

FOTO: TRIBUNE/1999



# Túneis imersos para travessias subaquáticas

## Principais aspectos geotécnicos e construtivos

### INTRODUÇÃO

Existem mais de 100 túneis imersos executados em todo o mundo. No Brasil temos conhecimento apenas da técnica de execução de túneis escavados em solos e rochas. O presente trabalho visa apresentar informações a respeito de túneis imersos, enfatizando os aspectos geotécnicos de execução.

Compreendem os aspectos geotécnicos de uma obra de túneis imersos a geotecnia voltada para a execução de estruturas subaquáticas, as técnicas de investigação do subsolo e, também, as atividades relacionadas a metodologia construtiva. A técnica dos túneis imersos apresenta algumas vantagens sobre pontes convencionais, tais como a menor extensão para travessias subaquáticas e as menores interferências, tanto paisagísticas como para o tráfego hidroviário.

O presente artigo resume os principais aspectos sobre o tema, visando a compreensão de todos.

### DEFINIÇÃO

A denominação “imerso” provém da metodologia executiva do túnel; toda a estrutura é dividida em elementos e estes quando prontos são transportados e imersos na lâmina d’água.

Portanto, um túnel imerso consiste de vários elementos pré-fabricados, que são transportados até o local de assentamento por flutuação, e instalados um a um, abaixo do nível d’água. Cada elemento é geralmente instalado em uma trincheira (dragada previ-

amente) no leito do canal, enquanto a construção da estrutura é feita em região seca. A fabricação dos elementos é feita em docas ou em locais especiais. (Savour & Grantz, 1993).

Trincheira é a região escavada que fornece espaço para o assentamento do elemento do túnel pré-fabricado e para o aterro de proteção nos lados e acima do túnel.

### METODOLOGIA CONSTRUTIVA E VANTAGENS

O processo construtivo dos túneis imersos difere completamente dos métodos utilizados para túneis escavados, é específico para este tipo de obra. Conforme Tribune (1999), após a conclusão, um túnel imerso não tem nenhuma diferença operacional em relação aos túneis escavados. A metodologia construtiva pode ser dividida em etapas, ilustradas nas fotos e figuras deste trabalho.

### VANTAGENS EM RELAÇÃO A TÚNEL ESCAVADO

Em relação aos túneis escavados, o túnel imerso apresenta as seguintes vantagens: não necessita de formato circular; ser colocado imediatamente sob o curso d’água; ser executado em condições de solo que impedem a realização de túneis escavados (ou fazer com que esta solução seja extremamente cara); possibilitar a execução de atividades em paralelo.

Com isto, a solução resulta em menores riscos no planejamento tornando-se mais barata.

### MELHORES CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE

As melhores condições de aplicabilidade dos túneis imersos estão diretamente relacionadas às principais vantagens da utilização desta metodologia construtiva, listadas a seguir:

a) *Travessia de cursos d’água* - No Brasil, a travessia de canais em portos ou em rios com navegação comercial ge-

ralmente são executadas com pontes ou com raras exceções por balsas. Modernamente, para possibilitar a travessia, apresentam-se quatro alternativas: ponte tradicional; ponte móvel; túnel escavado em rocha; e túnel imerso a uma profundidade compatível com o calado dos navios. Na figura 5 há uma comparação das soluções: túnel imerso; túnel escavado; e ponte alta. O túnel imerso apresenta a menor extensão para realizar a travessia.

b) *Vantagens construtivas* - Conforme comentado anteriormente nas vantagens da utilização dos túneis imersos, a opção favorece principalmente os seguintes aspectos: execução de várias atividades ao mesmo tempo, grande grau de repetição das atividades e utilização de poucos materiais.

c) *Alternativa arquitetonicamente viável* - O túnel imerso além de constituir uma



Vista geral do canteiro de obras (Tribune, 1999)



Abertura da trincheira (Tribune, 1999)

