar êstes valores com as seguintes velocidades verticais previstas para os diferentes tipos de obras em 1903: eclusas (até 8 m) 2,10 m/min; elevadores verticais (até 20 m) 4 m/min; planos inclinados longitudinais 4 m/min (BARBET - 1903). Nota-se que o progresso nas velocidades verticais não acompanhou o progresso nas alturas máximas de queda (de 8 m para 40 m nas eclusas, de 20 para 45 - 50 m, para os elevadores verticais) o que é explicável pelas dificuldades hidráulicas em acelerar os processos de movimentação com segurança.

A tabela 7 fornece valores dos tempos de enchimento e esgotamento de diversas eclusas.

O valor de T_4 depende dos mesmos fatôres que T_2 e da movimentação de saída das embarcações e, portanto, de suas velocidades ou do sistema utilizado para mover as chatas sem propulsão. O efeito de pistonamento pode-se também fazer sentir em certos casos. A abertura parcial da porta para igualar mais ràpidamente os níveis d'água fora e dentro da câmara reduz em parte o valor de T_4.

O valor de T_5 depende essencialmente da velocidade das embarcações e, até certo ponto, da conformação dos acessos, das garagens e das

bacias de cruzamento. Um ganho de tempo considerável é obtido em T_5 (bem como em T_1) com o emprêgo de garagens de espera justapostas às portas como as indicadas no ítem anterior.

A tabela 14 fornece tempos de transposição com respectivos intervalos parciais para algumas obras.

Os valores de T_1 , T_2 e T_5 podem ser influenciados pelas operações de desmembramento dos comboios de empurra, quando não são previstos equipamento e pessoal para estas operações. A maior influência faz-se sentir, em geral, em T_4 , porquanto é normalmente possível utilizar o rebocador do comboio para colocar todos os elementos na câmara. Segundo experiência nas eclusas norte-americanas, é necessário prever, em média, um aumento total sôbre $\overline{T}_t$ de 20 min quando há um ou dois desmembramentos transversais e 30 a 35 min, quando há desmembramentos longitudinais, nas eclusas equipadas para êste tipo de operação, porém não projetadas especificamente com esta finalidade (DAVID e BALLADE - 1958).

Outro fato que aumenta consideràvelmente o tempo médio de transposição, é a necessidade de reagrupamento do comboio ("jack nifing") para a passagem na obra, o que pode ocorrer quando são usados comboios com formações diferentes nos dois sentidos de tráfego, devido à velocidade da corrente e às necessidades de manobrabilidade. Esta operação complicada, quando efetuada nos acessos e garagens, interrompe o uso da obra por tempo considerável. No rio Illinois, onde tal prática é habitual (formação na subida R,2,2,2,2, formação na descida R,3,3,2, formação na câmara para grandes comboios 1R1,3,3), em média, demora 35 min e o tempo de transposição, que numa eclusagem simples é em média de 45 min passa com o reagrupamento a durar 1 h 20 min (2 operações de desmembramento efetuadas, em parte com a eclusa liberada para outras embarcações) (SANTINA e WESLER - 1964).

Tôdas operações de desmembramento dos comboios de empurra podem ser facilitadas com o emprêgo de sistemas automáticos de engates, conformação especial das garagens, muros guias e acessos à câmara e regras de operação rígidas. Através destas medidas, pode-se ganhar mais nas obras de grande desnível, sôbre o tempo de transposição do que através de sistemas muito complicados e caros para aumento da velocidade do movimento vertical.

Outra circunstância que leva a um aumento grande do tempo de transposição é a existência de longos canais de acesso a jusante, como exis-

tem em várias barragens de aproveitamentos múltiplos (barragem de Bariri,por exemplo). Quando êstes canais não permitem cruzamento, resultam tempos T_1 e T_5 (na subida e na descida, respectivamente) muito elevados, baixando portanto a c.m.t.

Cabe aqui notar o interêsse de uma alternativa apresentada no concurso do plano inclinado de Arzviller, que previa entrada e saída simultâneas na câmara do ascensor através de portas opostas, anulando desta forma o tempo T_5 e reduzindo consideràvelmente T_1 . Esta solução, porém, só pode ser adotada em planos inclinados transversais.

Quando há variações consideráveis dos níveis d'água nos estirões superior e inferior, o que, como já assinalamos, é comum nos aproveitamentos para fins múltiplos, os ascensores em geral, exigem a construção de "eclusas de guarda", que nada mais são que câmaras a nível variável nos extremos da obra. Evidentemente, o tempo de transposição, neste caso, fica consideràvelmente aumentado devendo seu cálculo ser feito com base nas observações que serão feitas a seguir para eclusas de câmara múltipla.

As passagens sucessivas no mesmo sentido podem conduzir a um $\overline{T}_t$ menor que as passagens alternadas sistemáticas nos dois sentidos. De fato, nas passagens sucessivas (eclusagens múltiplas) ganha-se o tempo T_5 (exceto na última operação da série, quando o sentido de passagem é invertido)e diminui-se consideràvelmente o tempo T_1 que fica reduzido apenas à entrada da embarcação na câmara já que a espera pode ser feita encostada à porta. Há porém a considerar um intervalo de tempo suplementar (tempo de operação em vazio T_v) correspondente ao fechamento da porta por onde saiu a embarcação, o enchimento ou esvaziamento da eclusa (subida ou descida da cuba vazia dos ascensores e abertura da porta para entrada da embarcação seguinte). Só será, pois, conveniente efetuar passagens sucessivas quando, sendo: T_{vs} e T_{vd} respectivamente,os tempos de operação em vazio na subida e na descida, T_{5s} e T_{5d} , T_{1s} e T_{1d} os tempos T_5 e T_1 na subida e na descida com operações alternadas:

$$T_{vs} + T_{vd} < (T_{5s} + T_{5d}) + (T_{1s} - T'_{1s}) + (T_{1d} - T'_{1d}) .$$

Sendo α o número de passagens sucessivas em um sentido .. ($\alpha = 3$ ou igual ao número de desmembramentos do comboio mais um) o tempo ganho em relação às passagens alternadas será evidentemente:

TEMPOS DE TRANSPOSIÇÃO DE ALGUMAS OBRAS

TABELA 14

NOME	LOCALIZAÇÃO	DESNÍVEL MÁXIMO (m)	T_1 (min - S)	T_2 (min - S)	T_3 (min - S)	T_4 (min - S)	T_5 (min - S)	T_t (min - S)	SENTIDO DO TRÁFEGO	OBSERVAÇÕES
ELEVADOR FONTINETTES	FRANÇA	13,13	8 - 10 9 - 10	1 - 35 1 - 55	2 - 50 2 - 30	1 - 35 1 - 55	6 - 30 5 - 20	20 - 40 20 - 50	SUBIDA DESCIDA	VALORES MÉDIOS
ECLUSA FONTINETTES (1.967)	FRANÇA	13,13	10 - 00 15 - 00	1 - 00 1 - 00	7 - 00 10 - 30	2 - 00 2 - 00	6 - 00 8 - 00	26 - 00 36 - 30	SUBIDA DESCIDA	VALORES MEDIDOS (6 "PÉNICHES" NA CÂMARA)
ECLUSA KEMBS (PEQUENA)	FRANÇA	16,60	15 - 05 15 - 05	5 - 00 5 - 00	19 - 00 23 - 00	5 - 00 5 - 00	7 - 00 7 - 00	51 - 05 55 - 05	SUBIDA DESCIDA	VALORES MEDIDOS
ECLUSA KEMBS (GRANDE)	FRANÇA	16,60	10 - 00 10 - 00	5 - 00 5 - 00	12 - 20 15 - 00	5 - 00 5 - 00	7 - 00 7 - 00	39 - 20 42 - 00	SUBIDA DESCIDA	VALORES MEDIDOS
ECLUSA OTTMARSHEIN (PEQUENA)	FRANÇA	18,00	15 - 05 15 - 05	3 - 00 1 - 00	6 - 00 6 - 00	1 - 00 1 - 00	7 - 00 7 - 00	32 - 05 30 - 05	SUBIDA DESCIDA	VALORES MEDIDOS
ECLUSA OTTMARSHEIN (GRANDE)	FRANÇA	18,00	10 - 00 10 - 00	3 - 00 2 - 00	7 - 30 7 - 50	2 - 00 2 - 00	7 - 00 7 - 00	29 - 30 29 - 50	SUBIDA DESCIDA	VALORES MEDIDOS
ECLUSA DONZÈRE - MONDRAGON	FRANÇA	26,00	8 - 00 8 - 00	3 - 50 1 - 34	6 - 40 7 - 20	1 - 58 2 - 17	3 - 00 3 - 00	22 - 28 22 - 11	SUBIDA DESCIDA	VALORES MÉDIOS
ECLUSA 12 - CANAL DO NORTE	FRANÇA	8,00	7 - 00 7 - 00	1 - 00 1 - 00	5 - 30 5 - 30	0 - 50 0 - 50	6 - 00 6 - 00	20 - 00 20 - 00	SUBIDA DESCIDA	VALORES MEDIDOS
ECLUSA BORN (GRANDE) (1.935)	HOLANDA	11,35	17 - 00	3 - 00	8 - 00	2 - 00	14 - 00	44 - 00	-	VALORES MÉDIOS
ECLUSA PANHEEL (1.928)	HOLANDA	8,10	12 - 00	3 - 00	18 - 00	3 - 00	10 - 00	46 - 00	-	VALORES MÉDIOS (COM CÂMARAS DE RECUPERAÇÃO)
ECLUSA YBBS - PERSEMBEUG	ÁUSTRIA	10,20	3 - 00	2 - 00	15 - 00	2 - 00	3 - 00	25 - 00	-	VALORES MÉDIOS
ECLUSA JOCHENSTEIN	ÁUSTRIA	9,40	2 - 00	2 - 00	13 - 00	2 - 00	3 - 00	22 - 00	-	VALORES MÉDIOS
ECLUSA BARIRI	BRASIL	24,00	15 - 00	2 - 30	12 - 15	2 - 00	8 - 00	39 - 45	SUBIDA	VALORES ESTIMADOS (MÉDIOS)

$$(\alpha - 1)\left[(T_{5s} + T_{5d}) + (T_{1s} + T_{1d}) - (T_{vs} + T_{vd}) - (T'_{1s} + T'_{1d})\right].$$

A redução de tempo de transposição, e, portanto, o aumento da c.m.t. , é função de α , como já tínhamos feito notar.

Sendo T'_{ts} e T'_{td} , os tempos de transposição com passagens sucessivas e T_{ts} e T_{td} os com passagens alternadas, o tempo de transposição médio a ser usado para o cálculo da c.m.t. será com α passagens sucessivas em cada sentido:

$$\overline{T}'_t = \frac{T_{ts} + T_{td} + (\alpha - 1)(T'_{ts} + T'_{td})}{2\alpha}$$

e o tempo médio ganho, por passagem:

$$\Delta \overline{T}_t = \frac{\alpha - 1}{2\alpha}\left[(T_{ts} + T_{td}) - (T'_{ts} + T'_{td})\right]$$

o que mostra que não há muito interêsse em adotar-se α maior que 3 ou 4, tendo-se em vista o aumento de tempo de espera que então resulta.

Como indicação geral, as passagens sucessivas são interessantes, sobretudo, no caso de desmembramento de comboios quando T_5 e T_1 são mais elevados.

Destas considerações ressaltam as vantagens que podem haver em dispor a obra de transposição de um sistema rápido de operação em vazio. Nas eclusas, esta operação rápida pode ser obtida pela manobra das comportas do circuito hidráulico com lei diversa da normal (de um modo geral, nas eclusas modernas, o tempo de enchimento ou esvaziamento é o dôbro do tempo de manobra das comportas) ou pela abertura antecipada das portas (o que pode causar dificuldades às embarcações na espera). Nos ascensores é possível também, em certos casos, acelerar o movimento das cubas, sendo possível prever-se nas cubas automotoras e funiculares não equilibradas, os deslocamentos em vazios com as câmaras sem água, a fim de evitar agitações e reduzir o consumo de energia. De tôda forma, é necessário, para operações rápidas, cuidar-se de evitar a formação de fortes agitações que possam manter-se na câmara depois de abertas as portas ou dar origem a ondas prejudiciais nos acessos. Cabe notar que não consta haver nenhuma obra de transposição dotadas de sistema de operação rápida em vazio especialmente projetado para reduzir o tempo de transposição.

O tempo de transposição para eclusas ou ascensores de câmara múltiplas e ascensores com eclusas de guarda é determinado de forma análoga à indicada anteriormente, considerando-se T_3 como o intervalo de tempo que vai do início da elevação ou rebaixamento da primeira câmara até o fim do rebaixamento ou elevação da última câmara, incluindo a movimentação das embarcações entre as câmaras, a movimentação das portas intermediárias, arruma--- ções e atrações sucessivas, etc. O tempo médio de transposição, nestas o-- bras, é bem superior ao de uma obra simples, sendo o acréscimo, para um mesmo desnível, da ordem de $(\beta - 1)(T_2 + T_4)$ com β o número de câmaras.

Como exemplo de tempo de transposição de uma eclusa de câmara dupla, podemos transcrever a cronometragem feita na eclusa de Volgograd no rio Volga, quando utilizada simultâneamente por um comboio de empurra, um automotor e um hidrofolio de passageiros (dimensões da câmara: largura 30 m, comprimento 290 m, profundidade mínima 5,50 m - desnível total 25 m) (LECLERQ - 1967).

1 - Saída do comboio da garagem de espera até a acomodação de todo o comboio na câmara superior	20 min
2 - Fechamento da porta de montante, descida do nível d'água e a-- bertura da porta intermediária	14 min
3 - Passagem das embarcações da câmara superior à inferior (tôdas as embarcações em conjunto)	13 min
4 - Fechamento da porta intermediária, descida do nível d'água e a bertura da porta de jusante	13 min
5 - Saída das embarcações da eclusa (estimado)	12 min
TOTAL	72 min

Um aumento considerável da c.m.t. pode ser obtido nas eclusas de câmara múltipla com a operação por passagens sucessivas no mesmo sentido, desde que haja mais de duas câmaras, pois é, então possível fazer transitar, simultâneamente, pela obra, $\beta/2$ embarcações utilizando câmaras alternadas.

Se as câmaras são tôdas iguais, com iguais intervalos de tem-

po de operação, é fácil verificar que sendo T_{ts} e T_{td} os tempos de transposição de tôda a obra, e sendo T_{ps} e T_{pd} os tempos parciais de transposição correspondentes à passagem de uma câmara considerada isoladamente (incluindo a movimentação das embarcações, arrumação, amarração, movimentação vertical, abertura e fechamento das portas, etc.), o tempo médio de transposição com α passagens sucessivas, para cálculo da c.m.t. será:

$$\bar{T}_t = \frac{(T_{ts} + T_{td}) + 2\,(\alpha - 1)\,(T_{ps} + T_{pd})}{2\,\alpha}$$

Se as câmaras não são iguais, o problema deve ser examinado em cada caso particular não podendo ser generalizada uma expressão. Influirá preponderantemente o tempo de transposição parcial mais elevado (câmara mais alta) devendo ser levado em conta também os tempos de operação em vazio e a posição, dentro do conjunto, da câmara de transposição mais demorada.

É de notar-se que, como indica a expressão acima, o tempo médio de transposição com passagens sucessivas em obras de câmaras múltiplas, é menos influenciado pelo número de câmaras (β) que no caso de passagens alternadas sendo pois, tanto mais conveniente êste sistema de operações quanto maior o número de câmaras (dificilmente, hoje, maior que 3).

Uma solução para reduzir o tempo de transposição nas eclusas de câmara múltipla, é dimensionar as câmaras para permitir o cruzamento das embarcações no seu interior. As eclusas de câmaras múltiplas passam, então, a funcionar como escadas de eclusas, dando um $\bar{T}_p$ bem mais reduzido e, portanto, uma maior c.m.t. Esta solução, que exige câmaras (e portas) muito largas vem sendo adotada na Rússia (LECLERQ - 1967) porém, de um modo geral, não parece ser conveniente.

Para as escadas de obras de transposição, ou melhor, escadas de eclusas (as escadas de ascensores não são mais aconselháveis), a c.m.t. é estabelecida pela c.m.t. da eclusa de maior tempo de transposição; para tanto é necessário, porém, que, nos canais intermediários, haja condições de cruzamento que garantam um fluxo contínuo nas eclusas. Quando esta condição não é satisfeita, o cálculo da c.m.t. é complexo e análogo ao cálculo da capacidade máxima de tráfego dos canais eclusados, problema de difícil generalização, analisado em detalhes por alguns autores (CADART e BARBET - 1903).

Para um determinado desnível nas obras de câmaras múltiplas ou escadas, a maior c.m.t. é obtida com a subdivisão em degraus de igual

tempo de transposição, o que nem sempre corresponde a iguais quedas, dado que as câmaras extremas podem ter condições diversas das intermediárias.

As obras com câmaras paralelas (eclusas geminadas, duas eclusas paralelas, ascensores com duas cubas, etc.) tem c.m.t. igual ao dôbro das eclusas simples (câmara única dos ascensores) desde que projetados de forma que não haja interferências mútuas nos acessos às câmaras. Caso isto se dê, a capacidade total pode reduzir-se até 25%, como verificou Bloor para diversas obras norte-americanas, com duas eclusas justapostas (BLOOR - 1964). Em certas circunstâncias, obtém-se um aumento da c.e.t. reservando uma obra para subida e outra para a descida (interessante em especial para as eclusas de câmara múltipla). O grande consumo de água pode desaconselhar esta forma de operação que foi muito usada no passado quando eram empregadas eclusas com muitas câmaras sucessivas e que, ainda hoje, é comumente usado nas obras do rio Volga e nos canais russos.

A c.m.t. das rampas hidráulicas, elevadores de câmara submergíveis, eclusas pneumáticas e outros tipos de obras ainda não operadas em regime normal, são difíceis de serem bem determinadas. Em particular, para as rampas hidráulicas, pode-se prever a utilização da parte da cunha d'água que apresenta profundidade menor que a mínima requerida pelas embarcações-tipo, seja para embarcações vazias, seja para embarcações de menor calado ou de recreio. Esta possibilidade, porém, julgamos deve ser levada em conta ùnicamente no cálculo da c.e.t. e não na c.m.t. devido ao seu caráter eventual.

Cabe ainda notar que nas rampas hidráulicas o tempo T_3 na subida deve incluir, além do tempo de transferência do nível d'água o enchimento ou esvaziamento do trecho superior do canal inclinado entre a posição extrema da máscara e porta, a fim de igualar o nível com o da retenção. Nas concepções atuais dêste tipo de obra de transposição, esta igualdade de níveis é obtida por meio de reservatórios laterais que acumulam o excesso de água na subida e o restitue na descida (preenchendo a cunha d'água) ou por meio de operação automática da porta. Neste caso, a embarcação passa diretamente sem perda suplementar de tempo.

A tabela 15 fornece a c.m.t. de algumas obras de transposição. Os valores indicados são aproximados por não ter sido possível obter, para diversas obras, as informações necessárias ao cálculo preciso da c.m.t.

CAPACIDADE DE TRÁFEGO DE ALGUMAS OBRAS (PASSAGENS ALTERNADAS)

TABELA 15

NOME	LOCALIZAÇÃO	TEMPO DE TRANSPOSIÇÃO (T_t) (min - s)	CAPACIDADE DE CARGA DA EMBARCAÇÃO - TIPO (ton)	CAPACIDADE MÁXIMA EM TRÁFEGO (c. m. t.) (ton / ano)	OBSERVAÇÕES
ELEVADOR FONTINETTES	FRANÇA	20 - 40	300	7 . 500 . 000	PÉNICHES
ECLUSA KEMBS (PEQUENA)	FRANÇA	53 - 05	2 . 700	36 . 600 . 000	AUTOMOTOR R. H. K.
ECLUSA KEMBS (GRANDE) (RENO)	FRANÇA	40 - 40	5 . 400	70 . 000 . 000	"
ECLUSA OTTMARSHEIN (PEQUENA)	FRANÇA	31 - 05	2 . 700	45 . 500 . 000	"
ECLUSA OTTMARSHEIN (GRANDE)	FRANÇA	29 - 40	5 . 400	95 . 000 . 000	"
ECLUSA DONZÈRE - MONDRAGON	FRANÇA	22 - 19	2 . 700	63 . 600 . 000	"
ECLUSA DRESDEN ISLAND	U. S. A.	43 - 24	9 . 600	116 . 200 . 000	COMBOIOS DE EMPURRA
ECLUSA PICKWICK	U. S. A.	60 - 00	9 . 600	84 . 690 . 000	"
ECLUSA ICE - HARBOUR	U. S. A.	44 - 30	8 . 400	100 . 000 . 000	"
ECLUSA CANNELTON REACH	U. S. A.	22 - 50	20 . 400	468 . 000 . 000	"
ECLUSA CÂMARA DUPLA JOHN HOLLIS BANKHEAD	U. S. A.	54 - 00	3 . 600	35 . 000 . 000	"
ELEVADOR HENRICHENBOUG II	ALEMANHA	25 - 00	1 . 350	28 . 300 . 000	"
ELEVADOR NIEDERFINOW	ALEMANHA	27 - 00	1 . 000	19 . 400 . 000	"
ECLUSA JOCHENSTEIN	ÁUSTRIA	22 - 00	6 . 000 *	143 . 000 . 000	"
ECLUSA BORN (ANTIGA)	HOLANDA	44 - 00	4 . 600 *	55 . 000 . 000	"
ECLUSA BORN (NOVA)	HOLANDA	35 - 00	4 . 600 *	69 . 000 . 000	"
ESCADA DE DUAS ECLUSAS BOKHTARMINSK	U. R. S. S.	45 - 00	4 . 000 *	46 . 500 . 000	"
ECLUSA UST - KAMERNOGORSK	U. R. S. S.	62 - 00	4 . 000 *	34 . 000 . 000	"
ECLUSA BARIRI	BRASIL	29 - 45	3 . 540 *	62 . 000 . 000	COMBOIO CORESP
ECLUSA JUPIÁ	BRASIL	35 - 00	6 . 900	103 . 500 . 000	COMBOIO CIBPU
PLANO INCLINADO DE FOXTON	INGLATERRA	12 - 00	70	3 . 640 . 000	"
PLANO INCLINADO DE ARZVILLER	FRANÇA	20 - 00	300	7 . 900 . 000	PÉNICHES
PLANO INCLINADO DE RONQUIÈRES	BÉLGICA	31 - 00	1 . 350	22 . 800 . 000	AUTOMOTOR R. H. K.
PLANO INCLINADO DE KRASNOYARSK	U. R. S. S.	46 - 30	2 . 000	20 . 000 . 600	"

(*) : VALORES ADOTADOS, DIVERSOS DO COMBOIO - TIPO DE DIMENSIONAMENTO.

4.2 - Determinação da capacidade efetiva de tráfego

No cálculo da c.m.t. admitiu-se que a obra fôsse utilizada tôdas as horas e dias do ano, por embarcações-tipo (sempre iguais) completamente carregadas, ocupando a câmara ao máximo.

A capacidade efetiva do tráfego (c.e.t.) de uma obra de transposição, entendida como sendo a tonelagem que anualmente pode ser movimentada através da obra em condições normais de tráfego, depende fundamentalmente de 4 fatôres:

1 - tempo real em que a obra pode ser operada durante o ano

2 - tempo de transposição de cada embarcação que utiliza a obra

3 - número de embarcações movimentadas em cada operação

4 - tonelagem de carga que cada embarcação transporta.

Para cada um dêstes fatôres limitativos de tonelagem definiremos um coeficiente de eficiência pela relação entre a capacidade efetiva de tráfego da obra, se só êste fator influisse, e a c.m.t. Teremos, portanto, quatro coeficientes, todos menores que a unidade: E_1 coeficiente de eficiência, que leva em conta o número de minutos por ano que a obra pode ser utilizada; E_2 coeficiente de eficiência, que leva em conta o tempo médio de transposição de tôdas as embarcações que utilizam a obra; E_3 coeficiente de eficiência, que leva em conta o aproveitamento médio da câmara e E_4 coeficiente de eficiência, que leva em conta o carregamento médio por embarcação.

O produto dêstes quatro coeficientes será o coeficiente global de eficiência da obra (E) , que liga a c.m.t. à c.e.t. Cada coeficiente depende de uma série de circunstâncias, para cada uma das quais definiremos um coeficiente parcial, de forma tal que o coeficiente de eficiência seja determinado pelo produto de uma série dêstes coeficientes parciais.

O cálculo dos coeficientes parciais que englobam valores intangíveis, pode ser feito, para vias fluviais existentes, com base em estatísticas de tráfego. Para as novas vias, porém, é necessário estimá-los a partir de hipóteses e comparações com outras vias em operação.

A seguir, apresentaremos êstes coeficientes com seus valores determinados para algumas condições particulares, visando estimativas a serem feitas no Capítulo V para as futuras hidrovias brasileiras.

4.2.1 - Coeficiente de eficiência relativo ao tempo real que a obra pode ser operada

$E_{1.1}$ - Número de dias de funcionamento

O número de dias úteis de trabalho nas obras de transposição depende de hábitos de cada país. Na Europa Ocidental, em decorrência do processo "semi-artezanal" de navegação, é tradicional a interrupção de tráfego nas eclusas e ascensores nos domingos e feriados, restando pois, em média, 305 dias úteis por ano e resultando $E_{1.1} = 0,82$. Nos Estados Unidos a passagem é garantida todos os dias do ano (362 dias úteis no rio Ohio), resultando pràticamente $E_{1.1} = 1$.

$E_{1.2}$ - Número de horas de funcionamento por dia

Na Europa Ocidental não é praticada a navegação noturna, como já assinalamos, devido ao uso de uma só tripulação a bordo. Em consequência, as obras de transposição ficam abertas ao tráfego, em média, apenas 12 horas por dia (no verão um maior número e no inverno um menor número de horas) (DUMAS - 1953), resultando $E_{1.2} = 0,50$. Nota-se, atualmente, uma tendência a reduzir esta limitação, com a iluminação das obras para permitir passagens noturnas e reduzir os congestionamentos. Nos Estados Unidos, com navegação noturna habitual, as obras de transposição ficam abertas 24 horas por dia e portanto $E_{1.2} = 1$.

$E_{1.3}$ - Interrupções para manutenção das obras

De um modo geral as eclusas exigem uma manutenção muito reduzida. Nos países de clima frio, a manutenção normal é feita na época em que os cursos d'água estão tomados pelo gêlo, não ocasionando redução da capacidade de tráfego, ou seja $E_{1.3} = 1$. Nos países em que não há estas interrupções prolongadas, é necessário prever uma paralização anual para manutenção, função do equipamento das obras: no Canal do Panamá, onde as eclusas têm mais de 50 anos, até há pouco, o tráfego era interrompido, sistemàticamente, sete dias por ano, para manutenção e verificações. Novas técnicas permitiram reduzir êste prazo para 24 horas anuais (CARTER e BROWN - 1962).

Os elevadores verticais exigem, segundo a experiência francêsa (BOEUF e DELATTRE - 1967) e alemã (DEHNERT - 1954), cêrca de 30 dias por ano para manutenção ($E_{1.3} = 0,92$). Não se dispõe de experiência para outros tipos de ascensores, sendo, porém, de prever-se interrupções da mesma ordem para os planos inclinados de tipo funicular e um pouco mais reduzida para os de tipo automotor ($E_{1.3} = 0,95$).

$E_{1.4}$ - Interrupções por acidentes e erros de operação

As obras de transposição são raramente sujeitas a acidentes, sendo o mais comum o naufrágio de embarcações na câmara. O erros de manobras (abertura antecipada de válvulas, etc.), que podem causar interrupções prolongadas, foram pràticamente afastados nas obras modernas com os contrôles de segurança. Nas eclusas antigas européias e norte-americanas, as estatísticas mostram interrupções freqüentes por êstes motivos ($E_{1.4} = 0,99$).

$E_{1.5}$ - Interrupções provocadas por enchentes

De um modo geral, as canalizações de cursos d'água são projetadas adotando-se como nível máximo navegável o correspondente à vazão ultrapassada, em média, um dia por ano, o que leva pràticamente a $E_{1.5} = 1$. Quando é prevista descarga pela obra de transposição, a interrupção de tráfego é determinada pelo estudo da freqüência média das enchentes desviadas, acrescentando-se um ou dois dias para a limpeza da obra.

$E_{1.6}$ - Interrupções devido a estiagens

Nos Estados Unidos e na Europa, é usual o dimensionamento das obras de navegação fluvial de forma a garantir profundidades adequadas ao calado padrão durante todo o ano, resultando pràticamente $E_{1.6} = 1$.

Entre nós, tem sido adotado, às vêzes, como nível d'água mínimo navegável, o correspondente à vazão ultrapassada em 75% do ano médio(rios Paranapanema e Paraná). Esta restrição, que visa baratear as obras, seria justificada pela não existência de interrupções pelo gêlo. Neste caso pode-se admitir $E_{1.6} = 0,90$ ou seja uma interrupção de 10% do tempo, porquanto as embarcações podem trafegar com calados reduzidos durante parte do ano. Estas interrupções, por ocorrerem em épocas certas, poderão ser utilizadas para manutenção das obras sendo então descontadas de $E_{1.3}$.

$E_{1.7}$ - Interrupções devido a condições meteorológicas desfavoráveis

O uso de radar veio pràticamente afastar as interrupções de tráfego nas vias fluviais devidas à cerração (habituais na navegação pouco equipada como a nossa). O congelamento dos cursos d'água nas regiões frias acarreta interrupções de longos períodos: em países como a Rússia, Canadá, e outros da Europa Central o valor de $E_{1.7}$ pode atingir 0,75 ou menos (no Médio Volga o gêlo interrompe a navegação de 4 a 5 meses por ano). Na Europa Ocidental as interrupções por congelamento são muito variáveis (em média: 14 dias por ano no rio Reno, 20 dias no Mittelandkanal., 5 dias no rio Sena,etc.), dando portanto valores diversos para $E_{1.7}$. Em geral, como um valor médio incluindo outras causas de interrupções motivadas pelas condições meteorológicas adversas como tempestades, ventos fortes, nevadas, etc., admite-se $E_{1.7}$ = = 0,90.

Nas grandes hidrovias do Centro-Este dos Estados Unidos, quebra-gelos especiais garantem, em geral, o tráfego em todo o inverno; considerando-se outras causas de interrupção, além das decorrentes do congelamento pode-se admitir um valor médio de $E_{1.7} = 0,95$.

$E_{1.8}$ - Interrupções devido a irregularidade de fluxo de embarcações

Um fluxo contínuo de embarcações nos dois sentidos só é possível com um contrôle absoluto do tráfego ou um congestionamento permanente na obra (embarcações sempre na espera). Na realidade, a obra de transposição ficará sempre períodos sem operar por falta de embarcações a movimentar.

Quando as obras de transposição são próximas e têm regimes de funcionamento semelhantes (canais eclusados) há uma certa regularização no tráfego conjunto da via, com as embarcações distantes entre si o correspondente ao tempo de passagem pelas mesmas; quando porém as obras são distantes,há tráfego local, portos importantes nos estirões, etc., as irregularidades podem ser muito grandes. É o que ocorre na Europa, devido não haver movimento noturno e a preferência das tripulações por determinados portos para passar a noite (sobretudo no rio Reno): as embarcações deslocam-se em grandes grupos e chegam quase simultâneamente às obras de transposição provocando, então, períodos de congestionamento e períodos de interrupções por falta de embarcações. Da análise das estatísticas de diversas obras (SEITER e ROHNISCH - 1953), conclue-se que, na Europa Ocidental, o valor $E_{1.8} = 0,91$ corresponde a uma média representativa.

Nos Estados Unidos, êste fator é da ordem de $E_{1.8} = 0,96$ (BOTTOMS - 1967): o número de chatas por comboio influe porém neste fator, pois quanto maior o comboio mais concentradas são as chegadas à obra de transposição.

Modernos sistemas eletrônicos como o "Marine Traffic Control System", em uso no Canal do Panamá (VOGEL - 1962) permitirão, no futuro, um contrôle de tráfego nas aquavias interiores e, portanto, um aumento do valor de $E_{1.8}$.

4.2.2 - Coeficiente de eficiência relativo ao tempo de transposição

$E_{2.1}$ - Diversidade de tipos de embarcações

Os vários modelos de embarcações levam tempos diferentes para passarem pelas obras, inclusive mesmo tempos menores que as embarcações-tipo adotadas para o cálculo da c.m.t. Em princípio os automotores transitam mais ràpidamente que os comboios de empurra (tempos de acesso mais curtos). Êstes por sua vez, geralmente, prescindem do tempo de arrumação que pode ser parte considerável de T_2 e T_4 (nos comboios estreitos e compridos do rio Ohio, o rebocador tem que se arrumar ao lado das chatas).

O número e o tipo de desmembramentos também influem como já vimos, no tempo de transposição, correspondendo aos comboios de empurra que passam sem exigir sirga (ou rebocadores de serviço), o tempo mínimo.

Na Europa atualmente, a grande diversificação das frotas leva a valores de $E_{2.1}$ da ordem de 0,90 (variações no tempo de transposição de mais de 50%). Nos Estados Unidos, o uso generalizado de comboios de empurra e uniformidade maior das frotas leva a valores de $E_{2.1} = 0,95$ (BLOOR - 1953).

$E_{2.2}$ - Perdas de tempo nas manobras das embarcações e má operação da obra de transposição

Verifica-se que considerável perda de tempo é resultado de comuns negligências nas manobras das embarcações que entram ou saem na câmara, sendo muitas vêzes devidas a vícios de operação (por exemplo, a espera da chegada de embarcações, a não execução de operações em vazio quando recomendável, etc.). As demoras nas operações dos equipamentos mecânicos (portas, comportas, velocidades das cubas, etc.) não são possíveis com os equipamentos mo

dernos comandados automàticamente e que dão uma continuidade completa uma vez iniciada a operação.

A estas perdas de tempo somam-se as necessárias à preparação para receber as embarcações (abertura de portas, esvaziamento da câmara para a embarcação subir, etc.). A radiofonia pràticamente anula tais perdas de tempo.

A estimativa das perdas de tempo devidas à má operação das obras é difícil, como tem sido assinalado (BOTTOMS - 1966), porém em conjunto com outras perdas de tempo casuais (como mudança do pessoal, pouca visibilidade, etc.) leva a valores de $E_{2.2} = 0,95$.

$E_{2.3}$ - Influência do funcionamento de outros órgãos do aproveitamento múltiplo

Em certas circunstâncias, como já assinalamos, o funcionamento de vertedores e turbinas pode acarretar aumento do tempo de transposição pelas dificuldades de acesso. Nas obras bem projetadas, é de prever-se que não hajam inconvenientes dêste tipo e portanto $E_{2.3} = 1$.

$E_{2.4}$ - Influência da altura de queda

Nos aproveitamentos para fins múltiplos ocorrem, em geral, variações consideráveis dos níveis de água dos estirões inferior e superior. Estas variações influem no tempo de transposição, através do tempo T_3.

Nas eclusas, modificando-se a queda, modificam-se as vazões de enchimento e esgotamento e, portanto, a velocidade de variação do nível d'água o que, até certo ponto, compensa o tempo ganho ou perdido. Nos ascensores estas variações são, em geral, desprezíveis, em face da grande altura a ser vencida; quando porém, são munidos de "eclusas de guarda" as variações de desnível podem ter influência muito grande.

Nos casos gerais pode-se admitir como sendo $E_{2.4} = 1$.

4.2.3 - Coeficiente de eficiência relativo ao aproveitamento da área da câmara

$E_{3.1}$ - Diversidade de tipos de embarcações

Importante redução da capacidade de tráfego das obras de transposição deriva da diversificação das embarcações que trafegam na via. Há a distinguir, inicialmente, as embarcações que não contribuem para a tonelagem de carga movimentada e que devem passar pela obra, como as embarcações de serviço, de passageiro, de recreio, etc., e as embarcações de carga, que por terem dimensões diversas da embarcação-tipo, deixam áreas perdidas mesmo se convenientemente arrumadas.

Na navegação européia, em que a variedade de embarcações de carga é muito grande, êste último aspecto é o preponderante. Mediante uma escolha conveniente das embarcações que devem ser alojadas na câmara de cada vez, pode-se reduzir consideràvelmente os espaços perdidos. Levantamentos feitos em períodos de tráfego intenso mostraram que, naquelas hidrovias, há um aproveitamento médio da câmara da ordem de 82% (SEITER e RÖHNISCH - 1953) de onde resulta $E_{3.1} = 0,82$.

Nas aquavias norte-americanas, em geral, os comboios de empurra têm dimensões que permitem um grande aproveitamento da câmara. Exatamente por isso as embarcações isoladas não podem ser movimentadas em conjunto com os comboios, exigindo passagens especiais, sem nenhuma tonelagem útil de carga. O grande número de embarcações de recreio que, tradicionalmente, recebem tratamento idêntico às embarcações de carga, juntamente com a área "perdida" pelos rebocadores, leva a coeficientes de aproveitamento ainda mais reduzidos que nas obras européias, com valores da ordem de $E_{3.1} = 0,75$ (BOTTOMS - 1966).

$E_{3.2}$ - Descontinuidade de fluxo de embarcações

A descontinuidade de fluxo de embarcações conduz a passagens com número reduzido de embarcações. Esta circunstância, que é sem maior importância para os comboios de empurra, deixa de influenciar na capacidade de tráfego quando é atingido um elevado índice de aproveitamento da obra, desde que não seja obedecida para a passagem, a ordem de chegada das embarcações (o que é usual). Além dos mais, êste fator, até certo ponto, é implìcitamente incluído em $E_{1.1}$ e $E_{3.1}$; assim, salvo casos especiais, pode-se admi--

tir $E_{3.2} = 1$.

4.2.4 - Coeficiente de eficiência relativo a capacidade de carga das embarcações

$E_{4.1}$ - Diversidade de capacidade de carga

Os vários tipos e modelos de embarcação que freqüentam a obra apresentam capacidades de carga diferentes por área utilizada da câmara: um automotor de mesmas dimensões externas e mesmo calado transporta menos carga que uma chata de empurra. Além do mais, os calados máximos das embarcações não serão todos idênticos. Assim, mesmo com a câmara totalmente ocupada e as embarcações tôdas com carga máxima, não se pode esperar que com a frota real seja possível obter a tonelagem por passagem prevista no cálculo da c.m.t. (tonelagem da embarcação-tipo).

Nas obras de transposição européias, a grande diversificação das frotas, faz com que a média de tonelagem por passagem seja bem reduzida em relação ao máximo; estatísticas indicam valores da ordem de $E_{4.1} = 0,85$ (DUMAS - 1953).

Nas hidrovias norte-americanas, com grande uniformidade de embarcações com calados máximos de 7,50 pés (profundidade mínima garantida de 9 pés, em quase tôdas as aquavias interiores de importância) os valores de $E_{4.1}$ são bem mais elevados, da ordem de $E_{4.1} = 0,95$.

$E_{4.2}$ - Utilização parcial da capacidade de carga das embarcações

Êste coeficiente parcial é, em geral, um dos de maior influência no cálculo da c.e.t. Deve-se considerar duas situações distintas: embarcações que trafegam com carga reduzida em relação à sua máxima capacidade e embarcações que trafegam vazias (em lastro), geralmente por falta de carga de retôrno.

O aproveitamento das embarcações é função essencialmente do tipo de mercadorias movimentadas e do grau de especialização da frota. Depende ainda de numerosos outros fatôres como os hábitos de navegação, sistema de exploração dos transportes (frotas pertencentes a emprêsas, ao govêrno e a particulares diversos) distribuição da carga ao longo da via (distância entre os portos), disponibilidade de mercadoria, etc.; o próprio custo do trans

porte pode ter influência na decisão de transitar com a embarcação vazia.

O uso de comboios nos quais é possível imobilizar as chatas (ou barcaças) sem imobilizar o sistema propulsivo e a tripulação, leva a um aproveitamento melhor das embarcações que nos automotores para os quais é,em geral, mais conveniente movimentar em lastro, em busca de carga, que aguardar nos portos.

Em geral,o transporte não é equilibrado nos dois sentidos da via: os tipos de mercadorias são diversos numa e outra direção, sendo comum a movimentação de matérias primas opor-se à movimentação de produtos manufaturados ou semi-manufaturados. Em quase tôdas as hidrovias, há uma diferença muito grande entre as tonelagens transportadas rio acima e rio abaixo.

Na Europa Ocidental, apesar da extensa rêde de canais interligados, variedade de mercadorias embarcadas e proprietários de embarcações, condições favoráveis ao aproveitamento máximo da capacidade de carga, o coeficiente de aproveitamento mostrado pelas estatísticas é baixo. No próprio rio Reno, na eclusa de Kembs, a carga média nos automotores, barcaças e chatas que descem o rio é da ordem de 50% a 65% respectivamente, e no sentido oposto o aproveitamento é quase integral. No rio Ródano o aproveitamento médio é estimado em 70% (DUMAS - 1953). Nos canais alemães as estatísticas oficiais dão um aproveitamento médio de 81% (SEIFERT e RÖHNISCH - 1953), sendo, porém, de se notar que nestes canais não há igualdade de número de embarcações nos dois sentidos de tráfego.

Nos Estados Unidos, o sistema de operação totalmente diverso do europeu, com uniformidade de cargas, grande especialização das embarcações, frotas de emprêsas, etc., leva também a um aproveitamento das embarcações baixo, devido a falta de carga de retôrno. Assim, no rio Illinois, o aproveitamento médio das chatas que sobem o rio é de 95%, enquanto que as que descem utilizam tão sòmente de 8 a 12% da sua capacidade (SANTINA e WESLER - 1964). Neste rio de 40 a 50% das eclusagens são feitas com embarcações em lastro.No rio Ohio (eclusa Camelton), a carga montante é 79% do total, resultando portanto, dado que as mesmas embarcações trafegam nos dois sentidos, um aproveitamento médio de menos de 25% no sentido de jusante e da ordem de 65% no total.

Constatamos, pois, que o valor de $E_{4.2}$ é muito variável nas diversas vias fluviais, dependendo das condições locais, sobretudo existência

de tráfego de retôrno e da possibilidade das mesmas embarcações poderem ou não movimentar êste tráfego. Como ordem de grandeza pode-se admitir o valor médio de $E_{4.2} = 0,60$.

Para efeito do dimensionamento das obras de transposição é recomendável considerar ùnicamente o tráfego previsto em um sentido (de maior tonelagem) adotando-se, então, um valor de $E_{4.2}$ bastante elevado (por exemplo 0,95 - 0,98), para evitar possibilidades de erros muito grandes.

$E_{4.3}$ - Restrições de calado devidas à falta de profundidade na via fluvial

É comum, durante o período de águas baixas, que as embarcações tenham que trafegar "aliviadas" com carga inferior ao máximo admissível.

Nas grandes vias canalizadas norte-americanas e, de um modo geral, nos canais artificiais, como já indicamos, os projetos são elaborados de forma a garantir todo o ano uma profundidade mínima padronizada. Resulta daí, porém, uma tendência das embarcações trafegarem na época de águas mais altas com calados superiores aos "calados padrões".

A possibilidade de tráfego aliviado depende do tipo de embarcação: os rebocadores, de um modo geral, não admitem variações consideráveis de calado (máximo de 0,45 m nos rebocadores americanos de 7,50 pés de calado, 0,65 m excepcionalmente no rebocador Urucum); nos automotores são possíveis maiores variações com perda porém do rendimento propulsivo.

Segundo estatísticas feitas para os rios de corrente livre europeu, resulta $E_{4.3} = 0,80$ (SEIFER e ROHNISCH - 1953) e para canais $E_{4.3} = 1$.

Com o critério adotado para a canalização do rio Paranapanema, de nível máximo navegável correspondente à vazão ultrapassada em 75% do tempo, verificamos que, com uso de rebocadores de 2,50 m de calado, haveria uma interrupção de tráfego, em média, durante 35 dias por ano e tráfego com calado reduzido em 55 dias. O $E_{4.3}$ resultante seria da ordem de 0,88. Esta forte restrição em uma canalização pode ser levantada pelo aprofundamento do canal nas proximidades de jusante das barragens.

De todo o exposto verificamos a dificuldade de estabelecer-se com segurança a c.e.t. de uma obra de transposição de desnível. Os coeficientes parciais $E_{1.1}$, $E_{1.2}$, $E_{1.5}$, $E_{1.6}$, $E_{2.3}$ e $E_{4.3}$ podem ser esta

belecidos por considerações independente do tráfego e portanto invariáveis, enquanto que todos os demais tendem a crescer com o aumento do movimento, sobretudo quando a obra se aproxima da saturação.

Os valores indicados para as hidrovias americanas e européias, correspondem a valores médios significativos para condições próximas à saturação. Com base nos mesmos obtém-se os seguintes coeficientes de eficiência:

	E_1	E_2	E_3	E_4
Eclusas norte-americanas	0,90	0,90	0,75	0,57
Eclusas européias	0,34	0,85	0,82	0,71

Os coeficientes globais de utilização respectivos resultam pois:

Eclusas norte-americanas (processo de exploração norte-americano) E = 0,34
Eclusas européias (processo de exploração tradicional europeu) E = 0,17.

Êstes valores genéricos são comparáveis aos obtidos por outros autores. Assim, Aubert adota para os cálculos da capacidade efetiva de novas obras de transposição, na Europa, um coeficiente de redução, destinado a levar em conta a irregularidade das dimensões das embarcações, de 0,85 , um coeficiente de flutuação de tráfego de 0,75 , um coeficiente médio de carga das embarcações de 0,90 ; considerando-se um coeficiente $E_1 = 0,47$ para levar em conta o número de horas de trabalho por ano adotadas pelo autor (344 dias úteis, com 12 horas de trabalho por dia) resulta E = 0,20 ou seja, valor um pouco superior ao por nós determinado (AUBERT - 1961).

No projeto de canalização do rio Guadalquivir, na Espanha, foi adotado o equivalente a E = 0,35 (300 dias úteis por ano, 16 horas de funcionamento por dia) para uma frota uniforme de embarcações (BRIONES - 1957).

Para as hidrovias norte-americanas, Bottoms (BOTTOMS - 1966) indica um valor médio de E = 0,25 , inferior ao acima apresentado. Esta discrepância explica-se, em primeiro lugar, pela definição pouco precisa da c.m.t. adotada pelo autor (que leva a valores de c.m.t. mais baixos que os definidos neste trabalho) e, também, porque Bottoms admite a c.e.t. como sendo a tonelagem de carga que "econômicamente" pode ser movimentada por ano, através da obra. Desta forma inclue um outro fator de restrição, que não consideramos, é que diz respeito ao máximo congestionamento admissível de

vido às irregularidades do tráfego. Na verdade, o congestionamento aumentando o tempo de passagem pela obra, como veremos no ítem seguinte, aumenta o custo do transporte, podendo fazer com que parte da carga que normalmente seria movida pela via fluvial procure outros meios de transporte durante o período em que a hidrovia se encontra congestionada. Êste fato, que pode ocorrer em certas vias fluviais, não nos parece, deva ser generalizado. Preferimos considerar o congestionamento decorrente das oscilações de tráfego como um fator de encarecimento do custo do transporte, que deve ser inclusive levado em conta para efeito de dimensionamento, mas não como um fator limitativo da capacidade de carga da obra de transposição.

5 - TEMPO DE PASSAGEM

O "tempo de passagem" de um automotor ou comboio de embarcações por uma obra de transposição de desnível é o tempo suplementar de viagem exigido pela travessia da obra, ou seja, o intervalo de tempo compreendido entre o instante em que a embarcação diminue a marcha ao aproximar-se do obstáculo, até o instante em que, já no outro nível, retoma sua velocidade normal de cruzeiro, menos o intervalo de tempo em que a mesma embarcação, em velocidade normal, levaria para trafegar entre os dois pontos respectivos.

Em geral, a redução de velocidade da embarcação é feita praticamente na chegada à garagem de espera ou na proximidade da porta, quando o acesso é direto. A retomada da marcha normal dá-se logo à saída da câmara (após a recomposição do comboio, se fôr o caso). As distâncias entre as garagens e entre as portas são pequenas nas eclusas simples, nos elevadores verticais e mesmo nas eclusas de câmaras múltiplas, quando o número de degraus é reduzido. Nos planos inclinados, rampas hidráulicas e, sobretudo, nas escadas de eclusas, estas distâncias podem ser bem maiores, atingindo fàcilmente de um a três quilômetros. Tendo-se em vista que a velocidade de cruzeiro normal das embarcações fluviais situa-se entre 7 e 12 km por hora, o intervalo de tempo que corresponderia ao tráfego da embarcação entre os limites extremos de influência do ascensor ou eclusa, pode ser desprezado na maioria dos casos. Em particular, êste intervalo pode assumir valores consideráveis quando o acesso é feito através de longos canais entre as portas e as garagens de espera, como em alguns dos aproveitamentos múltiplos do rio Volga, por exemplo, os de Votkinsk, Stalingrad e Kuibyshev (êste último, com uma escada de duas eclusas com uma extensão total, incluindo canais intermediários e canais de acesso, de treze quilômetros e meio).

Quase sempre o tempo de passagem pode ser confundido, portanto, com o correspondente entre a chegada à garagem de espera e a partida definitiva da câmara. Inclue, além do tempo gasto para a elevação ou abaixamento da embarcação, tôdas as esperas e demoras resultantes de: desmembramento ou redistribuição dos comboios, impossibilidade da obra receber a unidade completa ou suas partes (por estar a câmara preparada para receber embarcações no sentido oposto, estar em operação com outras embarcações ou devido a necessidade de ser dada passagem a embarcações que aguardavam anteriormente), bem como a arrumação e atracação nas garagens, percursos em velocidade reduzida nas zonas de acessos, etc.

O tempo de passagem repercute diretamente no custo do transporte, equivalendo a um aumento fictício de percurso (o gasto em combustível é uma parcela pequena do custo total do transporte).

O valor econômico do tempo de passagem é função do custo operacional da embarcação. Pode atingir custos elevados, como no rio Tennessee, onde a imobilização de um comboio médio custa cêrca de US$ 100 por hora (VOGEL - 1961) e nos rios Ohio e Mississipi, onde se estima que o ganho de um minuto no tempo médio de passagem compense a execução de novas obras no valor de US$ 90.000 e US$ 60.000 (respectivamente) (NELSON - 1959). Nas hidrovias européias atuais calcula-se, em média, em US$ 0,02 a despesa por hora e por tonelagem de uma embarcação parada, valor equivalente ao citado para o rio Tennessee.

A importância a ser dada ao tempo de passagem depende muito da distância média de transporte: uma perda de algumas horas em uma viagem de vários dias é perfeitamente tolerável, não o sendo, porém, em um percurso que dure menos de um dia.

Sob êste ponto de vista, as obras de transposição de desnível nos aproveitamentos integrais de rios caudalosos com baixa declividade, devem ser consideradas de forma diversa das dos antigos canais ou rios canalizados com grande número de eclusas. De fato, a concentração dos desníveis, diminuindo o número de obras de transposição reduz o tempo total gasto entre dois pontos, pois, em cada obra, o tempo de passagem compreende uma parcela elevada, pràticamente constante, correspondente à espera e ao acesso à câmara.

Estas considerações levaram os técnicos russos a adotar soluções que, garantindo uma considerável capacidade de tráfego (eclusas paralelas ou geminadas), têm tempos de passagem elevados (escadas de eclusas e eclusas de câmara múltipla, com longos acessos) (KABELAC - 1964). Nas canalizações com amplos reservatórios, em regiões pouco desenvolvidas, soluções dêste tipo podem ser econômicamente convenientes.

Há ainda a considerar que parte da demora na transposição de desnível é proporcional ao número de passagens e, portanto, ao volume de tráfego, podendo ocorrer que, através do encarecimento do custo de transporte fluvial, esta demora ocasione uma limitação da carga movimentada através da obra. O tempo de passagem crítico que corresponde à fuga da carga para outros meios de transporte concorrentes, depende do custo dêstes outros meios de transporte e do custo de operação da navegação em tôda a via fluvial não podendo ser fixado ùnicamente em função de uma obra de transposição considerada isoladamente dentro de uma hidrovia.

Em particular, o tempo de passagem é influenciado pelas variações de fluxo de carga durante o ano, o que faz com que a situação crítica seja atingida apenas durante um certo período em que a via é mais solicitada, fato que ainda mais dificulta uma análise geral do problema.

O limite econômico de tráfego, devido a esta perda de tempo, pode ser atingido bem antes da c.e.t. sendo pois, fator importante para o dimensionamento da eclusa ou ascensor. Não nos parece porém que deva ser considerado pròpriamente como um fator limitativo da c.e.t. , não só pela dificuldade de incluí-lo entre os demais fatôres, mas principalmente por depender de condições alheias à navegação, como armazenagem e ensilagem das cargas.

A determinação prévia do tempo de passagem de uma embarcação por uma obra de transposição é complexa devido ao grande número de fatôres intervenientes: número de embarcações, condições meteorológicas e fluviológicas, etc. Um método gráfico de análise pode ser muito conveniente (HOWE - 1967) porém só as estatísticas de tráfego permitem obter informações seguras para êste cálculo. Dificilmente os valores obtidos podem ser extrapolados para outras vias fluviais. Para novas hidrovias desligadas de uma rêde em exploração, sòmente um exame sumário do assunto pode ser feito, verificando-se quais os elementos de maior influência e as possibilidades de ser atingido o valor crítico acima referido, visando, através do cálculo de custo

-benefício, o correto dimensionamento da obra.

Cada tipo de embarcação (comboio de empurra ou automotor) que utiliza a obra de transposição terá um tempo de passagem específico. Naturalmente haverá uma tendência, por parte dos usuários, no sentido de adotar embarcações que correspondam ao menor custo de operação, que, em princípio, será a embarcação-tipo adotada para o projeto das obras de transposição.

Inicialmente, examinaremos como pode ser estimado o tempo de passagem de um comboio (ou automotor) em condições ideais de fluxo contínuo, para, em seguida, examinar os tempos de passagem que podem ser esperados na realidade, com a operação normal da obra de transposição.

5.1 - Tempo de passagem com tráfego regular e contínuo

O tempo de passagem com fluxo permanente de embarcações-tipo depende exclusivamente das características da obra de transposição e serve como elemento de comparação entre diversas soluções, de forma análoga à c.m.t. , no que diz respeito à capacidade de tráfego.

Consideraremos como "fluxo regular", um regime ideal de tráfego tal que, na operação por passagens alternadas, as embarcações-tipo cheguem exatamente no instante conveniente para o cruzamento com a embarcação que sai, no local mais próximo possível da porta, e, na operação por passagens sucessivas, as embarcações cheguem à porta no instante em que possam ser admitidas. Desta forma, não há qualquer perda de tempo ou espera da embarcação (comboio no seu todo ou automotor), nem na saída nem na entrada da obra de transposição que estará sempre disponível para a passagem.

Nestas condições, no caso de um automotor ou de um comboio de empurra que possa ser introduzido integralmente na câmara, o tempo de passagem será, qualquer que seja o tipo de obra, se obedecido o sistema de operação por passagens alternadas, o tempo de transposição T_t^* , igual ao tempo T_t definido no ítem anterior, reduzido de uma parte dos tempos T_1 e T_5 (pois, com o acesso direto, a diminuição de velocidade e a retomada da marcha normal podem ser feitas na própria entrada da câmara). Se obedecido o sistema de passagens sucessivas, o tempo de passagem será, devido ao acesso direto, igual ao da operação com passagens alternadas (diferente do tempo de transposição determinado no ítem anterior para o sistema de operação com passagens sucessivas).

Deve-se notar que se as chegadas forem igualmente espaçadas, êste último sistema de operação impõe uma espera variável, de acôrdo com a ordem de chegada das embarcações, proporcional ao número de passagens sucessivas em cada sentido (α) e aos tempos de operação em vazio e de transposição (T_{ts} e T_{td}). Esta consideração mostra, desde logo, como as passagens sucessivas no mesmo sentido aumentam o tempo de passagem, só sendo interessantes, sob êste ponto de vista, para dar escoamento em um sentido em situações particulares.

No caso do comboio não poder ser transposto numa só operação, quando será, portanto, necessário um ou vários desmembramentos, o tempo de passagem deverá ser considerado como do conjunto do comboio. Incluirá, os tempos necessários a uma operação de desmembramento inicial, T_{des}, uma operação de recomposição final do comboio, T_{rec} (as demais podem ser feitas durante o período de imobilização do restante do comboio) e a passagem de cada parte desmembrada, além dos tempos intermediários de preparo da obra para permitir as passagens no mesmo sentido.

Se θ é o número de operações de desmembramentos (número de partes em que é dividido o comboio, menos um), necessárias para a passagem de um comboio através da câmara, T^*_{ts} e T^*_{td} os tempos de transposição nos sentidos de subida e descida, $\overline{T}^*_t$ a média de T^*_{ts} e T^*_{td}, os tempos médios de passagem do comboio, admitindo-se que a câmara fique lotada e que o número de chatas mais rebocador seja múltiplo do número de embarcações que cabem na câmara, serão aproximadamente os indicados a seguir.

Com passagens alternadas nos dois sentidos (difícil de ser realizada):

$$(2\theta + 1)\,\overline{T}^*_t + T_{des} + T_{rec}$$

Com α passagens sucessivas nos dois sentidos ($\alpha > \theta + 1$):

$$(\theta + 1)\,T^*_{ts} + \theta\,T_v + T_{des} + T_{rec} \quad \text{ou}$$

$$(\theta + 1)\,T^*_{td} + \theta\,T_v + T_{des} + T_{rec}$$

sendo T_v o tempo de operação em vazio, T_{des} e T_{rec} os tempos necessários para um desmembramento e uma recomposição (com o equipamento normal utilizado nos Estados Unidos 20 min no sentido transversal, 30 a 35 min no sentido longitudinal).

Quando as dimensões da câmara não corresponderem a uma divisão certa do comboio, de forma que, em tôdas as passagens, possa ser utilizada a área total da câmara (por exemplo uma câmara podendo receber 4 chatas, duas em linha e duas em colunas 2,2 utilizada por um comboio-tipo com formação R,2,2 ou R,2,2,2,2), após ~~e~~ passagens haverá sobra de espaço que poderá ser utilizado pelo comboio seguinte. Esta utilização, necessária para aumentar a c.m.t. , não reduz o tempo de passagem dos comboios, muito pelo contrário, em certos casos, pode aumentar o de alguns, que seriam obrigados a ter um número de desmembramentos maior que o mínimo necessário.

Se a dimensão da câmara fôr maior que o comboio-tipo (o que não é de se esperar), o tempo de passagem de alguns comboios será superior ao de outros, dependendo da ordem de chegada.

Outro motivo de perda de tempo é a necessidade de reagrupamento de comboio para possibilitar a passagem pela câmara. Esta operação pode ser feita distante do acesso da câmara, a fim de não influir no tempo de transposição ou ser feita nas garagens de acesso, quando, como assinalamos influe na c.e.t. De tôda forma, corresponde sempre a uma perda de 60 a 80 min dependendo da complexidade das operações.

Caso particular a ser considerado é o das eclusas de câmara múltipla: se as câmaras permitem receber todo o comboio, o tempo de passagem será, seja na operação com passagens alternadas, seja com passagens sucessivas, o tempo T_t^* correspondente ao tempo de transposição, como definido no ítem anterior para passagens alternadas, deduzido das reduções de T_1 e T_5 indicadas. Se as dimensões das câmaras obrigam a desmembramento do comboio, para passagens alternadas são válidas as mesmas considerações feitas para o caso de câmara simples (com o T_t apropriado); para passagens sucessivas , o tempo de operação em vazio a ser considerado é, sòmente, o da câmara extrema, o que conduz a uma economia de tempo, sobretudo no caso de muitas câmaras, como a eclusa de Perm, no rio Volga, com 6 câmaras sucessivas; (nesta barragem há duas eclusas paralelas, cada qual funcionando em um sentido). As observações feitas sôbre possíveis esperas devido à irregularidade do fluxo de embarcações e o tempo perdido na inversão do sentido, são válidas, também, nestas obras e, até certo ponto, limitam as vantagens decorrentes da operação com passagens sucessivas no mesmo sentido.

As escadas de eclusas (eventualmente de ascensores) têm, do ponto de vista do tempo de passagem, características peculiares diversas de

todos os outros tipos de obra de transposição de desnível pois, mesmo não havendo desmembramentos de comboios, podem ocorrer esperas no interior da obra, devido a condições particulares de operação. Em princípio, o tempo de passagem será o tempo total gasto nas transposições de cada desnível, somado ao tempo de tráfego nos canais intermediários (menos, eventualmente, o tempo que seria gasto no percurso, em marcha normal, entre os extremos). As esperas no interior da escada derivam da impossibilidade de garantir um fluxo regular em tôdas as passagens devido às diferenças de tempo gasto nas diversas etapas. O cálculo destas esperas é complexo e não pode ser generalizado: o método a ser seguido é o mesmo adotado para determinação da velocidade média de tráfego em canais eclusados, problema resolvido por Cadart e Barbet (CADART e BARBET - 1903), que entre outras conclusões, estabeleceram as seguintes regras:

a - "Admitindo-se tempos iguais de transposição em cada eclusa (ascensor), para que não haja esperas nos dois sentidos no interior da escada, com fluxo regular nos extremos, é necessário que a soma do tempo utilizado para percorrer o canal intermediário em cada sentido seja um múltiplo da soma dos tempos consumidos nas duas eclusas e que as manobras das eclusas sejam defasadas de um certo tempo determinado".

b - "Se o comprimento do canal intermediário é qualquer, com a regularidade de fluxo nos extremos, a soma dos tempos de espera a que ficam sujeitas as unidades trafegando nos dois sentidos é inferior à soma dos tempos de transposição de cada eclusa nos dois sentidos, desde que a manobra de ambas sejam sincronizadas ou defasadas de um tempo pré-determinado. Os tempos de espera decrescem substancialmente quando o comprimento do canal leva a tempos de percurso próximos a um múltiplo do tempo de transposição de uma das eclusas".

c - "Quando os tempos de transposição das duas eclusas extremas é muito diferente, para que não haja esperas em ambos os sentidos de tráfego, é necessário que o tempo gasto para percorrer o canal seja superior a um múltiplo do tempo consagrado ao conjunto de passagens nos dois sentidos pela eclusa mais demorada, porém, que não ultrapasse a diferença de duração destas passagens sôbre as da outra obra".

É de se notar que o comprimento mínimo do canal necessário para atender a regra "a" tendo-se em vista que o tempo de transposição de cada obra deve ser da ordem de 20 a 30 minutos (quedas em tôrno de 15 m) e as ve-

locidades nos canais da ordem de vários quilômetros por hora, deve ser de alguns quilômetros, o que além de encarecer a obra, nem sempre pode ser realizado nos aproveitamentos múltiplos.

Estas e outras regras que podem ser estabelecidas em cada caso particular para reduzir os tempos de espera no interior das escadas conduzem, em geral, ao aumento da duração dos percursos nos canais intermediários, nas quais só podem ser mantidas velocidades da ordem de 4 a 6 km/h com unidades auto-propulsionadas e 3 a 5 km/h com chatas movidas por sirga. Êste aumento pode chegar a superar o ganho de tempo nas eventuais esperas. Dada, por outro lado, a impossibilidade de garantir na prática o fluxo regular nas chegadas à obra, as regras perdem parte de seu interêsse. São de utilidade, porém, para casos de congestionamento quando houver vantagens em acelerar o tráfego num sentido pois, como aquêles estudos o provam, qualquer que sejam as condições, é sempre possível estabelecer um regime de operação que anule as esperas nas câmaras seguintes à inicial (com interrupções do tráfego no sentido oposto).

De tôda forma, deve-se admitir que, nas escadas de eclusas, serão seguidas certas normas de exploração para reduzir o tempo médio de passagem, sem as quais e com as câmaras extremas constantemente ocupadas, seria acrescido da metade o tempo de transposição em cada eclusa, para espera de entrada. Quando as eclusas extremas não são constantemente ocupadas, o tempo total de espera é função do tempo de transposição da eclusa mais demorada e é menor que a soma da dos tempos de transposição nas diversas eclusas constituintes da escada.

As passagens sucessivas no mesmo sentido nas eclusas de uma escada aumentam o tempo total de passagem, quando não é possível garantir um perfeito sincronismo. Por êste motivo, não é recomendável esta técnica de exploração. No caso de comboios desmembrados, não devem ser refeitas as formações em cada degrau, o que obriga o uso de sirga ou rebocadores auxiliares para as chatas sem propulsão nos canais intermediários.

De um modo geral, não são utilizadas na técnica atual escadas de eclusas (muito menos de ascensores) com mais de dois patamares intermediários, o que simplifica consideràvelmente as análises teóricas dos tempos de passagem neste tipo de obras. As prescrições de operação parecem, porém, difíceis de serem impostas, mesmo em escadas de duas eclusas.

Os planos inclinados, rampas hidráulicas e elevadores verticais que exijam eventualmente eclusas de guarda para garantia da manutenção dos níveis d'água extremos têm tempos de passagem mais elevados que as obras simples, pois funcionam como "eclusas de câmaras múltiplas". Êstes tempos podem ser reduzidos quando fôr possível prever, nestas câmaras de níveis variáveis, o cruzamento das embarcações que entram e saem.

As condições ideais de fluxo regular e contínuo de embarcações iguais, como até aqui considerado, não podem ser atendidas na realidade. As diferentes embarcações, com chegadas irregulares, ficam sujeitas a esperas variáveis, dependendo de uma série de fatôres.

Quando a densidade de tráfego é ainda restrita, pode-se admitir que os tempos de passagem sejam pràticamente os indicados para cada embarcação nas condições de fluxo regular (sobretudo havendo serviço de rádio-comunicação que possibilite o preparo prévio da câmara), porquanto quase sempre a obra estará disponível para a passagem. As esperas vão surgir, sobretudo, quando o tráfego aumenta e, então, uma embarcação começa a influenciar a passagem de outra até que a obra não dê mais vazão ao fluxo do total anual de embarcações (quando é atingida a c.e.t.).

5.2 - Tempo de passagem com irregularidades de tráfego

As flutuações de tráfego, no correr do ano, podem fazer com que durante um certo período o afluxo de embarcações seja superior à capacidade de tráfego, ocasionando então um "congestionamento" que só é anulado quando, decrescendo o número de chegadas, as embarcações acumuladas possam ser escoadas. Consideraremos congestionamentos pròpriamente ditos, quando, durante um período de vários dias (no mínimo uma semana para estar de acôrdo com os estudos norte-americanos) o volume de tráfego diário ultrapassa num ou noutro sentido a capacidade efetiva média diária de tráfego, obtida pela divisão da c.e.t. pelo número de dias úteis do ano. Às demais esperas a que ficam sujeitas as embarcações, em geral de curta duração, atribuiremos as flutuações normais de tráfego.

Pela própria definição do tempo de passagem, não devem ser incluídas no seu cálculo as perdas de tempo a que ficam sujeitas as embarcações devido a condições estranhas à obra de transposição e que acarretariam interrupções de trânsito mesmo que não houvesse a eclusa ou o ascensor. Assim é que diversos fatôres que foram levados em conta na determinação da c.e.t.

não devem ser aqui considerados, como interrupções de tráfego devido às condições fluviométricas, meteorológicas, falta de cargas a transportar, etc. Todos êstes motivos podem paralizar a embarcação em qualquer ponto da via. Em particular, não parece razoável considerar as interrupções da obra por fechamento noturno ou fechamento em dias feriados no cálculo do tempo de passagem, porquanto normalmente estas interrupções espelham os hábitos normais da navegação (sistema europeu tradicional). Mesmo os congestionamentos daí decorrentes são "fictícios", salvo no que possa dizer respeito à redução da c.e.t. Êste aspecto merece um exame particular em cada caso, no sentido de ser verificado até que ponto um aumento do período de funcionamento das obras de transposição pode diminuir o tempo normal de passagem.

O número de horas de interrupção de funcionamento da obra de transposição devido a motivos operacionais pròpriamente ditos e que deve ser considerado no tempo de passagem (manutenção, reparação, acidentes, erros de operação, etc.) é muito reduzido para as eclusas em geral, como já indicamos e podem ser desprezados. Para os ascensores mecânicos é, porém, grande e deve ser levado em conta inclusive pelos congestionamentos causados. Contudo, deve-se esperar que, nas vias fluviais em que haja obras que exigem longos períodos de manutenção (atualmente só existentes em vias em que há opções de tráfego), as interrupções serão realizadas em períodos pré-fixados. A navegação adaptar-se-á naturalmente, deixando de procurar periòdicamente a obra, seja por ser desviada para outras vias, seja pela utilização do tempo para manutenção das embarcações.

No que diz respeito a outros fatôres que influem diretamente no tempo de passagem de cada unidade, como perda de tempo nas manobras, influência do funcionamento de outros órgãos do aproveitamento múltiplo, variação da altura de queda, etc., parece razoável considerar todos englobados através de um acréscimo médio no tempo de passagem, da ordem de 10 a 20% (êstes fatôres influem globalmente no tempo de transposição dentro desta ordem de grandeza como vimos), sendo, porém, possível examinar êstes aspectos com maiores detalhes em cada caso particular.

Resta analisar a influência, sôbre o tempo de passagem, da falta de continuidade de tráfego, que é sem dúvida o fator que maiores esperas pode ocasionar.

Em situações normais, as embarcações não encontram sempre a obra de transposição pronta a recebê-las, seja por estar preparada para operar

no sentido oposto (neste caso deverá ser realizada uma operação em vazio), seja por estar operando.

O aviso prévio de chegada por rádio, obrigatório nos Estados Unidos e na Europa (sòmente para os comboios de empurra), reduz consideràvelmente a primeira causa de espera. A segunda causa é, porém, incontrolável, sobretudo nos longos estirões onde a existência de portos, diferenças de velocidade das embarcações e outras causas se opõe à relativa regularidade de tráfego que se observa nos canais com grande número de eclusas pouco distantes entre si.

O tempo de espera ocasionado pelas irregularidades de tráfego é evidentemente proporcional ao tempo de transposição e de operação em vazio. Mais uma vez verificamos, sob êste aspecto, o interêsse em prever-se um sistema rápido de operação da obra sem embarcações na câmara, sobretudo nas de grande queda.

As esperas assim ocasionadas são de difícil previsão, especialmente devido à possibilidade de chegada de vários comboios e automotores ao mesmo tempo, em conseqüência de partirem simultâneamente de determinados pontos (portos ou locais de pernoite, por exemplo).

As estatísticas de diferentes aquavias européias e norte-americanas mostram que estas esperas, que aumentam com o número de embarcações em tráfego, correspondem pràticamente à metade dos tempos de passagem direta, quando a densidade de tráfego se aproxima da capacidade máxima da via(incluindo as demoras resultantes de pequenos congestionamentos causados pelo maior tráfego em certos dias da semana).

Assim, para as novas vias em que não se conhece os detalhes do tráfego futuro, pode-se admitir que o tempo médio de passagem cresça com o aumento de tráfego partindo pràticamente do tempo de passagem calculado para as condições de fluxo regular, até atingir, próximo à saturação, 50% a mais daquele valor inicial.

As oscilações de tráfego durante o ano, ocasionadas pela necessidade de transporte de certas cargas especiais durante épocas determinadas (produtos agrícolas, adubos, toras de madeira, etc.), podem fazer que, em certos períodos, se apresentem para a passagem em um ou nos dois sentidos (tráfego de retôrno) um número de embarcações superior ao que é possível pas

sar, resultando congestionamentos que podem levar a esperas de muitas horas ou mesmo dias. Em princípio, isto se dá quando, como referido anteriormente, a tonelagem a ser movimentada por dia ultrapassa a capacidade efetiva de tráfego diária, durante vários dias seguidos.

Uma análise geral do que então ocorre é difícil, devido a série de fatôres intervenientes, alguns dos quais imponderáveis.

O congestionamento, dando-se em uma só direção, o que pode ocorrer mesmo dentro da hipótese básica que admitimos de mesmo número de barcos passa por ano nos dois sentidos, é possível, através de conveniente operação da obra (passagens sucessivas, regras de operação nas escadas de eclusas, etc.) reduzir seus efeitos. Por outro lado, nestes períodos, é de esperar-se uma aceleração dos trabalhos, com melhor aproveitamento da obra decorrente da pressão da maior demanda. Atrasos, porém, são previsíveis em face da maior probabilidade de acidentes, dificuldades de trânsito, falta de capacidade nas garagens de espera, etc.

Como exemplos de situações de congestionamento podem ser citados os dados levantados em dois períodos na eclusa nº 52 do rio Ohio (GAUM- - 1966) (entre 19 e 29 de julho de 1960 e 24 de novembro de 1965 a 2 de janeiro de 1966). No primeiro período, o tempo médio de transposição de comboios foi de 26,10 minutos (tempo mínimo para comboio inteiro: 18 minutos; tempo máximo, com dois desmembramentos: 50 minutos). A espera média total por dia foi de 560 horas, ou 11 horas em média por comboio. No segundo período, o tempo médio de transposição de comboios foi de 48 minutos (maior porcentagem de desmembramento), a espera média total por dia de 504 horas ou cêrca de 16,08 horas (em média) por comboio. Entre os dois períodos houve um aumento de tráfego na eclusa de 50%. O mesmo estudo mostra as grandes variações de movimento na eclusa, de um dia para outro, deixando bem claro a complexidade da análise dêstesproblemas, que aliás vêm sendo recentemente examinados através de modelos matemáticos e cálculos programados em computadores (HOWE - 1967).

Para o rio Illinois, cujas obras são admitidas como tendo atingido o limite de tráfego econômico, foi elaborado um estudo de congestionamento entre 1949 e 1950 (SANTINA et al. - 1964), com base em considerações diversas das que adotamos. As esperas médias anuais por comboio e por dia, no período de dois anos, foram de 14 minutos na eclusa Dresden Island e 21,60 minutos na eclusa Brodon Road, dando uma média geral, para as seis eclusas

do trecho inferior do rio de 18,30 minutos por dia e por comboio ou seja cêr ca de 0,055 horas por tonelada e por ano. Nos dois anos considerados houve 10.098 horas de espera de comboios devido a congestionamentos (valor, de fato, não muito elevado) tendo muitos comboios esperado mais de sete horas. O citado estudo do rio Illinois mostra que, naquele rio, a relação entre o número médio de passagens diárias, no dia, semana e mês de maior movimento e o número médio de passagens diárias por ano, foi de 1,89, 1,39 e 1,25 respectivamente, relações que, apesar de determinadas em condições especiais, podem sugerir valores para novas aquavias.

A determinação do número de horas de espera, num período de congestionamento, só pode ser feita através do conhecimento ou estimativa do tráfego no período (ainda que sumária, no caso de novas vias).

O processo mais indicado parece ser o gráfico, através do traçado das curvas de variação do número acumulado de embarcações que chegam à obra, e do número acumulado de embarcações que passam a partir do início do congestionamento, ou seja, do dia em que se apresentou maior número de embarcações que podiam passar, até o dia em que não ficam embarcações mais na espera. A área compreendida entre estas duas curvas dá o número total de horas de espera no período.

Uma informação inicial sôbre o tempo total de espera devido ao congestionamento pode ser obtida pela seguinte expressão, que determinamos para condições particulares de tráfego, com número constante de embarcações por dia:

$$T_{cong.} = \frac{T\,(K - 1)}{2}$$

onde T é o tempo total em dias durante o qual a carga a ser movimentada em um sentido supera de K vêzes a capacidade carga efetiva no mesmo sentido e período (c.e.t. dividida por dois e multiplicada por $\frac{T}{365}$), sendo $T_{cong.}$ o tempo total (aproximado) de espera, por embarcação que passar durante .. T . Para o estabelecimento desta fórmula aproximada, admitimos que, após o período em que o tráfego fôr superior à capacidade da obra, o movimento decresce, até que anula o congestionamento num tempo também igual a T (hipótese favorável, porém justificável face a retenção de grande número de embarcações no congestionamento).

Para o estudo econômico, visando o dimensionamento da obra, interessa conhecer o tempo total anual de passagem de tôda a frota pela obra de transposição, o que pode ser estimado somando-se os tempos de espera totais nos congestionamentos ao total dos tempos perdidos por cada comboio na obra, durante todo o ano, obtidos êstes pelos produtos dos tempos de passagem de cada um (corrigidos com os fatôres médios 1,10 e 1,50) pelo número de passagens efetivas de cada comboio durante o ano (obtido fàcilmente com as considerações feitas no ítem anterior para determinação da c.e.t.).

É de se notar, finalmente, que as esperas por congestionamento, mesmo que não tenham um grande significado econômico, precisam ser reduzidas ao mínimo, por serem mais chocantes que as perdas de tempo ao longo das diversas passagens pela obra de transposição. Assim é que se um comboio passa sistemàticamente duas vêzes por semana por uma eclusa e perde uma hora por passagem, no fim do ano perdeu mais de 90 horas nesta obra. Uma perda de 10 horas, duas ou três vêzes por ano, devido a congestionamentos, corresponde apenas a 30% daquele valor, sendo porém de maior repercussão psicológica.

CAPÍTULO IV

CUSTO DAS OBRAS DE TRANSPOSIÇÃO DE DESNÍVEL

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Dentro da moderna técnica de planejamento de sistemas de aproveitamento dos recursos hídricos através de obras de retenção com múltiplas finalidades, a justificativa econômica e, até certo ponto, o dimensionamento das estruturas destinadas ao tráfego das embarcações fica na dependência de análises globais de benefício-custo, que visam a "otimização" (ou "maximalização") do recurso natural e indicam a viabilidade do conjunto.

Assim, o projeto de uma obra de transposição de desnível integrante de um aproveitamento de fins múltiplos só será, em geral, baseado em considerações ligadas exclusivamente ao custo do transporte fluvial, no caso de substituição ou duplicação de obra já existente.

Pode-se admitir que, do planejamento global de canalização do rio, resulte, para cada obra em particular, além das características básicas da retenção (localização, altura de queda, vazões características, etc.), a fixação da capacidade mínima de tráfego a ser atendida.

O problema econômico fundamental do projetista será então o de obter, pelo menor custo total, a passagem segura de uma certa tonelagem de carga anual. Desta premissa deverá resultar o tipo da obra, as dimensões da câmara e o tempo de transposição que são as três variáveis fundamentais do projeto.

O custo total, acima referido, deve ser determinado computando-se as seguintes parcelas anuais:

a) - Investimento inicial, através de taxas de amortização e juros do capital empregado na construção, sendo de praxe a adoção de uma "vida útil" de 50 anos, qualquer que seja o tipo de obra. Não é habitual a conside

ração de uma taxa de reserva ou substituição para êste tipo de investimento de caráter público.

b) - Despesa de operação e manutenção, incluindo o consumo de energia (ou o consumo de água, nas eclusas).

c) - Aumento do custo do transporte devido à perda de tempo causada pela passagem das embarcações através da obra.

A adoção, para efeito comparativo entre soluções, do custo total determinado desta forma, subentende que o ônus de tôdas as parcelas referidas recai, direta ou indiretamente, sôbre o mesmo empresário. Isto só se verifica no caso de cobrança de pedágio (ônus total sôbre os usuários da via) ou da exploração do transporte pelo proprietário da via (navegação estatizada, por exemplo).

Geralmente, o custo das obras, como nas rodovias, é suportado pelo govêrno, a título de "investimento social" e só eventualmente são cobrados pedágios para cobrir a parcela b, a maior parte das vêzes também suportada pelo govêrno. A parcela c , dada a liberdade de trânsito, fica a cargo dos diversos armadores, influindo na mesma o número e os tipos das embarcações utilizadas.

Estas ponderações não devem ser perdidas de vista na comparação entre as alternativas, porquanto podem levar à adoção de soluções que não estejam totalmente de acôrdo com a premissa de mínimo custo total, acima referida. Em particular, no caso de implantação de novas hidrovias, sendo necessário dar incentivos à navegação e, não sendo previsível um tráfego intenso durante um período considerável, poderá haver interêsse em reduzir a parcela c ou a parcela a , mesmo em detrimento do custo total.

A seguir, examinaremos o custo inicial das obras de transposição e as despesas de manutenção, operação e reparo das mesmas. O custo do transporte não será examinado por ser função de circunstâncias próprias a cada hidrovia. O cálculo da parcela c deverá ser feito com base neste custo e no tempo de passagem determinado conforme o capítulo anterior.

2 - INVESTIMENTO INICIAL

O custo da obra de transposição de desnível não é simples de ser calculado quando a mesma é parte integrante de um aproveitamento para fins múltiplos. De fato, parece difícil delimitar com exatidão as interferências construtivas dos diversos órgãos intimamente ligados entre si e determinar os custos de cada finalidade do conjunto. Mesmo calculados êstes custos, resta um custo comum (por exemplo do desvio das águas para a construção) que deve ser arbitràriamente dividido, com base nos "benefícios restantes" ou nos "gastos justificáveis" (LINSLEY e FRANZINI - 1967).

As diferentes organizações incumbidas de execução de obras de aproveitamento múltiplo adotam distribuições de custos entre os diversos fins a partir de princípios como o da "utilidade" de cada elemento. O T.V.A., por exemplo, adota em média, para navegação, contrôle de cheias e energia hidroelétrica as proporções de 20%, 14% e 66% do custo total das obras (BARROWS - 1948).

Estas distribuições, mais ou menos arbitrárias, destinadas sobretudo a justificativas e análises de benefício-custo, têm certa significação prática, porém não são em geral baseadas na relação real de custos, não indicando, portanto, o valor das obras de transposição.

A única forma de determinar-se com segurança o "custo separável" da obra de transposição dentro de uma barragem de aproveitamento múltiplo é o baseado no "princípio da casualidade", pela comparação de dois projetos completos: um incluindo a obra de navegação e outro não. Êste método porém, além de levar a um trabalho exaustivo, pode não ter significado quando as demais finalidades do aproveitamento múltiplo não tem justificativas econômicas isoladas ou exijam, para tanto, soluções muito diversas da adotada. Mesmo que tal não ocorra, as interferências múltiplas obrigam a imposições no conjunto da canalização (altura das barragens, por exemplo) que dificilmente podem ser levadas em conta. Há ainda a considerar vantagens indiretas como a valorização dos terrenos marginais, alimentação de futuros aglomerados urbanos e centros industriais atraídos pela navegação ou energia, pràticamente impossíveis de serem avaliadas (SEITER - 1960).

Nos aproveitamentos múltiplos construídos últimamente, há, em geral, uma finalidade primordial (entre nós, a geração de energia hidroelétrica): esta finalidade, por assim dizer, impõe as características fundamen-

tais do aproveitamento, tornando aplicável o método da casualidade para o cálculo do custo real da obra de transposição.