CINTIA CRISTIANA SCHULTZ\*

\*ENGENHEIRA CIVIL, MESTRE EM ENGENHARIA PELA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP

ROBERTO KOCHEN\*\*

\*\*PROFESSOR DOUTOR DA ESCOLA POLITÉCNICA DA USP, DIRETOR DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE CONSTRUÇÕES CIVIS DO INSTITUTO DE ENGENHARIA E DIRETOR TÉCNICO DA GE-COMPANY - TECNOLOGIA, ENGENHARIA E MEIO AMBIENTE

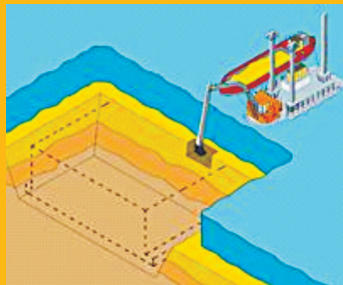


Figura 1 - Abertura da trincheira (Tribune, 1999)

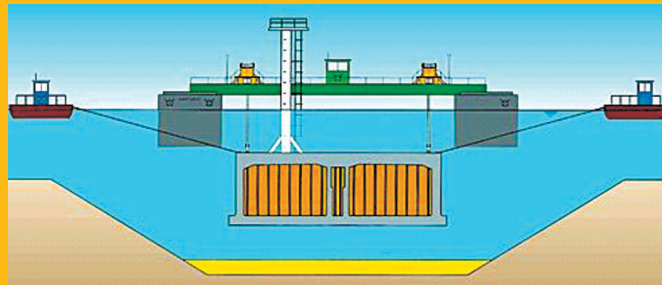


Figura 2 - Diagrama esquemático da imersão do elemento (Tribune, 1999)

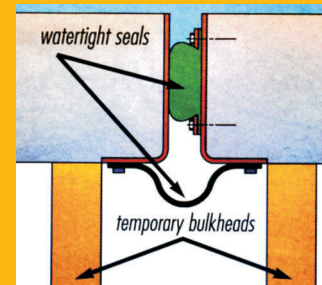


Figura 3 - Detalhe do selo de vedação entre elementos (Tribune, 1999)

das melhores opções para a travessia subaquática, favorece os seguintes aspectos: liberação do espaço da superfície e minimiza a interferência paisagística.

**d) Menor interferência no tráfego hidroviário** - A adoção do túnel imerso possibilita a continuidade simultânea de tráfego hidroviário existente, com exceção de pequenas intervenções durante o período de sua construção.

### CONSIDERAÇÕES SOBRE ASPECTOS GEOTÉCNICOS

A geotecnia aplicada a túneis imersos assemelha-se muito à geotecnia "offshore". As principais diferenças consistem na profundidade e no tipo de regime da água do local de instalação da estrutura. As estruturas "offshore" são executadas em mar aberto e em grandes profundidades, ao passo que um túnel imerso é executado em profundidades geralmente inferiores a 30 metros e em locais com água de rio ou mar, ou, ainda, na interface dos dois. Além disso, o túnel imerso é executado para a travessia de um canal cuja extensão pode ser determinada.

Segundo Mello & Bogossian (1996), afirmam que as campanhas de investigação do sub-solo sob a água são mais representativas do que as realizadas em terra devido ao maior custo em relação à estrutura (até 5%), à diversidade das condições ambientais e também, à restrição de quantidades de obra no rio ou no mar que permitam o mapeamento das variações regionais.

### GEOTECNIA NAS ATIVIDADES DA METODOLOGIA CONSTRUTIVA

As atividades nas quais os aspectos geotécnicos possuem maior importância dentre as várias atividades da metodologia construtiva, são as escavações, a fundação e o aterro do túnel.

#### Escavação

Os trabalhos de escavação são definidos em virtude dos materiais que são encontrados no leito do rio ou canal. Compreendem os trabalhos de escavação a dragagem e o desmonte subaquático.