Devemos aqui referir, mais uma vez, que o aproveitamento múltiplo reduz o custo da via fluvial e mesmo que as imposições das outras finalidades do aproveitamento venham a encarecer a obra de transposição (o que, diga-se de passagem, não ocorre com freqüência), no conjunto há sempre grande conveniência para o transporte. Apenas para citar mais um exemplo do rio Tennessee, estima-se, que dos 743 milhões de dólares gastos no total da obra de canalização do trecho navegável, 158 milhões podem ser imputados à navegação. Para obter-se uma hidrovia de características semelhantes, sem aproveitamentos múltiplos, seria necessário dispender no mínimo 232 milhões de dólares (VOGEL - 1962).

O custo da obra de transposição de embarcações nos aproveitamentos múltiplos modernos é sempre uma parte modesta do custo total, especialmente nos grandes rios, como se verifica no exemplo acima citado do rio Tennessee. Para o rio Tietê e Paraná a "Centrais Elétricas de São Paulo" (CESP) estima que as eclusas e obras conexas representam, respectivamente, as seguintes parcelas do custo total das barragens:

Jupiá	5,90 %
Ilha Solteira	6,06 %
Bariri	7,09 %
Barra Bonita	4,93 %
Ibitinga	3,86 % .

Estas baixas porcentagens fazem com que os erros cometidos na avaliação do custo da obra de transposição de desnível tenha pequeno significado relativo.

Um grande número de fatôres influe no custo das obras de transposição e, dentro de uma análise geral do problema, não é possível fixar valores ou relações ligando os mesmos. Podemos ùnicamente examinar alguns casos particulares, que se aproximam das condições dos aproveitamentos para fins múltiplos cuja construção é previsível entre nós, visando ressaltar aspectos especiais do problema, sem querer sequer comparar os valores apresentados. Em cada alternativa, a determinação do custo deverá ser feita cuidadosamente, verificando-se especificamente as influências dos diversos fatôres intervenientes.

Bastante significativo para a análise do custo das obras é a distribuição porcentual dos custos dos diversos elementos que constituem os diferentes sistemas de transposição. Ainda que esta distribuição possa variar entre largos limites, devido às circunstâncias que serão indicadas, o exame de alguns exemplos típicos pode levar a conclusões sôbre a importância relativa das partes constituintes.

Como representativa de eclusa de grande capacidade de tráfego, integrante de um moderno aproveitamento para fins múltiplos, com altura de queda média, em rio de elevada descarga, pode ser citada a apropriação detalhada feita para a eclusa da barragem de Bonneville, no rio Columbia (GRIMM e MACKENZIE - 1949). Esta eclusa tem 22,50 m de largura, 195 m de comprimento e 21 m de queda máxima. Porcentualmente, a distribuição de custos nesta obra foi a seguinte:

Estrutura da câmara e aquedutos	65,7 %
Portas (de busco) e sistema de manobras	13,1 %
Pára-choques de proteção das portas	6,2 %
Sistema de esgotamento total da câmara (bombas)	4,7 %
Muros guias e acessos	4,1 %
"Stop-log" de emergência (com pórtico de manobra)	4,1 %
Comportas do sistema de alimentação e esgotamento (com sistema de manobra)	1,8 %
Cabeços de amarração (flutuantes)	0,3 %

O custo desta obra, cuja c.m.t. é de 60.000.000 t/ano foi, em 1940, de US$ 4.500.000 ou seja cêrca de US$ 0,008 por tonelada de c.m.t. e metro de altura de queda com o custo corrigido para o valor atual (STATISTICAL ABSTRACT OF UNITED STATES - 1965). Deve-se notar que a capacidade de tráfego, baixa em relação à dimensão da câmara, é devido à má adaptação em relação ao comboio-tipo atual do rio Columbia.

A eclusa da barragem de Jupiá, cujo custo orçado é de cêrca de NCr$ 37.000.000,00 , com c.m.t. da ordem de 68.000.000 ton por ano, deverá custar aproximadamente US$ 0,007 por tonelada de c.m.t. e metro de queda.

Verifica-se que a estrutura (incluindo o sistema de distribuição de água na câmara, aquedutos, muros de alas, soleiras, cabeças, etc.) é a parte que tem maior incidência no custo. De um modo geral, para eclusas

mais altas, esta incidência é ainda maior e, para eclusas pequenas, com baixa queda, a distribuição mantém-se aproximadamente igual, exceto para casos limites em que a porcentagem relativa à estrutura pode baixar a 40%, sendo , porém, sempre preponderante.

Para os ascensores, os exemplos são pouco numerosos e, como referido, dizem respeito a obras em canais, exceto o plano inclinado de Krasnoyarsk, cujas informações são muito restritas.

No elevador vertical de Henrichenbourg II, mais recente obra do tipo construída (1962), a distribuição de custo foi a seguinte:

Obras civis (incluindo canais de acesso)	50 %
Estrutura metálica fixa	20 %
Cuba móvel	10 %
Equipamento eletro-mecânico	20 % .

Esta obra, cuja c.m.t. é de 28.300.000 ton por ano, custou cêrca de 35.000.000 de marcos ou seja, aproximadamente US$ 0,019 por tonelada de c.m.t. e metro de altura de queda. Trata-se, porém, como já assinalado, de solução excepcional imposta por condições especiais (recalque do solo; devido a explorações de minas).

O elevador vertical de La Louvières, construído em 1880, teve a seguinte distribuição de custos (GENARD - 1902):

Obra civil	32 %
Equipamento mecânico e maquinaria (incluindo as duas cubas). .	66 %
Diversos	2 % .

O custo total da obra em 1902 foi de 1.412.000 francos belga. Na mesma época, o elevador Henrichenbourg I foi estimado em 3.550.000 francos belga e o plano inclinado de Foxton em 1.260.000 francos belga (SANER - 1902).

Como exemplo de plano inclinado, pode-se citar o de Ronquières, em construção, no qual, de acôrdo com o projeto definitivo, a distribuição de custos deverá ser (WILLEMS et al. - 1965):

Obras civis (incluindo acessos)	54,5 %
Equipamento eletro-mecânico	42,5 %
Cubas móveis (duas)	3,0 %.

O orçamento dêste plano inclinado, que, segundo o atraso da obra indica, deverá ser muito ultrapassado é de 1.894.000.000 francos belga, o que levaria, com a c.m.t. de 22.800.000 ton anuais, a US$ 0,022 por tonelada c.m.t. e metro de desnível. Êstes custos incluem os importantes serviços de abertura dos longos canais de acesso.

O plano inclinado de Arzviller, também em construção, foi orçado em 21.000.000 de novos francos; tendo uma c.m.t. de cêrca de 7.900.000 ton anuais (que poderá ser duplicada com uma segunda câmara), deveria custar cêrca de US$ 0,012 por tonelada c.m.t. e por metro de queda. Segundo informações que obtivemos, o custo final deverá, porém, ser o dôbro ou talvez mesmo o triplo do previsto devido às dificuldades que vêm sendo encontradas, sobretudo na abertura do canal de acesso superior, escavado na encosta abrupta da colina.

Para as rampas hidráulicas, que não foram ainda construídas, só dispomos de estimativas feitas com base em projetos. Uma rampa hidráulica destinada a vencer um desnível de 100 m teria a seguinte distribuição de custos (AUBERT - 1961):

Canal (obra civil)	50,0 %
Dois tratores (com turbinas a gás)	39,0 %
Cabeças de montante e jusante	4,5 %
Máscara móvel	1,3 %
Edifícios e oficinas	1,2 %
Diversos	4,0 %.

Esta obra custaria cêrca de 40.000.000 de novos francos, ou seja, cêrca de US$ 0,005 por tonelada c.m.t. e metro de queda, valor bastante reduzido em comparação com os anteriormente indicados.

Para os diversos tipos de ascensores que não chegaram a ser construídos, não conhecemos nenhum orçamento detalhado. Uma estimativa feita na Espanha para um elevador de câmara submersível (BRIONES - 1957), com queda de 18 m, câmara de 8 m de largura por 58 m de comprimento e calado máximo de 1,50 m (embarcação-tipo com 400 ton de capacidade de carga) indicou

um custo de 22.000.000 de pesetas (cêrca de 400.000 dólares) a mais do que uma eclusa de mesmas dimensões. Os custos estimados na época (1902) dos elevadores de sino mergulhante, projetados para o canal Erie foram de US$ 43.000 e US$ 29.000 (cêrca de US$ 160.000 e US$ 124.000 atuais) por metro de queda, para as quedas de 20 e 43 m respectivamente (SCHÖNBACH - 1902).

Entre os diversos fatôres que influem no custo das obras de transposição de desnível em aproveitamentos múltiplos, os analisados a seguir costumam ser, em geral, preponderantes.

2.1 - Influência da constituição geológica do terreno

A constituição geológica do terreno pode ter grande influência no custo das obras de transposição, chegando mesmo a ser fator dominante na escolha do tipo de obra como em Henrichenbourg, onde são esperados recalques até 50 cm, pràticamente inadmissíveis em outros tipos de obra que não elevadores flutuantes.

De um modo geral, nos aproveitamentos múltiplos de alta queda, como os que estamos visando, não devem ocorrer problemas muito sérios de ordem geológica, porquanto é de se esperar a escolha de locais favoráveis para as fundações das barragens. Certas situações, porém, podem levar à construção da obra de navegação em terrenos pouco convenientes.

Nas eclusas, o tipo de estrutura é pràticamente imposto pelas condições de fundação: para terrenos de boa resistência, em geral, são recomendados muros de ala em concreto maciço (de gravidade simples ou de contrafortes), com soleira independente, dimensionada para suportar o pêso da coluna líquida e, eventualmente, quando a eclusa se situa à montante da barragem, suportar sub-pressões. Neste tipo de estruturas, é relativamente econômica a adoção de sistema de enchimento e esgotamento por aquedutos longitudinais nos muros de ala. Os contrafortes maciços vêm sendo empregados últimamente em grandes eclusas, como a de Little Goose, no rio Columbia, com considerável economia (RICHARDSON - 1965).

Terrenos pouco resistentes conduzem, em geral, a estruturas em concreto armado, com a soleira solidária aos muros, formando caixões invertidos (dry-dock locks). Estas estruturas correspondem, em geral, a um aumento de custo, em relação às anteriormente citadas, da ordem de 20 a 25%, ou seja, um aumento do custo total da eclusa de cêrca de 15%. São particularmente in

dicadas para terrenos constituídos de rochas fàcilmente erodíveis, como os a renitos, nos quais, é impraticável o uso de estacas (CORPS OF ENGINEERS - .. - 1960). Atualmente têm sido adotados alguns tipos de estruturas especiais em concreto armado, como a da eclusa Pierre Benit, no rio Ródano, com muros de ala em "células" permeáveis, preenchidas de material inerte (pedregulho, no caso). Estas estruturas especiais podem levar a reduções consideráveis no custo da obra, acarretando, porém, problemas para o projeto do sistema de enchimento e esgotamento das câmaras de grandes dimensões, devido à dificuldade de situar os aquedutos longitudinais. O emprêgo de concreto protendido também pode trazer certa economia na obra e vem sendo aplicado na estrutura de várias eclusas recentes, em particular, na Rússia (RAZIN - 1964).

Quando o terreno é rochoso e as condições topográficas permitem, uma solução bastante econômica pode ser obtida com a eclusa escavada na rocha, especialmente quando se trata de queda elevada e o material escavado pode ser utilizado para a construção da barragem. Neste caso, os muros de ala ficam reduzidos ao revestimento das paredes da câmara com placas de concreto ancoradas na rocha. Os aquedutos deverão ser engastados no fundo, o que, em geral, aumenta consideràvelmente a escavação. Em alguns casos, economias da ordem de 50%, sôbre o tipo fundamental de eclusa com muros de gravidade, podem ser obtidas por estruturas dêste tipo.

Caso particular que merece ser citado é a eclusa da barragem de Ust-Kamenogorsk, a de maior queda do mundo e que tem as paredes da câmara com cêrca de 50 m de altura. Para acompanhar o perfil rochoso, esta obra é, na parte inferior, encravada na rocha, com as paredes constituídas de placas ancoradas até cêrca de 25 m acima da soleira. Na parte superior, o muro de ala, do lado da margem, é um muro de arrimo suportando um alívio de enrocamento e lado do rio, um muro saliente de gravidade maciça, com 26 m de altura. Para a eclusa da barragem de Ibitinga, em construção no rio Tietê, foi adotado projeto semelhante ao de Ust-Kamernogorsk.

Os elevadores verticais clássicos impõem uma grande concentração de esforços nas fundações, sobretudo os do tipo funicular em que a carga a ser suportada é pràticamente o dôbro da dos demais sistemas. Esta concentração de esforços, se por um lado facilita as fundações em terrenos satisfatórios, por outro, eleva consideràvelmente o custo em locais pouco favoráveis tornando mesmo inexeqüíveis, em terrenos de fraca resistência, os tipos de obras que não admitem recalques diferenciais (DETIG - 1934).

Como assinalamos, os elevadores flutuantes podem ser concebidos para sofrerem recalques consideráveis, o que pode ser importante em certos casos especiais.

Comparadas com as fundações das eclusas, as dos elevadores verticais apresentam certas facilidades resultantes da solicitação constante e de não estarem sujeitas a sub-pressões.

Os planos inclinados impõem condições severas de fundações nas vias de rolamento, que não suportam senão mínimos recalques diferenciais. Apesar do pêso da cuba móvel pode ser distribuído em um elevado número de apoios, é necessário prever sempre a possibilidade de um acidente que concentre os esforços em poucas rodas, derivando daí altas cargas de dimensionamento. Devido ao grande comprimento da via de rolamento, necessária para vencer alturas elevadas com rampas suaves (até 5% no tipo longitudinal e 50% no tipo transversal), é pràticamente impossível ter em tôda a extensão uma uniformidade do ponto de vista geológico, e, normalmente, torna-se necessário prever diversos tipos de fundações. O plano inclinado de Ronquières tem parte sôbre fundação direta e parte sôbre poços profundos, tendo sido gasto, apesar do terreno ser considerado favorável, cêrca de 20% do total nas fundações das vias férreas.

As rampas hidráulicas, na forma que vêm sendo propostas, parecem ser, das obras destinadas a vencer grandes desníveis, as que impõem menores exigências às fundações. Suas estruturas podem suportar os recalques relativamente bem, sem conseqüências tão sérias como as que ficam sujeitos os demais tipos. Deve-se porém ter em conta que a carga móvel (pêso da cunha d'água) pode atingir valores muito elevados quando a obra é destinada a grandes embarcações.

2.2 - Influência da topografia do local

As condições topográficas podem influir muito no custo das obras de transposição com desnível elevado. Nos aproveitamentos para fins múltiplos, as imposições topográficas são mais sérias que nos canais artificiais onde, até certo limite, há liberdade na escolha do local e, portanto, maiores probabilidades de situações favoráveis.

Para quedas muito grandes, a topografia pode ser o fator preponderante na decisão do tipo de obra, porquanto o aumento de custo decorren

te de uma situação topográfica pouco satisfatória para os planos inclinados, rampas hidráulicas e elevadores verticais anula as vantagens econômicas de qualquer dêstes tipos de ascensores.

Evidentemente, há sempre a possibilidade de contornar o acidente a ser vencido por um canal lateral, localizando a obra em região mais favorável. Esta solução é porém altamente onerosa e além de muitas vêzes alongar o percurso, pode dificultar a manutenção, operação e a integração da obra de transposição no aproveitamento múltiplo.

Para as eclusas, as principais dificuldades derivam da falta de espaço para a conveniente disposição do acesso de jusante. Em rios estreitos, as vêzes não há possibilidade de proteger o canal navegável contra as correntes provenientes dos extravasores ou dos canais de fuga das turbinas sem a construção de longos muros de proteção, cujo custo pode ser relativamente elevado (atingindo, em certas obras, 5% do custo total da eclusa); pode ocorrer, também, que não seja possível situar o muro-guia em curvas côncavas, obrigando a grandes movimentos de terra (eclusa de Isola Serafini, no rio Pô, por exemplo).

É comum situar as barragens em trechos acidentados do curso d'água (como corredeiras, cachoeiras, etc.) de forma tal que a navegação não possa atingir o pé do barramento. Nestas circunstâncias, impõe-se o emprêgo de canais laterais, mais ou menos longos, que encarecem o custo da obra. Um dos exemplos mais característicos desta situação pode ser encontrado na barragem Wilson, no rio Tennessee, onde o canal de Florence, com cêrca de 4 km, contorna o célebre "Muscle Shoals", na extremidade montante do qual foi construída a obra. Outro exemplo é dado pelo projeto da barragem de Caborá-Bassa, no rio Zambeze, onde a impossibilidade de navegação no trecho de 300 m à jusante da barragem, impõe a solução de uma escada de três eclusas (ABECASIS et al. - 1965).

Os elevadores verticais, quando acoplados à barragens, ficam sujeitos às mesmas dificuldades referidas para as eclusas, talvez de forma mais aguda devido à necessidade de localizar o ascensor em trecho favorável da estrutura da barragem. Cabe aliás aqui referir que apenas um elevador vertical foi projetado para ser executado no corpo do barramento, na barragem de Ust-Kamenogorsk (ZINEVICH - 1957) e não foi construído.

Quando o elevador vertical não aproveita o degrau localizado na própria barragem, torna-se necessária a construção de canais laterais, que exigem grandes escavações, altos diques de contenção ou a construção de extensas pontes-canais (como a do elevador de Niederfinow, com 156 m de comprimento que custou quase 10% do custo total da instalação (PLARRE e STARKER - 1934).

Os planos inclinados, exigindo rampa constante, quando o terreno não apresenta declividade favorável, levam a grandes movimentos de terra ou à construção de trechos elevados. Como referimos no Capítulo I, algumas alternativas têm sido propostas para liberar os planos inclinados desta imposição, porém nenhuma solução foi até agora considerada exeqüível.

Como exemplo da influência da conformação do terreno sôbre o custo de um plano inclinado, pode-se lembrar que, para o plano inclinado longitudinal de Ronquières, cujo local foi cuidadosamente escolhido, houve necessidade de retirar 2.000.000 m^3 de terra e outro tanto de rocha no trecho enterrado (950 m de extensão) e construir um têrço do comprimento total .. (480 m) do caminho de rolamento em estrutura elevada, além de uma ponte canal de 290 m de comprimento no acesso superior.

Os planos inclinados transversais, por terem menor extensão e maior declividade, adaptam-se em geral mais fàcilmente ao terreno. Assim, para a obra de Arzviller, com 41% de rampa, foi possível vencer a queda de .. 44,50 m com uma escavação de cêrca de 700.000 m^3 de terra.

Os planos inclinados com cubas automotoras não exigem que o caminho de rolamento seja retilíneo como nos planos inclinados funiculares, admitindo curvas de grande raio, o que permite adaptar o traçado, até certo ponto, às condições topográficas. A solução adotada no plano inclinado de Krasnoyarsk, de utilizar uma plataforma giratória para mudar a direção da via, apesar de aumentar o tempo de transposição, pode conduzir, por uma melhor adaptação ao terreno, a grandes economias, sobretudo nos aproveitamentos múltiplos onde a localização da obra é imposta por condições que não as topográficas.

As rampas hidráulicas têm sido projetadas até hoje com canais retilíneos e de inclinação constante. Seria, porém, possível, apesar de não ter sido ainda estudada esta solução, executar o canal ligeiramente curvo , desde que o raio de curvatura seja suficientemente grande e que sejam deixa-

das folgas na largura e na profundidade para permitir a inscrição de embarcação na curva. Podem também ser previstas variações na declividade do canal, dentro de certos limites, desde que o volume da cunha d'água movimentado (e portanto a altura da máscara) seja suficiente para garantir a profundidade mínima na extremidade da embarcação. Quando a inclinação aumentar, no sentido da subida, o volume d'água máximo será o que corresponder à maior declividade do canal; quando não, os pontos de mudança de declividade é que imporão o volume da cunha d'água, podendo levar a dimensões da máscara e potências proibitivas. Com as variações de declividade do canal, o funcionamento do trator ficará sujeito a mudanças de esforços e de velocidades, podendo resultar dificuldades e encarecimentos que anulem as vantagens de adaptação do canal às condições topográficas.

De tôda forma, parece mais fácil adaptar o canal das rampas hidráulicas à superfície do terreno, do que os caminhos de rolamento dos pla-- nos inclinados funiculares, o que permite reduzir os movimentos de terra e evitar a construção de pontes-canais muito dispendiosas.

2.3 - Influência das variações de nível d'água

Nos aproveitamentos para fins múltiplos é comum, como já assinalamos, fortes variações nos níveis d'água, sobretudo quando uma das finalidades do aproveitamento é a regularização das descargas.

Normalmente, o nível de montante é que sofre maiores variações. O nível de jusante, mesmo quando corresponde a um reservatório de regularização, não é muito variável, devido às imposições conjuntas da usina hidroelétrica e da via fluvial.

Estas variações podem aumentar consideràvelmente a altura nos muros de acesso, que, necessàriamente, como já assinalamos, devem ultrapassar o nível máximo. Uma solução econômica que vem sendo adotada em alguns dos aproveitamentos múltiplos americanos (eclusa da barragem Kentucky, no rio Tennessee, por exemplo) é construir o muro-guia flutuante, prêso por guias à cabeça da eclusa e ancorado no fundo do reservatório, por cabos controlados por cabrestantes. O custo dos muros-guias é, porém, uma parcela não muito importante do custo total da obra (da ordem de 5%) de tal forma que as variações de nível normais, pouco influem no conjunto.

As eclusas são fàcilmente adaptáveis às oscilações dos níveis

d'água: à jusante, pràticamente não influem e à montante, obrigam a um rebaixamento do busco e portanto um aumento da altura da porta respectiva. Como o custo das duas portas difere, em geral, pouco de 10% do custo total da eclusa (evidentemente as eclusas mais largas têm portas proporcionalmente mais caras), mesmo no caso mais desfavorável, em que seria o necessário à utilização de duas portas iguais, o acréscimo sôbre o custo total não deve ultrapassar cêrca de 5%. Há ainda a considerar que o rebaixamento da soleira de montante implica na redução do muro de queda, e portanto, numa certa economia, quando a eclusa não é encravada em rocha, caso em que o aumento de escavação no acesso pode ser elevado.

As escadas de eclusas e eclusas de câmara múltipla apresentam as mesmas condições, no que diz respeito às variações de nível, que as eclusas simples. Evidentemente, estas variações só influem nas câmaras extremas, sendo portanto porcentualmente menor sua incidência no custo total da obra.

Nos elevadores verticais, variações restritas no nível d'água de jusante pouco influem no custo, porquanto nos três tipos de estruturas até agora executados, é possível tolerar pequenas modificações na posição inferior da cuba. O mesmo não ocorre, porém, na posição superior onde a parada da cuba em nível variável leva a complicações mecânicas muito grandes, desde que ultrapassem alguns decímetros (40 cm no elevador de Rothensee), devido à necessidade de garantir a fixação da cuba e a vedação entre as portas fixa e móvel.

Quando as variações do nível d'água de montante são muito grandes, a solução é munir a instalação de uma "eclusa de guarda" que mantenha fixo o nível de saída do elevador. Nesta eclusa pode-se, eventualmente, utilizar a porta "fixa" do ascensor como uma das portas delimitantes da câmara e sua altura de queda, correspondente à oscilação de nível d'água do reservatório, pode ser deduzida da altura total do elevador quando a cuba parar no nível mínimo (que deverá, em geral, ser adotado para evitar bombeamento de água para o enchimento da câmara).

A "eclusa de guarda" terá um custo menor que o de uma eclusa normal de mesmo desnível. Encarece, porém, substancialmente o custo total da instalação, além de aumentar o tempo de transposição e o consumo de água.

Têm sido propostas algumas soluções com a cuba estacionando em dois ou três níveis fixos, obtidos à custa de restrições no uso do reserva--

tório. Para o elevador vertical projetado para a barragem de Slapy, no rio Vltava (Tchecoslováquia), com 55 m de desnível máximo, foi estudado um sistema (sistema Storch) que previa a parada da câmara móvel em dois níveis distintos, com 11 m de intervalo. Uma porta suplementar formaria uma câmara de nível variável, com a porta fixa (tipo baixadiço) do ascensor. Os dois níveis de desembarque corresponderiam ao nível máximo e mínimo do reservatório e o enchimento e esgotamento da câmara de variação de nível seriam realizados como numa eclusa simples, com alimentação do reservatório por gravidade e restituição para jusante. Esta solução não seria mais econômica que uma eclusa de guarda simples, com uma única posição da cuba, porém apresentaria a vantagem de ganho de tempo de transposição e economia de água (ou de energia para bombeamento), dado que, durante parte considerável do ano, o reservatório seria mantido no seu nível máximo (quando o nível do reservatório baixasse, a cuba pararia sempre na posição inferior) (HOLECEK et al. - 1949).

Os elevadores de câmara submersível, com a câmara estanque flutuando no nível superior (sistema Rothmund), apresentam a vantagem de não exigirem eclusa de guarda à montante, adaptando-se bem aos reservatórios de regularização de descarga. Neste tipo de elevador, o nível de jusante deveria ser mantido fixo, exigindo portanto uma eclusa de guarda no caso de serem previstas variações no mesmo.

Os planos inclinados funiculares, no que diz respeito à variação dos níveis d'água nos extremos, são sujeitos a restrições ainda maiores que os elevadores verticais, como é fácil de perceber. Êste tipo de obra de transposição, especialmente os modelos transversais, muito dificilmente adapta-se a variações de nível, exigindo quase sempre eclusas de guarda, tanto à montante quanto à jusante.

Em diversos planos inclinados funiculares construídos no século passado a cuba imergia no plano d'água inferior, até ser atingida a igualdade de nível entre a câmara e o exterior. Desta forma, era evitada a porta fixa no extremo de jusante. Êste princípio, adotado no plano inclinado de Foxton (THOMAS - 1902), não pode ser utilizado com câmaras maiores, devido a uma série de inconvenientes, entre os quais sobressae a variação brusca da velocidade ao ser tocada a água, sobretudo dificultosa no caso de duas cubas equilibradas, quando qualquer variação do movimento de uma repercute na outra. Neste tipo particular de plano inclinado conjugado, a variação do nível d'água no extremo inferior, modifica a posição de chegada da cuba à montante, o que limita as oscilações admissíveis. No plano inclinado de Fox

ton êstes inconvenientes foram contornados mediante uma redução de inclinação da via de rolamento no trecho superior, percorrido com rodas suplementares situadas entre as rodas normais (para garantir a horizontalidade da cuba) e uma pequena folga na porta fixa de montante, que permitia oscilação de alguns decímetros no nível de jusante (SAÑER - 1902).

Para planos inclinados automotores, os problemas decorrentes da imersão parcial da cuba são menos importantes. O princípio foi adotado, em ambas as extremidades, no plano inclinado de Krasnoyarsk, graças a uma placa giratória situada em cota superior à máxima atingida no reservatório. Desta forma, a cuba atinge os dois estirões sempre no sentido descendente, imergindo no espêlho líquido até serem igualados os níveis d'água externo e na câmara, independentemente da altura em que os planos d'água se encontram. Esta solução, sem dúvida, a mais conveniente para a transposição de desníveis elevados com grandes variações nos níveis extremos exige uma placa giratória inclinada que deverá suportar veículos com pêso de milhares de toneladas. O custo dêste equipamento e da maior extensão da via de rolamento, sòmente em parte é compensado pela economia das duas portas fixas e de uma porta da cuba (as embarcações entram e saem na câmara pelo mesmo lado).

As eclusas de guarda, ainda que aproveitem as portas fixas do ascensor, encarecem sobremaneira os planos inclinados, podendo torná-los menos convenientes que as escadas de eclusas.

Nas rampas hidráulicas automotoras, mediante mínimas adaptações no trator, é possível admitir uma grande variação no nível à jusante. O acesso é, porém, dificultado, exigindo um muro-guia móvel que acompanhe a posição da máscara na entrada inferior. Em princípio, êste muro poderia ser semelhante aos muros flutuantes existentes nas eclusas norte-americanas, devendo porém deslocar-se horizontalmente com a extremidade ligada ao canal. Cabe aliás ressaltar que o mesmo problema ocorre no plano inclinado com as cubas imergentes.

As oscilações de nível no extremo superior das rampas hidráulicas poderiam ser absorvidas por uma câmara de nível variável entre a máscara e a porta de retenção, devendo então a embarcação ser levada sempre ao nível máximo. Esta câmara deveria ter dimensões suficientes para receber as embarcações, sendo provida de um verdadeiro muro de queda (a máscara funcionando como porta de montante da eclusa). O enchimento da câmara deveria ser efetuado por bombeamento pois o nível na mesma, na entrada ou saída das embarca

ções para a rampa, seria sempre superior, ou, no máximo, igual ao do reservatório. Apesar dos inconvenientes desta solução (bombeamento, perda de tempo e necessidade de levar o trator ao nível máximo) quer nos parecer que seja mais conveniente, para variações de nível de alguns metros, que as soluções que têm sido até agora sugeridas: uma eclusa de guarda normal (com uma porta suplementar para formar uma câmara na qual a embarcação sobe, após o trajeto na rampa, para o nível do reservatório) e duas rampas hidráulicas de sentidos opostos (vencendo uma crista entre o desnível) (AUBERT - 1967).

2.4 - Influência do desnível a ser vencido

A altura a ser vencida pela obra de transposição é, sem dúvida, o elemento que mais influe na sua concepção. Nos aproveitamentos para fins múltiplos, êste fator fundamental é, geralmente, imposto por condições estranhas à navegação, de tal forma que pode ser considerado pré-fixado, não cabendo, como é feito nos canais artificiais, calcular o desnível mais econômico.

O valor da queda, influe, sobretudo, na escolha do tipo de obra: até alturas da ordem de 25 m, tôdas as razões levam à preferência pelas eclusas simples, só devendo ser examinadas outras alternativas, quando ultrapassado consideràvelmente êste limite ou em condições muito particulares.

Nas considerações a seguir, visaremos especialmente as obras de média e grande queda, que maiores probabilidades têm de serem adotadas nos aproveitamentos múltiplos brasileiros. Admitiremos que as demais condições (geológicas, topográficas, etc.) sejam sempre as ideais para cada tipo de obra considerado.

2.4.1 - Eclusas

A variação do custo das eclusas com a altura de queda, depende do tipo de estrutura, que por sua vez deve ser adotada em função da constiuição geológica do terreno.

Para eclusas escavadas em rocha, com os muros de ala formados pela superfície revestida por placas de concreto, pode-se admitir uma variação pràticamente linear, dado que o volume de escavação é, nestes casos, a parcela predominante do custo total. Dêste fato resulta, ser êste tipo de estrutura o mais apropriado para as eclusas de grande queda. É, porém, rara

a utilização de grandes eclusas escavadas em rocha nos aproveitamentos múltiplos, sendo escassos os dados disponíveis sôbre o custo das mesmas.

Nas eclusas com muros dimensionados para suportar pressões hidrostáticas internas ou arrimo do terreno externo, o custo total da obra aumenta aproximadamente com o quadrado da altura, em qualquer tipo de estrutura.

Para eclusas alemãs, com base em comparação de preço de um grande número de obras, Franzius estabeleceu, em 1927, a expressão média .. (FRANZIUS - 1936):

$$p = 10\ C\ (100 + H^2)$$

onde p é o custo da obra (em marcos ouro), C a capacidade de tráfego(que não é definida com maiores detalhes) e H o desnível máximo em metros.

Nos Estados Unidos, em 1939, foi realizada uma análise detalhada do assunto (GRIMM e MACKENZIE - 1949), através da elaboração de uma série de projetos para eclusas com 17 m de largura e 120 m de comprimento (em condições ideais, com muros de gravidades); êste estudo levou às variações do custo, por pé de queda, indicadas na tabela 16 (custos atualizados para.. 1967).

Tabela 16

VARIAÇÃO DE CUSTO DAS ECLUSAS POR PÉ DE ALTURA DE QUEDA

Alturas (em pés)	Custo (em dólares por pé de altura)	Relação de custo
10	135.000	1,00
15	103.000	0,76
20	87.500	0,64
25	79.500	0,58
30	74.500	0,55
35	71.400	0,52
40	68.500	0,50
45	66.900	0,49

Nos estudos realizados para a canalização do rio Paranapanema (C.I.B.P.U. - 1958), com base na comparação de diversos ante-projetos, foi estabelecida a seguinte variação de custo, para uma eclusa com 17 m de largura, 210 m de comprimento e profundidade mínima na câmara de 4,50 m:

$$p = 3.680\ H_2^2 + 88.300\ H_2 + 1.592.100$$

onde p é o custo total da eclusa (obra civil mais equipamento mecânico) em dólares e H_2 a altura total dos muros de ala (de gravidade maciça). Estudo semelhante foi elaborado para as eclusas que deveriam ser adotadas para o rio Tibagi, com câmaras de 17 m por 157,50 m.

A comparação entre os custos determinados por êstes diferentes estudos, é difícil, por terem sido elaborados em épocas diversas, com critérios de cálculo distintos. A fórmula clássica de Franzius, determinada há muitos anos para eclusas de pequena capacidade de tráfego, não parece conveniente para as grandes eclusas destinadas a comboios de empurra, nas quais é difícil admitir uma proporcionalidade simples entre o custo e a capacidade de tráfego (sobretudo considerando-se a c.e.t. e não a c.m.t., como na fórmula citada). Evidência, porém, ser a variação proporcional ao quadrado do desnível.

Um critério que pode ser usado para comparar custos de eclusas é analisar os valores por unidade de área da câmara, apesar de que, como veremos a seguir, a proporção entre as dimensões influe consideràvelmente no custo total. A figura 28 apresenta os valores calculados para os estudos referidos e para as novas eclusas do rio Illinois. As discrepâncias que se notam são explicáveis pelos motivos citados, sendo, em geral, os custos reais mais elevados que os previsíveis por aquêles estudos, elaborados para condições ideais.

Para efeito comparativo, a expressão deduzida nos ante-projetos do rio Paranapanema satisfaz razoàvelmente tendo a vantagem de ter sido estabelecida com base em preços brasileiros.

Esta expressão transforma-se, atualizando-se os valores para 1967 em:

$$\overline{p} = 1,21\ H^2 + 39,8H + 675$$

com $\overline{p}$ o custo aproximado em dólares por metro quadrado de área da câmara e H o desnível máximo a ser vencido.

A fórmula acima não deve, por motivos óbvios, ser empregada para eclusas com câmaras de dimensões que difiram bastante das que serviram para seu cálculo (17 m x 210 m). Para adaptá-la a outras dimensões, pode-se utilizar os coeficientes indicados na tabela 23.

O orçamento previsto para a eclusa de Jupiá é cêrca de 30% superior ao indicado por esta fórmula, parecendo, pois, razoável considerar o valor $1{,}30\ \overline{p}$ como base para eclusas em condições análogas àquela. A obra civil da eclusa da barragem do Anel de Don Marco, em construção no rio Jacui, com 7,50 m de desnível e câmara com 17 m por 120 m, está contratado por cêrca de US$ 1.500.000. Considerando-se o custo do equipamento, o custo total da obra deverá aproximar-se muito do estabelecido pelo critério indicado .. (US$ 2.300.000).

O custo das eclusas de câmaras múltiplas com dois ou três degraus pode ser considerado como sendo ligeiramente inferior (cêrca de 10%) à soma dos custos das β câmaras consideradas cada qual como uma eclusa simples, dado que a economia das $(\beta - 1)$ portas de montante e acessos é compensada pelo maior custo do sistema de enchimento e esgotamento do conjunto e maiores dificuldades construtivas.

A condição de mínimo custo, para β câmaras iguais que vencem um desnível total H, pela fórmula de Franzius seria $\overline{\beta} = H/10$ ou seja, uma queda máxima de 10 m em cada degrau (SALTIMAN - 1949). Esta condição de mínimo custo não está de acôrdo com a realidade presente. A expressão derivada dos estudos do rio Paranapanema, conduz à condição de mínimo custo de $\beta = \frac{H}{23{,}60}$ ou seja, degraus máximos de 23,60 m, sem dúvida mais próxima das condições atuais. A figura 28 mostra que com muros de queda de gravidade maciça, acima de pouco mais de 32 m de altura, o custo inicial de uma eclusa com duas câmaras passa a ser menor que o de uma câmara única. Para eclusas encravadas na rocha, êste limite pode ser mais elevado, e para as eclusas com estrutura em concreto armado, mais reduzido.

Estas conclusões são confirmadas pelo fato que, atualmente, apenas duas eclusas ultrapassam substancialmente 30 m de queda com câmara única: Ust-Kamernogorsk e Caraparelo; ambas são, ao menos parcialmente, encravadas em rocha.

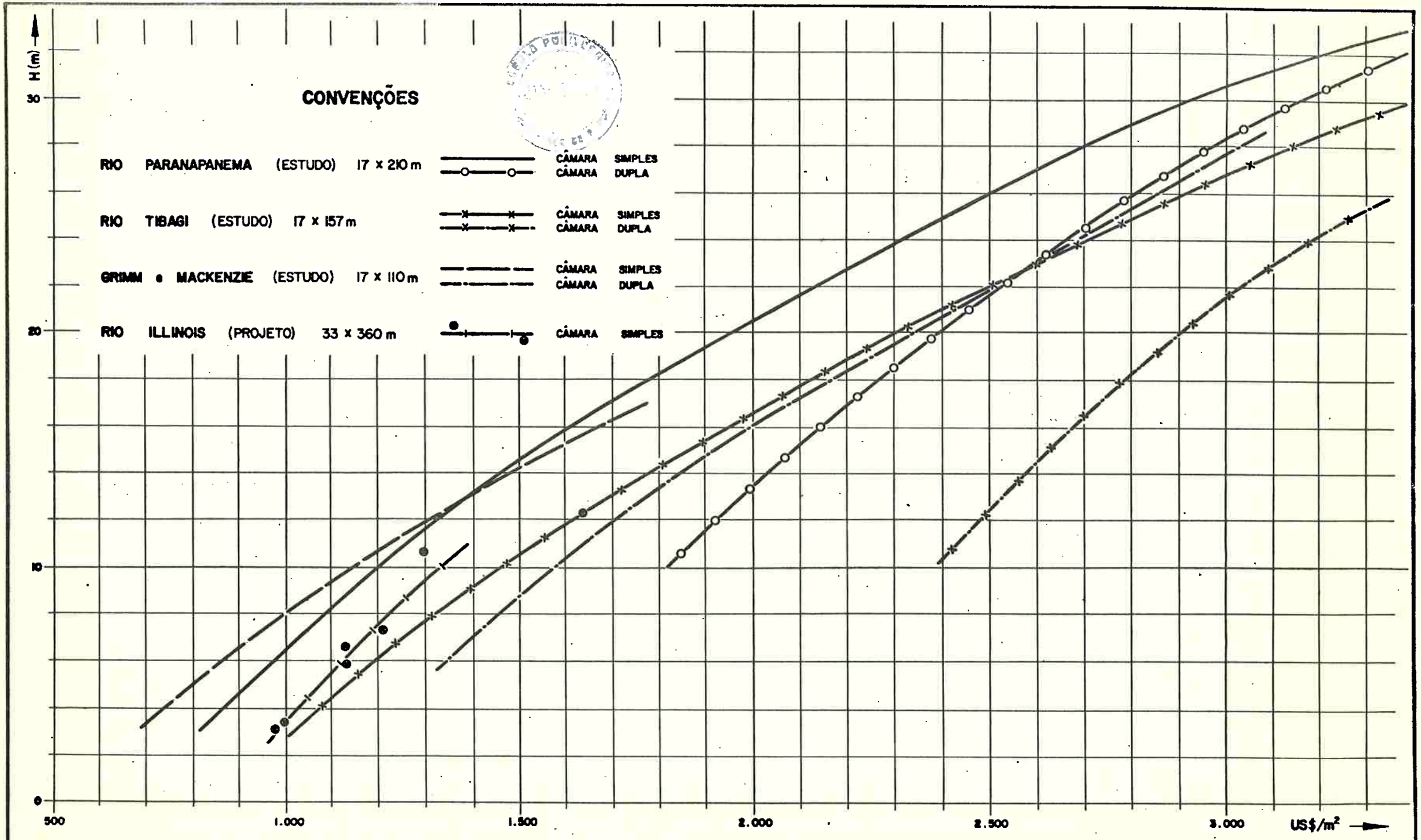


FIGURA 28

VARIAÇÃO DO CUSTO DAS ECLUSAS SIMPLES E DE CÂMARA DUPLA EM FUNÇÃO DO DESNÍVEL A SER VENCIDO (POR m² DE ÁREA DA CÂMARA) VALORES ATUALIZADOS PARA 1.967

Para as escadas de eclusas, deve-se considerar incluídos no custo os canais ou lagos intermediários que, em geral, têm suas extensões fixadas em função da topografia local. Estas obras têm sido muito adotadas na Rússia, havendo poucas referências aos seus custos. Em princípio, pode-se admitir que os canais intermediários, em número de $\beta - 1$ (sendo β o número de eclusas da escada) não custem mais que 15 a 20% do custo de cada eclusa.

2.4.2 - Elevadores verticais

A relação entre o custo dos elevadores verticais e a altura varia muito com o tipo de obra que, como já assinalamos, deve ser escolhido em função das condições geológicas e topográficas do terreno.

Os elevadores hidráulicos (sistema Clark), em princípio, podem atingir grandes alturas e dimensões, bastando lembrar que existem hoje prensas hidráulicas para 5.000 e mesmo 10.000 ton com pressões que ultrapassam 200 kg/m^2. Êste tipo de estrutura, apesar de ter sido utilizado com amplo sucesso no passado, e haver obras com mais de 70 anos de funcionamento, está em desuso, por ser composto de duas cubas conjugadas o que, devido às grandes câmaras exigidas pela moderna navegação fluvial, torna o sistema ante-econômico em comparação com outros tipos que podem ser construídos com cuba única.

Os elevadores flutuantes, como vêm sendo construídos, ou seja, com os flutuadores sob a cuba, têm seu limite do emprêgo fixado em tôrno de 35 m de queda, porquanto, já para esta altura, exigem poços com grande diâmetro e mais de 60 m de profundidade, o que torna o custo de construção extremamente elevado, salvo em terrenos muito favoráveis. O elevador de Rothensee, por exemplo, tem poços com 65 m de profundidade e 11 m de diâmetro, que necessitaram escavações difíceis de serem realizadas.

O sistema Faure (FAURE - 1950, 1953) com os flutuantes em tôrres laterais e outros sistemas semelhantes com reservatórios elevados de grande altura, apesar de terem sido estudados e projetados em diversas ocasiões, inclusive para o local de Niederfinow (DEHNERT - 1952), ainda não tiveram aplicação, não tanto pelo custo, mas por motivos de segurança, devido ao perigo representado pelo esvaziamento brusco dos reservatórios.

Os elevadores funiculares têm emprêgo mais amplo, tendo sido

já projetados para vencer desníveis de mais de 100 m (Krasnoyarsk).

Dentro destas limitações, constata-se, em vários estudos comparativos que o custo de um elevador vertical clássico, em condições ideais, é equivalente ao de uma eclusa simples com a mesma dimensão de câmara, para alturas da ordem de 30 m (ZINEVICH - 1957). A partir dêste valor, o custo dos elevadores verticais aumenta com o desnível numa relação menor que as eclusas simples (aproximadamente com a potência 1,80 da queda), não havendo porém, dados concretos sôbre o assunto, pois um único elevador vertical (Niederfinow) foi construído, em 1934, acima daquele limite. O mencionado elevador de Krasnoyarsk, que teria cêrca de 106 m de queda, foi abandonado, após vários anos de estudo, em favor do plano inclinado que se encontra em construção.

As escadas de elevadores, aventadas no passado para vencer grandes quedas, dentro das técnicas atuais não encontram emprêgo, devido ao elevado custo inicial.

Para os elevadores de câmara submersível, não há, ainda, experiência, nem mesmo projetos detalhados, que permitam concluir os custos definitivos das obras. Na concepção primitiva de emprêgo em canais, que exigia a construção de um "poço" para a movimentação da câmara, o custo seria mais elevado que o de uma eclusa simples equivalente, dado que, por necessidade de segurança, o poço deveria ser dimensionado para ser totalmente esgotado. As idéias atuais, de movimentar a câmara estanque dentro do próprio reservatório da barragem, podem levar a soluções econômicas, sobretudo para quedas muito elevadas, pois, então, o custo da obra dependeria pouco da altura de queda (dependeria apenas no que se refere à estanqueidade da câmara, portas, etc.).

As considerações acima valem para elevadores verticais com câmaras no máximo com 12 m de largura, por 100 m de comprimento e para 3 m de calado, dimensões máximas até agora cogitadas e bem inferiores às das grandes eclusas modernas.

2.4.3 - Planos inclinados

O custo de construção dos planos inclinados parece ser competitivo com o de outros sistemas de transposição de desnível, para alturas da ordem de 50 m.

As variações de custo com o desnível dependem do tipo do plano inclinado. Os estudos em elaboração para a grande ligação Mar do Norte - -Mediterrâneo, indicam, para quedas da ordem de 40 m, a seguinte proporção de custos, determinados em cada caso, para as condições geológicas e topográficas mais favoráveis (transposição do divisor de águas entre os rios Mosele e Reno, com possibilidade de localização da obra em diferentes posições) (VA DOT et al. - 1965).

Plano inclinado transversal	1,25
Plano inclinado longitudinal, com duas cubas independentes, equilibradas por contrapesos	1,45
Plano inclinado automotor com câmara de mesma largura (12 m) e 1,70 vêzes o comprimento	1,45
Plano inclinado longitudinal, com duas cubas equilibradas entre si	1,00

Nos planos inclinados funiculares a altura de queda influe pràticamente só no custo do caminho de rolamento e dos cabos. Os transversais com rampas de 15 a 50%, têm comprimento da via, por metro de queda, bem inferior aos longitudinais (rampas da ordem de 5%). Não se deve, porém, perder de vista que nos planos inclinados transversais o caminho de rolamento é mais complexo, dependendo da dimensão da câmara, o que faz com que a variação de custo com o desnível seja pràticamente da mesma ordem nos dois casos. Nos planos inclinados automotores, exceto os que dispõem de várias cremalheiras, as vias de rolamento são mais simples que nas funiculares, especialmente quando êstes são equilibrados por contrapesos que exigem dois sistemas de trilhos por câmara.

O plano inclinado automotor de Krasnoyarsk que vence um desnível máximo de 115 m foi orçado em cêrca de 17 milhões de dólares e o estudo comparado com outros tipos de obras de transposição mostrou as seguintes relações de custos (SEMANOV e VOVKUSHEVSKY - 1965):

Escada de quatro eclusas	2,00
Elevador vertical funicular	1,30
Plano inclinado automotor	1,00

De um modo geral, pode-se admitir, em qualquer dos tipos de planos inclinados, o aumento de custo por metro de desnível não ultrapassa consideràvelmente um por cento do custo total da obra.

2.4.4 - Rampas hidráulicas

Por não ter sido ainda construída nenhuma rampa hidráulica, pràticamente não existem dados de custo destas obras. Dispõe-se apenas de alguns orçamentos prévios que foram calculados com base em ante-projetos, sendo que dêstes, o mais elaborado, parece ter sido o apresentado no concurso de Arzviller, caso excepcional, não só pelas condições topográficas locais, como pelo desnível a ser vencido (45 m), que está justo no do limite econômico dêste tipo de obra.

Como consideração geral, podemos lembrar que o custo das rampas hidráulicas, em condições ideais, varia com a altura em função apenas da extensão do canal. Para obras longitudinais, com declividade de 5% e capazes de receber de um automotor tipo R.H.K. de 1.350 ton, únicas estudadas com detalhe, foi determinado o custo da ordem de

$$p = 4.000.000 + 40.000\ H$$

com p em dólares e H, desnível total a ser vencido, em metros (AUBERT - 1961).

As rampas hidráulicas transversais, com canais de menor comprimento, necessitam maiores potências e cuidados na vedação da máscara. Segundo o autor citado, deverão custar de 1,50 a 2 vêzes o custo de uma obra longitudinal.

Comparando-se o custo das rampas hidráulicas, determinado por esta expressão com o das eclusas com câmaras duplas (critérios de preços do rio Paranapanema) conclue-se que, para a mesma capacidade de tráfego (c.m.t.) os custos se equiparam para 50 m de desnível (duas câmaras com 25 m de queda cada uma).

2.5 - Influência das dimensões da câmara

Não é possível estabelecer relações gerais entre o comprimento, largura e profundidade mínima da câmara de uma obra de transposição e o custo

da obra porque os fatôres locais, como a topografia, a geologia e a altura de queda, influem muito. Estudos detalhados do assunto, elaborados para e-- clusas nos Estados Unidos (BLOOR - 1951), com base na comparação de grande número de obras, demonstram bem esta impossibilidade.

Podemos apenas analisar os fatôres mais influentes na varia-- ção do custo, indicando-se tão sòmente algumas relações genéricas para casos. ideais. Em cada situação particular deve-se proceder a exames que levem em conta sobretudo a capacidade de tráfego e o tempo de passagem que devem ser sempre os denominadores comuns nas comparações entre alternativas.

É de se notar que as dimensões da câmara só podem variar dentro de valores determinados pelas dimensões das embarcações-tipo, constantes para tôda a via. Com o emprêgo de navegação por empurra, a câmara deve ser prevista para receber um comboio-tipo completo ou um certo número de chatas, resultando um "módulo" de variação na largura e outro no comprimento.

2.5.1 - Eclusas

O aumento do comprimento das eclusas reflete-se, principalmente, no aumento do custo dos muros de ala, que, como assinalamos, corresponde à maior parcela do total.

Dentro da técnica norte-americana de navegação fluvial, o aumento do comprimento da câmara impõe também o aumento dos muros-guias (que devem ter a mesma extensão da câmara). Daí resultam maiores custos, espe--- cialmente quando o espaço disponível para os acessos é restrito (rios estreitos, curvas, etc.) podendo surgir necessidade de grandes movimentos de terra para um pequeno aumento do comprimento.

As condições de fundação das eclusas muito longas são, também, em geral, mais difíceis, devido à falta de uniformidade do terreno.

Segundo estimativas russas (SEMANOV et al. - 1961), para ca-- sos inteiramente favoráveis, o aumento de 20% do comprimento da câmara conduz a um aumento de 12 a 18% no custo total da obra. Outros autores indicam aumentos maiores, 1% por metro, por exemplo (BLOOR - 1951).

O aumento da largura incide sobretudo no do custo das portas e seus equipamentos de manobra, cujo custo por metro quadrado de vedação cresce

consideràvelmente, para determinados tipos, com a dimensão horizontal (portas levadiças, portas corrediças, etc.). Quando são empregadas portas de busco, o aumento da largura impõe também um aumento do comprimento dos muros de ala da ordem de pouco mais da metade daquele, o que não é desprezível no custo total.

Segundo as mesmas estimativas russas, em condições ideais,com portas de busco, 20% de aumento na distância entre os muros de ala leva a aumentos do custo total da ordem de 10 a 12%.

No que diz respeito à profundidade mínima na câmara, o aproveitamento acima do necessário, normalmente, como já indicamos, conduz a uma economia no sistema de enchimento da câmara e redução no tempo de transposição. O custo dêste aprofundamento dependerá das condições de resistência do terreno. De acôrdo, ainda, com as mencionadas estimativas russas, um aumento de 20% na profundidade corresponde, em média, a um aumento de custo total de 3 a 8%. Deriva dêste fato, o interêsse em projetar-se as canalizações dos cursos d'água para embarcações com calados elevados, princípio seguido na Rússia, onde as modernas hidrovias são construídas para barcos com 5 m de calado máximo (enquanto nos Estados Unidos o calado normal é de 2,25 m com tendência a passar para 2,70 m e na Europa 1,80 m com tendência, nas grandes vias, a passar para 2,20 m ou mesmo 2,50 m).

Há ainda a considerar que o aumento das dimensões em planta das eclusas obriga a maiores vazões no circuito hidráulico, se conservados a mesmos tempos de enchimento e esgotamento. Resultam, conseqüentemente, aumentos do custo neste setor, sendo de notar, pelos motivos indicados no Capítulo II, que é mais simples encher uma câmara larga do que uma câmara comprida.

Destas considerações conclue-se que, de duas eclusas com mesma área de câmara, a mais barata deverá ser a de maior largura (dentro, evidentemente, das proporções normais). A esta conclusão chegaram os especialistas europeus que têm recomendado, para novas eclusas a serem construídas nos canais sobrecarregados de tráfego, larguras maiores que as normais, mesmo quando não é previsível, por imposição da via fluvial, o emprêgo de comboios de empurra com bôca maior que a usual.

A Compagnie Nationale du Rhône (GRAFF - 1961), estabeleceu para a eclusa de Logis-Neuf, com 14,25 m de queda máxima e 3 m de profundidade

mínima, comparações completas de preços, tendo obtido os resultados indicados na tabela 17:

Tabela 17

VARIAÇÃO DE CUSTO COM A DIMENSÃO DA CÂMARA

Comprimentos (m)	Larguras (m)	Preços Comparados	Área da Câmara (m^2)
165	12	100,00	1980
170	12	101,15	2040
195	12	106,88	2340
135	18	106,66	2430
130	20	110,83	2600

Os dados analisados levaram à constatação que, para uma certa área da câmara, existem duas eclusas de dimensões diferentes e de mesmo custo, por exemplo: 208 m por 12 m e 119 m por 21 m e que para cada área de câmara há sempre uma eclusa de mínimo custo (para 2.500 m^2, 160 m por 15,60 m).

As conclusões acima, baseadas em caso muito particular (fundações em rocha viva em nível ideal, condições topográficas bastante satisfatórias), mostram como podem ser aleatórias as variações de custo da eclusa com a dimensão da câmara. Não chegam, porém, a invalidar as conclusões mais gerais acima referidas.

2.5.2 - Elevadores verticais

O custo dos elevadores verticais depende essencialmente do peso das cubas movimentadas, em qualquer sistema de movimentação. A área da câmara, é, portanto, fator preponderante nos orçamentos, pouco influindo a relação entre a largura e o comprimento.

A tabela 18 indica as áreas das câmaras e os pesos das cubas dos diversos elevadores verticais em funcionamento em 1967.

Tabela 18

ELEVADORES VERTICAIS EM FUNCIONAMENTO EM 1967

N o m e	Ano de construção	Área útil da câmara (m^2)	Pêso da parte móvel (ton)	Altura de queda (m)	Tipo de obra
Fontinettes	1888	220	700	13,13	Hidráulico
La Louvières	1888	250	1.160	15,40	Hidráulico
Houdeng-Aimeries	1908	250	1.160	16,93	Hidráulico
Bracquenguies	1908	250	1.160	16,93	Hidráulico
Thien	1908	250	1.160	16,93	Hidráulico
Henrichenbourg I	1898	585	3.100	14,00	Flutuante
Henrichenbourg II	1962	1.080	5.000	14,50	Flutuante
Niederfinow	1934	1.020	4.300	36,00	Funicular
Rothensee	1938	1.020	4.000	18,70	Flutuante

Verifica-se por êstes dados que os elementos disponíveis para o estabelecimento de relações que liguem o custo da obra ao pêso da cuba ou área da câmara são muito restritos, não permitindo, devido à diversidade da época de construção, sequer uma estimativa grosseira. Nas obras modernas tem sido possível obter considerável economia nas estruturas metálicas. Assim o novo elevador de Henrichenbourg tem cêrca de 40% menos de ferro que o anti-- go.

Os elevadores que têm sido projetados ùltimamente na Europa Ocidental têm todos cêrca de 1.000 m^2 de área na câmara e largura de 12 m, não parecendo ser econômico ultrapassar de muito êstes valores, que levam a cubas pesando cêrca de 5.000 toneladas.

Para a ligação dos rios Reno e Danúbio foram estudados, em .. 1950, diversos elevadores flutuantes e funiculares, com câmara de 110 metros por 12 metros. Êstes estudos mostraram que, do ponto de vista do custo de construção, visando duplicar a área da câmara, seria mais conveniente dobrar a largura do que dobrar o comprimento (RUTJERODT e ARENS - 1957). Aliás, esta conclusão seria de se esperar, mesmo levando em conta a maior dimensão das

portas, tendo em vista maior dificuldade em aumentar as longarinas (já muito extensas) que as transversinas.

O único elevador que chegou a ser projetado com dimensões bem superiores às referidas foi o de Ust-Kamernogorsk, no rio Irtysh, com desnível de 41,40 m, que teria 110 por 18 metros na câmara (1.980 m^2) (ZINEVICH - - 1957). Esta obra foi abandonada por uma eclusa de câmara única, já descrita, não sendo bem conhecidos os motivos que levaram a esta opção; pode-se, porém, imaginar que tenham sido relacionados com o custo inicial da obra.

Para Ronquières foi cogitado um elevador hidráulico com cubas pesando 9.600 toneladas, abandonado devido ao seu elevado custo.

De tôda a forma, não é de se esperar que seja econômica a construção de um elevador vertical capaz de receber um grande comboio de empurra sem desmembramento. Esta é a conclusão dos técnicos norte-americanos que afastaram completamente de cogitações, não só os elevadores verticais, como também os planos inclinados. Uma capacidade de tráfego elevada só pode ser, portanto, obtida pela duplicação da obra ou a construção de diversas cubas no mesmo equipamento.

2.5.3 - Planos inclinados

Considerações semelhantes às anteriores podem ser feitas para os planos inclinados, tendo-se em conta, porém, que, neste tipo de obras de transposição, o pêso da cuba influe menos no custo que nos elevadores verticais (especialmente nos do tipo funicular equilibrados).

Também para estas obras os dados disponíveis, que se referem aos três planos inclinados em construção (não existe nenhuma obra dêste tipo em funcionamento), indicados na tabela 19, não permitem estabelecer relações entre as dimensões da câmara e os custos.

Tabela 19

PLANOS INCLINADOS EM CONSTRUÇÃO

Nome	Área útil da câmara (m^2)	Pêso da cuba (ton)	Altura de queda (m)	T i p o
Arzviller	234	894	45,00	Funicular transversal
Ronquières	1.092	5.700	67,55	Funicular longitudinal
Krasnoyarsk	1.620	6.700	116,00	Automotor longitudinal

Como já assinalamos, os custos orçados destas obras deverão ser muito ultrapassados e só após seu término poderemos saber de fato quanto custaram.

Nos sistemas automotores, a potência instalada depende do pêso da câmara, e independe, pràticamente, da relação entre as dimensões. Nos funiculares a proporção entre as dimensões pode influir no custo do caminho de rolamento.

De um modo geral, é de imaginar-se que seja mais econômico, nos planos inclinados transversais, visando o aumento da área da câmara, aumentar a largura ao invés do comprimento. Nos planos inclinados longitudinais, o contrário deve ocorrer, porquanto o aumento da largura impõe uma maior bitola nas vias férreas e, se o aumento fôr muito grande, a colocação de maior número de trilhos para garantir a regularidade do movimento.

Há, ainda, a considerar que o aumento da largura conduz a maiores dimensões das portas, que, em geral, são duplas (duas portas fixas e duas portas móveis na câmara).

2.5.4 - Rampas hidráulicas

Para as rampas hidráulicas, ainda num estágio experimental, faltam elementos que permitam verificar a influência das dimensões da cunha d'água no custo total da obra.

Em princípio, a potência dos tratores varia diretamente com o pêso da água movimentada. Como os tratores representam parte substancial do total (da ordem de 40%), o volume de água da cunha influe decididamente no custo.

O aumento do comprimento útil da cunha d'água impõe maior altura na máscara e, conseqüentemente, o aumento do volume de água em relação ao seu quadrado. Obriga, também, a elevação dos muros laterais do canal.

O incremento da largura conduz à elevação do pêso da água na mesma relação, bem como maior distância entre os muros do canal, sem influenciar na altura dos mesmos ou da máscara; causa, porém, dificuldades para a obtenção do movimento regular do conjunto.

A declividade do canal, influindo no volume de água da cunha, tem importância na relação de aumento de custo com o aumento da largura ou do comprimento.

De um modo geral, é portanto de prever-se, dentro de certos limites, ser mais econômico, para aumentar a área útil da cunha d'água, aumentar a largura ao invés do comprimento.

Deve-se notar o grande interêsse que as rampas hidráulicas vêm despertando nos Estados Unidos, o que confirma a opinião que êste tipo de obra de transposição pode ser adaptado a grandes embarcações (ENGINEERING NEWS-RECORD, 4 Janeiro - 1968).

3 - CUSTO DE OPERAÇÃO

Os custos operacionais das obras de transposição de desnível, de forma semelhante com que ocorre com os custos de construção, variam dentro de largos limites em função de um grande número de fatôres, muitos dos quais imponderáveis.

Atualmente, no Brasil, não há em funcionamento efetivo nenhuma obra de transposição, o que impede a determinação dos custos operacionais em nossas condições particulares e obriga a procurar exemplos em outros países, com condições nem sempre comparáveis.

O custo de operação de uma obra de transposição de desnível compreende diversas parcelas, que podem ser agrupadas em três categorias: a) Despesas com pessoal; b) Despesas de manutenção, conservação e reparos; c) Consumo de energia.

As despesas com pessoal, pràticamente, independem do volume de tráfego. Quando são realizadas, ùnicamente, passagens de comboios completos ou embarcações automotoras, tôdas as operações de bordo podem ser realizadas pelas tripulações e o pessoal necessário se restringe ao empregado na própria obra. Quando há desmembramentos de comboios deve ser previsto pessoal auxiliar para as manobras de passagem das partes não propulsionadas pelo rebocador. De tôda a forma, a totalidade do pessoal deve estar disponível, sempre que uma embarcação solicita a transposição nos períodos em que a obra está aberta ao tráfego.

As despesas de conservação, manutenção e reparos dependem, em parte, do número de passagens, mas compreendem, também, serviços como, manutenção dos equipamentos mecânicos, limpeza após a passagem de enchentes, etc. que devem ser executados independentemente de haver ou não tráfego pela obra; em princípio, admite-se que estas despesas sejam proporcionais ao custo inicial das eclusas e ascensores.

O consumo de energia para as passagens das embarcações é função do número de operações realizadas, e portanto, do tráfego, exceto quando fôr reservada uma vazão para a eclusa que será perdida se não utilizada com esta finalidade.

3.1 - Eclusas

3.1.1 - Pessoal

Com os equipamentos modernos de contrôle e comando, um operador e um auxiliar são suficientes para a manobra de uma eclusa simples, qualquer que seja seu porte. Considerando-se o funcionamento contínuo da obra (sete dias por semana e 24 horas por dia) a equipe mínima será composta de:

1 chefe de operação e manutenção
3 ecluseiros
3 auxiliares de ecluseiro.

Esta equipe pode executar todos os serviços de manutenção, conservação e reparos simples, além da operação pròpriamente dita.

Ùltimamente, em algumas pequenas eclusas de canais europeus , têm sido instalados equipamentos ditos "automáticos" que permitem a manobra completa pela tripulação das próprias embarcações, através de comandos colocados nas garagens de espera e possibilitam uma grande redução do pessoal fixo. Êstes equipamentos não são ainda utilizáveis nas eclusas de grande porte de aproveitamentos múltiplos, que exigem equipamento complexo.

Como pessoal suplementar, para desmembramentos de comboios de empurra e operação do sistema de sirga, é necessário prever um mínimo de dois auxiliares, ou seja, um total de seis auxiliares para trabalho contínuo.

Nas eclusas de câmaras múltiplas, os equipamentos modernos permitem concentrar os comandos em uma única cabine, de forma a empregar pràticamente o mesmo pessoal previsto para as eclusas simples, com o acréscimo de um auxiliar, por turno, devido à maior área abrangida pela obra de transposição. O emprêgo de circuitos fechados de televisão, que vêm sendo utilizados com freqüência nas eclusas, facilita bastante a operação.

No que diz respeito às escadas de eclusas, parece difícil adotar um único contrôle, devido às distâncias consideráveis que podem separar as câmaras. Assim, o pessoal necessário para operar e manter uma escada com β eclusas, deverá ser β vêzes o de uma eclusa simples, acrescido do exigido para movimentação das embarcações desprovidas de propulsão nos patamares. Caso os canais intermediários tenham mais de 3 a 5 vêzes o comprimento das câmaras, é necessário recorrer à sirga por locomóveis ou pequenos rebocadores que exigem pessoal numeroso (no mínimo, um condutor por turno, por locomóvel ou rebocador).

Em cada alternativa é necessário examinar com cuidado o pessoal que deverá ser previsto para a operação e manutenção, porquanto as despesas resultantes podem atingir valores muito elevados, quando garantida a navegação contínua, dia e noite, todos os dias do ano.

3.1.2 - Manutenção, conservação e reparos

As eclusas têm, como órgãos móveis, apenas as portas, as válvulas de contrôle do circuito hidráulico e eventualmente, pára-choques de pro

teção, cabeços de amarração e equipamentos de sirga (quando previstos desmembramentos). Em conseqüência, as despesas de manutenção, conservação e reparos são reduzidas.

Nas eclusas européias estas despesas, com todos os equipamentos eventuais, são estimadas, em média, em 0,47% do valor da instalação, por ano (BLATTNER - 1953).

Os trabalhos de reparo de acidentes graves e as eventuais reformas de instalações não se incluem na taxa indicada e não devem ser considerados nos cálculos econômicos, por serem muito raros, como já assinalamos.

De um modo geral, as comportas do sistema hidráulico é o que exige maiores trabalhos de manutenção e reparo nas eclusas. Um gasto considerável de manutenção pode resultar da ocorrência de cavitações nas comportas do sistema de enchimento e esgotamento da câmara nas eclusas de grande queda. Na eclusa da barragem Kentucky, no rio Tennessee, há necessidade de efetuar reparos quase contìnuamente, em uma ou outra das duas comportas (segmentos invertidos) dos aquedutos longitudinais, devido ao desgaste violento ocasionado pela cavitação. A êste aspecto particular, conseqüente das grandes velocidades resultantes das vazões impostas pelo pequeno tempo de enchimento, vem sendo dada muita importância, ùltimamente, como se verifica pelas numerosas publicações a respeito (RICHARDSON - 1964, ELDER et al. - 1964, DAVIS - 1966, Mc NOWN - 1967, etc.).

As eclusas de câmara múltipla têm, pràticamente, os mesmos problemas de manutenção, conservação e reparos que as eclusas simples, podendo as despesas anuais serem estimadas de forma análoga. É de notar-se que estas obras dispõem de menor número de portas que uma série de eclusas com o mesmo número de câmaras, o que compensa, do ponto de vista da manutenção, a maior complexidade dos circuitos hidráulicos.

As escadas de eclusas podem ser consideradas como uma série de eclusas simples pois os canais intermediários exigem muito pouca manutenção e reparos.

3.1.3 - Consumo de água

A maioria dos autores incluem no custo de operação das eclusas a energia que seria necessária ao bombeamento para elevar as embarcações

entre os níveis extremos (AUBERT - 1962, BLATTNER - 1953, etc.), fazendo o cálculo a partir de uma vazão e uma altura média.

Êste raciocínio é válido para os canais artificiais, onde a carência de água pode obrigar ao recalque da totalidade da água necessária ao funcionamento da eclusa. Nos aproveitamentos múltiplos, sobretudo em rios de grande descarga, não se tem um consumo de energia pròpriamente dito, mas a utilização de parte da água disponível, que deixa de ser empregada com outra finalidade, como a de produzir energia (caso comum nos modernos aproveitamentos múltiplos).

A água utilizada nas eclusagens deve ter seu valor calculado em função dos possíveis usos alternativos (irrigação, abastecimento urbano, geração de energia hidroelétrica), não correspondendo a um gasto os volumes que não possam ser armazenados ou ter outra destinação e que seriam descarregados pelo extravasor se não existisse a eclusa.

Não levaremos em conta a utilização de sistemas destinados a economizar água, como portas intermediárias, eclusas geminadas, câmaras de recuperação, etc. só justificáveis em aproveitamentos múltiplos excepcionais com vazões fluviais muito baixas. É simples, porém, determinar a redução do consumo de água resultante do emprêgo dêstes sistemas. Diga-se de passagem que vem de ser instalada a porta intermediária prevista desde a construção (DELATTRE - 1952) na eclusa da barragem de Donzère-Mondragon. Não tendo sido, todavia, a economia de água sua justificativa principal.

O consumo de água por uma eclusa, pode ser analisado de forma semelhante à adotada para o exame da capacidade de tráfego das obras de transposição. Assim, definiremos um "gasto d'água teórico" anual (g.a.t.) correspondente ao que seria verificado na operação da eclusa nas condições de definição da c.m.t. (fluxo contínuo e regular de embarcações-tipo). Êste g.a.t. depende, como a c.m.t., ùnicamente das características da eclusa, dado que admitiremos, para seu cálculo, um aproveitamento máximo da área da câmara durante todos os dias e horas do ano. O valor do g.a.t. será:

$$G_{at} = KVN \quad \text{(em metros cúbicos por ano)}$$

onde: V é o volume necessário para o enchimento da câmara, com a altura máxima de queda, aproximadamente igual a área útil da câmara vêzes o desnível máximo ($V = L \ell H$), N o número de passagens por ano, igual, como já indica

do a:

$$N = \frac{525.600}{\overline{T}_t}$$

com $\overline{T}_t$ o tempo médio de transposição (em minutos) e K um coeficiente que leva em conta o sistema de operação adotado: K = 0,50 para passagens alternadas, $K = \frac{2\alpha - 1}{2\alpha}$, para α passagens consecutivas no mesmo sentido (pois em cada 2 α passagens, α em um sentido e α no outro, há necessidade de encher $2\alpha - 1$ vêzes a câmara), e K = 1 para passagens em um único sentido (duas eclusas paralelas, cada uma destinada à passagem em uma só direção).

O g.a.t. atinge valores muito elevados. Para a eclusa de Jupiá, pode-se estimar da ordem de 510×10^6 m^3/ano. Na verdade sòmente uma parte dêste volume será efetivamente utilizado, crescendo o consumo com o desenvolvimento do tráfego, até atingir o máximo quando a eclusa chegar a c.e.t. , condição para a qual definiremos um "gasto de água efetivo" anual (g.a.e.) correspondente ao consumo de água realmente realizado pela passagem da navegação através da eclusa.

A relação entre o c.a.t. e o c.a.e. definida como "coeficiente de utilização" D , dependerá de quatro fatôres: tempo real de funcionamento da eclusa, tempo efetivo de transposição das embarcações (êstes dois fatôres definindo o número de passagens efetivamente realizadas durante o ano), eclusagens em vazio e volume d'água empregado em cada enchimento.

Devemos notar que o consumo de água não independe totalmente do deslocamento das embarcações que utilizam a eclusa. De fato, considerando-se como consumo a água que entra na câmara, proveniente do reservatório de montante, sendo P_s e P_d os deslocamentos das embarcações que sobem e que descem pela obra em duas passagens alternadas, se imaginarmos a eclusa vazia, uma embarcação (conjunto de embarcações) ao penetrar na câmara desloca um volume de água P_s ; para encher a câmara, é gasto o volume V , sendo que ao sair a embarcação, o volume P_s é devolvido à câmara, tendo havido, de fato, um consumo de água de $V + P_s$. Ao entrar na câmara, a embarcação que vai descer desloca para fora um volume P_d (recuperado) não havendo, a partir de então e até ser de novo liberada a eclusa para subida de outra embarcação, qualquer consumo de água. Verificamos, então, que para as duas passagens houve um consumo de água de $V + (P_s - P_d)$ ou :

$$\frac{V + (P_s - P_d)}{2}$$

por passagem. Raciocínio análogo mostra que com α passagens consecutivas em cada sentido, o consumo d'água será $\frac{2\alpha - 1}{2\alpha}\left[V + (P_s - P_d)\right]$ (se P_s e P_d são constantes).

Dado que as mesmas embarcações trafegam nos dois sentidos, haveria uma compensação se os calados fôssem constantes. Existindo um sentido de tráfego com maior tonelagem que o outro, ocorrerá um maior consumo se as embarcações sobem carregadas e descem vazias ($P_s > P_d$) que no caso contrário.

Para os aproveitamentos múltiplos modernos, com grande altura de queda, V é bem maior que $P_s - P_d$ (calados das embarcações carregadas variando entre 2 a 3,50 m e vazias entre 0,40 a 0,60 m e H maior que 10 ou 15 m); tendo-se em vista uma certa compensação devida às oscilações do tráfego, pode-se, então, desprezar esta correção, que poderá, porém, assumir valores consideráveis (proporcionalmente ao total) para eclusas de baixa queda com tráfego regular, sem carga de retôrno.

O coeficiente de utilização D pode ser considerado com o produto de quatro "coeficientes de eficiência": $D = E_1 E_2 D_1 D_2$, cada um dos quais, definido como a relação entre o g.a.e. e o g.a.t., considerando-se isoladamente um dos quatro fatôres que interferem no consumo efetivo de água.

Os coeficientes E_1 e E_2, referentes à utilização da obra de transposição, são os mesmos coeficientes de eficiência definidos no Capítulo III para o cálculo da c.e.t. O seu produto pelo número de passagens teóricas por ano, conduz ao número de passagens efetivamente realizadas.

O coeficiente D_1 é relativo à falta de regularidade do fluxo de embarcações que chegam a eclusa, do que resulta a impossibilidade de manter o programa de operações adotado no cálculo do g.a.t.

Tendo-se em vista as considerações feitas no capítulo anterior sôbre a capacidade de tráfego, chega-se a valores de D_1, para exploração teórica com passagens alternadas, para as hidrovias européias da ordem de $D_1 = 1,25$ e para as hidrovias norte-americanas da ordem de $D_1 = 1,35$ (maior

consumo devido à necessidade de efetuar eclusagens em vazio, não previstas no g.a.t.). Para eclusas em que é previsto um desmembramento sistemático são adotadas, normalmente duas passagens sucessivas em cada sentido, como nas antigas eclusas dos rios Ohio e Black-Warrior; as estatísticas mostram, neste caso, que o valor D_1 é de cêrca de 0,90.

O valor de D_1 pode ser previsto para novas vias fluviais, desde que se presuma os tipos de embarcações da frota e as peculiaridades do tráfego. Em princípio, quando α é maior que 2 , D_1 deverá ser próximo da unidade, por haver uma compensação entre a irregularidade de chegadas e a passagem de comboios com menor número de chatas.

O coeficiente D_2 é relativo ao volume de água efetivamente consumido em cada passagem. Na definição do g.a.t. admitiu-se, para o cálculo do volume, o desnível máximo H do aproveitamento múltiplo. Devido às oscilações do nível d'água no reservatório e à jusante da eclusa, o volume é, porém, menor que V .

As variações de queda de um aproveitamento múltiplo são estabelecidas a partir do regime de exploração do reservatório e dos dados hidrológicos, sendo sua determinação normalmente efetuada para o cálculo da potência produzida pela usina hidroelétrica. A partir dêstes valores que conduzem à curva média de permanência dos desníveis, pode ser determinada uma altura média ($\overline{H}$), que, relacionada à altura máxima, define um valor de D_2 suficientemente aproximado para o fim que se tem em vista. Evidentemente, D_2 pode variar dentro de largos limites, não sendo possível generalizar-se um valor. Em princípio, deverá ser compreendido entre 1 (queda constante) e 0,50 (desnível variando linearmente entre zero e o máximo).

Destas considerações, conclue-se que o coeficiente de utilização D pode assumir valores entre 0,30 , na navegação com processo tradicional europeu e 0,80 , na navegação com processo norte-americano.

Para efeito do cálculo do custo operativo da eclusa, é necessário, ter em conta que só tem valor a parte do g.a.e., cujo emprêgo seria possível com outra finalidade. A determinação desta parcela deve ser feita a partir da comparação entre as vazões utilizáveis para os demais fins do aproveitamento múltiplo, levando em conta a capacidade de regularização do reservatório e as descargas fluviais, não esquecendo que, ultrapassada a vazão máxima navegável, a água vertida pelos extravasores é perdida também pa-

ra a navegação.

Uma idéia preliminar da importância do volume d'água utilizado pela eclusa e que não poderia servir a outros fins, é obtida considerando-se a porcentagem anual de tempo de funcionamento dos extravasores (admitindo-se que o funcionamento dêstes órgãos indique um excesso de água suficiente para cobrir o gasto da eclusa). Como esta porcentagem atinge nos aproveitamentos múltiplos sem grande poder de regularização, fàcilmente, valores da ordem de 30% (por exemplo 32% ao ano na barragem de Jupiá), verifica-se que esta consideração, geralmente não levada em conta nos estudos, não é desprezível. Nos aproveitamentos múltiplos, em que a navegação é associada ùnicamente à irrigação e proteção contra inundações, é de se esperar que o volume de água útil consumido não atinja nem 50% do g.a.e.

Quando a eclusa faz parte de um aproveitamento múltiplo que inclue uma usina hidroelétrica, o custo operacional é determinado considerando-se que a água consumida na eclusa poderia gerar energia. A determinação exata desta energia deve ser feita considerando-se, em cada operação, o volume de água gasto e a altura de queda respectiva. O volume da eclusa sendo proporcional à queda, a energia é proporcional ao quadrado do mesmo valor, advindo daí a importância de ser considerado o desnível correto, mesmo se não houver uma variação porcentual muito elevada. O cálculo é, em tudo, semelhante ao da potência produzida pela usina; sendo bastante trabalhoso, não compensa para a estimativa do custo operacional de uma nova eclusa. Numa obra existente, porém, pode ser baseado ùnicamente no registro dos níveis de água em cada eclusada, o que permite determinar o custo real da operação.

Um cálculo aproximado pode ser feito, adotando-se o g.a.e., descontado do volume não utilizável para outros fins e a altura média de queda $(\overline{H})$, determinada como indicado acima.

A energia "gasta" anualmente na eclusa seria então $E_a = G_{ae} \overline{H} R$, sendo R o rendimento médio das unidades geradoras.

Para fixarmos idéias, podemos estimar energia que será "consumida" anualmente na eclusa de Jupiá.

Como vimos, para esta eclusa $G_{at} = 510 \times 10^6$ m^3/ano (admitindo-se $T_t = 45$ minutos). Se adotarmos $D = 0{,}60$ (resultante de $E_1 = 0{,}92$, $E_2 = 0{,}93$, $D_1 = 0{,}90$ e $D_2 = 0{,}79$), resulta aproximadamente $G_{ae} = 300 \times 10^6$

m^3/ano (queda máxima 24,50 metros e a queda média 19,50 metros).

Tendo-se em vista que, em 32% do tempo, a vazão regularizada ultrapassa a vazão turbinável, o volume d'água consumido na eclusa, que poderia ser turbinável será da ordem de 205×10^6 m^3/ano. Admitindo-se uma queda média de 19,50 e um rendimento global dos grupos geradores de 0,75 , a potência anualmente "gasta" na eclusa pode ser estimada da ordem de 8×10^6 kwh por ano (menos de 0,2% da energia total produzível na usina). Com um custo de NCr$ 0,005 por kwh a despesa operacional da eclusa em consumo de água, será de cêrca de NCr$ 40.000 por ano.

As considerações feitas sôbre o consumo de água, nas eclusas simples, são válidas para as eclusas de câmaras múltiplas. O cálculo do g.a.t. é, porém, diverso.

Para passagens alternadas, deve ser considerado o volume V^* soma dos β volumes gastos no enchimento de cada câmara ($V^* = \Sigma V_i$) e um valor de $K = 0,50$. O valor de N (número de passagens por ano) será evidentemente o indicado no Capítulo III para êste tipo de obra. Se as câmaras têm tôdas áreas iguais (o que é regra geral), resulta aproximadamente $V \cong AH^*$, sendo H^* o desnível total e A a área da câmara ($A = \ell L$).

Para α passagens sucessivas no mesmo sentido pode-se adotar $K = 1$, com o volume V dado pela expressão:

$$V = \frac{V^* + 2(\alpha - 1) V_{max}}{2\alpha}$$

onde V_{max} corresponde ao enchimento da câmara de maior volume. Com as câmaras de mesma área, resulta aproximadamente:

$$V = \frac{A\left[H^* + 2(\alpha - 1) H_{max}\right]}{2\alpha}$$

sendo H^* o desnível total da obra.

A estas expressões chega-se fàcilmente lembrando-se que, na subida da primeira embarcação da série de α embarcações, há necessidade do enchimento das β câmaras e que, nas subidas seguintes, há apenas necessidade do enchimento, com água do reservatório, da câmara de maior volume (devido ao aproveitamento de uma câmara para a outra). Na primeira descida, não há alimentação externa e, nas seguintes, há apenas necessidade de um volume

igual ao da maior câmara.

Se as câmaras são iguais (condição de máxima economia de água), as α passagens sucessivas conduzem a $G_{at} = KVN$, onde V é o volume de cada câmara e $K = \frac{\beta + 2(\alpha - 1)}{2\alpha}$.

A comparação entre os volumes de água consumidos em cada caso, conduz a conclusões interessantes. Assim, a diferença entre o volume consumido com passagens alternadas e o com α passagens sucessivas, por passagem, será:

$$\Delta = \frac{(\alpha - 1)(V^* - 2\,V_{max})}{2\,\alpha}$$

Se as áreas das câmaras são iguais:

$$\Delta = A\,\frac{(\alpha - 1)(H^* - 2\,H_{max})}{2\,\alpha}$$

de onde se conclue que, se a instalação tem 2 câmaras iguais, $\Delta = 0$ e é indiferente adotar uma ou outra forma de operação. Se as duas câmaras são diferentes Δ é negativo e portanto há interêsse, do ponto de vista da economia de água, em operar por passagens alternadas em um e outro sentido, o que conduz a uma economia de

$$\Delta = A\,\frac{(\alpha - 1)(H_1 - H_2)}{2\,\alpha}\ .$$

Para mais de duas câmaras ($\beta > 2$) iguais, obtém-se maior economia de água com passagens sucessivas no mesmo sentido, crescendo a economia com α de acôrdo com a expressão:

$$\Delta = A\,\frac{H(\alpha - 1)(\beta - 2)}{2\ \alpha} \qquad (\alpha > 2)\ .$$

Se as câmaras têm a mesma área e alturas diferentes, as passagens sucessivas no mesmo sentido só conduzem a uma economia de água quando $H^* > 2\,H_{max}$ (o desnível total fôr maior que duas vêzes a altura da câmara de maior queda).

Estas considerações teóricas, que devem ser levadas em conta no cálculo do g.a.t., indicam as prescrições a serem seguidas visando economia de água, quando o tráfego intenso, a regularidade do fluxo de embarcações, o número elevado de desmembramentos e sobretudo os congestionamentos,

garantem a disponibilidade de embarcações necessária à operação contínua.

A determinação do g.a.e. , para as eclusas de câmaras múltiplas, pode ser feito de forma semelhante à de uma eclusa simples. Apenas o coeficiente D_1 merece algumas considerações especiais: quando o g.a.t. é calculado com passagens sucessivas no mesmo sentido, o valor de D_1 poderá ser maior que a unidade devido à possibilidade do consumo real ser maior que o teórico, por causa de irregularidades no fluxo de embarcações. Quando o g.a.t. é calculado considerando-se passagens alternadas, D_1 será normalmente menor que um.