**a) Dragagem** - Segundo Rasmussen (1997), a execução da trincheira é o principal item da dragagem em um projeto de

túnel imerso. Os trabalhos de dragagem estão diretamente relacionados com a construção de um túnel imerso e podem ser empreendidos da seguinte forma: dragagem do local de concretagem/lançamento (doca seca); dragagem de buracos para teste no curso d'água com o intuito de avaliar a sedimentação na trincheira do túnel; ampliação do canal existente de navegação a fim de fornecer canais temporários de navegação fora da área dos trabalhos do túnel; aprofundamento do curso d'água existente a fim de compensar a redução da seção transversal do curso d'água causada pelos trabalhos permanentes do túnel, e, assim, evitar mudanças nas condições hidrológicas e biológicas do curso d'água; dragagem para construções adjacentes do túnel e apoio/manutenção; dragagem da trincheira do túnel para seção do túnel imerso; dragagem de um canal de acesso entre o pátio de concretagem/lançamento e a trincheira do túnel.

Segundo Molenaar (1993), a dragagem irá afetar as condições ecológicas do local. Experiências vêm, demonstrando que o processo de dra-



Fabricação dos elementos em uma doca seca (Tribune, 1999)



Vedação temporária dos elementos (Tribune, 1999)



Fase de inundação da doca seca (Tribune, 1999)





Figura 4 - Preenchimento lateral e sobre o túnel (Tribune, 1999)

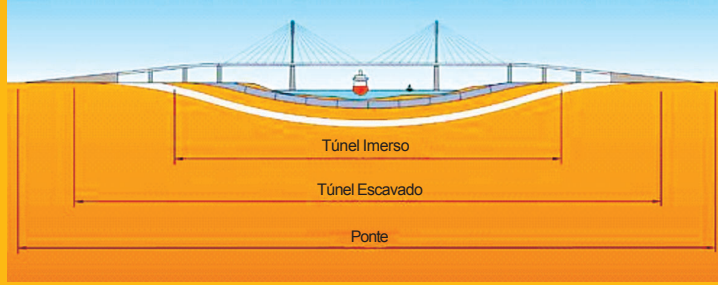


Figura 5 - Comparação entre as alternativas de travessia (Tribune, 1999)

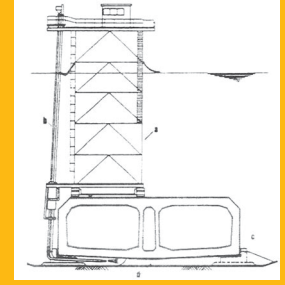


Figura 6 - Vista geral da ponte de aço (Fonte: Molenaar, 1993)

gagem tem um impacto apenas temporário nas condições ambientais que são muito influenciadas pelos efeitos sazonais, muitas vezes tão impactantes quanto os efeitos de dragagem.

**b) Desmonte subaquático** - Quando a remoção do material do subleito não é possível de ser efetuada com emprego apenas de dragas convencionais, ou por desmonte mecânico, surge então a necessidade do emprego de explosivos para fragmentação do material rochoso submerso. Assim, este deverá ser removido em fragmentos, pelas dragas. Todo o conteúdo a respeito do desmonte subaquático a seguir é proveniente de notas do engenheiro Leonardo L. Redaelli (*informação pessoal*).

De modo geral, a utilização de um desmonte subaquático gera muita polêmica por causa da sua ação no meio ambiente. Para evitar que os peixes sejam mortos quando das atividades de desmonte, estão sendo utilizados sonares com emissores de ultra-som que afastam os peixes do local da detonação.

O desmonte subaquático, do ponto de vista teórico, não apresenta diferença significativa em relação ao desmonte comum.

Porém, do ponto de vista prático, ele apresenta sensível diferença em virtude do grande número de problemas especiais que o envolvem, resultando em custos e prazos de execução sempre muito mais elevados. O fato de a rocha a ser desmontada estar submersa, cria uma série de dificuldades que se refletem nos trabalhos de perfuração, colocação do explosivo, detonação, remoção do material detonado e controle da cota resultante.

#### Fundação

Segundo Molenaar (1993), existem três diferentes sistemas de fundação: o sand-jetted, sand-flow e o screeded gravel bed. Recentemente, foi desenvolvido um novo método de fundação denominado Scradar, durante a construção do Øresund Link – ligação entre a Dinamarca e Suécia – composto por uma ponte (~8 km), uma ilha artificial e um túnel imerso (~3,5 km).

Onde as condições de solo não forem adequadas é recomendado o tratamento da fundação com a execução de colunas de brita.

**a) Screeded gravel bed** - Em seguida da dragagem da trincheira, uma camada

de areia grossa ou pedregulho é colocada no fundo da trincheira. A granulometria do material deve estar relacionada com as condições hidráulicas: à força da corrente e ao tamanho do maior grão. O nivelamento é feito com uma peneira (screed), suspensa por guinchos de um carro rolante, percorrendo uma trajetória, suportada por duas barcas. O aparelho é ancorado acima da superfície a ser nivelada. A referência do nível do peneiramento pode ser ajustada para compensar variações no nível da maré.

**b) Sand-jetted** - Trata-se da fundação em areia que usa uma ponte de guindaste rolante de aço correndo de um lado para outro do elemento. Conectada a esta ponte estão três tubos adjacentes. Este sistema de tubos é conduzido para o espaço abaixo do túnel, entre o fundo do túnel e o fundo da trincheira. Através deste tubo, uma mistura de água e areia (com composição bem controlada) é bombeada abaixo do elemento do túnel (*figura 6*).

**c) Sand-flow** - Para executar fundações abaixo dos túneis profundos e para evitar que o sistema sand-jetted obstrua



Transporte do elemento até o local de instalação (Tribune, 1999)



Imersão do elemento (Tribune, 1999)



Execução da estrutura de aproximação a seco (Tribune, 1999)

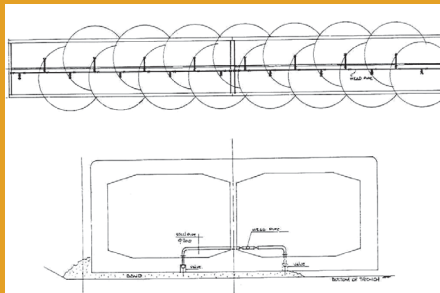


Figura 7 - Vista geral da tubulação de injeção (Fonte: Molenaar, 1993)

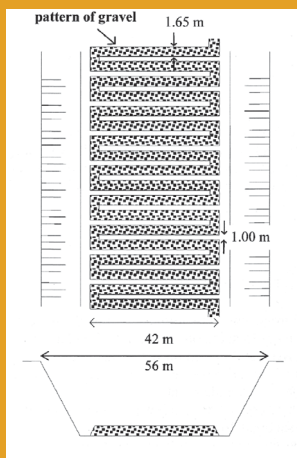


Figura 8 - Vista da fundação executada segundo o método Scradar (Fonte: Graaf & Janssen, 2003)

o tráfego de navios foi desenvolvido o sistema sand-flow. Neste caso, ao invés de usar um sistema móvel, um número de aberturas é criado no fundo do elemento do túnel (figura 7).

**d) Scradar** - De acordo com Graaf & Janssen (2003), uma aplicação especial do conceito "scradar" é a capacidade de construir uma estrutura feita de bermas idênticas, alternadas por sulcos, em vez de um plano fechado e depositada na trincheira antes da imersão dos elementos. A colocação e o nivelamento do material são executados simultaneamente (figura 8).