Na realidade, dificilmente, teremos eclusas com mais de 3 câmaras e mais de quatro passagens consecutivas no mesmo sentido. Assim, as economias máximas que se pode esperar pela operação mais apropriada em relação à menos apropriada serão as indicadas na tabela 20.

Tabela 20

ECONOMIA DE ÁGUA EM ECLUSAS DE CÂMARAS MÚLTIPLAS

α	β	Câmaras		Tipo de operação mais conveniente
		Iguais	Diferentes	
2	2	0	$1/4\ A\ (H_1 - H_2)$	Passagens alternadas
3	2	0	$1/3\ A\ (H_1 - H_2)$	" "
4	2	0	$3/8\ A\ (H_1 - H_2)$	" "
2	3	$1/4\ A\ H$	$1/4\ A\ (H^* - 2H_{max})$	Passagens sucessivas
3	3	$1/3\ A\ H$	$1/3\ A\ (H^* - 2H_{max})$	" "
4	3	$3/8\ A\ H$	$3/8\ A\ (H^* - 2H_{max})$	" "

Êstes valores indicam as variações previsíveis nos valores de D_1.

A tendência atual de adotar em cada queda o maior valor possí

vel de H e de padronizar as alturas nas câmaras múltiplas leva a valores de D_1 próximos à unidade.

É, ainda, interessante assinalar que os mesmos raciocínios feitos anteriormente conduzem, segundo Semanov e Vovkushevsky (SEMANOV e VOVKUSHEVSKY - 1965), no caso de câmaras iguais e de não haver um mesmo número de passagens sucessivas em cada sentido, a uma economia de água, em relação a passagens alternadas regulares, em um período com λ mudanças de direção de tráfego de:

$$\Delta = \left[\alpha_s + \alpha_d + \lambda \left(\frac{\beta}{2} - 1 \right) \right] A H^*$$

onde α_s e α_d são os números de passagens no sentido de subida e de descida, respectivamente e β o número de câmaras. Esta expressão mostra que há sempre vantagem em efetuar passagens sucessivas, desde que o número de câmaras seja superior a dois.

Outrossim, é de se notar que as variações de nível d'água ocorrem apenas nas câmaras extremas e portanto o valor de D_2, só será influenciado se a câmara de maior queda estiver no extremo de maior oscilação. O valor de D_2 só pode, evidentemente, ser determinado em cada caso particular, porém, dificilmente, será menor que 0,90.

O consumo de água de uma escada de eclusa é, em geral, o correspondente ao de uma única eclusa simples, no caso de uma série de câmaras iguais, ou da eclusa de maior queda, no caso de alturas diferentes (tôdas as eclusas com mesma área). A êste consumo deveriam ser acrescidas as perdas por infiltração e evaporação nos canais intermediários, que podem ser consideradas desprezíveis, no caso de grandes câmaras. Para que o consumo de água da escada seja o de uma só das eclusas constituintes do conjunto, é necessário que os canais intermediários tenham capacidade para absorver o volume d'água, não só de uma eclusa da isolada, como também o de várias eclusagens seguidas numa mesma eclusa, que será acumulado quando os comprimentos dos canais permitirem várias passagens em uma câmara, antes de ser iniciada a operação na seguinte. Esta condição, como vimos, obriga ao superdimensionamento dos canais, que passam a funcionar como reservatórios, ou a constituição de bacias de acumulação, para evitar um consumo suplementar necessário para garantir os níveis mínimos nos canais intermediários. Caso contrário, será necessário o lançamento d'água para jusante, como é feito na escada de duas eclusas marítimas do canal Beauharnois, no rio São Lourenço, entre os lagos

S. Luis e S. Francisco, no Canadá (Mc INTYRE - 1958). Estas variações de nível nos canais podem influenciar o consumo de água de cada câmara e devem ser levados em consideração.

Tanto o cálculo do g.a.t. quanto o do g.a.e. das escadas de eclusas podem ser feitos com base no indicado para as eclusas simples e determinação da c.e.t. , sendo, porém, de prever-se um consumo um pouco maior que o da eclusa mais desfavorável, considerada isoladamente. A influência das variações de nível nos extremos tem, em geral, pouca influência.

Cabe finalmente notar que, ao ser dimensionada a usina hidroelétrica em uma nova via fluvial, há a opção de dotar ou não o conjunto do equipamento de geração para absorver a água utilizada na eclusa (e em outras finalidades). Se a usina não dispuser dêste equipamento, haverá um desperdício de água, sem qualquer utilização, até ser alcançada a c.e.t. (quando obviamente será atingido o g.a.e.). Caso contrário, quando o tráfego fôr máximo, parte do equipamento gerador ficará sem função (em princípio, pois, poderá ser empregado para gerar energia de ponta). É evidente que a opção só pode ser feita, mediante um estudo que verifique se é ou não rentável a instalação suplementar para utilização por um período determinado. Se não fôr instalado o equipamento, é razoável computar à navegação a energia que deixar de ser gerada desde o início, mesmo que a água não seja utilizada. Caso contrário, a despesa com o consumo de água será função da tonelagem movimentada anualmente pela eclusa.

3.1.4 - Consumo de energia para finalidades diversas

Cada passagem nas eclusas simples exige a movimentação das duas portas, a manobra das duas comportas e dos pára-choques, etc. A energia consumida depende do tipo dêstes equipamentos (em geral, as portas consomem muito pouca energia) podendo ser estimada, em média, em cêrca de 6 kwh por passagem simples.

Como exemplo das potências dos motores necessários à movimentação dos equipamentos móveis de uma eclusa moderna, pode ser citada a nova eclusa de Fontinettes que dispõe de 20 kw para mover a porta de montante (sistema de busco), 103 kw para mover a porta de jusante (que pesa 103 ton e é equilibrada por contrapesos de 26 ton) e motores de 9 kw para mover cada uma das comportas de contrôle do circuito hidráulico.

Para as eclusas de câmaras múltiplas, pode-se adotar um consumo equivalente a pouco menos de β vêzes o de uma eclusa simples, devido a economia no número total de portas (uma em duas câmaras, duas em três câmaras, etc.).

Nas escadas de eclusas o consumo de energia com estas finalidades é igual à soma dos consumos de cada eclusa parcial, ou seja β vêzes o de cada uma.

De tôda a forma, em qualquer tipo de eclusa, é necessário considerar que as passagens sucessivas no mesmo sentido correspondem pràticamente ao dôbro do consumo com passagens alternadas, de tal forma que o consumo médio anual deverá ser estimado em $E_1 \times E_2 \times N \times K$, kwh onde $K = 1$ para passagens alternadas e $K \cong 2$ para passagens sucessivas no mesmo sentido.

A energia para outros fins, como iluminação, oficinas, etc. pode ser incluída numa parcela global de gastos gerais de 5 a 10% do gasto total anual.

3.1.5 - Consumo de energia para movimentação de embarcações desprovidas de sistema propulsor

Quando ocorrem passagens de embarcações que não dispõem de sistema propulsivo próprio, há vantagem em prever um equipamento que as movimentem na eclusa, seja por sirga ou por rebocadores. Nas eclusas simples, como já assinalado, o sistema usual é o de cabrestantes elétricos que movimentam cabos aos quais é fixada a amarra de tração. São também empregados correntemente pequenos tratores sôbre pneumáticos.

Na eclusa de Furstenberg foi instalado um sistema de cabo aéreo para tracionar as embarcações que não deu, todavia, resultados satisfatórios (HOEBEL e PAYMANN - 1931). Na França, estão sendo feitas experiências com pequenos rebocadores, especialmente projetados para operarem nas eclusas.

Vem sendo também experimentada, nos Estados Unidos, a utilização do próprio rebocador do comboio para movimentar as chatas desmembradas nas eclusas. O rebocador volta ao nível inicial em uma eclusagem em vazio. Êste sistema de operação conduz, porém, a uma considerável perda de tempo.

A potência necessária para esta movimentação é de cêrca de ..

0,10 HP por tonelada de carga, o que garante uma velocidade das chatas da ordem de 3 a 5 km/hora. O deslocamento sendo, em média, da ordem de um comprimento da eclusa por desdobramento e em cada passagem, a energia anual efetivamente consumida será determinada pela expressão:

$$E_c = \frac{0,10\ E_1\ E_2\ N\ L\ C_{et}\ J}{0,735} \quad \text{(kw/hora)}$$

onde J é um coeficiente que leva em conta a porcentagem de passagens em que a sirga (ou os rebocadores auxiliares) deve ser empregada, variável em função do número de desmembramentos previstos e da composição da frota que utilizará a obra.

Nas eclusas de câmaras múltiplas e escadas de eclusas, a energia para movimentar as chatas deverá compreender o deslocamento das embarcações ao longo de tôda a obra. Nas de câmara múltipla, será β vêzes a correspondente a uma eclusa de comprimento equivalente e nas escadas, β vêzes mais o consumido nos canais. Nestas últimas obras, há interêsse em aumentar a velocidade de deslocamento das chatas, devendo ser adotada uma potência maior (0,15 HP para sirga e 0,25 HP, para os rebocadores, por tonelada de carga movimentada).

É de se assinalar, finalmente, que o uso de rebocadores de tração não é recomendável, por não disporem de leme, as chatas de empurra.

3.1.6 - Custo total de operação

Para efeito de projeto têm sido adotadas taxas globais estimadas para o custo total de operação das eclusas.

Assim, para o rio Tietê, pelos estudos elaborados pelo Comitê Energético da Região Centro-Sul (CORESP - 1966) o custo de operação (excluído o consumo de água) de uma eclusa de 142 m de comprimento por 12,10 m de largura, explorada sem interrupções seria de 75.000 dólares por ano, correspondendo 25.800 dólares a despesas de manutenção e operação de equipamento móvel (2,5% do custo total), 15.000 dólares para despesas com a obra civil e 8.200 dólares para despesas diversas (consumo de energia, etc.). Êstes custos, estabelecidos com base em custos norte-americanos, parecem exagerados. Os técnicos da 7a. Diretoria do D.N.P.V.N., revendo êstes preços, obtiveram um custo operacional para aquelas obras de NCr$ 150.800,00 por ano (DNPVN - 1967).

Para eclusas com câmaras de 85 metros de comprimento por 12 de largura, na França, estima-se uma despesa total anual (exceto consumo de água) de 12.000 dólares (AUBERT - 1962).

Para as eclusas do rio Illinois com 360 x 33 metros de câmara a serem construídas, foi adotado, no projeto, uma despesa anual de 57.000 dólares (manutenção e operação) (SANTINA e WESLER - 1964).

3.2 - Elevadores verticais

3.2.1 - Pessoal

Os elevadores verticais requerem para operação e manutenção, uma mão de obra bem mais qualificada que as eclusas. A complexidade dos sistemas mecânicos dos elevadores, qualquer que seja o tipo (funicular, flutuante ou hidráulico), exige em permanência, na obra, mecânicos especializados em equipamentos pesados. Deve-se, porém, ter em conta que nos aproveitamentos múltiplos, sobretudo nos que geram energia hidroelétrica, há outros equipamentos tão complexos ou mais que os elevadores de embarcação, sendo por isto o problema de operadores menos agudo que nos canais quando a obra de transposição é, por assim dizer, isolada.

Segundo a experiência alemã adquirida nos quatro elevadores em funcionamento, com operação regular de 24 horas por dia (três turnos de serviço), é necessário o seguinte pessoal fixo para operar um elevador vertical:

1 chefe de operação e manutenção
3 operadores-mecânicos chefes
6 mecânicos auxiliares.

Os mecânicos auxiliares têm, como função, garantir a manutenção e lubrificação permanente das partes móveis, um em cada extremo da obra.

Como complemento para movimentação das chatas sem propulsão e auxílio nos desmembramentos deve ser previsto o mesmo pessoal indicado para as eclusas.

Êste pessoal é menor que o empregado nos antigos elevadores, devido aos comandos à distância, à maior mecanização das operações, etc. Como exemplo de pessoal necessário nas obras antigas, podemos citar o elevador

de Fontinettes (DUMAS - 1957) onde eram empregados para operação em 12 horas por dia (um único turno):

1 mecânico chefe, no pôsto de comando central
1 mecânico para comando das portas de montante
1 mecânico para comando das portas de jusante
2 auxiliares para comando dos cabrestantes que introduzem as barcaças na câmara
1 ecluseiro para operação da eclusa de guarda
1 auxiliar para manutenção e lubrificação.

O elevador de La Louvières, porém, é operado 12 horas por dia apenas por um chefe-mecânico e dois mecânicos auxiliares (GENARD e DENIL - - 1902).

3.2.2 - Manutenção, conservação e reparos

As despesas de manutenção, conservação e reparos nos ascensores, segundo a experiência alemã, são cêrca de 50% a mais que as das eclusas de alta queda. Em relação ao custo das obras, estas despesas podem ser estimadas da ordem de 1,2% ao ano (como verificado nos primeiros anos de operação do elevador Henrichenbourg II).

Os elevadores mais antigos como os de Fontinettes e La Louvières têm despesas anuais mais elevadas, atingindo cêrca de 2% ano podendo chegar a 3% como no elevador Henrichenbourg I (DE MAS - 1904).

3.2.3 - Consumo de energia

Todos os tipos de elevadores verticais, até hoje construídos, são "equilibrados" de tal forma que o consumo de energia para as operações é reduzido ao necessário para vencer as resistências passivas (em parte) e garantir os sistemas de segurança e manobra.

A movimentação vertical é, em geral, obtida pela variação de pêso da cuba, através da modificação do volume d'água contido na câmara, o que conduz a um consumo d'água de algumas centenas de metros cúbicos por passagem, desprezível como despesa de operação nos aproveitamentos múltiplos.

O consumo de energia por passagem nos elevadores modernos é da ordem de 20 kwh, incluindo a energia utilizada para a operação das portas e demais equipamentos móveis, o que conduz a um consumo anual de 20 E_1 E_2 N kwh por ano.

O elevador de Fontinettes tinha instalado equipamentos correspondentes a um total de 110 HP e o de Henrichenbourg II a cêrca de 250 HP.

3.2.4 - Consumo de energia para movimentar as embarcações desprovidas de sistema de propulsão próprio

O mesmo consumo de energia previsto para as eclusas é previsível para os elevadores verticais, sendo de se notar que o comprimento da câmara é, em geral, menor nestas instalações.

3.2.5 - Custo total de operação

Estudos detalhados elaborados na França (AUBERT - 1962) mostraram que o custo total de operação de um elevador vertical funicular para vencer uma mesma queda que uma eclusa é cêrca de 3 vêzes maior (câmara de 85 x 12 m).

A despesa total de operação por ano, no elevador hidráulico de La Louvières, 25 anos após sua entrada em serviço (1902), não atingiam ainda 0,5% do custo do equipamento, sendo 80% dêste total relativo ao pessoal.

3.3 - Planos inclinados

Não existindo atualmente nenhum plano inclinado em funcionamento, torna-se difícil estimar o custo operacional dêste tipo de obra de transposição, podendo-se apenas referir as previsões feitas para as obras em construção.

O funcionamento dos planos inclinados equilibrados (funiculares) difere muito dos planos inclinados automotores e as despesas de operação nos dois casos devem ser bastante diversas. O deslocamento longitudinal ou transversal deve também influir consideràvelmente nos custos operacionais.

3.3.1 - Pessoal

O pessoal necessário para operar um plano inclinado funicular,

com comando centralizado, é, pràticamente, o mesmo de um elevador vertical, acrescido de um encarregado de manutenção da via permanente, com um ou dois auxiliares (dependendo da extensão da mesma); um mecânico auxiliar deverá acompanhar a cuba, para assegurar a operação de emergência.

Para os planos inclinados automotores, com o comando localizado no veículo, o pessoal deverá ser mais numeroso: além do operador-condutor e de dois auxiliares que acompanham o movimento da cuba, haverá necessidade de, pelo menos, um auxiliar em cada acesso. O conjunto das operações deverá ser comandado por um encarregado geral, ligado por rádio-comunicação aos seus subordinados distribuídos ao longo da obra.

Assim, para um plano inclinado automotor com funcionamento ininterrupto, deverá ser previsto, no mínimo, o seguinte pessoal (um único veículo automotor):

1 chefe de operações
3 encarregados gerais
3 operadores-condutores
12 mecânicos auxiliares
3 auxiliares de manutenção da via permanente.

Para o plano inclinado de Krasnoyarsk são previstos 40 funcionários (incluindo o pessoal administrativo). O número maior que o indicado acima deve-se, em parte, à grande extensão da obra (cêrca de 1.500 metros) e ao sistema rotativo para mudança de rampa do veículo automotor.

Os trabalhos de desmembramento dos comboios e a colocação de chatas nas câmaras podem ser executados pelos auxiliares que, necessàriamente, devem ser mantidos nos acessos.

3.3.2 - Manutenção, conservação e reparos

De um modo geral, pode-se estimar que estas despesas para os planos inclinados funiculares são pouco mais elevadas que de um elevador funicular equivalente, podendo ser adotado um valor da ordem de 1,5% do custo inicial da obra, por ano.

Deve-se notar que a via permanente, pròpriamente dita, não acarreta despesas de manutenção proporcionais à sua extensão e que, portanto,

sob êste ponto de vista, não há uma diferença apreciável entre as obras longitudinais e transversais. O comprimento total dos cabos difere bastante num e noutro caso, advindo dai maiores despesas de manutenção para as obras longitudinais (em condições comparáveis).

Os planos inclinados automotores, com maior complexidade mecânica, terão despesas de manutenção, conservação e reparos mais elevadas que os funiculares. Não parece razoável considerá-las, porém, como função do custo total das obras, sendo mais lógico admitir uma parcela proporcional ao custo do veículo, por exemplo, da ordem de 10% ao ano (valor que parece razoável para um veículo de enorme tonelagem, como é o caso) e outra proporcional ao custo do restante da obra, da ordem de 0,2 a 0,5% por ano.

3.3.3 - Consumo de energia

Nos planos inclinados funiculares, a energia consumida é da mesma ordem de grandeza da consumida nos elevadores verticais, acrescida de 10 a 20% devido à resistência passiva dos cabos sôbre as polias-guias. Aliás, as resistências passivas dos cabos quando não estirados, podem ser suficientes para suportar o pêso total da cuba, no caso de uma ruptura na parte superior do cabo com o veículo na parte inferior do plano inclinado, como foi provado para o plano inclinado de Ronquières (DE RIES - 1962).

O consumo de água, nestes planos inclinados, pode também ser desprezado no cálculo dos custos operacionais, nos aproveitamentos múltiplos, da mesma forma que nos elevadores verticais.

Os planos inclinados automotores têm um consumo de energia considerável, proporcional ao pêso da cuba e à altura total do desnível.

Nos projetos elaborados no início do século, era sistemàticamente prevista a recuperação na descida de parte da energia gasta na subida, sob forma de corrente elétrica produzida por geradores acoplados com as rodas do veículo automotor. Apesar do baixo rendimento do sistema recuperador e da dificuldade de utilizar a energia assim gerada, no plano inclinado de Krasnoyarsk, movimentado por motores elétricos alimentados por fios "troleys", é prevista recuperação de energia elétrica.

Nos planos inclinados automotores pode-se obter uma economia considerável de energia na subida da cuba, reduzindo-se o volume d'água na

câmara para a passagem de embarcações de menor calado ou operando as cubas vazias quando forem movimentadas sem embarcações. A redução de consumo de energia assim obtida pode ser grande se o tráfego nos dois sentidos não é equilibrado (embarcações sistemàticamente descarregadas na subida). Sòmente, porém, a experiência que será obtida no plano inclinado russo, projetado para funcionar desta forma, poderá indicar se, de fato, a economia assim realizada compensa as complicações resultantes da movimentação do veículo com pesos variáveis.

Admitindo-se um rendimento do sistema propulsivo do veículo de 0,60, o consumo de energia por metro de desnível a ser vencido em uma rampa de inclinação i , será, em kwh de $\frac{\pi \times 2,72}{i \times 0,60}$, com π o pêso total do veículo em toneladas. Por ano, o consumo de energia (sem considerar eventuais recuperações) será então de:

$$\frac{E_1 E_2 N}{2} \times \frac{2,72\ \pi}{0,60\ i} H \quad (kwh)$$

3.3.4 - Consumo de energia para movimentar as embarcações desprovidas de sistema propulsor próprio

O mesmo consumo de energia referido para as eclusas é de se prever para os planos inclinados.

3.3.5 - Custo total de operações

Os estudos elaborados na França referidos para os elevadores verticais (AUBERT - 1962) indicaram, para uma mesma capacidade de tráfego, ser as despesas de operação de um plano inclinado funicular da ordem de quatro vêzes as despesas de operação de uma eclusa para vencer a mesma queda(câmaras de 85 x 12 metros).

3.4 - Rampas hidráulicas

No estágio de estudo em que se encontram atualmente as rampas hidráulicas, não é possível ainda determinar todos os problemas dêste tipo de obra de transposição de desnível, e, portanto, seu custo operacional.

Em princípio, o custo de operação das rampas hidráulicas não deverá diferir, substancialmente, do dos planos inclinados automotores, devido à semelhança que apresentam sob o ponto de vista operacional.

O pêso da cunha d'água mais a máscara e o respectivo trator sendo menor que o da cuba automotora, o consumo de energia previsível para êste novo modêlo de obra de transposição deverá ser menor que o dos planos inclinados. Os problemas de vedação da máscara contra a superfície do canal, e, mesmo, a perda d'água resultante deverão, porém, compensar esta menor despesa.

As estimativas de custo operacional, elaboradas na França, indicam uma despesa anual, para rampas hidráulicas capazes de receber um automotor tipo RHK, cêrca de três vêzes superior a de uma eclusa para o mesmo tipo de embarcação.



CAPÍTULO V

CARACTERÍSTICAS PECULIARES ÀS OBRAS BRASILEIRAS

1 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os projetos das obras de transposição de desnível para os aproveitamentos múltiplos envolvem um grande número de aspectos, sendo sobretudo complexos para as aquavias em regiões onde não há uma tradição de hidroviária que defina certas características.

Para o projeto das poucas obras executadas no Brasil, têm sido seguidas várias orientações diferentes, baseadas em geral, na navegação européia, que é mais conhecida nos nossos meios técnicos. Há, porém, um evidente interêsse em fixar, se não uma padronização, ao menos uma diretriz comum, que conduza a uma certa uniformidade nas diversas rêdes. Obter-se-á, desta forma, considerável economia nos projetos e, sobretudo, maiores facilidades para as futuras interconexões.

Como é indicado nos capítulos anteriores, o transporte fluvial, nos últimos anos, vem sofrendo, em todo o mundo, uma grande evolução. A falta de uma navegação ativa no Brasil possibilita o planejamento das novas vias dentro destas modernas tendências, não parecendo justo que duas ou três eclusas existentes e três ou quatro em construção, projetadas quase tôdas com base em conceitos ultrapassados, devam impor as características de tôdas as obras que venham a ser feitas, causando as mesmas dificuldades, para a adoção de embarcações de alto rendimento, constatadas em outros países.

As condições nacionais, como referimos na introdução, exigem a maior economia nas obras destinadas à navegação. Esta economia, porém, não deve ser de molde a impedir a implantação do novo meio de transporte, sem o que, não só todo o investimento feito será perdido, mas perdido será também o recurso do transporte econômico por flutuação.

A falta de garantia de rentabilidade a curto prazo, nos investimentos destinados à navegação, conduz à procura de soluções que permitam o dispêndio progressivo, à medida das exigências de tráfego. Infelizmente, tais soluções não são realizáveis para as obras de transposição de desnível, em geral. As dificuldades técnicas para ampliar a capacidade de tráfego das eclusas e ascensores exigem, quase sempre, quando tal é necessário, duplicação das obras, com custos que podem ser proibitivos, sobretudo se esta eventualidade não tiver sido prevista no projeto inicial da barragem.

A implantação da navegação interior através de aproveitamentos múltiplos de grandes cursos d'água, sem dúvida a forma mais adequada na atual conjectura nacional, conduz à obras de transposição de grande altura devido à tendência de concentrar a produção de energia elétrica em usinas de elevada capacidade. Esta tendência é favorecida no Brasil pela fraca densidade demográfica que permite, ainda, a inundação de áreas consideráveis. As obras de grande desnível, mesmo representando uma pequena parcela do custo total do aproveitamento múltiplo, são muito custosas e exigem técnicas construtivas avançadas.

Êstes fatos todos levam à conclusão que as obras de transposição a serem construídas entre nós nos próximos anos não podem ser simples reproduções de obras executadas em outros países, onde as condições são, sem dúvida, diversas das nossas.

Na Europa Ocidental, a moderna navegação interior teve que ser introduzida na densa rêde de hidrovias já existente. Os comboios de empurra surgiram há menos de 15 anos, quando as grandes obras de canalização, como as dos rios Reno, Ródano, Neckar, Mosele, etc. estavam em realização ou concluídas. As barragens dêstes aproveitamentos múltiplos têm pequenas alturas, devido aos problemas de inundação. Os desníveis de 20 a 25 m do rio Ródano são excepcionais neste panorama, sendo muito poucas as obras previstas com quedas superiores a êstes valores (as grandes diferenças de nível a serem vencidas na Europa Ocidental, estão tôdas localizadas em canais artificiais).

Os comboios de empurra que trafegam na Europa tiveram de ser adaptados às obras existentes, perdendo assim, parte de suas vantagens. Em conseqüência, durante muitos anos ainda, as obras de transposição continuarão a ser projetadas com dimensões que refletem a situação do passado, visan

do, as antigas frotas ainda em tráfego e as novas embarcações construídas para as velhas eclusas. Sòmente os rios Reno e Danúbio, onde a existência, até há poucos anos, de rebocadores com rodas laterais levou à adoção de eclusas com grandes câmaras e que são navegados em longas extensões em corrente livre, poderão comportar grandes comboios. Nas demais vias importantes, prevalecerão as dimensões tipo R.H.K. e, nas menos importantes, outras ainda menores, como as adotadas na França para dimensionamento do plano inclinado de Arzviller e do canal do Norte (BENGHOUZI - 1966). É de se notar que as embarcações pequenas têm ainda função econômica na distribuição de carga na densa rêde de canais europeus; isto porém não significa que possam ser apropriadas para outras condições.

A experiência russa, e de um modo geral, dos países socialistas, não pode tão pouco servir de base para o planejamento de nossa futura navegação interior, apesar das barragens da rêde do rio Volga, e, principalmente, da região siberiana, terem condições e dimensões muito próximas das obras brasileiras. A economia dirigida, que impera nestes países, impõe uma coordenação dos transportes que independe das leis de livre concorrência, conduzindo à premissas, para a escolha das características das obras, que não podem ser adaptadas às nossas condições. Assim, subsiste na Rússia, um intenso tráfego de passageiros (cêrca de 700.000 passageiros transitaram em .. 1965 pelo pôrto fluvial de Leningrado) ao lado de um importante transporte de madeira por flutuação (77 milhões de toneladas, num total de 270 milhões transportados em 1965 nas vias fluviais) (LECLERQ - 1957). Daí resultam as grandes dimensões adotadas nas eclusas naquele país (em geral, 30 m de largura, 190 m de comprimento, duas eclusas paralelas em cada obra). Êstes tipos de transporte não ocorrerão, certamente, nas futuras hidrovias brasileiras.

Refletem, ainda, as vias fluviais russas, tradições seculares, em particular, decorrentes do uso de grandes automotores projetados para transitar nos enormes lagos naturais que representam parte considerável da extensão total das vias interiores. A navegação por empurra poude ser fàcilmente introduzida na rêde existente na Rússia não significando, porém, que as obras de transposição apresentem características ideais para os comboios.

Quanto à América do Norte, cujas hidrovias, sob o aspecto físico, são as que mais se aproximam das previstas para o Brasil (é extraordinária, por exemplo, a semelhança, do ponto de vista hidráulico, entre o rio Paraná em Jupiá e do rio Columbia em McNary), as condições econômicas ali vigentes são muito diversas das do Brasil. De um modo geral, as obras de trans

posição construídas recentemente, exigem investimentos incompatíveis com a maioria das hidrovias projetadas entre nós. As mais antigas, digamos com mais de 30 anos, que corresponderiam talvez às condições de certas regiões brasileiras, destinavam-se a tráfego de embarcações (rebocadores e navios de passageiros a vapor) hoje em dia ultrapassadas. Além do mais, as obras atuais resultaram, como aliás em todos os países em que há navegação intensa, de uma lenta evolução, sobretudo no que diz respeito às dimensões das embarcações , que não é aplicável ao caso brasileiro.

Como exemplo característico de como é colocado o problema das obras de transposição nos Estados Unidos, podemos apontar as eclusas superiores do rio Tennessee: Fort Loudoun, inaugurada em 1943, Watts Bar em 1941 e Chickamauga em 1937. Nestas eclusas que têm câmaras com 18 m de largura e 110 m de comprimento (c.e.t. superior a 9.000.000 ton anuais), ainda hoje, não foi atingido um tráfego médio de 3.000.000 ton por ano. Apesar dêste fato, as referidas eclusas estão sendo duplicadas por outras, com dimensões iguais às das barragens de jusante (câmaras com 33 m por 180 m). Para o rio Columbia e seu afluente Snake, com 600 km de navegação isolada das demais rêdes fluviais do país, onde vêm sendo construídas algumas das mais altas eclusas do mundo (230 m de desnível vencidos em apenas oito patamares) as eclusas terão, salvo em Bonneville, construída anteriormente, 26,50 m de largura por 206 m de comprimento, exigindo, portanto, elevadíssimos investimentos que só a garantia de rentabilidade pode justificar.

Não podemos, tão pouco, utilizar da experiência de países sub-desenvolvidos ou em vias de desenvolvimento: em nenhum dêles encontramos grandes vias fluviais canalizadas por meio de aproveitamentos múltiplos da grandiosidade dos que vêm sendo concebidos e construídos entre nós.

Não há dúvida, porém, que o exemplo norte-americano é mais recomendável, quanto mais não seja, por ter sido o que deu origem à navegação por empurra e pela elevadíssima rentabilidade que a navegação fluvial atinge naquele país.

Evidentemente, não é possível desprezar a experiência acumulada em tantos anos de emprêgo do transporte hidroviário. Trata-se de adaptar esta experiência a novas condições, especialmente as que resultam do progresso dos transportes terrestres concorrentes. Deve-se ter em conta, primordialmente, que a navegação fluvial no Brasil deverá ser implantada, com o menor custo possível, porém, para competir com rodovias pavimentadas e estradas de

ferro eletrificadas.

2 - PRINCÍPIOS BÁSICOS

As futuras rêdes de navegação fluvial do Brasil incluirão obras de transposição com as mais diversas alturas de queda. Tudo indica, porém, que haverá um grande número com forte desnível e, tendo-se em vista a definição de diretrizes comuns, estas deverão servir de base para a fixação das características das demais, por serem as de maior custo.

Não deve ser também perdido de vista que, em vários rios, foram construídas barragens sem previsão de passagem para as embarcações. A inclusão dêstes rios nas rêdes navegáveis exigirá obras com condições muito especiais. Nesta situação encontram-se rios como o São Francisco (barragem de Paulo Afonso), Grande (barragens de Furnas e Peixoto), Parnaíba (barragem de Cachoeira Dourada), Paraíba (barragem de Funil, Ilha dos Pombos), etc., que, muito provàvelmente, no futuro, serão trafegados.

Deve-se visar, portanto, sobretudo obras de transposição de desnível, com quedas de mais de 15 ou 20 m, podendo ultrapassar eventualmente 40 ou 60 m. Por estas obras deverão poder transitar grandes comboios, pois as excelentes condições que serão obtidas nos extensos reservatórios das barragens de alta queda, em rios volumosos com pouca declividade, levarão, à concentração das cargas em grandes conjuntos, reduzindo o custo do transporte. O crescimento do tráfego será, todavia, lento, durante um período mais ou menos longo, salvo em algumas vias de condições excepcionais como os rios Tietê, Paraná e Jacui.

As cargas embarcadas serão as habituais na navegação fluvial: cereais a granel, fertilizantes, minérios, combustíveis líquidos, produtos químicos, materiais de construção, devendo ser movimentadas à grande distância. Haverá, certamente, transporte preferencial em um sentido, provàvelmente de matérias primas, sendo de se esperar uma especialização considerável nas embarcações e movimentação, sobretudo, entre pontos fixos (centros produtores e centros consumidores ou distribuidores). O custo elevado das embarcações de grande porte fará com que as mesmas pertençam a um número restrito de proprietários, constituindo frotas de transporte público, ou a consumidores e produtores que são os maiores interessados em reduzir os preços do transporte.

A navegação por empurra adapta-se muito bem a tôdas estas condições e não resta dúvida que será o sistema de navegação adotado devendo pois, servir comobase para o projeto das obras de transposição.

Podemos prever a passagem de grandes comboios por eclusas e ascensores com câmaras de dimensões relativamente restritas, desde que sejam feitos os necessários desmembramentos. Evidentemente, esta técnica conduz a um aumento no tempo de passagem dos comboios, cujas dimensões, naturalmente, se adaptarão a êste fato. Nos grandes estirões navegáveis formados pelas retenções, o trânsito será livre e rápido e as perdas de tempo, nas raras obras de transposição, poderão ser fàcilmente absorvidas no custo total dos fretes. Esta possibilidade não tem sido devidamente explorada em outras regiões, por não se apresentarem, como ocorrerá entre nós, condições favoráveis.

Dentro desta ordem de idéias parece razoável adotar, para os aproveitamentos múltiplos nas vias em que não se prevê, inicialmente, um tráfego muito intenso, uma obra de implantação da via navegável, com características modestas que permitam, porém, as passagens parceladas das chatas dos grandes comboios em condições satisfatórias. O custo desta obra, especialmente se adotados os princípios indicados no Capítulo II, poderá ser bem reduzido e o investimento feito para sua construção, poderá ser admitido como "investimento social", ou seja, sem pretensão de ser amortizado diretamente em curto prazo.

É, contudo, essencial, que seja previsto desde o início uma segunda etapa obtida pela construção de uma nova obra de transposição destinada a receber a navegação que vier a se desenvolver graças à obra de implantação. Deverá ser elaborado o projeto completo desta segunda obra que será feita quando saturada a obra pioneira. Se possível, deverão ser deixadas no aproveitamento múltiplo as facilidades necessárias à construção futura (por exemplo, a cabeça da eclusa se a mesma fizer parte da barragem) para garantir a exeqüibilidade da obra dentro de condições econômicas.

A solução apontada apresenta, além do baixo custo inicial, uma série de vantagens entre as quais sobressae a possibilidade de justificativa econômica da segunda etapa, com base em dados reais e relação benefício-custo, com escolha do momento oportuno para a duplicação da passagem. A existência de duas obras de transposição paralelas, quando o tráfego fôr intenso, será extremamente benéfica: pela obra maior passarão, com grande rapi

dez, os comboios inteiros, sem desmembramento e pela menor, as embarcações pequenas, inclusive os automotores e eventuais barcos de passageiros, pràticamente sem qualquer espera. As embarcações de recreio, que certamente surgirão em grande número com o desenvolvimento econômico do país, tal qual se verifica nos Estados Unidos atualmente, não causarão quase transtôrno ao tráfego comercial. A existência de dois equipamentos de transposição possibilitará grande flexibilidade de operação e facilidades para a manutenção, que poderá ser realizada sem interrupções de tráfego.

Outro aspecto que também não deve ser desprezado é que o usuário da via, sentindo as vantagens da construção da nova etapa, poderá arcar com parte dos seus custos, através de taxas especiais, como vem sendo feito nas obras de modernização da canalização do rio Sena na França, reduzindo desta forma, o investimento governamental.

Dentro de um exame global dos problemas comuns às diversas obras de transposição futuras, cabe referir, no que diz respeito ao planejamento geral da canalização, ao interêsse em adotar alturas de queda iguais nas diversas barragens, a fim de padronizar os equipamentos e tipos de obras. Para a navegação, há sempre vantagem em concentrar o mais possível os desníveis; do ponto de vista do custo da obra de transposição, contudo, deve-se procurar não ultrapassar 30 a 35 m de queda, que é atualmente o limite econômico de uma eclusa simples. Acima dêste limite, sempre do ponto de vista do custo da obra de transposição, são mais vantajosas as quedas superiores a .. 50 m.

Pelo que se constata nos capítulos anteriores, as oscilações de nível d'água causam sérias dificuldades para a navegação e obras de transposição. Sempre que possível, a regularização das descargas deverá ser obtida por reservatórios nos afluentes, deixando-se para as retenções da canalização apenas as oscilações necessárias à operação das usinas.

Finalmente, como princípio geral, deve-se adotar o de levar a navegação ao pé das barragens, a fim de reduzir o custo das obras de acesso e facilitar a operação das eclusas e ascensores. Os canais deverão ser o mais livre possível, sendo sempre recomendável a limpeza prévia dos reservatórios.

3 - TIPOS E DIMENSÕES DAS EMBARCAÇÕES

Não se pode esperar, nas futuras hidrovias brasileiras, uma padronização absoluta de embarcações. Todavia, como não existe pràticamente uma frota inicial e havendo a possibilidade dos comboios de empurra serem organizados com número variado de elementos, dependendo das condições da via , somos levados a crer que seja possível conseguir uma certa padronização de dimensões para chatas e automotores.

Esta padronização é importante por influir diretamente no aproveitamento da câmara das obras de transposição, sendo, também, de grande interêsse para a melhor utilização das instalações portuárias, canais navegáveis e para a construção naval.

A relação mais econômica entre comprimento e bôca é pràticamente a mesma nas chatas e automotores no que diz respeito à estrutura das embarcações. Quanto ao rendimento propulsivo, para os automotores, a referida relação influe consideràvelmente enquanto que para as chatas pouca influência tem, pois o que importa são as dimensões totais do comboio. Assim, parece possível adotar bôcas e comprimentos idênticos para ambos os tipos de embarcações. Aliás, verifica-se que muitas chatas de empurra têm dimensões semelhantes a automotores (tabelas 8 e 12).

Os rebocadores de empurra são, em geral, mais curtos que as chatas e às vêzes, mais largos (tabela 11). Desde, porém, que a largura seja suficiente para colocar o sistema propulsor (duas hélices no mínimo), nada impede que tenham a mesma bôca. Para o comprimento, só será econômico adotar igual ao das chatas, quando o rebocador fôr misto, ou seja, destinado à propulsão e carga ou passageiros. Esta solução pode ser interessante para comboios pequenos, como assinalamos. No que se refere ao aproveitamento da câmara das eclusas e ascensores, os rebocadores menores que as chatas e automotores têm pouca influência, como se conclue do exposto no Capítulo III.

A padronização das dimensões das embarcações pode ser obtida mediante a concessão de certas vantagens, como incentivos fiscais ou prioridades de passagem pelas obras de transposição. De tôda a forma, uma "política" de padronização deverá ser adotada logo, a fim de que já seja seguida para as primeiras unidades construídas para as novas hidrovias.

A fixação de dimensões padronizadas para as embarcações fluviais brasileiras foge aos objetivos dêste trabalho, porquanto envolve uma grande gama de problemas, ligados à construção naval, economia dos transportes, etc. Julgamos que deva ser dada uma atenção especial a êste assunto, o mais ràpidamente possível, a fim de permitir o correto dimensionamento das obras atualmente em estudo.

Como indicação, visando principalmente fixar valores para as considerações que serão feitas a seguir, podemos considerar as dimensões básicas de 50 m para o comprimento, 8 m para a bôca e 3,50 m para o calado máximo. Estas dimensões resultam de uma análise das adotadas em outros países, visando chatas e automotores com deslocamento que não sejam tão elevados, que dificultem a carga e descarga total em um único pôrto e ao mesmo tempo, conduzam a um razoável rendimento econômico. Levam em conta, também, até certo ponto, as dimensões das eclusas existentes e projetadas, sem que tenha sido, todavia, possível harmonizar totalmente as obras construídas (Fandango, Bariri e Barra Bonita).

É interessante comparar êstes valores com as seguintes dimensões de embarcações-tipo que serviram para dimensionamento e estudo das obras de transposição no Brasil e Argentina (estas últimas sendo citadas, tendo em vista as possibilidades de interligação do Alto e Médio Paraná, através do contôrno de Sete Quedas e a integração do rio Uruguai na rêde do Estado do Rio Grande do Sul):

- Aproveitamento Hidroelétrico de Barra Bonita (DAEE - SP - 1956)
  Estudo elaborado pelo Serviço do Vale do Tietê.
  Barcas, chatas ou comboios: Comprimento: 130 m; Bôca: 11 m; Calado máximo: 2,50 m; Capacidade de carga: 2.000 ton.

- Estudo para o Melhoramento dos Rios Paranapanema - Tibagi e Ivinhema - Brilhante (C.I.B.P.U. - 1958)
  Elaborado por "Deerns, Planejamento e Engenharia S.A."

  Rio Paranapanema (regularizado)

  a) Automotor tipo "Gustav Koenigs": Comprimento: 67 m; Bôca: 8,20 m; Calado máximo: 2,20 m; Capacidade de carga: 800 ton; Potência: 400 HP.

  Rio Paranapanema (canalizado)

  a) Chatas de empurra: Comprimento: 53,50 m; Bôca: 8 m; Calado máximo: 3,50m; Capacidade de carga: 1.150 ton.

b) Rebocador de empurra: Comprimento: 40 m; Bôca: 8 m; Calado máximo: 2,50m; Potência: 1.200 HP.

c) Comboios de empurra - Formação R,2,2,2,: Comprimento: 200,50 m; Largura: 16 m.

Rio Tibagi (canalizado)

Mesmas embarcações do rio Paranapanema com comboio de empurra com formação R,2,2 : Comprimento: 147 m; Largura: 16 m.

Rio Ivinhema-Brilhante (regularizado)

a) Automotor tipo "Beurtschip-2": Comprimento: 25 m; Bôca: 4,80 m; Calado máximo: 1,50 m; Capacidade de carga: 135 ton; Potência: 90 HP.

b) Automotor tipo "Campinois": Comprimento: 55 m; Bôca: 7,50 m; Calado máximo: 2 m; Capacidade de carga: 585 ton; Potência: 150 HP.

Rio Ivinhema-Brilhante (canalizado)

a) Automotor tipo "Campinois": Comprimento: 55 m; Bôca: 7,50 m; Calado máximo: 3 m; Capacidade de carga: 800 ton; Potência: 250 HP.

- Plano Hidroviário do Estado do Rio Grande do Sul (DEPREC - 1961)

1a. etapa

a) Automotor tipo "O. Teubert": Comprimento: 53 m; Bôca: 6,29 m; Calado máximo: 2,50 m; Capacidade de carga: 550 ton.

b) Chatas de empurra: Comprimento: 39 m; Bôca: 7,92 m; Calado máximo: 2,50m; Capacidade de carga: 650 ton.

c) Rebocador de empurra: Comprimento: 20 m; Bôca: 6 m; Calado máximo: 1,50m; Potência: 500 a 800 HP.

d) Comboios de empurra - Formação R,1,1,1 : Comprimento: 137 m; Largura: 15,84 m.

2a. etapa

a) Automotor tipo "O. Teubert"

b) Chatas de empurra: Comprimento: 39 m; Bôca: 7,92 m; Calado máximo: 2,80 m; Capacidade de carga: 710 ton.

c) Rebocador de empurra: Comprimento: 45 m; Bôca: 11 m; Calado máximo: 2 a 2,50 m; Potência: 3.000 HP.

d) Comboios de empurra - Formação R,2,2,2 ou R,2,2,2,2,2,2 : Comprimento: 162 ou 279 m; Largura: 15,84 m.

- Estudos Energéticos da Região Centro-Sul, Comitê de São Paulo (CORESP - 1966)

Rio Tietê

a) Chatas de empurra: Comprimento: 56 m; Bôca: 11,50 m; Calado máximo: 3 m; Capacidade de carga: 1.770 ton.

b) Rebocador de empurra: Comprimento: 30 m; Bôca: 11,50 m; Calado máximo: 3 m; Potência: 900 HP.

c) Comboios de empurra - Formação R,1,1 : Comprimento: 142 m; Largura: 11,50m.

- Estudo Sumário da Canalização para Navegação do rio Tietê (D.N.P.V.N.-1967)

Rio Tietê

a) Chatas de empurra: Comprimento: 57 m; Bôca: 11,50 m; Calado máximo: 3,50m; Capacidade de carga: 1.780 ton.

b) Rebocador de empurra: Comprimento: 26 m; Bôca: 11,50 m; Calado máximo: 3m; Potência: 900 HP.

c) Comboios de empurra - Formação R,1,1 : Comprimento: 140 m; Largura: 11,50m.

- Estudo Hidráulico - Desenvolvimento da Bacia do Rio Paraíba do Sul (IBRA-1967)

Rio Paraíba

a) Automotor: Comprimento: 80 m; Bôca: 9,50 m; Calado máximo: 2,50 m; Capacidade de carga: 1.350 ton.

b) Chatas de empurra: Comprimento: 60 m; Bôca: 12 m; Calado máximo: 2,50 m; Capacidade de carga: 1.500 ton.

c) Rebocador de empurra: Comprimento: 60 m; Bôca: 12 m; Calado máximo: 2 m.

d) Comboio de empurra - Formação R,2,2 : Comprimento: 180 m; Largura: 24 m.

- Estudo para o Melhoramento dos "Rápidos do Apipe", elaborado pelo Ministério das Obras Públicas da República Argentina (MONTI e PRESTIEN - 1965)

Rio Paraná

a) Chatas de empurra: Comprimento: 59,44 m; Bôca: 10,94 m; Calado máximo: 2,70 m; Capacidade de carga: 1.000 ton.

b) Rebocador de empurra: Comprimento: 44,12 m; Bôca: 11 m; Calado máximo: 2,50 m; Potência: 1.250 HP.

c) Comboios de empurra - Formação R,2,2,2 : Comprimento: 222,44 m; Largura: 21,88 m.

É de se notar que as embarcações-tipo, adotadas para o rio Tietê, refletem as dimensões das eclusas construídas naquele rio e que foram projetadas há mais de 13 anos para o tráfego de embarcações do tipo tradicional europeu. As embarcações-tipo do Rio Grande do Sul refletem, também, até certo ponto, as dimensões da eclusa do Fandango. Em ambos os casos, não foram previstos desmembramentos dos comboios, resultando, para as chatas do rio Tietê, bôcas grandes e para as do rio Jacui, comprimentos muito curtos (o que é pouco recomendável, dado que o preço das chatas por unidade de carga diminue

com o comprimento, pois, em geral, ao menos um extremo é carenado).

A embarcação-tipo argentina é igual às que trafegam em corrente livre, no Baixo Paraná, tendo, talvez por êste motivo, bôca exagerada, em relação ao comprimento (tomando-se como têrmo de comparação as chatas norte-americanas). O comboio-tipo do rio Paranapanema, adotado para o Alto Paraná pela C.I.B.P.U., é semelhante ao modêlo mais comum no rio Monongahela (Estados Unidos).

No que diz respeito ao calado, parece conveniente, ao menos para considerações sôbre as dimensões das eclusas, adotar 3,50 m que é o máximo previsto nos estudos citados. Êste valor é elevado: nos Estados Unidos os calados padrões são de 7,50 pés e 9 pés (eventualmente 10,50 pés) e, na Europa, nas grandes vias, em geral, da ordem de 2,50 m; na Rússia, porém, vêm sendo adotados calados de 3,50 m ou mesmo maiores (3,60 e até 5 m) (LECLERQ - 1967). Evidentemente, não é de se esperar que seja possível garantir, em tôdas as futuras hidrovias brasileiras, profundidades que permitam o trânsito com 3,50 m. Como, porém, já referimos, é relativamente fácil aprofundar as vias para aumentar o calado admissível, sendo por êste motivo recomendável adotar profundidades mínimas grandes nas obras de transposição, tendo em vista o futuro aumento de capacidade de tráfego.

Dentro da padronização indicada anteriormente, seria possível utilizar chatas e automotores com comprimento de 50 ou 100 m e bôcas respectivas de 8 ou 16 m. Ambas as dimensões (com calado de 3,50 m) satisfazem as recomendações do American Bureau of Shipping (A.B.S.) que estabelece, para rios, que a relação entre a bôca e o pontal não ultrapasse 6 e a relação entre o comprimento e o pontal não ultrapasse 20 (esta última relação podendo atingir 30).

As chatas, com 100 m de comprimento por 16 m de largura e ... 3,50 m de calado, teriam capacidade para transportar cêrca de 3.500 ton, o que parece muito elevada devido à dificuldade de obter-se um tal carregamento em único local (exceto, evidentemente, para certos tipos de mercadorias como minérios). Por êste motivo, não as consideraremos a seguir, porém nada impede que sejam adotadas em certas vias. Os automotores, com estas dimensões, também, apresentam a mesma desvantagem, sendo, apesar disto, de uso comum na Rússia (os automotores de grande gabarito do rio Volga têm 136 m de comprimento, 16,50 m de bôca, 3,50 m de calado e 3.000 ton de capacidade de carga).

As chatas de 50 m de comprimento por 8 m de bôca e calado máximo de 3,50 m, teriam, sendo do tipo "semi-integrado" as capacidades de carga aproximadas indicadas na tabela 21.

Tabela 21

CAPACIDADE DE CARGA DAS CHATAS SEMI-INTEGRADAS DE 50 x 8 m, COM PONTAL DE 3,80 m (Deslocamento em vazio - 160 m^3)

Calado	Capacidade de carga (ton).
2,00	550 ton
2,50	800 ton
3,00	1.000 ton
3,50	1.150 ton

Os rebocadores de empurra poderiam ter menos de 50 m de comprimento e 8 m de bôca. No caso de serem adotados rebocadores mistos (R.M.) teriam, para um calado de 3,50 m cêrca de 500 ton de capacidade de carga e para 2,50 m, 350 ton (dependendo da potência instalada). A potência dêstes rebocadores, para atingirem com o comboio velocidades em águas paradas de 12 km/hora seria aproximadamente de 0,202 HP por tonelada de carga do conjunto. Para tanto, porém, deverão ser construídos, dentro da moderna técnica, em particular, dispondo de hélices de grande diâmetro (30% ou 25% a mais que o calado normal), em túneis com tubos Kort e rotação apropriada.

Para calados de 2,50 e 3,50 m, os comboios mais prováveis formados com estas embarcações, seriam os indicados na tabela 22. É de se notar que é difícil instalar uma potência de mais de 2.500 HP em rebocadores com 8 m de largura. Para potências superiores, seria necessário empregar rebocadores com 16 m de bôca, para conservar a padronização.

Do ponto de vista do melhor aproveitamento das câmaras das obras de transposição, há interêsse em adotar-se número ímpar de chatas por fileira, o que permite formações com chatas laterais ao rebocador (formação 1 R1,3,3, por exemplo).

Durante o período de implantação da navegação e mesmo depois, para certas cargas, poderão trafegar automotores dentro da mesma padronização, com 50 m de comprimento e 8 m de largura e 2,50 m de calado, com capacidade de carga de cêrca de 600 ton (os automotores duplos do mesmo calado teriam cêrca de 1.360 ton de capacidade).

A comparação das dimensões sugeridas com as das eclusas fluviais existentes ou projetadas no Brasil e nos países vizinhos, mostra que as embarcações assim padronizadas poderão utilizar qualquer destas obras, evidentemente, com um aproveitamento menor que aquêle previsto para as embarcações-tipo de dimensionamento das mesmas.

Em particular, para as eclusas do rio Tietê, com 12 m de largura e 142 m de comprimento (148 m em Barra Bonita), estas embarcações correspondem a um aproveitamento das áreas das câmaras de menos de 53% no máximo previsível (comboio R,1 com 8 m x 100 m ao invés de R,1,1 com 11 m x 132). A utilização de rebocadores mais curtos, perfeitamente justificável no caso, permitiria elevar êste aproveitamento a pouco mais de 70% (comboio R,1,1 com chatas padrão e rebocador de 8 m de largura por 32 m de comprimento). Os comboios III e seguintes, só podem utilizar estas eclusas com desmembramento lateral, bem mais inconveniente que o transversal. As duas obras concluídas neste rio e mais uma em estágio adiantado de construção não justificam, porém, a escolha de dimensões padrão para tôda a futura rêde brasileira com base nas mesmas, do que redundaria prejuízos consideráveis para todo o conjunto.

Finalmente, devemos assinalar uma vantagem particular da padronização das chatas: será possível, desta forma, estabelecer tráfego mútuo entre diversos armadores, como é feito com vagões de estrada de ferro, do que resultará grande facilidade de operação e economia.

4 - CAPACIDADE DE TRÁFEGO

Como assinalamos, a capacidade de tráfego das obras de transposição é fator importante na economicidade do transporte fluvial. Se a capacidade da via fôr inferior ao mínimo exigido pelo custo das demais instalações de infra-estrutura (portos, silos e depósitos, estaleiros, ligações terrestres, etc.) não se implantará a navegação, pelo menos em base econômica. Esta consideração é de importância para o dimensionamento da obra de transposição "pioneira", que sugerimos para a implantação da navegação em vias onde

COMBOIOS TIPOS PADRONIZADOS

TABELA 22

TIPO	NÚMERO DE CHATAS	FORMAÇÃO	COMPRIMENTO (m)	LARGURA (m)	CALADO DE 2,50m		CALADO DE 3,50m	
					CAPACIDADE DE CARGA (ton)	POTÊNCIA (APROXIMADA) (HP)	CAPACIDADE DE CARGA (ton)	POTÊNCIA (APROXIMADA) (HP)
I	I	RM , I	100	8	1 . 150	250	1 . 650	330
II	2	RM , I , I	150	8	1 . 950	400	2 . 800	560
III	4	RM , 2 , 2	150	16	3 . 350	700	5 . 100	1 . 200
IV	6	RM , 2 , 2 , 2	200	16	4 . 950	1 . 000	7 . 400	1 . 500
V	8	I RM I , 3 , 3	150	24	6 . 550	1 . 300	9 . 700	2 . 000
VI	11	I R I , 3 , 3 , 3	200	24	8 . 100	1 . 600	12 . 650	2 . 500
VII	14	I R I , 3 , 3 , 3 , 3	250	24	11 . 200	2 . 300	16 . 100	3 . 300
VIII	14	I R I , 4 , 4 , 4	200	32	11 . 200	2 . 300	16 . 100	3 . 300
IX	18	I R I , 4 , 4 , 4 , 4	250	32	14 . 400	2 . 900	20 . 700	4 . 200

não é de se esperar um intenso tráfego de imediato.

A capacidade de tráfego efetiva da obra da "pioneira" deverá ser tal que, antes de ser atingida a saturação, a movimentação de carga justifique econômicamente a construção da obra "definitiva", de maior capacidade. Esta capacidade mínima que justifique a nova obra, pode ser determinada, com base nas considerações gerais do Capítulo IV; segundo os estudos elaborados pelo CORESP, para eclusas com 140 m por 12 m, a capacidade mínima deveria ser da ordem de 3.000.000 ton para justificar as obras de implantação da navegação no rio Tietê. Apesar dêste valor ser discutível, pois tudo indica ser muito elevado, podemos tomá-lo como uma referência para o exame de problema e adotar um valor de 5.000.000 ton/ano, como capaz de justificar uma obra da área na câmara com aproximadamente o dôbro.

Considerando-se as embarcações-tipo referidas no ítem anterior com calado de 2,50 m, as eclusas construídas no rio Tietê e no rio Jacui, com c.e.t. da ordem de 8.000.000 ton devem ser admitidas como eclusas "pioneiras", e a eclusa em construção em Jupiá, que permitirá a passagem direta de comboios R,2,2,2, com c.e.t. da ordem de 30.000.000 ton, como obra correspondente à segunda fase de implantação da navegação (obra definitiva).

Evidentemente, quando os estudos econômicos garantam, em curto prazo, um tráfego elevado, não há razão para ser construída a obra pioneira. Nestes casos de rentabilidade assegurada, a c.e.t. resulta imediatamente do planejamento global da canalização do curso d'água, como indicado no Capítulo IV.

Para o cálculo da c.e.t. a partir da c.m.t. , através do coeficiente global de utilização da obra, podemos adotar, para as futuras hidrovias brasileiras, os seguintes coeficientes:

a) - Coeficiente de eficiência relativo ao tempo real que a obra pode ser operada (E_1)

- Número de dias úteis. Devendo vigorar em nossas hidrovias sistema semelhante ao norte-americano, deverá ser garantida a passagem todos os dias, inclusive aos domingos, prevista apenas a interrupção nos feriados tradicionais (5 dias por ano) e portanto $E_{1.1} = 0,98$.

- Número de horas de funcionamento. Havendo a tradição, nas hidrovias atuais, do tráfego noturno (rio Paraná, Paraguai, etc.) deve-se procurar um maior aproveitamento possível, com a passagem em 24 horas por dia, do que resultará $E_{1.2} = 1$.

- Interrupções para manutenção das obras. Para as novas hidrovias, que disporão de equipamento moderno, pode-se prever uma interrupção anual para manutenção das eclusas de 3 dias (em média por ano, podendo inclusive ser localizado êste período em épocas de tráfego reduzido. Assim, pode-se considerar, para eclusas, $E_{1.3} = 0,99$, reduzindo êste valor para os ascensores a 0,95 .

- Interrupções por acidentes e erros de operação. As estatísticas mostram que, mesmo em vias mais antigas, o valor de $E_{1.4}$ é próximo da unidade. Pode-se, pois, admitir pràticamente $E_{1.4} = 1$.

- Interrupções provocadas por enchentes. Para os aproveitamentos múltiplos de rios caudalosos, como a maioria dos previstos entre nós, dificilmente serão previstos desvios de enchentes pela obra de transposição abaixo da vazão máxima navegável (de freqüência média de um dia por ano). Assim, pode-se admitir $E_{1.5} = 1$.

- Interrupções devido à estiagem. Como assinalamos anteriormente, tem sido norma adotar, entre nós, como vazão de dimensionamento das estruturas destinadas à navegação, aquela igualada ou ultrapassada em 75% do ano médio. Nestes casos, como referido, $E_{1.6} = 0,90$.

- Interrupções devidas a condições meteorológicas. Prevendo-se, ùnicamente, interrupções devidas a tempestades e fortes ventos, graças ao uso sistemático de radar, pode-se admitir $E_{1.7} = 0,99$.

- Interrupções devido à irregularidade de fluxo de embarcações. Tendo-se em vista as possibilidades de uma certa regularidade de tráfego nos grandes comboios de empurra, pode-se admitir $E_{1.8} = 0,96$ (conforme ponderações feitas no Capítulo III).

Como valor significativo, podemos adotar portanto: $E_1 = 0,83$.

b) - Coeficiente de eficiência relativo ao tempo de transposição (E_2)

- Diversidade de tipo de embarcações. A padronização das embarcações sugeridas no ítem anterior pode conduzir a valores elevados, da ordem de $E_{2.1}$ = = 0,98 (para a obra definitiva, em paralelo com a obra "pioneira", ... $E_{2.1} = 1$).

- Perdas de tempo nas manobras das embarcações e má operação da obra de transposição. Como indicam as cronometragens feitas em outros países, podemos admitir $E_{2.2} = 0,95$.

- Influência de funcionamento de outros órgãos do aproveitamento múltiplo. Um projeto bem elaborado, estudado inclusive em modelos reduzidos, deve conduzir a $E_{2.3} = 1$, na maioria dos casos.

- Influência da altura de queda. Êste coeficiente pode variar em cada caso particular. Pelos motivos indicados anteriormente, podemos porém admitir que, de um modo geral, não haja influência sensível sôbre o tempo de transposição, o que leva a considerar $E_{2.4} = 1$.

Resulta pois, um valor médio de $E_2 = 0,93$ e o número efetivo de passagens por ano, quando atingida a c.e.t. , da ordem de 0,75 N .

c) - Coeficiente de eficiência relativo ao aproveitamento da área da câmara (E_3)

- Diversidade de tipos de embarcações. Êste coeficiente é muito influenciado pelo número de chatas do comboio (devido a perda de espaço com o rebocador). Com uma uniformização razoável da frota (poucas embarcações de recreio e comboios em média com 5 chatas) pode-se estimar para as futuras hidrovias brasileiras, valores da ordem de $E_{3.1} = 0,85$.

- Descontinuidade de fluxo. Pelos motivos também expostos anteriormente, pode-se admitir $E_{3.2} = 1$, quando atingida uma grande movimentação na via.

O valor de E_3 deverá pois ser da ordem de $E_3 = 0,85$.

d) - Coeficiente de eficiência relativo a capacidade de carga das embarcações (E_4)

- Diversidade da capacidade de carga das embarcações. Para nossas futuras aquavias, com uma razoável uniformização de frota, pode-se estimar $E_{4.1} = 0,98$, devido à variação do calado máximo que é de se esperar pela necessidade de algumas embarcações freqüentarem afluentes ou portos de menores profundidades que a via principal.

- Utilização parcial da capacidade de carga das embarcações. Êste fator é, sem dúvida, preponderante no cálculo da capacidade efetiva de uma via fluvial. Para as futuras aquavias brasileiras, que, muito provàvelmente, funcionarão como abastecedoras de matéria prima, em um sentido, e distribuidora de materiais manufaturados e combustíveis no outro, pode-se admitir valores da ordem de $E_{4.2} = 0,60$, tal qual se dá em certas vias norte-americanas.

- Restrições de calado devido à falta de profundidade na via fluvial. Como indicado anteriormente com o critério de dimensionamento da via para a vazão $Q_{75\%}$, o valor de $E_{4.3}$ será de cêrca de $E_{4.3} = 0,88$.

Resulta portanto $E_4 \cong 0,52$.

O coeficiente de utilização, para as futuras hidrovias brasileiras, em uma primeira aproximação, resulta como sendo da ordem de $E = 0,34$. A c.e.t. será portanto, aproximadamente de um têrço da c.m.t. , valor semelhante ao indicado para as hidrovias norte-americanas (obtido por coeficientes diversos) e cêrca do dôbro do correspondente ao processo tradicional europeu.

Um aumento da c.e.t. poderá ser conseguido por um melhor aproveitamento da obra através da melhoria dos diversos coeficientes indicados, ou da diminuição do tempo de transposição. O aprofundamento da via fluvial pode ser a forma mais eficiente de obter uma maior capacidade de tráfego, desde que a obra de transposição seja construída visando esta possibilidade. Nas canalizações com aproveitamentos múltiplos de grande desnível, um aumento do calado máximo admissível requer, em geral, apenas o aprofundamento de trechos restritos do rio próximos ao pé da barragem. Com um metro de

calado a mais (de 2,50 m a 3,50 m por exemplo), a capacidade de carga das embarcações (e conseqüentemente a c.e.t.) aumenta de quase 30%. A maior dificuldade em adotar-se êste recurso, é a frota existente, que, não pode adaptar-se ao novo calado permissível.

5 - TEMPO DE PASSAGEM

O tempo de passagem das embarcações pela obra de transposição, como vimos, depende do tempo de transposição, da capacidade de tráfego e da necessidade de serem desmembrados os comboios.

Influindo êste fator diretamente no custo do transporte, há sempre interêsse em diminuí-lo, através da redução do tempo de transposição. Em geral, esta consideração é que leva à adoção de sistemas rápidos de enchimento e esgotamento das eclusas e a grandes velocidades de translação das cubas dos ascensores, mesmo quando a capacidade de tráfego não o exigir.

As velocidades de deslocamento vertical, indicadas anteriormente, podem ser obtidas por meios cujos custos, normalmente, são justificáveis pela economia sôbre o transporte. Valores superiores exigem despesas muito elevadas, que não serão compensadas sob êste ponto de vista. De tôda a forma, devem ser comparadas várias alternativas e examinadas as relações benefício-custo para a escolha da solução correta.

O valor econômico do tempo de passagem pela obra de transposição, como referimos no Capítulo III, depende do custo do transporte ou, mais precisamente, do custo da embarcação imobilizada durante a transposição de desnível.

Segundo estudos recentemente elaborados pela Sétima Diretoria Regional do Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis (DNPVN - 1967) o custo horário de um comboio com 4 chatas, com capacidade de carga de 1.780 ton cada uma, seria de NCr$ 128,38. Admitindo-se êste valor, para uma eclusa como as do rio Tietê, com 9.000 transposições efetivas por ano, pode-se estimar que o ganho de um minuto no tempo de passagem corresponde a uma economia global para o transporte da ordem de NCr$ 20.000,00 anuais. Na verdade, se o ganho referido ocorrer no tempo de transposição, a economia será ainda maior, por aumentar o número de passagens e reduzir os congestionamentos. Êste valor, apesar de ser apenas estimativo, indica a importância que

deve ser dada ao tempo de passagem.

Em princípio, podemos considerar que a perda de tempo na transposição possa atingir, sem grandes inconvenientes para a navegação, valores da ordem de 10% do tempo gasto pela embarcação no tráfego pelo estirão livre respectivo. Assim, por exemplo, se as obras de transposição, numa hidrovia canalizada, distam entre si, em média 250 km e a velocidade média dos comboios fôr de 12 km/hora (valores representativos para as futuras hidrovias em grandes rios brasileiros) seria tolerável um tempo de passagem de cêrca de 2 horas, ou, com um tempo de transposição de 30 minutos, uma espera média de 90 minutos por passagem. Êste tempo de passagem tolerável permitiria perfeitamente uma operação de desmembramento na obra desde que não houvesse congestionamentos importantes.

A consideração acima é baseada na hipótese que é possível aumentar a velocidade de tráfego dos comboios em 10%, sem que isso implique em gastos muito exagerados, compensando assim o tempo de passagem pelas obras de transposição. Um cálculo detalhado pode ser feito em cada caso particular, a fim de ser estimado o tempo de passagem que razoàvelmente poderá ser admitido.

A vantagem de serem utilizados comboios que exijam desmembramentos para a passagem pelas obras de transposição, nas vias canalizadas, dependerá, em geral, da comparação entre o aumento do custo do transporte resultante das perdas de tempo nas passagens dos desníveis e a economia decorrente do emprêgo de um conjunto com maior capacidade de carga.

Assim, por exemplo, se, num determinado trajeto, o tempo de passagem sem desmembramento fôr, em média, de 40 min em cada obra e o tempo de passagem de um comboio com um desmembramento, três vêzes maior (conforme observações feitas em diversas eclusas norte-americanas) (DAVID e BALLADE - - 1958) e se, por outro lado, houver uma redução de 15% no custo da tonelada x quilômetro transportada, em decorrência do uso de um comboio com o dôbro de chatas (menor gasto com a tripulação e com o rebocador, por tonelada movimentada), para uma velocidade de tráfego de 12 km/hora, um desmembramento passa a ser conveniente quando a distância média entre as obras, em todo o percurso, supera 80 km.

Nas mesmas condições, dois desmembramentos só seriam recomendáveis, se a distância média entre as obras superasse cêrca de 120 km, pois

o tempo de passagem, então, seria cêrca de 6 vêzes maior que o tempo de passagem simples (DAVID e BALLADE - 1958) e a economia por tonelada x quilômetro, em águas livres, com um comboio com o triplo de carga, no máximo de 20%.

Cabe, ainda, lembrar que, sendo previstos desmembramentos, um ganho de tempo considerável (da ordem de 10 a 15 min) pode ser obtido pelo emprêgo dos sistemas automáticos de engate em uso na Europa Ocidental e na Rússia. Mais uma vez, ressalta a importância de ser estabelecida, a partir do projeto da via, uma ligação estreita entre as obras e as características das embarcações que as utilizarão.

Finalmente, deve-se ter em conta que o tempo de passagem depende da capacidade de tráfego e da distribuição do movimento no correr do ano, como indicamos no Capítulo III. Para efeito de comparação entre soluções diversas e, em particular, para o dimensionamento da câmara, pode-se considerar ùnicamente o tempo de passagem com fluxo constante de embarcações, desde que a c.m.t. seja a mesma nas diversas alternativas examinadas.

6 - ESCOLHA DO TIPO DE OBRA DE TRANSPOSIÇÃO

A escolha do tipo de obra de transposição de desnível, para os futuros aproveitamentos múltiplos brasileiros, deverá ser feita, em cada caso particular, com base nos aspectos técnicos e econômicos apresentados nos Capítulos III e IV.

Dois aspectos, porém, militam, nas circunstâncias atuais, contra o emprêgo de ascensores de embarcações: a pequena experiência de que se dispõe dos equipamentos mecânicos de transposição, e a maior dificuldade para manutenção e operação dos mesmos. Êstes dois fatôres só em parte podem ser expressos por valores de custo e por êste motivo, a êles deve ser dada atenção especial.

Cabe aqui recordar a conclusão da 9a. Questão do 1º Congresso Internacional de Navegação, realizado em Bruxelas, no ano de 1885:

"O Congresso examinou sucessivamente as eclusas e os engenhos mecânicos (planos inclinados e elevadores).

No que concerne as eclusas, o Congresso estima que a simplicidade de sua construção, a longa experiência de seu uso, sua manutenção e sua manobra fácil com pessoal que se encontra em qualquer parte, enfim a possibilidade de as utilizar mesmo quando atingem um certo grau de vetustez, constituem a seu favor, vantagens incontestáveis.

No que concerne aos engenhos mecânicos, o Congresso é de opinião que a questão de saber se convém recorrer a êles não deve ser prevista senão quando é necessário vencer uma queda brusca considerável. Nestes casos, os meios mecânicos podem fornecer uma solução satisfatória, sobretudo quando a altura de queda a vencer, se soma à dificuldade de alimentação do canal.

Entretanto, o Congresso julga que não se deve recorrer aos meios mecânicos senão com muita reserva e isto pelos motivos seguintes:

1º - Os meios mecânicos não foram ainda provados senão para barcos de 250 a 300 ton.

2º - Nos elevadores verticais, notadamente, as dificuldades de construção parecem atingir os limites dos meios que dispõe presentemente a indústria. Sob êste aspecto, os planos inclinados parecem preferíveis e seria interessante fazer aplicações para embarcações com 250 a 300 ton.

3º - A duração dêstes engenhos é ainda desconhecida.

4º - Sua manobra necessita um pessoal especializado, difícil de supervisionar e de recrutar.

5º - A menor avaria pode ocasionar uma interrupção total da navegação.

6º - Do ponto de vista do aumento de capacidade de tráfego, as vantagens dos meios mecânicos (ascensores) comparados às eclusas escalonadas (câmaras múltiplas e escadas) são atenuadas notàvelmente, recorrendo-se a duas séries de eclusas unidas no sentido da largura (eclusas geminadas)."

Estas conclusões, evidentemente adaptadas às condições atuais, são válidas ainda hoje, sobretudo para o caso brasileiro. De fato, os ascensores já provaram que podem durar perfeitamente mais de 70 anos; existem elevadores em operação para embarcações até 1.200 ton de capacidade de carga, to

davia, seria desejável atingir capacidades muito maiores para os comboios de empurra. As demais observações continuam válidas, em especial para obras de aproveitamento múltiplo onde não há falta d'água, sendo as eclusas mais fà-- cilmente adaptáveis às barragens que os ascensores.

Conclusões semelhantes à acima transcrita vêm sendo sistemàti camente repetidas nos Congressos de Navegação (Dusseldorf - 1902, Milão - ... - 1905, Cairo - 1926, Lisbôa - 1949). No último Congresso (Estocolmo - .... - 1965), ainda que não constem especificamente na conclusão do ítem 2 estas idéias foram unânimemente aceitas nas discussões havidas.

As eclusas continuam pois sendo as obras de transposição por excelência. Até alturas de cêrca de 25 m, as eclusas simples só devem ser comparadas com outras obras em casos muito especiais de terrenos de funda--- ções extremamente desfavoráveis; entre 25 e 40 m de desnível, as eclusas sim ples, eclusas com duas câmaras ou escadas de 2 eclusas são aindas as obras mais indicadas, podendo porém, do ponto de vista custo inicial, serem compa- ráveis aos elevadores verticais. Entre 40 e 60 m, as escadas de eclusas, em certos casos, podem ser menos favoráveis que os planos inclinados ou os ele- vadores verticais, que, diga-se de passagem, nunca foram construídos para tais quedas. Acima de 60 m de desnível (ou talvez mesmo 50 m), os planos in clinados, sobretudo os longitudinais e as rampas hidráulicas (caso venham a se confirmar as vantagens esperadas), dificilmente, podem deixar de ser mais convenientes que os outros tipos de obras, merecendo, apesar de tudo, ser feita uma comparação com as escadas de eclusas.

Cabe aqui notar que, nos Estados Unidos, há mais de 30 anos não são realizados estudos para emprêgo dos processos mecânicos (exceto para pequenas embarcações de recreio). Êste fato é conseqüência da grande dimen- são dos comboios que trafegam nas hidrovias norte-americanas e das elevadas capacidades de tráfego requeridas pelos mesmos. Algumas referências às ram- pas hidráulicas que vêm sendo feitas recentemente (Mc NOWN - 1967, ENGINEER- ING NEWS-RECORD, January 4 - 1968), mostram o interêsse com que os técnicos vêm recebendo êste nôvo sistema de transposição.

Como também já assinalamos, todos os ascensores construídos fazem parte de canais de navegação (exceto o do aproveitamento múltiplo de Krasnoyarsk, em construção). As obras modernas (salvo a referida) tiveram sempre suas justificativas ligadas ao problema da economia de água. Encaran do sôbre êste aspecto, as eclusas integrantes de aproveitamentos múltiplos

com usinas hidroelétricas consomem cêrca de metade da energia de que seria necessário ao bombeamento de água numa eclusa de canal de navegação (devido ao rendimento dos grupos geradores e bombas), não sendo, por conseguinte, êste problema tão importante como nas vias artificiais.

Outro aspecto desfavorável aos ascensores, nos aproveitamentos múltiplos, é sua pouca adaptação às variações de nível d'água. As eclusas, e em parte, as rampas hidráulicas, adaptam-se melhor a estas variações, raramente ausentes nas barragens modernas.

Os elevadores verticais, dentro da técnica atual, tem um campo de aplicação muito limitado e dificilmente deverão ser adotados entre nós; esta afirmação está em desacôrdo com o que, há menos de nove anos, era ainda admitido (Congresso de Londres - 1959), porém, deriva das razões que levaram à construção concomitante de três planos inclinados na Rússia, Bélgica e França, e ao abandono de alguns projetos de elevadores em favor de eclusas e planos inclinados.

O problema de manutenção dos ascensores pode ser sério em regiões desprovidas de recursos e não deve ser perdido de vista sobretudo quando a obra é situada em via sem alternativa de tráfego, nas quais uma interrupção prolongada pode causar prejuízos de grande monta.

As rampas hidráulicas, que vêm sendo apresentadas como as obras ideais para grandes desníveis, têm, como um dos maiores empecilhos para o emprêgo nas futuras obras brasileiras (além da falta de experiência em funcionamento regular), a complexidade do sistema recomendado para propulsão da máscara: várias turbinas, rodas pneumáticas, etc. É possível, porém, que novos estudos indiquem a possibilidade de utilização de sistemas mais simples, como motores elétricos e cremalheiras, desde que sejam adotadas velocidades mais reduzidas. A obra de transposição assim concebida, com pequena capacidade de tráfego, poderia desempenhar o papel de "obras pioneiras" para implantação da navegação, prevendo-se a substituição futura do sistema propulsor para aumento da velocidade de translação do conjunto.

Em certas circunstâncias, parece recomendável adotar, como obra "pioneira", um ascensor de pequena capacidade de tráfego, deixando para o futuro a construção de uma eclusa de grande capacidade de tráfego e rapidez de passagem. A solução inversa, primeiro uma eclusa modesta e depois um ascensor, também pode ser justificável: foi a adotada na barragem de Ust-Kamernogorsk onde a eclusa existente deverá ser duplicada por um elevador -

vertical. Em ambos os casos, porém, fica garantida no futuro a necessária alternativa de tráfego para a manutenção do ascensor.

Finalmente, deve ser lembrado que o emprêgo de duas obras em paralelo pode ser mais econômico e, tècnicamente, mais justificável que uma única obra com o dôbro de capacidade de tráfego. Além do dispêndio parcelado e da alternativa de tráfego, o menor custo total e o tempo de passagem podem levar a adoção desta solução em alguns casos especiais. A redução da capacidade de tráfego do conjunto das duas obras, em relação a soma das capacidades de cada uma, segundo alguns autores poderia atingir até 25% (SANTINA - - 1964), devido a dificuldades operacionais, é quase totalmente anulada mediante o contrôle das operações por rádio-comunicação e radares fixos, além de conveniente disposição dos acessos. Quando as duas obras são iguais, uma operação muito cômoda e de alto rendimento pode ser obtida reservando-se cada uma para uma direção de tráfego (o que acarreta grande consumo de água como já indicado).

Para a passagem de grandes comboios de empurra, porém, é mais conveniente dispor-se de uma grande câmara que evite os desmembramentos, apesar de que os desmembramentos em eclusas paralelas exigem um tempo de passagem bem mais reduzido que em uma obra simples (80% a mais que uma passagem direta, segundo média de observações feitas nos Estados Unidos) (DAVID e BALLADE - 1958).

7 - SISTEMAS DE ENCHIMENTO E ESGOTAMENTO DAS ECLUSAS

Tendo-se em vista a economia de construção, sobretudo para as obras "pioneiras", uma atenção especial merece ser dada ao estudo do sistema de enchimento e esgotamento das eclusas, através da verificação dos benefícios obtidos pela adoção de sistemas hidráulicos complexos, normalmente muito onerosos.

Verificações, em modelos reduzidos, são sempre recomendáveis, especialmente para eclusas com elevada profundidade mínima (4,50 ou 5,50 m) por não serem muito comuns obras de grande queda com esta característica e poder resultar dêste fato simplificações importantes no sistema de distribuição do fluxo de enchimento na câmara.

Para quedas baixas (até 10 m) e câmaras pequenas (eclusas pio

neiras), pode ser empregado o sistema de enchimento e esgotamento pelas portas. Os aquedutos laterais nos muros de ala, com ligação direta à câmara, podem, também ser utilizáveis até alturas da ordem de 15 m. Êstes dois sistemas apresentam substancial economia em relação aos que dispõem de distribuição pelo fundo da câmara, particularmente se as velocidades de translação vertical não são muito elevadas.

Para desníveis acima de 15 m e mesmo 20 m, o sistema de orifícios múltiplos (multiport-system), introduzido nas obras do T.V.A., pode acarretar economias sôbre os demais sistemas com distribuição pelo fundo, geralmente utilizados nestes casos.

O emprêgo atualmente muito difundido de amarras de nylon e polietileno, de grande resistência, conjugado com o fato de não existirem ainda as embarcações que utilizarão as futuras vias, permite a adoção, para as obras brasileiras, de fôrças limites de amarração mais elevadas que as especificadas em outros países. Assim,parece perfeitamente razoável adotar o valor de 10 ton como limite (independente da tonelagem das embarcações), desde que seja especificado êste valor para a construção das embarcações e cabeços de amarração. Desta forma, será possível simplificar os sistemas de enchimento das câmaras das eclusas e as leis de movimento das cubas dos ascensores, conservando-se o grau de segurança habitual. Êste aspecto merece, também, um estudo detalhado, e talvez mesmo uma legislação especial, a fim de serem evitados fatos consumados.

A falta de tradição, nas atividades náuticas fluviais, permitiria talvez também estabelecer certas normas de amarração das embarcações nas câmaras e, conseqüentemente, aumentar ainda mais o valor desta "fôrça de atracação limite". Os perigos que representariam a não obediência destas normas, não recomendam porém esta solução, parecendo mais seguro estabelecer um limite que possa ser suportado por uma única amarra.

Cabe ainda lembrar que na fixação do tempo de alteamento ou rebaixamento, é importante considerar em conjunto a capacidade de tráfego das várias obras da via. Uma redução drástica dêstes tempos, dificilmente é justificável, para uma obra isolada. Como indicação básica para as futuras eclusas brasileiras, podemos dar um valor para de t_3 de 18 minutos (15 a 20 minutos como intervalo razoável) para qualquer queda ou tipo de obra; para dimensões uniformes das câmaras, qualquer redução em relação a êste valor máximo deverá ser imputado a ganho do tempo de passagem e não na capacidade de

tráfego, que é estabelecida na via fluvial pela obra de maior tempo de transposição.

Atenção especial merece ser dada aos problemas das válvulas de contrôle do escoamento pelos aquedutos, e a conformação das tomadas d'água, a fim de serem evitadas cavitações e formação de vortex que impeçam a utilização dos sistemas de enchimento e esgotamento dentro das previsões de projeto.

Para as válvulas do circuito hidráulico, vem sendo adotado, nas eclusas de grande queda, comportas de sector e segmento (direto ou invertido) que aliam a facilidade de manobra ao bom escoamento, reduzindo os perigos de cavitação, sobretudo nas aberturas parciais. As comportas plano-verticais, são também bastante utilizadas, sendo porém mais desfavoráveis do ponto de vista da cavitação.

8 - DIMENSÕES DAS CÂMARAS

Sem dúvida, a fixação das dimensões da câmara da obra de transposição é o mais importante aspecto de um projeto de uma nova hidrovia.

As tabelas 1 a 5 mostram a grande variedade de dimensões adotadas nos diversos países. Nota-se, atualmente, uma acentuada tendência à padronização, que, aliás, há mais de um século, vem sendo procurada sem êxito, devido aos constantes progressos das embarcações.

A Comissão Econômica Européia (C.E.E.) em 1956, e, posteriormente, a resolução nº 7 dos Ministros de Transporte dos países membros do Mercado Comum Europeu, fixaram, em 1960, como padrão para tôda a Europa Ocidental, a largura de 12 m ou múltiplos dêste valor, que é o mais comum naqueles países. Não foi estabelecido, porém, um comprimento padronizado. Por outro lado, a Comissão Internacional do Danúbio estabeleceu que as eclusas naquele rio, deverão ter 230-310 m de comprimento, 24 a 34 m de largura e que a profundidade mínima na câmara será de 4 m.

Nos Estados Unidos, vem sendo sugerida (CROOK e MOORS - 1965) a padronização nas seguintes dimensões:

Largura da câmara	Comprimento da câmara
56 pés (17,00 m)	400 pés (121,90 m)
56 pés	600 pés (182,80 m)
84 pés (25,60 m)	600 pés
84 pés	800 pés (243,70 m)
84 pés	1200 pés (365,60 m)
110 pés (33,40 m)	600 pés
110 pés	800 pés
110 pés	1200 pés

Estas dimensões têm sido adotadas pelo Corpo de Engenheiros do Exército Americano há vários anos, exceto para as obras dos Grandes Lagos e rio São Lourenço, para a bacia do rio Columbia (eclusas com 86 por 675, 86 por 500 ou 86 por 360 pés) e para pequenos barcos que não requeiram tão grandes dimensões (CORPS OF ENGINEERS - 1957 e 1959).

Na Rússia, ainda que não haja uma padronização, tôdas as eclusas nas vias importantes vêm sendo construídas com cêrca de 30 m de largura, considerando os técnicos daquele país que esta dimensão é fundamental para haver harmonia no conjunto (PROTSEROV - 1957).