#### Aterro da trincheira do túnel

Segundo Rasmussen (1997), os trabalhos complementares compreendem o aterro do túnel, a colocação de colchão de proteção ou membranas e a colocação de enrocamento. Seus objetivos são proteger da erosão a fun-

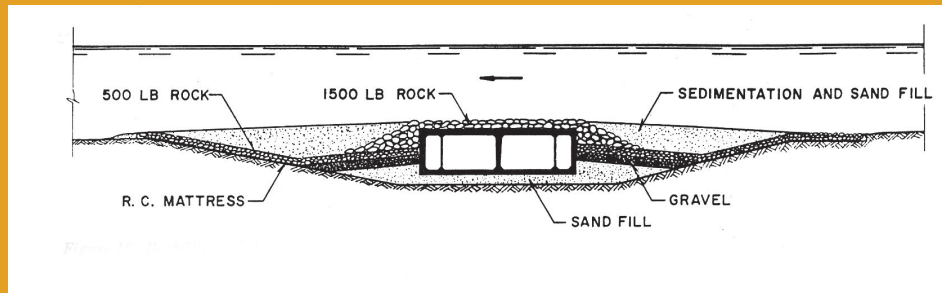


Figura 9 - Vista do túnel após o aterro (Fonte: Rasmussen, 1997)

ção permanente do túnel; fornecer suporte horizontal ao túnel; proteger as reservas de água potável, abaixo do túnel, de contaminações pelo canal d'água; proteger o aterro da erosão e proteger o túnel de objetos que possam cair, tais como âncoras de navios (figura 9).

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo é uma contribuição à comunidade técnica nacional, conside-

rando a crescente utilização de túneis imersos no mundo, principalmente na Europa. No Brasil, há somente estudos de casos.

Foram apresentadas definições, metodologia construtiva, vantagens, melhores condições de aplicabilidade de túneis imersos e aspectos geotécnicos. Convém incentivar o uso de novas tecnologias e inserir a opção de túnel imerso em estudos de viabilidade em travessias subaquáticas. **E**

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Grantz, W; Saveur, J. - Chapter 3: Structural Design of Immersed Tunnels. In: Ahmet, G; Milligen, C. P. - Special Issue: Immersed and Floating Tunnels - Tunneling and Underground Space Technology. Grã-Bretanha: International Tunneling Association. Oxford: Pergamon, 1993, v. 8, n° 2, p. 119-122.
2. Janssen, W. P. S. M.; Graaf, F. F. M. - Immersed concrete tunnels in perspective. In: Congresso da Associação Internacional de Túneis, ITA 2003, anais, p. 313-319.
3. Mello, R. M.; Bogossian, F. - Capítulo 11: Fundações de Estruturas "Offshore". In: Hachich, W.; et al. - Fundações: Teoria e Prática. São Paulo: ABMS/ABEF, 1996, p. 443-450.
4. Molenaar, V. L. - Chapter 3: Construction Techniques. In: Ahmet, G; Saveur, J. - Immersed and Floating Tunnels. Grã-Bretanha: International Tunneling Association - Immersed and Floating Tunnels: Working Group Oxford: Pergamon, 1993, p. 141-161.
5. Rasmussen, N. - Concrete Immersed Tunnels - Forty Years of Experience - Tunneling und Underground Space Technology. Oxford: Pergamon, 1997, v. 12, n° 1, p. 33-46.
6. Redaelli, L. L. - Desmorte subaquático. Florianópolis, 2003, não publicado.
7. Schultz, C. C. - Túneis imersos. Dissertação de mestrado - USP, 2003, 178 p.
8. Schultz, C. C.; Kochen, R. - Túneis Imersos - Principais Aspectos Geotécnicos e Melhores Condições de Aplicabilidade. In: 1º Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas, 2004.
9. Schultz, C. C.; Redaelli, L. L. - Túneis Imersos - Aspectos Técnicos e Construtivos com Destaque ao Túnel de Itajaí-Navegantes/SC. In: 1º Congresso Brasileiro de Túneis e Estruturas Subterrâneas, 2004.
10. Stiksma, K. - Tunnels in the Netherlands - Underground Transport Connections. 2ª ed., Rotterdam: Illustra, 1987, 165 p.
11. Smink, M. - Scradar - A new approach to the foundation of concrete tunnel elements. In: Congresso da Associação Internacional de Túneis, ITA 2003, anais, p. 287-289.
12. Tribune Hors Série: International Tunneling Association. Immersed Tunnels: A better way to cross waterways? Toulouse, 1999. ISSN 1267-8422, 22p.