Ao serem fixadas determinadas dimensões, deve-se ter em conta, primordialmente, que as obras de transposição de desnível são destinadas a terem uma longa utilização e que, portanto, deverão adaptar-se ao tráfego da via em um futuro longínquo. De fato, não se tem notícia que nenhuma destas obras tenha sido abandonada ùnicamente por desgaste resultante do uso. Grande número, talvez um têrço das construídas no passado recente, tiveram de ser substituídas ou abandonadas por falta de adaptação às correntes de tráfego, sobretudo devido às dimensões reduzidas da câmara. Isto vem acontecendo, sistemàticamente, no chamado "Triângulo Pesado Europeu", compreendendo territórios da França, Alemanha e Bélgica, onde eclusas com menos de 25 anos, como as do canal Juliana, tiveram de ser substituídas nos últimos anos.

Bàsicamente, o dimensionamento da câmara deve resultar de análise econômica da relação benefício-custo, feita a partir das bases enunciadas nos capítulos anteriores. Outras considerações, porém, devem ser levadas em conta e nem sempre podem ser expressas em termos econômicos. Segundo a ex

periência norte-americana (BLOOR - 1951), entre outras, devem ser citadas as seguintes: os comboios têm maior facilidade em entrar numa câmara grande que numa de dimensões restritas, resultando daí um ganho de tempo difícil de ser avaliado; as eclusas pequenas são mais sujeitas ao uso e ao desgaste e, em conseqüência, a acidentes mais freqüentes (o inverso deve ser considerado para os ascensores, nos quais quanto maior a câmara, maiores os pesos em movimento e as possibilidades de acidentes de ordem mecânica); os usuários hesitam em utilizar uma via que, em curto prazo, pode ficar congestionada ocasionando aumento do custo do transporte. Estas e outras considerações podem conduzir a dimensões diversas das que estariam totalmente de acôrdo com os princípios básicos.

Para as futuras hidrovias brasileiras, como também já relatamos, além destas circunstâncias, outras muito particulares devem ser consideradas. Adotado, porém, o princípio de uma padronização de embarcações, a mais efetiva possível, dentro evidentemente, do conceito da livre emprêsa que deverá sempre prevalecer para a navegação entre nós, o dimensionamento das câmaras das obras de transposição deverá ser feito a partir de dimensões moduladas, que permitirão a passagem de qualquer comboio ou automotor. Evidentemente, sempre o fator econômico deverá prevalecer na escolha do tamanho e tempo de passagem.

No que diz respeito à profundidade, é preferível adotar valores compatíveis com o calado de 3,50 m, máximo previsível para as futuras hidrovias brasileiras, mesmo que a via, no estágio inicial, não permita o tráfego de embarcações calando êste valor. Tal adoção justifica-se pelos motivos seguintes:

1º - Pequena incidência dêste fator no custo total da obra (evidentemente consideradas obras de grande desnível).

2º - Possibilidade de aumento das profundidades mínimas da via navegável, com despesas compatíveis com a economia do custo de transporte resultante.

3º - Simplificação do sistema de enchimento das eclusas (que serão as obras mais comuns).

4º - Redução do tempo de transposição, resultante do menor efeito do "pistonamento" na entrada das embarcações.

5º - Maior facilidade para dissipação de energia na câmara, no caso de utilização da obra para descarregamento de cheias.

6º - Menores possibilidades de cavitação nas comportas de enchimento.

No caso de ascensores, vários dêstes motivos não são válidos, em particular o primeiro, pois o aumento da profundidade da câmara incide muito no pêso da cuba e portanto no custo. Para estas obras poderão ser justificadas profundidades mínimas menores que nas eclusas.

Levando-se em conta as folgas indicadas no Capítulo III, o fundo das eclusas deve ser por conseguinte situado a uma profundidade de 4,50 m abaixo do nível mínimo navegável de jusante, podendo ser tolerados excepcionalmente alguns pontos com profundidade de 4 m. Para a soleira de montante, a experiência tem mostrado ser conveniente uma folga um pouco maior. Tendo-se em vista, porém, que as variações do nível d'água no reservatório fazem com que só num curto período o nível de montante atinja o mínimo, pode-se adotar o mesmo valor indicado para jusante, ou seja, 4,50 m abaixo do mínimo.

Para os ascensores, as folgas podem ser reduzidas a 20 cm desde que utilizado o sistema de bombeamento que sugerimos para diminuir o efeito de pistonamento. A profundidade na câmara para calado de 3,50 m seria então de 3,70 m.

Considerando-se a padronização sugerida para as embarcações (8 m de bôca e 50 m de comprimento), bem como as folgas necessárias, as câmaras deveriam ter, bàsicamente, as dimensões seguintes (em metros):

largura: $8\,n + 1$

comprimento: $50\,n' + 10 \quad (n' > 2)$

$50\,n' + 5 \quad (n' < 2)$

com n e n' números inteiros.

As dimensões mais razoáveis seriam as constantes da tabela 23, onde os diferentes modelos são indicados pelo número máximo de chatas que cabem no sentido transversal, seguido pelo número máximo que cabem no sentido longitudinal (3.2 significando 3 chatas na largura por duas chatas no comprimento).

DIMENSÕES PADRONIZADAS DAS CÂMARAS

TABELA 23

MODÊLO	DIMENSÕES (m)		CUSTOS COMPARADOS DAS ECLUSAS		CUSTO MÉDIO DA ECLUSA PADÃO POR ELEMENTO NA CÂMARA	COMBOIOS SEM DESDOBRAMENTO
	LARGURA	COMPRIMENTO	EXTREMOS	MÉDIOS		
1.1	9,00	55,00	1	1	1	—
1.2	9,00	105,00	1,5 A 1,8	1,65	0,825	R, 1
1.3	9,00	160,00	2,0 A 2,7	2,35	0,785	R, 1, 1
1.4	9,00	210,00	2,3 A 3,3	2,80	0,700	R, 1, 1, 1
2.1	17,00	55,00	1,4 A 1,5	1,45	0,725	—
2.2	17,00	105,00	2,1 A 2,7	2,40	0,600	R, 2
2.3	17,00	160,00	2,8 A 4,0	3,40	0,565	R, 2, 2
2.4	17,00	210,00	3,2 A 5,0	4,10	0,514	R, 2, 2, 2
2.5	17,00	260,00	3,9 A 6,0	4,95	0,495	R, 2, 2, 2, 2
3.1	25,00	55,00	1,7 A 2,0	1,85	0,615	—
3.2	25,00	105,00	2,5 A 3,6	3,05	0,509	1 R 1, 3
3.3	25,00	160,00	3,4 A 5,4	4,40	0,490	1 R 1, 3, 3
3.4	25,00	210,00	3,9 A 6,6	5,25	0,436	1 R 1, 3, 3, 3
3.5	25,00	260,00	4,8 A 8,0	6,40	0,426	1 R 1, 3, 3, 3, 3
4.1	33,00	55,00	1,9 A 2,3	2,10	0,525	—
4.2	33,00	105,00	2,9 A 4,1	3,50	0,437	1 R 1, 3
4.3	33,00	160,00	3,8 A 6,2	5,00	0,416	1 R 1, 4, 4
4.4	33,00	210,00	4,4 A 7,6	6,00	0,374	1 R 1, 4, 4, 4
4.5	33,00	260,00	5,3 A 9,2	7,25	0,363	1 R 1, 4, 4, 4, 4

A escolha entre êstes modelos de câmara depende, fundamentalmente, do comboio-tipo adotado (e portanto das características da via: raio de curvatura mínimo, largura mínima, etc.), da capacidade de tráfego e do tempo de passagem.

Para as eclusas simples, a mesma tabela 23 indica os custos comparados, determinados com base nas considerações apresentadas no Capítulo IV. Admitindo-se, ùnicamente, a passagem de comboios sem desmembramentos (condição de mínimo tempo de passagem) e os comboios mais indicados referidos no ítem 3, conclue-se que sòmente os modelos 1.2, 1.3, 2.3, 2.4, 3.3, 3.4, 4.4 e 4.5 devem ser levados em consideração. Admitindo-se desmembramentos e tendo-se em vista que são sempre preferíveis os desmembramentos transversais aos longitudinais, os modelos 1.1, 2.2 e 3.2 podem também ser indicados.

Para os automotores, qualquer dos modelos é satisfatório, sendo interessante possibilitar a utilização simultânea da câmara por um automotor e um comboio de empurra, como, por exemplo, no caso de eclusa modêlo 2.3 com comboio R,2,2 (ligação do automotor ao comboio durante a espera).

Para os ascensores em geral, como referido, não se pode, atualmente, prever câmaras com dimensões que ultrapassem 100 m de comprimento por 18 m de largura. Assim, sòmente os modelos 1.1, 1.2, 2.1 e 2.2 devem ser considerados. Eventualmente, pode-se prever rampas hidráulicas que satisfaçam condições equivalentes ao modêlo 2.3 ou seja, que recebam comboios de 16 m de largura com 150 m de comprimento (o que exigiria máscaras com mais de 15 m de altura), dependendo de estudos a serem realizados.

Em resumo, as dimensões das câmaras mais indicadas para as embarcações padronizadas com 8 m x 50 m, são (em metros):

(9 x 55)	9 x 105 ,	9 x 160		
17 x 55	(17 x 105) ,	17 x 160	17 x 210	
	(25 x 105)	25 x 160	25 x 210	
			33 x 210	33 x 260

(entre parênteses, as apropriadas só para comboios desmembrados e sublinhadas as que podem ser utilizadas para ascensores).

É de se notar que estas dimensões são semelhantes às sugeridas para a padronização nos Estados Unidos, diferindo, principalmente por serem menores, o que se justifica pelo estágio atual da navegação entre nós. Possìvelmente, no futuro, quando a capacidade de tráfego das obras que indicamos para a segunda fase do desenvolvimento da navegação fôr atingida, haverá necessidade de adoção de maiores comprimentos nas eclusas a serem construídas.

As capacidades de tráfego destas obras "padrão" são indicadas na figura 29. Neste gráfico, são apresentadas as c.e.t. (determinadas como sendo um têrço da c.m.t.), divididas pela capacidade de carga da embarcação que utiliza a câmara (chata ou automotor), em função do tempo de transposição (admitido sempre superior a 20 minutos) e do número de chatas (ou de automotores) do comboio tipo contido na câmara que, no caso de desmembramentos, deve ser considerado como número médio, levando-se em conta a passagem do rebocador (ou não) conforme indicado no ítem 4 do Capítulo III. O gráfico foi elaborado para passagem direta do comboio, devendo, se previsto desmembramento, ser interpoladas as curvas necessárias. O tempo de transposição a ser considerado é o tempo médio, de subida e descida, em várias passagens do comboio-tipo (para levar em conta os desmembramentos).

Por meio dêste gráfico, pode-se fazer a escolha do modêlo de câmara que satisfaça a c.e.t. indicada pelos estudos econômicos para cada hidrovia em particular. Se adotado o critério de construção de uma obra "pioneira" e, posteriormente, de uma obra "definitiva", suas dimensões resultarão das indicações feitas adiante.

Analisando-se o referido gráfico, verifica-se que a redução do tempo de passagem para obras de pequena capacidade de tráfego, sobretudo quando êste tempo é elevado (superior a 45 minutos), dá um aumento de c.e.t. muito pequeno. Esta observação é importante, por exemplo, para pequenas eclusas com longos canais de acesso, quando mesmo uma redução drástica do tempo de enchimento (obtida à custa de complexos sistemas de alimentação) pràticamente não influe na c.e.t. Para as grandes eclusas porém, alguns minutos de ganho permite que dezenas de milhões de toneladas a mais possam usar a obra por ano.

Admitindo-se que a obra possibilite a passagem de embarcações com 3,50 m de tirante d'água, o calado máximo das embarcações-tipo será definido pela via. Consideremos 4 casos correspondentes a calados de 2, 2,50 ,

3 e 3,50 m para as chatas padrão, ou seja, capacidades de carga respectivamente de 550, 800, 1.000 e 1.250 ton por chata.

Pelo gráfico, constata-se que as menores câmaras para as obras pioneiras (c.e.t. mínimo de 5.000.000 ton/ano) deverão ser:

- Para vias com 2 m de calado máximo: modêlo 1.3 (9 x 160 m) ou 2.2 (17 x 105 m), com tempo de transposição inferior a 40 minutos, o primeiro com menor custo e o segundo indicado para desmembramentos sistemáticos. Com alturas consideráveis de queda (mais de 20 m), mesmo com acessos bem estudados, é difícil obter êste tempo de transposição com mais de um desmembramento e portanto para estas obras não devem ser previstos comboios-tipos maiores que R,2,2,2. Se houver interêsse em utilizar comboios com maior número de chatas (visando reduzir o custo do transporte), deverão ser utilizados os modelos 2.3 (17 x 160 m) ou 3.2 (25 x 105 m) que, com tempo de transposição menor que 1 h 15 minutos (máximo para dar c.e.t. de 5.000.000 ton), permitirão a passagem de comboios do tipo 1R1,3,3,3,3 ou 1R1,4,4,4 (um desmembramento lateral e um transversal).

- Para vias com 2,50 m de calado máximo: modêlo 1.2 (9 x 105 m), com tempo de transposição máximo de 27 minutos (sem desmembramento), 1.3 (9 x 160 m) ou (17 x 105 m) com tempo de transposição máximo de 55 minutos (um desdobramento ou no máximo dois desmembramentos) permitindo a adoção portanto de comboios-tipo R,2,2,2 ou 1R1,3,3,3.

- Para vias com 3 m de calado máximo: modêlo 1.2 (9 x 105 m) com tempo de transposição máximo de 35 minutos, o que, em certos casos permite a passagem de comboios R,2,2,2 ou modelos 1.3 (9 x 160 m) ou 2.2 (17 x 105 m) com tempo de transposição inferior a 1 hora e 10 minutos, o que, pràticamente permite o emprêgo de qualquer dos comboios-tipo sugeridos (3 desmembramentos).

- Para vias com 3,50 m de calado máximo: modêlo 1.2 (9 x 105 m) com 37 minutos de tempo máximo de transposição, o que permitirá a adoção de comboios-tipo como R,2,2. Comboios-tipo maiores exigem câmaras dos modelos 2.2 ou 1.3 (17 x 105 m ou 9 x 160 m).

Resumindo, as obras pioneiras deverão ser, em geral, dos modelos 1.3 (9 x 160m) para comboios pequenos e 2.2 (17 x 105m) para comboios grandes. O modêlo 1.1 pràticamente nunca atinge 5.000.000 ton/ano de capacidade

e só deverá ser utilizado em casos muito excepcionais, quando houver muito interêsse em reduzir o seu custo; poderá porém, ser empregado em obras com duas câmaras paralelas, como ascensores balanceados ou eclusas de câmara múltipla.

Para as obras "definitivas", definidas como sendo aquelas em que poderá ser atingida uma capacidade efetiva de tráfego (c.e.t.) superior a 30.000.000 ton/ano, as dimensões mínimas da câmara para os diferentes calados da via, devem ser:

- Para vias com 2 m de calado máximo: modêlo 2.4 (17 x 210 m), com tempo de transposição máximo de 20 minutos (acessos e garagens muito bem projetados, alturas até 20 ou 25 m, em câmara única). Para comboios maiores que R,2,2,2 será necessário adotar câmaras de dimensões como as do modêlo 3.3 (25 x 160 m) (tempo de transposição máximo 25 minutos).

- Para vias com 2,50 m de calado máximo: modêlo 2.4 (17 x 210 m), com tempo de transposição máximo de 28 minutos. Comboios-tipo maiores ou tempos de transposição mais elevados exigem outros modelos, como o 3.3 (25 x 160 m), com tempo de transposição de 37 minutos.

- Para vias com 3 m de calado máximo: modêlo 2.4 (17 x 210 m) com tempo de transposição de 34 minutos, o que tornará possível, caso a obra seja muito bem projetada, um desmembramento. O modêlo 3.3 (25 x 160 m) permitirá com um tempo de transposição até de 45 minutos, a adoção de comboios do tipo 1 R1,3,3,3,3.

- Para vias com 3,50 m de calado máximo: modêlo 2.3 (17 x 160 m), com tempo de transposição máximo de 27 minutos ou os modelos 2.4 (17 x 210 m) ou 3.3 (25 x 160 m) (45 minutos e 1 hora respectivamente), permitindo a adoção pràticamente de qualquer dos comboios-tipo indicados.

Em resumo, as obras definitivas deverão ser dos modelos 2.4 (17 x 210 m) ou 3.3 (25 x 160 m), sendo dada preferência ao primeiro, se não fôr previsto desmembramento (tempo mínimo de passagem) e ao segundo modêlo, no caso de tempos de transposição elevados (obras de alta queda, eclusas de câmara múltipla). Verifica-se que, em nenhuma hipótese, dentro da técnica atual, um ascensor com uma única câmara poderá satisfazer a condição de c.e.t. mínima de 30.000.000 ton/ano. Caso seja adotada solução dêste tipo, haverá necessidade de prever-se uma obra dupla com mais de uma câmara paralela.

Cabe notar que, se fôr mantida a obra "pioneira", a obra da segunda etapa terá c.e.t. um pouco superior às indicadas acima, por ser de se prever um maior coeficiente de utilização (E) e o conjunto das duas obras deverá ultrapassar a capacidade anual de 30.000.000 de toneladas.

Para eclusas de câmaras múltiplas, dificilmente os tempos de transposição serão inferiores aos indicados para a obtenção das c.e.t. Caberá, então, verificar a conveniência de adoção de duas obras paralelas que, em certos casos, poderá ser mais econômico que câmaras com dimensões muito a vantajadas. Assim, uma eclusa com câmara dupla, para um desnível total de 40 m, deverá ter um tempo de transposição de 55 a 60 minutos; numa via de 2,50 m de calado máximo, seria necessário adotar, para obra "pioneira", câmaras do modêlo 2.3 (17 x 160 m), que pode ser mais dispendiosa que duas obras 1.3 (ver tabela 23, custos comparados extremos) ou duas obras modêlo 1.2 (9x x 105 m), que poderiam satisfazer a capacidade anual de 5.000.000 ton com o emprêgo, em cada obra, de um único sentido de tráfego (economia total de t_1).

O gráfico da figura 29 mostra ainda que, com uma eclusa do modêlo 4.5 (33 x 260 m) pode ser atingida uma c.e.t. máxima da ordem de 85.000.000 ton/ano, numa via de 2 m de calado máximo, e da ordem de 170.000.000 ton/ano numa via de 3,50 m de calado máximo. Uma c.e.t. de 100.000.000 ton pode ser atingida com uma obra do modêlo 3.4 (25 x 210 m), sendo êstes valores da ordem de grandeza dos tráfegos atuais das aquavias com navegação mais intensa.

Com a menor câmara (modêlo 1.1) as c.e.t. máximas previsíveis, com tempo de transposição de 30 minutos (um desmembramento, pelo menos) são de 3.200.000 ton, 2.800.000 ton, 2.200.000 e 1.500.000 ton por ano, em vias de 3,50, 3 , 2,50 e 2 m de calado máximo respectivamente.

A fixação definitiva do modêlo de câmara deverá ser feita com base no custo total mínimo, como indicado no Capítulo IV, e será intimamente ligada ao tipo de obra e ao tempo de passagem, influindo portanto, todos os fatôres anteriormente analisados.

As dimensões que sugerimos permitem a passagem de tôdas as embarcações-tipo adotadas nos estudos até agora realizados no Brasil e na República Argentina, bem como as embarcações em tráfego, exceto as obras dos modelos 1 x 1 , 1 x 2 e 1 x 3 que não possibilitam a passagem das chatas indicadas para as eclusas do rio Tietê, as embarcações-tipo argentinas do Pa

raná Inferior e comboio "Urucum" do rio Paraguai. Estas limitações levam à adoção do modêlo 2.2 (17 x 105 m) como padrão mínimo das obras pioneiras, nas aquavias que futuramente poderão ser interligadas à rêde fluvial do sul do continente. Para as obras definitivas poderá ser adotado o modêlo 3.3 (25 m de largura por 160 m de comprimento) que pode receber duas chatas lado a lado, com 12 m de largura cada uma.

É interessante, finalmente, comparar as dimensões sugeridas com as das eclusas brasileiras, constantes da tabela 6 e as dimensões previstas para as obras estudadas na Argentina, Paraguai e Uruguai, em particular, as abaixo indicadas:

- Melhoramento do Salto do Apipe (rio Paraná) - Eclusas com 24 m de largura, 230 m de comprimento e calado mínimo de 2,50 m.

- Aproveitamento múltiplo do Salto Grande (rio Uruguai) - Eclusas com 18 m de largura, 116 m de comprimento, calado mínimo garantido 2,70 m.

- Canal do rio Bermejo - Eclusas com 12 m de largura, 140 m de comprimento, calado mínimo garantido 2,70 m.

Verifica-se que as obras projetadas mais recentemente (eclusa da barragem de Jupiá e do aproveitamento do Salto Grande do rio Uruguai) se aproximam bastante das dimensões sugeridas, demonstrando ser esta a tendência das obras a serem executadas entre nós.

9 - DIMENSÕES DOS ACESSOS, GARAGENS DE ESPERA E CANAIS INTERMEDIÁRIOS

O dimensionamento correto dos acessos e garagens de espera é importante, porquanto influe diretamente no tempo de transposição e em conseqüência, na capacidade de tráfego e tempo de passagem da obra.

Em princípio poder-se-ia prever a melhoria dos acessos com o aumento de tráfego, reduzindo desta forma o custo inicial da obra "pioneira". Na realidade, porém, esta melhoria é difícil de ser executada nos aproveitamentos múltiplos e a economia resultante não é muito substancial.

As considerações feitas no ítem do Capítulo III permitem estabelecer o projeto dos canais de acesso que deverão, para as obras a serem

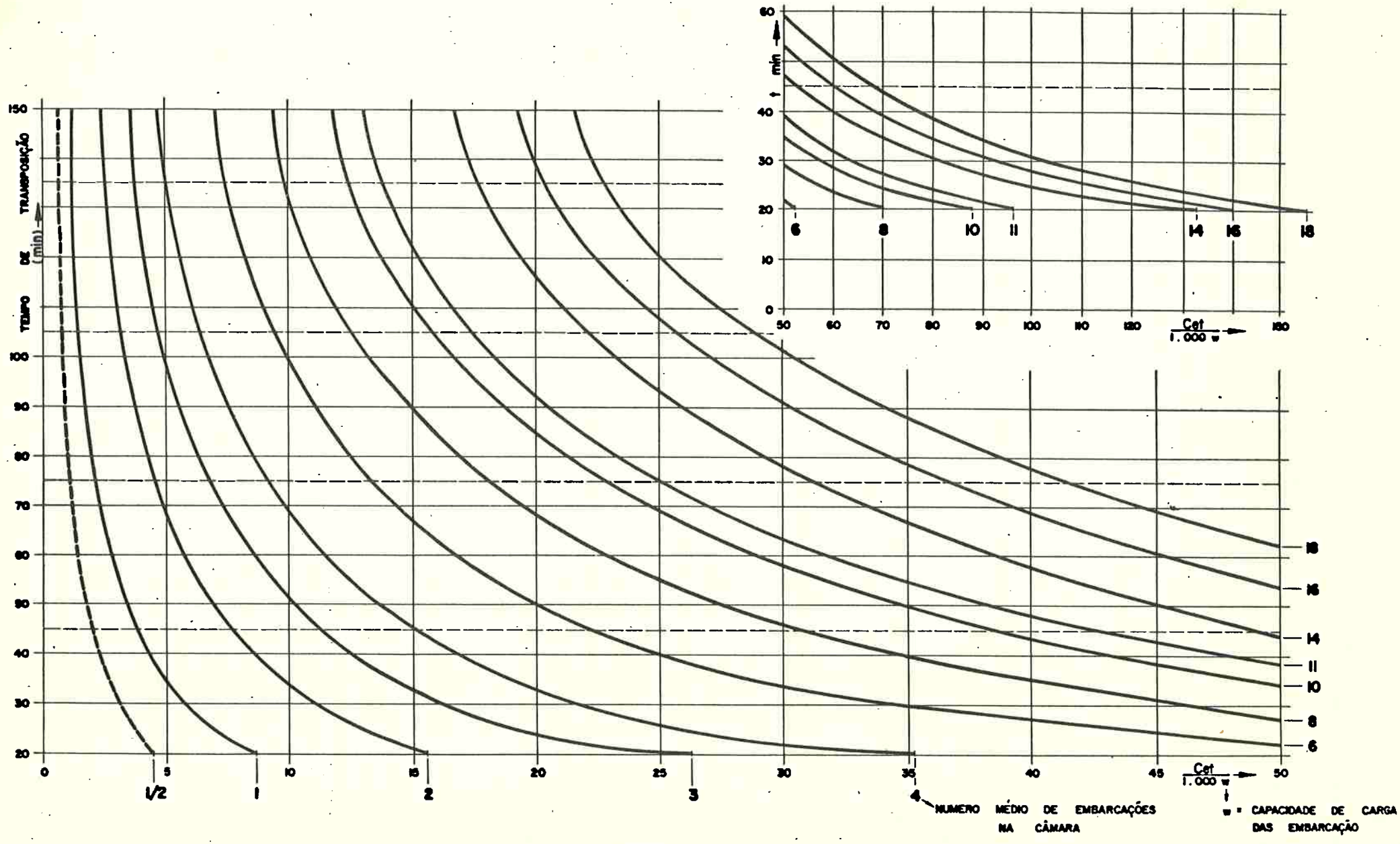


FIGURA 29

CAPACIDADE EFETIVA DE TRÁFEGO DAS OBRAS PADRÃO (E = 0,33)

feitas no Brasil, ser baseados na técnica norte-americana. Assim, deverá ser previsto um muro guia liso no prolongamento de um dos muros de ala, com comprimento no mínimo igual ao comprimento da câmara, destinado a orientar o comboio de empurra e capaz de receber o choque oblíquo das embarcações. As velocidades máximas da água, no caso de alimentação ou restituição de eclusas diretamente no canal de acesso, não deverão ultrapassar 1 m/s, sendo sempre preferível efetuar o escoamento fora dos acessos. As ondas produzidas pela operação das eclusas ou pelo escoamento de outros órgãos do aproveitamento múltiplo, nos canais de acesso, garagens de espera e postos de estacionamento, deverão ter, no máximo, a amplitude de 0,50 m. Nos grandes reservatórios, onde é de se esperar ondulações,com amplitudes maiores, produzidas pelo vento, cuidados especiais deverão ser tomados, visando proteger tôda a área de operação da obra. A construção de diques de proteção semelhante aos adotados em obras russas, poderá ser então necessária.

O raio de curvatura da trajetória das embarcações que se destinam às obras de transposição deverá ser compatível com o comprimento máximo do comboio, não devendo ser, em princípio, muito inferior a 10 vêzes àquele valor, para permitir o cruzamento dos comboios.

No que diz respeito às garagens de espera, há conveniência em ser adotado o tipo contíguo à entrada, constituído, como indicamos, por um muro ou estacada paralelo à direção longitudinal da câmara, deslocado em relação ao muro de alá de uma distância igual à largura da câmara mais uma folga de 3 a 5 m. Estas garagens são essenciais quando são previstos desmembramentos de comboios e operação com passagens alternadas nos dois sentidos (figura 27).

Além destas garagens que deverão ter comprimento igual ao comprimento da câmara ou, excepcionalmente, à metade do comboio tipo, há necessidade de serem previstos postos de estacionamento com capacidade para receber várias embarcações nos períodos de congestionamento. Na Europa, esta espera mais prolongada é feita, em geral, com as embarcações fundeadas e, para tanto, mesmo os comboios que trafegam no rio Reno, são munidos de ferros e equipamento de fundeio. Nos Estados Unidos, os comboios, em geral, não dispõem de âncoras, sendo a espera feita ao longo das margens, com amarras prêsas em cabeços de amarração ou, mais comumente, em simples árvores.

Para as futuras obras brasileiras, com reservatórios profundos e variações consideráveis de nível d'água, o fundeio, apesar das vanta--

gens que oferece, não deverá ser adotado, devendo ser previstos locais para estacionamento ao longo das margens. A distância dêstes locais à obra de de transposição, deve ser convenientemente estudada, a fim de evitar atrasos e perdas de tempo. A capacidade dêstes portos de espera resulta do congestionamento previsível, porém não deverá ser inferior a 3 comboios, número mínimo que a experiência recomenda.

Os processos de deslocamento lateral das embarcações propostos recentemente (AUBERT - 1967) não foram ainda aplicados em nenhuma obra e portanto, não tiveram sua eficiência comprovada. Os estudos em modêlo reduzido indicam que poderão ser de grande utilidade na movimentação de chatas nas garagens de espera, sobretudo nas obras "pioneiras", em que fôrem previstos vários desmembramentos. Êste método de aceleração de tráfego poderá ser instalado posteriormente, quando o tráfego o exigir, como assinala Aubert, mas deverá ser previsto na construção da obra.

Os sistemas de movimentação das embarcações sem propulsão na câmara e acessos deverão garantir uma velocidade de deslocamento mínima de .. 1 m/s, valor previsível para as embarcações auto-propulsionadas nos acessos à câmara. No caso de eclusas de grande queda, aparecem dificuldades no projeto de um sistema eficiente de movimentação outro que, rebocadores auxiliares, devido à altura dos muros de ala. O uso de cabrestantes elétricos, ainda que não seja, em geral, o sistema mais indicado, pode levar à soluções satisfatórias nestes casos. Nos Estados Unidos, como referimos, vêm sendo feitas experiências utilizando o próprio rebocador do comboio, porém ainda sem resultados definitivos.

Deverão ser tomadas precauções nos canais intermediários das escalas de eclusas, a fim de reduzir ao mínimo o tempo de passagem. O emprêgo de sirga ou rebocadores de tração nestes canais não é recomendável para as chatas de comboios de empurra por serem as mesmas desprovidas de lemes de direção. O ideal, apesar de dispendioso, é prever-se a operação nestes canais de pequenos rebocadores de empurra, que de acôrdo com técnica que vem sendo desenvolvida em canais europeus, podem ser operados por um único tripulante. De tôda a forma, deverá ser prevista uma velocidade mínima das embarcações nestes canais da ordem de 1,50 m/s, devendo ser dimensionado o sistema de propulsão das chatas para valores desta ordem (esta velocidade deverá ser aumentada, em canais intermediários muito longos).

A seção dos canais intermediários deverá ser dimensionada para permitir o cruzamento em qualquer ponto, não sendo indicada a adoção de "bacia de cruzamento" que impõe sérias restrições à operação das obras de transposição. Para garantir esta condição e a velocidade mínima indicada, a área da seção será de 6 vêzes a da seção mestra dos barcos que trafegarão, a largura, duas vêzes e meia a três a largura da câmara, e a profundidade mínima de 3,80 m. O volume d'água capaz de ser acumulado nestes canais deverá ser, no mínimo, de três vêzes o volume da câmara da maior eclusa extrema.

De um modo geral, a comunicação radiofônica entre as embarcações e a administração das obras é um fator importante de eficiência e segurança nas manobras, devendo ser instituído como obrigatório o seu uso, desde a implantação da navegação.

10 - TIPOS DE PORTAS

A escolha dos tipos de portas que deverão ser utilizadas nas eclusas é essencialmente um problema de custo, dado que o tempo de manobra das mesmas pouco influe na capacidade de tráfego ou no tempo de passagem da obra de transposição.

Ao menos uma das portas nas eclusas (de preferência a de montante) deverá poder ser movimentada em carga, por motivos de segurança, sendo êste fato essencial quando é prevista a utilização da obra como extravasor de cheias. Se nenhuma das portas permite a operação em carga, haverá necessidade de uma porta auxiliar com êste fim, que poderá ser de um dos tipos indicados no Capítulo III.

Para o caso particular das eclusas brasileiras, os tipos mais apropriados são as portas de busco e as portas planas de movimentação vertical, dado sobretudo às facilidades de construção e de manutenção. Quando a largura fôr grande, as portas transversais corrediças podem também ser recomendáveis, se a altura não fôr muito elevada.

Para a opção entre êstes 3 tipos de portas, convém citar as seguintes comparações, sugeridas pela grande experiência holandesa (JITTA et al. - 1949):

" 1 - Portas de busco

Vantagens: Não têm partes móveis delicadas constantemente submersas; grande simplicidade; portas leves porque o comprimento das fôlhas não é muito superior à metade da largura das câmaras; exigem pouca energia e abrem ràpidamente; sistemas de manobras muito simples; manobra manual possível em tempo razoável.

Desvantagens: Não podem ser abertas enquanto houver desnível; não podem sofrer manutenção durante a operação normal; quando abertas, sofrem o risco de serem atingidas e inutilizadas na passagem de embarcações; não há meio de fazer passagem sôbre as portas; as comportas por ventura existentes nas fôlhas não podem ser verificadas por estarem sempre submersas; no caso de alimentação pelas portas é difícil fazer um sistema dissipador de energia que ultrapasse a borda da porta; a estabilidade dos muros pode ser afetada pelos esforços que lhe são transmitidos pela porta fechada e submetida a pressão.

Desvantagem atribuída sem motivo: O pino de apoio e rotação da porta ("pivot") fica sempre submerso (a experiência mostra que êste elemento, pràticamente, não exige nenhuma manutenção durante longos anos de funcionamento).

Aplicação mais recomendável: Eclusas altas em relação à largura.

2 - Portas levadiças

Vantagens: Não há partes móveis delicadas constantemente submersas; podem ser abertas enquanto persiste uma desnivelação entre a câmara e o exterior; fácil de manter durante a utilização, porque a porta sai totalmente fora da água; no caso de alimentação pela porta, pode-se adotar qualquer tipo de dissipador; podem ser abertas em carga e fechadas com escoamento.

Desvantagens: As portas são pesadas por serem mais largas que a largura das eclusas; sistemas de manobra complicados; grande consumo de energia para abrir ràpidamente; impossibilidade de manobra manual em pouco tempo; quando abertas deixam cair água sôbre as embarcações que passam por baixo; são necessários contrapesos; são indispensáveis tôrres ou pórticos de manobra.

Vantagens atribuídas sem motivo: Economia de tempo de transposição pela manobra antes de ser atingida a igualdade de níveis d'água (o pouco tempo ganho é compensado pela demora na movimentação total, por ser a porta maior).

Aplicação mais recomendável: Quando há necessidade de movimentação sob pressão ou interrupção de fluxo (desvio de cheias pela eclusa); quando há possibilidade de desnivelações alternadas nos dois lados da porta (dificilmente pode ocorrer em aproveitamentos múltiplos).

3 - Portas transversais corrediças

Vantagens: Pouca energia para comandar ràpidamente a porta; possibilidade de utilizar a porta para passagem de veículos; sistema de manobra (guinchos) muito simples.

Desvantagens: Grande largura da cabeça da eclusa (perpendicularmente ao eixo); é difícil controlar e substituir as portas móveis permanentemente submersas; dificuldade em manter os trilhos, fixados no fundo (a experiência mostra um desgaste da ordem de 1 mm por ano); a porta não pode ser consertada durante a exploração normal da eclusa; a porta só pode ser aberta quando o desnível é pràticamente nulo; a porta é relativamente pesada por ser mais larga que a eclusa; é difícil de adaptar sistemas de enchimento pela porta, com dissipadores de energia.

Vantagem atribuída sem motivo: A cabeça da eclusa pode ser curta (a extensão depende da estabilidade).

Aplicação mais recomendável: Quando a eclusa é larga e a porta é de pequena altura; quando há possibilidade de desnível nos dois sentidos. "

Dois tipos de portas, que podem ser consideradas como variantes das indicadas, vêm sendo utilizados com freqüência nos últimos anos: as portas baixadiças (que descem no muro de queda) e as portas laterais corrediças suspensas. As primeiras, têm como principal desvantagem ficarem submersas (exceto em eclusas com grande muro de queda), o que pode ser contornado por um sistema apropriado de alçamento (exigindo então, tôrres ou pórticos de suspensão); as segundas exigem pórticos móveis, porém dispensam o emprêgo de trilhos na soleira.

Outros tipos de portas, como as de setores (de eixo vertical ou horizontal), de segmentos (idem), alhetas, etc. só terão emprêgo em casos particulares em que haja necessidade de resolver dificuldades especiais (fundações particulares, contrôle de vazão, etc.).

Ao que tudo indica, para eclusas de grande queda, o mais conveniente é adotar porta de busco à montante e porta levadiça na máscara à jusante; se não houver máscara, possìvelmente, a melhor solução seja adotar porta baixadiça à montante e de busco à jusante.

De um modo geral, para os aproveitamentos múltiplos e navegação com comboios de empurra, as portas intermediárias não se justificam: nas obras "pioneiras" com câmaras relativamente pequenas a economia d'água obtida é desprezível, e nas obras definitivas, acopladas às obras "pioneiras", não haverá necessidade dêste artifício, porquanto a eclusa grande será utilizada com um alto grau de aproveitamento da área da câmara.

Para os ascensores em geral, as portas planas levadiças ou baixadiças são sempre as mais indicadas, seja para as portas fixas à estrutura, seja para as fixas às cubas. Como porta montante das rampas hidráulicas, vêm sendo estudados modelos automáticos ou semi-automáticos, que permitirão a abertura imediata quando os níveis d'água da cunha e do canal forem igualados; desta forma, pràticamente, não haverá perda de tempo para a movimentação da porta.

11 - ACESSÓRIOS DIVERSOS

Dos diversos acessórios referidos anteriormente, dois merecem especial atenção: os sistemas de proteção das portas (pára-choques) e os cabeços de amarração.

Dado as graves conseqüências que podem advir de um choque direto contra as portas, a moderna técnica recomenda o emprêgo de pára-choques de proteção, especialmente do lado externo da porta de montante e interno da porta de jusante. As despesas feitas com esta proteção são sempre justificáveis, face aos sérios riscos que existem. O sistema de cabos ou correntes , com contrapesos ou molas parece ser um dos mais indicados, pela sua simplicidade e deverá ser adotado em várias obras a serem feitas nos aproveitamentos múltiplos brasileiros.

No que se refere aos cabeços de amarração, a experiência tem mostrado que devem ser adotados sistemas móveis (flutuantes), desde que a altura de queda das eclusas ultrapasse 8 ou 10 m. Admitida uma fôrça máxima de amarração de 10 ton, como sugerimos, haverá necessidade de serem êstes sistemas reestudados, pois, até o presente, têm sido projetados para resistir esforços bem mais reduzidos. Para os ascensores, de um modo geral, os tipos "dinâmicos", que absorvem parte da fôrça de amarração, como o do plano inclinado de Ronquières, merecem consideração particular. A distância horizontal entre os cabeços deve ser tal que haja sempre a possibilidade de amarração de cada elemento isoladamente, ou seja, na padronização adotada, 25 m. Nas eclusas européias, a distância vertical entre os cabeços fixos, é, em geral, de 2,50 m, visando a facilidade de manobras.

Entre os demais acessórios, cabe referirmo-nos ao sistema de esvaziamento total da câmara, essencial para a manutenção das obras de transposição e que para as grandes profundidades mínimas previstas, passa a ter importância especial. O tempo gasto nas operações de esgotamento reflete-se nas interrupções de tráfego e, portanto, ainda que sejam pouco freqüentes estas operações, devem ser cuidadosamente projetadas, sobretudo quando é previsto o desvio de enchentes pela obra. O esvaziamento total da câmara, além do mais, deve ser considerado no cálculo estrutural dos muros das eclusas.

Quanto as escadas nas câmaras das eclusas, a tendência atual, derivada do emprêgo sistemático de comboios de empurra, é reduzí-las a duas ou três, no máximo, em cada muro de ala. Esta redução conduz a economias muito pequenas na construção, não sendo por êste motivo, de maior importância no projeto das obras.

Finalmente, cabe referir aos estudos que vêm sendo executados na Rússia, visando o uso de amortecedores de choque (defensas mecânicas) nos muros de ala de eclusas e nos muros guias dos acessos. Êstes sistemas poderiam reduzir os gastos de manutenção das obras e mesmo o custo das estruturas, aumentando por outro lado, a segurança das embarcações.

C O N C L U S Õ E S

Pela importância especial de que se revestem, merecem ser destacadas as conclusões seguintes:

1 - A navegação interior no Brasil está ligada, sobretudo, à construção de obras de transposição de desnível nos aproveitamentos múltiplos. Um grande número destas obras deverá ser executado num futuro próximo. As poucas obras até hoje construídas não seguiram um plano de conjunto, que vise a interligação das rêdes e o melhor aproveitamento das hidrovias. É urgente definir esta diretriz comum, que deverá ser adaptada aos mais recentes progressos do meio de transporte.

2 - As eclusas de navegação, sobretudo as de lance único, continuam hoje, como o foram no passado, a constituir as obras ideais de transposição de desnível para as embarcações, especialmente quando não há carência de água. As eclusas simples atingem atualmente desníveis de 30 metros, com relativa freqüência, podendo mesmo serem empregadas para quedas da ordem de 40 m. No futuro próximo é de se prever que êstes limites atuais venham a ser ultrapassados.

3 - Para grandes desníveis, os ascensores mecânicos continuam sendo recomendáveis, apesar de terem sido pouco utilizados nos últimos cinqüenta anos. Dos ascensores clássicos, os planos inclinados, nas condições técnicas atualmente vigentes, são os mais indicados para desníveis que ultrapassam 50 m. As rampas hidráulicas, sistema relativamente novo de ascensor e que ainda não foi adotado em nenhum local, deverão com grande probabilidade, substituir os planos inclinados nos desníveis futuros desta ordem.

4 - A integração da obra de transposição no conjunto do aproveitamento múltiplo pode, em muitas circunstâncias, contribuir consideràvelmente para reduzir o custo global, sem grandes inconvenientes para a navegação. Nos rios caudalosos, a utilização das eclusas como elemento vertente ocasional é, quase sempre, uma solução recomendável.

5 - Os sistemas modernos de enchimento das câmaras das eclusas e as leis bem estabelecidas para o deslocamento das cubas dos ascensores permitem obter o deslocamento vertical das embarcações com total segurança, em tempos bastante curtos. Êstes tempos, porém, representam apenas parte do tempo total de transposição, sendo muitas vêzes possível ganhar tempo em outras fases da operação, com menor custo.

6 - A navegação com grandes comboios de empurra é, sem qualquer dúvida, o sistema mais apropriado para as condições econômicas e sociais do mundo moderno. As obras de transposição de desnível não podem ser projetadas atualmente sem ser devidamente considerada esta realidade sob pena de tornarem-se obsoletas em curto prazo. Dentro dêste princípio, a padronização das frotas deve ser considerada como um dos passos mais importantes para a garantia do sucesso da implantação de uma nova hidrovia em região onde não haja navegação interior.

7 - Com uma operação regular da obra de transposição, pode-se esperar obter a passagem efetiva de uma tonelagem aproximadamente igual a um têrço da tonelagem máxima que poderia transitar em condições ideais. Para tanto, porém, é necessário garantir o tráfego contínuo todo o ano e 24 horas por dia, o que é uma condição essencial para a economicidade do transporte à grande distância.

8 - As perdas de tempo na passagem de embarcações por obras de transposição de alta queda em rios de fraca declividade, conseqüentemente bastante distantes entre si, influem relativamente pouco no custo de transporte, o que possibilita o emprêgo de comboios com dimensões maiores que as câmaras, e que devem ser desmembrados para transpor o desnível.

9 - Tanto para as eclusas como para os ascensores, do ponto de vista exclusivamente do custo inicial da obra, há sempre interêsse, para uma mesma área da câmara, em aumentar a largura ao invés do comprimento (para as dimensões usuais das obras de transposição).

10 - Os métodos e equipamentos modernos de operação das eclusas e ascensores, incluindo a radiotelefonia, radar e televisão, bem como o comando centralizado e automatizado vieram simplificar e baratear substancialmente a operação das obras de transposição, devendo ser empregados o mais possível. O uso de "eclusas automáticas", operadas pelas tripulações das em-

barcações não é ainda recomendável para os aproveitamentos múltiplos de elevada queda.

11 - Os sistemas de economia de água, como bacias de recuperação, portas intermediárias, eclusas geminadas, etc., de um modo geral, não são justificáveis para as obras de transposição em rios caudalosos, utilizadas por comboios de empurra.

12 - O aprofundamento da câmara das eclusas é de grande interêsse por vários aspectos, sobretudo em obras de média e alta queda, merecendo ser examinado o seu custo em cada caso particular. Para os ascensores, de um modo geral, a profundidade na câmara deve ser limitada à estritamente necessária às embarcações, podendo ser utilizados sistemas compensadores de vazões para reduzir os tempos de entrada e saída na câmara.

13 - As dimensões de 8 metros de bôca e 50 metros de comprimento podem satisfazer razoàvelmente as necessidades das futuras embarcações (chatas de empurra e automotores) que deverão utilizar as rêdes fluviais brasileiras. As obras de transposição deverão ser previstas para receber embarcações com 3,50 m de calado, mesmo que a via fluvial, numa primeira etapa, não admita tal calado, que deverá ser padronizado futuramente.

14 - Para a implantação da navegação fluvial em vias em que não se prevê um tráfego intenso senão após um prazo relativamente longo, pode-se adotar a construção inicial de uma obra "pioneira", com capacidade de tráfego restrita (5.000.000 de toneladas por ano, por exemplo) a ser duplicada futuramente por outra de maior porte, capaz de receber uma corrente de tráfego bem superior. Êste método de obtenção progressiva da via fluvial ideal, exige, porém, que desde o planejamento, seja prevista a segunda obra de transposição, que deverá ser projetada, ou mesmo parcialmente incluída na construção do aproveitamento múltiplo.

15 - Para utilização por embarcações tipo com as dimensões anteriormente citadas, as câmaras das eclusas devem ter: 9 por 160 m, 17 por 160 m, 17 por 210 m, 25 por 160 m, 25 por 210 m, 33 por 210 m ou 33 por 260 m, podendo eventualmente serem utilizadas, caso sejam previstos desmembramentos sistemáticos dos comboios, câmaras com 9 por 55 m e 17 por 105 m. Para os elevadores verticais e planos inclinados, as câmaras das cubas deverão ter 9 por 55 m, 9 por 105 m, 17 por 55 m ou 17 por 105 m. A escolha entre estas dimensões só pode ser feita a partir de considerações econômicas e das características da via fluvial.

16 - Atenção especial deve ser dada aos acessos das câmaras; o tipo de muro guia mais recomendável para comboios por empurra longos é o retilíneo, alinhado na direção do muro de ala da câmara, dimensionado para receber o choque oblíquo das embarcações e liso, de forma a permitir o escorregamento da proa do comboio. As garagens e estacionamentos deverão ser também cuidadosamente estudados, sobretudo se são de se prever desmembramentos ou reagrupamento de comboios de empurra.

S I M B O L O G I A

A	Área da seção transversal dos aquedutos de alimentação da câmara da eclusa
B	Coeficiente de perda de tempo na passagem pela obra de transposição
C	Capacidade de tráfego da obra de transposição
$C_{m.t.}$	Capacidade máxima de tráfego
$C_{e.t.}$	Capacidade efetiva de tráfego
D	Coeficiente de utilização referente ao consumo de água nas eclusas
E	Coeficiente de eficiência da obra de transposição
F_a	Fôrça máxima de amarração
F_h	Fôrça hidrostática atuante no casco das embarcações
F_r	Fôrça de atrito ou resistência das embarcações
G	Gasto de água numa eclusa
$G_{a.t.}$	Gasto de água teórico
$G_{a.e.}$	Gasto de água efetivo
H	Altura do desnível a ser vencido na obra de transposição
I	Inclinação da superfície líquida
J	Coeficiente relativo ao número de passagens com utilização de sistema auxiliar de propulsão
K	Coeficiente de operação referente ao consumo de água em uma eclusa
L	Comprimento útil da câmara
N	Número de passagens por ano
P	Deslocamento das embarcações
Q	Vazão
R	Rendimento de grupo gerador de usina hidroelétrica

S	Área da câmara da obra de transposição
T_t	Tempo de transposição
T_v	Tempo de operação em vazio
T_p	Tempo de passagem
V	Volume d'água gasto para enchimento da câmara da eclusa, com desnível máximo
W	Capacidade de carga de uma embarcação
c	Celeridade de uma onda
g	Aceleração da gravidade
h	Profundidade da água na câmara
i	Inclinação do plano inclinado ou de rampa hidráulica
k	Coeficiente de resistência de forma
ℓ	Largura útil da câmara
n	Número inteiro
p	Custo inicial de uma obra de transposição
v_r	Velocidade relativa
w	Área molhada da seção mestra de uma embarcação
z	Amplitude de uma onda
α	Número de passagens sucessivas no mesmo sentido
β	Número de câmaras sucessivas em eclusa de câmaras múltiplas ou escadas de eclusas
γ	Pêso específico da água
θ	Número de desmembramentos de um comboio para a passagem pela obra de transposição
φ	Coeficiente de atrito
λ	Número de mudanças no sentido de tráfego num determinado intervalo de tempo
μ	Coeficiente de escoamento
π	Pêso da cuba de um ascensor

T E R M I N O L O G I A

ASCENSORES DE EMBARCAÇÕES - Sistemas mecânicos de transposição de desnível em que as embarcações são movimentadas no interior de câmaras móveis (cubas ou cunhas d'água).

AUTOMOTOR - Embarcação de carga provida de propulsão própria.

BARCAÇA - Embarcação de carga sem propulsão própria, porém, provida de lemes e utilizada em comboios de tração.

BÔCA DAS EMBARCAÇÕES - Largura máxima na seção mestra da embarcação.

CALADO MÁXIMO DAS EMBARCAÇÕES - Calado correspondente à embarcação carregada com sua capacidade máxima de carga.

CAPACIDADE DE CARGA DAS EMBARCAÇÕES - Tonelagem de carga que a embarcação pode receber.

CHATA - Embarcação de carga sem propulsão e sem lemes, utilizada nos comboios de empurra.

COMPRIMENTO DA CÂMARA - Distância máxima entre as portas que pode ser ocupada pelas embarcações (comprimento útil).

DESLOCAMENTO DAS EMBARCAÇÕES - Volume d'água deslocado por uma embarcação.

DESMEMBRAMENTO - Operação de separação das chatas de um comboio de empurra.

ECLUSA DE CÂMARAS MÚLTIPLAS - Obra de transposição de desnível composta de várias câmaras a nível variável justapostas de tal forma que a porta de montante de uma câmara serve de porta de jusante da câmara seguinte.

ECLUSA SIMPLES (ECLUSA) - Obra de transposição de desnível composta de uma câmara a nível variável e duas portas de acesso, uma à montante e outra à jusante.

ECLUSAS CONJUGADAS - Eclusas em paralelo que são interligadas por circuito hidráulico.

ECLUSAS EM PARALELO - Duas ou mais eclusas que vencem o mesmo desnível.

ELEVADORES VERTICAIS - Ascensores em que as cubas deslocam-se verticalmente.

ESCADA DE ECLUSAS - Obra de transposição de desnível composta de uma série de eclusas simples, ligadas por canais intermediários.

ESTACADA ou MURO DE PROTEÇÃO - Estrutura externa à câmara, destinada a proteger o acesso das embarcações contra ondas ou correntes.

LARGURA DA CÂMARA - Distância entre as verticais extremas das paredes laterais da câmara.

MÁSCARA DE ECLUSA - Muro vertical entre os muros de ala, situado acima da porta de jusante das eclusas, destinado a reduzir a altura daquelas portas nas obras de grande desnível.

MURO DE ALA - Muros que constituem as paredes da câmara das eclusas.

MURO GUIA - Muro externo à câmara, destinado a facilitar a entrada das embarcações na mesma.

MURO DE QUEDA - Muro vertical normal à obra de transposição, correspondente à parte do desnível a ser vencido.

OBRAS DE BAIXA, MÉDIA E ALTA QUEDA - Obras de transposição de desnível com alturas de queda até 15 m, de 15 a 25 metros e de mais de 25 metros respectivamente.

PLANOS INCLINADOS - Ascensores em que as cubas deslocam-se sôbre triplos dispostos em rampas.

PONTAL DAS EMBARCAÇÕES - Altura máxima entre o fundo e a coberta da embarcação.

RAMPAS HIDRÁULICAS - Ascensores em que as embarcações deslocam-se flutuando em prismas de água movimentados em canais inclinados.

REAGRUPAMENTO - Operação pela qual é modificada a formação de um comboio de empurra para simplificar a passagem pela obra de transposição.

REBOCADOR DE EMPURRA (EMPURRADOR) - Embarcação de propulsão dos comboios de empurra.

REBOCADOR DE TRAÇÃO - Embarcação de propulsão dos comboios tracionados.

RECOMPOSIÇÃO - Operação de ligação das chatas de um comboio de empurra.

B I B L I O G R A F I A

ABECASIS, F.M. et al. Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Paper SI-2:163-189.

ABREU LIMA, J.O. Eclusas - Dimensões Fundamentais. IIa. Semana de Estudos sôbre Transportes Marítimos e Construção Naval, São Paulo, 1961.

ALMERAS Quelques Problèmes Posés par le Remplissage des Écluses de Navigation. La Houille Blanche, Grenoble, 3 (5) set/out. 1948.

ARP, M. A l'Occasion de l'Inauguration du "Mittelandkanal". Bulletin A.I.P.C.N., Bruxelles, 14 (27):72-82, jan. 1939.

AUBERT, J. Le Franchissement des Hautes Chutes - La Solution Pente d'Eau. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 33 (16):689-695, set. 1961.

_____ Intervenção na 2a. Questão da Seção I do XXº Cong. Int. de Nav., Baltimore, 1961. Comptes Rendus:186.

_____ Intervenção na 3a. Questão da Seção I do XIXº Cong. Int. de Nav., Londres, 1957. Comptes Rendus:143.

_____ Nouveaux Principes de Construction des Voies Navigables. In: 1a. Conferência Internacional da Água para a Paz, Washington, 1967.

_____ Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Rapport S.1-Q.3:75-103.

_____ Utilisation des Pentes d'Eau et des Souterrains Actifs sur les Vois de Navigation Intérieure. Mémoires I.C.F., Paris (12):15-22, dez. 1963.

BARBET, L. Cong. Int. de Nav., 9º, Dusseldorf, 1902. Rapport S.1-Q.1:1-27.

BARROWS, H.K. Floods: their Hydrology and Control. New York, McGraw-Hill, 1948.

BEAU, F. e DEYMIE, Ph. Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Rapport S.1-Q.1:57-97.

BENGHOUZI Le Canal du Nord et la Liaison Nord-Paris. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 38 (8):228-230, 1966.

BIJLS, A e VUYLSTEKE, E. Quelques Données sur les Grandes Écluses du Canal Albert. Cong. Int. de Nav., 17º, Lisbôa, 1949. Rapport S.1-C.1:5-14.

BIRKENDAHL et al. Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Rapport S.1-3:5-31.

BLATTNER, H. Ausbauplan der Gewässer Zwischen dem Genfersee und dem Rhein, v.1-3. Neuenburg , Verlag Baconnière, 1953.

BLEE, C.E. Structural Elements for Emergency Closures and Unwatering Operations. Transactions A.S.C.E., New York, 76 (116):853, 1951.

BLENHKARN, A. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Paper S.1-4:177--188.

BLOOR, R.L. Lock Sizes for Inland Waterways. Transactions A.S.C.E., New York, 76 (116):864-888, 1951. Paper 2449.

_____ Physical Characteristics of Locks for Handling of Traffic, Discharge of Floods, and Dispersal of Alluvial Deposits. In: Cong. Int. de Nav., 18º, Roma, 1953. Paper S.1-C.3:63-83.

BOEUF, R. e DELATTRE, P. L'Écluse des Fontinettes. Revue de la Navigation Interiéure et Rhénane, Strasbourg, 39 (19,21):692 e 764, set., nov. 1967.

BONNET, L. Canal Visé-Aix La Chapelle-Rhin. Annales des Travaux Publics de Belgique, Bruxelles, 106 (3-4):362-379/633-678, jun-ago. 1953.

BONNET, M. Cours de Navigation Intérieure - Canaux (4ème partie). Paris, École Spéciale des Travaux Publics, 1922.

BOTTOMS, E.E. Practical Tonnage Capacity of Canalized Waterway. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 92 (WW-1), fev. 1966.

BRAUN, H.G. et al. Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Rapport S.1--2:5-56.

BRETSCHNEIDER, H. Schiffshebeanlagen mit Schiefer Ebene. Die Wasserwirtschaft, Berlin, 55 (12):381-385, dez. 1965.

BRIONES, F. La Navigation sur le Guadalquivir entre Séville et Cordoue. In: Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Rapport S.1-C.I:31-38.

BURGER, A., JITTA, J.P. e STELLING, P. Cong. Int. de Nav., 18º, Roma, 1953. Rapport S.1-C.3:193-222.

BULLETIN A.I.P.C.N. L'Ascenseur pour Bateaux de Niederfinow. Bulletin A.I.P.C.N., Bruxelles, 9 (18):99-112, jul. 1934.

BULLETIN A.I.P.C.N. Le Nouvel Ascenseur pour Bateaux d'Henrichenbourg à Waltrop. Bulletin A.I.P.C.N., Bruxelles, 4 (10):43-55, 1963.

_____ Note sur le Plan Incliné de Ronquières et les Travaux Connexes. Bulletin A.I.P.C.N., 1 (3):95-97, 1962.

C.I.B.P.U.: COMISSÃO INTERESTADUAL DA BACIA PARANÁ-URUGUAI Etude et Avant--Projet des Travaux d'Aménagement en Voies Navigables des Cours Inférieurs Fleuves Paranapanema, Tibagi et Ivinhema-Brilhante. São Paulo, C.I.B.P.U., 1958.

CORESP: COMITÊ REGIONAL DO COMITÊ COORDENADOR DOS ESTUDOS ENERGÉTICOS DA REGIÃO CENTRO-SUL DO BRASIL Multipurpose Aspects of Power Development (Appendix nº 9). São Paulo, abr. 1966.

CABELKA, J. e PUZANOV, A. Navigation Lock Serving as a Wasteway of a Canal-Type Power Station. In: Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Paper S.1-Q.3:127-144.

CADART, G. Ascenseurs, Plans Inclinés et Ecluses - Chute de 41 m - de la descente en Saône du Canal de la Marme à la Saône. Nouvelles Annales de la Construction, 5, mai/out. 1898:66,89,121,145,169,201.

CADART, G. e BARBET, L. Des Elements Constitutifs d'une Voie Navigable (considéré au point de vue de sa capacité de fréquentation et de l'utilisation du matériel de batellerie). Annales des Ponts et Chaussées, Paris, s.8, 9:212-264, 1903.

CANISIUS, P. e JAMBOR, F. Avoiding Cross Currents in the Reaches of Double Locks during Filling and Emptying. In: Cong. Int. de Pesquisas Hidráulicas, 8º, Montreal, 1959:5B-1-15.

CARDOT, M. Écluse à Sas Oscillant. Annales des Ponts et Chaussées, Paris, s.8, 9:56, 1903.

CARTAULT, M. Plan Incliné de Blackhill sur le Canal de Monkland. Annales des Ponts et Chaussées, 9:361-369, 1877.

CARTER, W. e BROWN, R.D. Overhaul of Locks in the Panama Canal. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 88 (WW-1), fev. 1962.

CLEMENT, M. Chute de Ottmarsheim: Écluses. Travaux, Paris, 36(211):169--178, mai. 1952.

CORPS OF ENGINEERS (U.S.ARMY) Hydraulic Design, Navigation Locks. E.M. 1110-2-1604, 1963.

CORPS OF ENGINEERS (U.S.ARMY) Navigation Locks (Engineering and Design). E.M.1110-2-2601, 15 jun. 1959.

_____ Navigation Locks - Standard Lock Sizes (Engineering and Design). E.M.1110-2-2603, 23 out. 1957.

_____ Planning and Design of Navigation Lock Walls and Appurtenances (Engineering and Design). E.M.1110-2-2602, 30 jun.1960.

CROOK, L.T. e MOORS, A.J. Criteria Used in United States in Planning New Inland Waterways and Reconstructing Existing Waterways. In: Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Paper S1.3:133-164.

D.A.E.E.: DEPARTAMENTO DE ÁGUAS E ENERGIA ELÉTRICA Aproveitamento Hidroelétrico de Barra Bonita: Projeto. São Paulo, Cia. Técnica Internacional, 1956.

D.E.P.R.C.: DEPARTAMENTO ESTADUAL DE PORTOS, RIOS E CANAIS Plano Hidroviário do Estado do Rio Grande do Sul. Pôrto Alegre, D.E.P.R.C., 1961.

D.N.P.V.N.: DEPARTAMENTO NACIONAL DE PORTOS E VIAS NAVEGÁVEIS Estudo Sumário da Canalização para Navegação do Sistema Tietê-Paraná: Relatório Técnico. São Paulo, D.N.P.V.N., 7a. Diretoria Regional, ago. 1967.

DAVID, R. e BALLADE, P. La Barge sur les Voies Navigables. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 30 (19):710-725, nov. 1958.

_____ La Navigation par Convois Poussés aux U.S.A.: Conditions Générales. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 30 (9):310-320, mai. 1958.

_____ Le Pousseur sur les Voies d'eau Américaines. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 30 (14):494-504, jul. 1958.

DAVIS, C.V. Tratado de Hidráulica Aplicada. Madrid, Editorial Labor,1956.

DAVIS, J.P. The American Locks of the St. Lawrence Seaway. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 84 (WW-4), set. 1958.

_____ Experimental Research on Lock Hydraulic Systems. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 92 (WW-1), fev. 1966.

_____, NELSON, M. e PATTON, R. United States Development of Hydraulic and Structural Designs for Locks. In: Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Paper S.1-2:191-213.

DEHNERT, H. Schleusen und Hebewerke (Handbibliothek für Bauingenieure). Berlin, Springer, 1954.

DELATTRE, P. L'Écluse de Saint-Pierre. Travaux, Paris, 36 (211):179-190, mai. 1952.

_____ La Nouvelle Écluse de Fontinettes. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 40 (2):34-41, jan. 1968.

DE MAS, F.B. Cours de Navigation Intérieure. v.1-Rivière à Courant Libre, v.2-Canaux. Paris, Librairie Polytechnique Ch.Béranger, 1904.

DE RIES, J. Étude sur le Mouvement de l'Eau et les Forces d'Amarrage des Bateaux dans un Sas Mobile. Annales des Travaux Publics de Belgique, Bruxelles, 65 (3-4-5), jun-ago-out. 1962.

DETIG, H. Die Zwischenpfeiler der Kanalbrücke des Schiffshebewerks Niederfinow. Die Bautechnik, Berlin, 12 (40):523-535, set. 1934.

DIMITRIJEVIC, M. e JANICIJEVIC, M. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore,1961. Paper S.1-4:273-283.

DUMAS, F. Capacité et Dimensions d'une Écluse en Fonction du Trafic et des Dimensions des Bateaux. In: Cong. Int. de Nav., 18º, Roma, 1953. Rapport S.1-C.3:85-170.

_____ Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Rapport S.1-C.1:69-111.

ELDER, R.A. "Tidal" Navigation Problems Below Wilson Dam. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 85 (WW-1), mar. 1959.

_____, PRICE, J.T. e ENGLE, N.W. Navigation Locks: TVA's Multiport Lock Filling and Emptying System. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 90 (WW-1), fev. 1964.

ELLERBECK Zur Betriebseröffnung des Schiffshebewerks Niederfinow. Die Bautechnik, Berlin, 12 (12):125-129, mar. 1934.

_____ Entwurfsarbeiten für Schiffshebewerk bei Niederfinow. Die Bautechnik, Berlin, 5 (23):319-338, mai. 1927.

ENGINEERING NEWS-RECORD France Offers Lock Alternative. Engineering News-Record, 180:19, 4 jan. 1968.

FAURE, B. Schimmerhebewerk-Bauart Faure. Die Bautechnik, Berlin, 27:322-325, 1950.

_____ _____ Die Bautechnik, Berlin, 30:73-75, 1953.

FONTAINE, G. Écluse de 20 mètres de Chute. In: Cong. Int. de Nav., 4º, Manchester, 1890.

FOURREY, M. Cours de Navigation Intérieure - Écluses (3ème partie). Paris, École Spéciale des Travaux Publics, 1925.

FRANZIUS, O. Waterways Engineering (English Edition). Cambridge, Mass., The Technology Press, 1936.

GENARD, H. e DENIL, G. Les ascenseures Hydrauliques pour Bateaux du Canal du Centre en Belgique. In: Cong. Int. de Nav., 9º, Dusseldorf, 1902:1-23.

GERDAU, B. Cong. Int. de Nav., 9º, Dusseldorf, 1902. Rapport S.1-Q.1:1-9.

GRAFF, R. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Rapport S.I-2:79-106.

GRENGG, H. e WEHRSCHÜTZ, F. Hydraulic Lock System of the Danube Power Station - Aschach. In: Cong. Int. Pesquisas Hidráulicas, 8º, Montreal, 1959:16B-1-16.

GRIFFIN, A. F. Influence of Model Testing on Lock Design. Transactions A.S.C.E., New York, 76 (116):831-852, 1959.

GRIMM, C. e MACKENZIE, R. High Lift Navigation Locks. In: Cong. Int. de Nav., 17º, Lisbôa, 1949. Paper S.1-C.2:33-62.

GRZYWIENSKI, A. Filling and Emptying a Lock Chamber Without Using the Approach Channels. In: Cong. Int. de Pesquisas Hidráulicas, 8º, Montreal, 1959:2B-1-6.

_____ The Inland Navigation Lock as a Part of a Multipurpose Plant. In: Cong. Int. de Nav., 18º, Roma, 1953. Paper S.1-C.3:5-13.

_____ A Navigation Lock that is also a Spillway. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 93 (WW-3), ago. 1967.

GUILLEMAIN . Cours de Navigation Intérieure: Rivières et Canaux. Paris, Librairie Polytechnique Baudry et Cie. Editeurs, 1885.

HARTUNG, F. et al. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Rapport S.1-4:5-52.

HOEBEL, M. e PAXMANN, N. Progrès Réalisés Pendant les Dernières Années dans la Disposition et Exploration des Ouvrages de Navigation. In: Cong.Int. de Nav., 15º, Veneza, 1930. Rapport nº 21 - S.1-Q.3.

HOLECEK, V., CABELKA, J. e PFERFERMANN, L. Cong. Int. de Nav., 17º, Lisbôa, 1949. Rapport S.1-Q.2:71-89.

HORTON Jr., C.R. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Paper S.1-4: :229-254.

HOWE, C.H. Mathematical Model of Barge Tow Performance. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 93 (WW-4), nov. 1967.

HUDOWALSKI, E.C. New York State Barge Canal System. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 85 (WW-3), set. 1959.

I.B.R.A.: INSTITUTO BRASILEIRO DE REFORMA AGRÁRIA Desenvolvimento da Bacia do Rio Paraíba do Sul: Estudo Hidráulico. I.B.R.A., 1967.

IHNATOWICZ, S. e WOLCZACKI, P. Chutes sur les Voies Navigables en Terrains Plats (Écluses existentes et projetées). In: Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Rapport S.1-2:153-162.

JANSSON, H. The Latest Development in Swedish Lock Construction. In: Cong. Int. de Nav., 17º, Lisbôa, 1949. Paper S.1-C.1:125-150.

JAROCKI, V. A Study of Economical Navigation Locks for High Lifts. In: Cong. Int. de Pesquisas Hidráulicas, 8º, Montreal, 1959:1B-1-21.

JITTA, J.P., GROOT, C. e EGGINK, A. Cong. Int. de Nav., 17º, Lisbôa, 1949. Rapport S.1-C.1:105-124.

KABELAC, O.W. Great Volga Waterway. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 87 (WW-1), fev. 1961.

_____ Discussion (Paper 3789). Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 90 (WW-4), nov. 1964.

KHALTURIN, A. D. et al. Hydraulic Investigations of Navigation Locks in the Volga River Basin. In: Cong. Int. de Pesquisas Hidráulicas, 8º, Montreal, 1959:9B-1-17.

KIRCHNER, M. Cong. Int. de Nav., 17º, Lisbôa, 1949. Rapport S.1-Q.2:43-50.

KLEINJAU, I.L. et al. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Paper S.1-4:195-227.

LABETOULLE, J. Influence de Divers Paramètres sur les Efforts d'Amarrage Pendant le Remplissages d'un Sas d'Écluse. In: Cong. Int. de Pesquisas Hidráulicas, 8º, Montreal, 1959:22B-1-21.

LECLERQ, R. Les Voies Navigables de l'U.R.S.S. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 39 (17), out. 1967.

LEDERER, A. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Rapport S.1-4:53-80.

_____ Evolution du Mode de Propulsion de la Gouverne et du Remorquage au Congo Belge. In: Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Rapport S.1-Q.2:41-58.

LEINER, J. Dimensionamento das Eclusas para o Rio Tietê. In: Cong. Geral de Transportes, 2º, Pôrto Alegre, 1956.

LEJEUNE, P. A Propos de Quelques Écluses de Navigation de 18 à 26 m de Hauteur Construites en France, ces Dernières Années. In: Cong. Int. de Pesquisas Hidráulicas, 8º, Montreal, 1959:19B-1-18.

LINSLEY, R.K. e FRANZINI, J.B. Ingeniaria de los Recursos Hidraulicos. Mexico, Continental, 1967.

LONG-DEPAQUIT, A. Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Rapport S.1--3:61-73.

MAHAFFAY, B.R. e FERGUSON, W.J. Discussion Paper 4644 (Bottoms - 1966). Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 92 (WW-4), nov. 1966.

MALLET DE ANDRADE, D. e LEINER, J. Classificação das Vias Navegáveis. In: Cong. Geral de Transportes, 2º, Pôrto Alegre, 1956.

MARCHAL, M. e TIPHINE, M. Le Plan Incliné d'Arzviller. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 36 (16):666-679, set. 1964.

MC GAREY, B.G. Canal Locks and Other Lifting Devices in Inland Navigations. The Dock and Harbour Authority, London, 18 (213-214):271-274, 302-306, jul-ago. 1938.

MC INTYRE, D. The Beauharnois Canal Locks. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 84 (WW-4), sep. 1958.

MC NOWN Fluid Mechanics and Lock Design. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 93 (WW-3), ago. 1967.

MEYER, A. Le Nouvel Ascenseur à Bateaux d'Henrichenbourg. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 34 (18):702-709, out. 1962.

MICHIELS, C.F., LAIL, W.F. e MYTINGER, R.E. Current Trends in Ohio River Traffic and Equipment. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 82 (WW-5), dez. 1956.

MINISTRY FOR THE CONSTRUCTION OF ELECTRIC POWER Soviet Hydro-Engineering: A Collection of Research Reports. Jerusalém, Israel Program for Scien--tific Translation, 1964.

MONTI, D. e PRESTIEN Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Paper S.1-1:5-26.

MOURA, J.C. A Eclusa de Navegação do Aproveitamento Hidroelétrico de Bariri. In: IIa. Semana de Estudos sôbre Transportes Marítimos e Construção Naval, São Paulo, 1961.

NEDECO River Studies - Niger and Benue. Amsterdam, North-Holland Publ. Co., 1959.

NELSON, M.E. Hydraulics of Lock Filling and Emptying Systems. In: Cong. Int. de Pesquisas Hidráulicas, 8º, Montreal, 1959: 11B-1-18.

_____ e JOHNSON, H.J. Navigation Locks: Filling and Emptying Systems for Locks. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 90 (WW-1), fev. 1964.

OESTERHAUS, M. e KOLLY, L. Cong. Int. de Nav., 18º, Roma, 1953. Rapport S.1-C.3:231-242.

OFFERMANN Les Ascenseurs et le Developpement de leur Construction. In: Cong. Int. de Nav., 9º, Dusseldorf, 1902:1-11.

OKEIL, M.E. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Paper S.1-4:99-114.

PARISET, E. e GALIANA, G. Hydraulic Study of the Carillon Lock. In: Cong. Int. de Pesquisas Hidráulicas, 8º, Montreal, 1959:15B-1-15.

PARMENTIER et al. Cong. Int. de Nav., 17º, Lisbôa, 1949. Rapport S.1-C.1: :63-78.

PERSON, J.L. e MYTINGER, R. Evolution of Propulsion and Control of Cargo Vessels on the Inland Waterways of the United States. In: Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Paper S.1-Q.2:59-81.

PEUTOT, P. Determination Théorique et Graphique des Efforts d'Amarrages Exercés sur un Bateau en Cours de Sassement. In: Cong. Int. de Pesquisas Hidráulicas, 8º, Montreal, 1959:20B-1-17.

PORTUGAL, A.F. Concluído Projeto de Eclusas em Boa Esperança. Portos e Navios, Rio de Janeiro, 10 (92), abr. 1967.

PRESS, H. Wasserstrassen und Häfen. I. Tiel: Binnerwasserstrassen und Binnenhäfen. Berlin, Verlag von Wilhelm Ernst Sohn, 1956.

PROTSEROV, J. Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Paper S.1-Q.3:145- -162.

RAZIN, N.V. Planning and Construction of the Volga Hydro-Power Plan Near Kuibyshev. Jerusalém, The Israel Program for Scientific Translations, 1964.

REVUE DE LA NAVIGATION INTÉRIEURE ET RHÉNANE Le Nouvel Ascenseur de Henrichenbourg sur le Canal Dortmund-Ems. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 31 (12):410-414, jun. 1959.

RICHARDSON, G.C. L'Écluse en Rivière de Ice Harbor. Bulletin A.I.P.C.N., Bruxelles, 1 (7):23-30, 1963.

_____ Hydraulic Design of Columbia River Basin Navigation Locks. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 84 (WW-4), set. 1958.

_____ Navigation Locks Gates and Valves. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 90 (WW-1), fev. 1964.

_____ , RYDELL, L.E. e GUNTEN, G. New Concepts in Development of Hydraulic Energy on Navigable Waterways - Columbia and Snake Rivers Pacific Northwest-United States. In: Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Paper S.1-Q.3:53-73.

RIGLER, H.M. e CHUN, E.H. Vertical Lift Gate Design for Ice Harbour Lock. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 84 (WW-5), dez. 1958.

RÖHNISCH, A. Essais Effectués sur un Modèle d'Ascenseur à Sas Submersible. BULLETIN A.I.P.C.N., Bruxelles, 4 (14):61-71, 1964.

_____ Nouvelles Propositions pour l'Ascenseur à Sas Submersible ou "Ecluse Pongeante de Rothmund". In: Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Rapport S.1-2:40-49.

ROLT, L.T.C. The Inland Waterways of England. London, George Allen and Unwin Ltd., 1966.

ROTHMUND, L. Die Rothmund'sche Tauchsleuse ein Neues Gleichgewichts - Hebewerk für Nohe und Niedeve Gefällstufen. Die Bautechnik, Berlin, 32 (2):52-57, fev. 1955.

_____ Schweizerische Bauzeitung. Die Bautechnik, Berlin, 25 (10): :267-271, out. 1948.

RUSSO, G.A. (ed) Hydroelectric Power Stations of the Volga and Kama Cascade Systems. Jerusalém, Israel Program for Scientific Translations, 1960.

RUTJERODT, H. e ARENS, M. Ascenseurs pour Bateaux en Allemagne. In: Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Rapport S.I-C.I:5-25.

SALTILMAN, N.F. Cong. Int. de Nav., 17º, Lisbôa, 1949. Rapport S.1-Q.2:5--22.

SANER, J.A. Cong. Int. de Nav., 9º, Dusseldorf, 1902. Rapport S.1-Q.1:1--12.

SANTINA, W.J. e WESLER, G.B. Discussion Paper 4644 (Bottoms - 1966). Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 92 (WW-3), ago. 1966.

_____ e _____ Duplicate Locks for Illinois Waterway. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 90 (WW-4), nov. 1964.

SASSI, E. Cong. Int. de Nav., 15º, Veneza, 1931. Rapport Général - 1a. seção, 3a. Questão.

SCHIJF, J.B. Calcul des Forces Agissant sur un Bateau Pendant l'Eclusage. BULLETIN A.I.P.C.N., Bruxelles, 11 (22):65-101, jul. 1936.

_____ Discussion paper 3792 (Brown - 1964). Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 90 (WW-4), nov. 1964.

_____ Quelques Observations sur le Remplissage des Sas d'Écluses. La Houille Blanche, Grenoble, 4 (2):186-188, mar/abr. 1949.

SCHNAPP Écluse sans Consomation d'Eau - Système Schnapp-von Gerstenberg. In: Cong. Int. de Nav., 9º, Dusseldorf, 1902. Rapport S.1-Q.1:1-21.

SCHOKLITSCH, A. Tratado de Arquitectura Hidráulica. Barcelona, Gustavo Gili, 1961.

SCHONBACH, V. Cong. Int. de Nav., 9º, Dusseldorf, 1902. Rapport S.1-Q.1: :1-17.

SEIFERT, H. e ROHNISCH, A. Cong. Int. de Nav., 18º, Roma, 1953. Paper S.1-C.3:15-61.

SEITER, E. Les Coûts d'Infrastructure de la Navigation Intérieure. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 36 (8):271-278, abr. 1960.

SEMANOV, N.A., BELANIN, V. e VARLAMOV, N. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Paper S.1-2:217-255.

_____ e VOVKUSHEVSKY, V.I. High-pressure Navigation Constructions. In: Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Paper S.1-2:215-234.

SHULTZ, R.P. Graphic Analysis of Waterway Capacity. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 93 (WW-4), nov. 1967.

SHUT'IEN-LI The Suez Canal - Its Chronicle and Bibliography. Journal of the Waterways and Harbors Division: Proceedings A.S.C.E., New York, 84 (WW-4), set. 1958.

SIMON Über dei Gestaltung von Schiffshebewerken. Mitt. de Hannoverschen Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau. Franzius Inst. der T.H. Hannover, Hannover (11), 1957.

SMETANA La Liaison de l'Elbe et de l'Oder au Danube. BULLETIN A.I.P.C.N., Bruxelles, 24 (31-32), 1949.

SOYUZOV, A.A. e RIZHOV, L.M. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Paper S.1-4:255-272.

SUPPAN, C.V. Wasserstrassen und Binnenschiffahrt. Berlin, A. Troschel Ed., 1902.

TENAUD, R. Ouvrages de Franchissement des Grandes Chutes en U.R.S.S. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 40 (3):70-77, fev. 1968.

THÉLU, R. Les Elévateurs à Bateaux sur Plan Incliné: Projets et Réalisa---tions d'Hier - Solutions d'Aujourd'hui. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 38 (3):66-78, fev. 1966.

TIMONOFF, V. Cong. Int. de Nav., 16º, Bruxelas, 1935. Rapport S.1-C.1:1.

TILLINGER, T. Écluses Pneumatiques. In: Cong. Int. de Nav., 17º, Lisbôa, 1949. Rapport S.1-Q.2:63-70.

THOMAS, G.C. L'Ascenseur à Chalands Thomas. In: Cong. Int. de Nav., 9º, Dusseldorf, 1902. Rapport S.1-Q.1:1-13.

VADOT, R. e DELMAS, G. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Rapport S.1-4:115-176.

_____ et al. Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Rapport S.I-2: :97-126.

VAN DER LAAN, A. e KOLKMAN, R.A. First High Lift Locks in Nigeria. In: Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Paper S.1-2:139-152.

VAN OPSTAL, H., IN'T VELD, J. e GERRETSEN, F. Adaptation of Existing Waterways in Relation to Pushed Tows. In: Cong. Int. de Nav., 21º, Estocol--mo, 1965. Paper S.I-3:63-131.

VAS, O. Waterpower Utilisation and Navigation on Austrian Section of the Danube. In: Cong. Int. de Nav., 19º, Londres, 1957. Paper S.1-Q.3:33--52.

VASILIEV, O.F. Water Surface Fluctuation in Locks and Inclined Ship Elevators and the Conditions of Ship Stay. In: Cong. Int. de Pesquisas Hi---dráulicas, 8º, Montreal, 1959:8B-1-25.

VERHEY, J.H. Quelques Considérations Relatives a l'Évolution du Poussage sur le Rhin. In: Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Rapport S.1-4:81-97.

VOGEL, H.D. Cong. Int. de Nav., 20º, Baltimore, 1961. Paper S.1-2:187-215.

VÖLKER, H. The Problems of Pushed Cargo-Vessels on the Upper Danube. In: Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Paper S.1-3:32-45.

WATTENBERG, B. The Story of America's Inland Water Transportation. New York, John Day, 1964.

WILHELM, M. Concours International de Vienne pour un Projet d'Elevateur à Bateaux. Annales des Ponts et Chaussées, Paris, s.8, 17:218-232, 1905.

WILLEMS, G. Le Rachat de la Chute de Ronquières sur le Canal de Charleroi à Bruxelles. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 33 (9):352-363, mai. 1961.

_____ et al. Le Plan Incliné de Ronquières. In: Cong. Int. de Nav., 21º, Estocolmo, 1965. Rapport S.I-2:57-98.

WITTMAN, N. e WICKERT, C. Nouveaux Dispositifs de Remplissage des Écluses de Navigation Intérieure. BULLETIN A.I.P.C.N., Bruxelles, 1 (39):53-80, 1954.

ZAHN, H. Le "Schwerlastfloss" convoi de l'Armement Krupp. Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane, Strasbourg, 32 (11), jun. 1960.

ZINEVICH, D. Le Problème de Rachat des Grandes Chutes - Quelques Aspects du Choix entre Divers Types de Solutions. BULLETIN A.I.P.C.N., Bruxelles, 2 (46):95-115, 1957.



N O T A

As figuras incluídas neste trabalho procedem das seguintes fontes:

fig. 1 - Secretaria de Transportes do Estado de São Paulo

fig. 2 - Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane - 1967 - p. 107

fig. 3 - Rolt - p. 112

fig. 4 - Bonnet - p. 322 e 324; Dehnert - p. 320; Schnapp - p. 5

fig. 5 - Guillemain - p. 541

fig. 6 - Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane - 1962 - p. 709

fig. 7 - Guillemain - p. 258 e Die Bautechnik - 1927 - p. 320

fig. 8 - Bulletin A.I.P.C.N. - 1934 - nº 18 - p. 105

fig. 9 - XXIº Cong. Int. de Nav. - S.1-2 - p. 47

fig. 10 - Die Bautechnik - 1927 - p. 324, 326 e 327; Dehnert - p. 294 e 317

fig. 11 - Thomas - p. 6

fig. 12 - Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane - 1968 - p. 225

fig. 13 - Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane - 1968 - p. 115

fig. 14 - Die Wassertschaft - 1965 - p. 385

fig. 16 - De Mas - p. 221

fig. 17 - Proceedings A.S.C.E. - 1964 - WW-1 - p. 63

fig. 19 - Departamento Nacional de Portos e Vias Navegáveis

fig. 22 - Revue de la Navigation Intérieure et Rhénane

fig. 23 - Associação Hidroviária do Brasil

O LIVRO DEVERÁ SER DEVOLVIDO
NA ÚLTIMA DATA MARCADA

