

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos

GeoCompany – Tecnologia, Engenharia e Meio Ambiente

Roberto Kochen,
Professor Doutor, Escola Politécnica da USP
Diretor Técnico
GeoCompany – Tecnologia, Engenharia & Meio Ambiente, Barueri, SP, Brasil,
kochen@geocompany.com.br

Outubro/2008

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

GeoCompany
Tecnologia, Engenharia & Meio Ambiente

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos



Túnel Oresund – Ligação
entre Dinamarca e
Suécia.

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

INTRODUÇÃO

Existem mais de 100 túneis imersos executados em todo o mundo. No Brasil temos conhecimento técnico da execução de túneis escavados em solos e rochas. O presente trabalho visa complementar os dados existentes 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 um túnel imerso, as técnicas de investigação do subsolo e, também, as atividades da metodologia construtiva. A técnica dos túneis imersos apresenta algumas vantagens sobre pontes convencionais, tais como a menor extensão para travessias sub-aquáticas, e as menores interferências paisagísticas e com o tráfego hidroviário.

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

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

DEFINIÇÃO

A denominação "imerso" provém da metodologia executiva do túnel, a extensão do mesmo é dividida em elementos e estes quando prontos são transportados e imersos em água.

Um túnel imerso consiste de vários elementos de túnel pré-fabricados, que são transportados até o local por flutuação, e instalados um a um, a baixo do nível d'água. Este elemento é geralmente instalado em uma trincheira (dragada previamente) no leito do canal, enquanto a construção estrutural é feita no seco. A fabricação dos elementos é feita em docas ou em locais especiais. (SAVEUR, J. & GRANTZ, C. G., 1993).

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

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos



Vista geral do canteiro de obras (Tribune, 1999)

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos

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 figuras 1 a 10.

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos

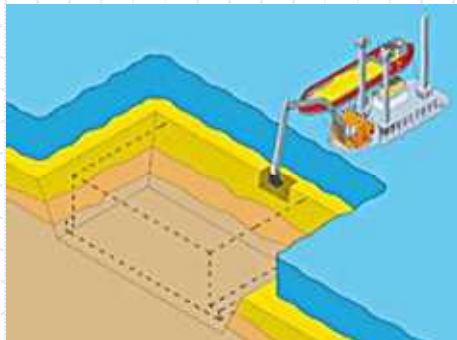


Figura 1 – Abertura da trincheira (Tribune, 1999)

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos



Figura 2 – Abertura da trincheira (Tribune, 1999)

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435



Figura 3 – Fabricação dos elementos em uma doca seca (Tribune, 1999)



Figura 4 – Vedação temporária dos elementos (Tribune, 1999)



Figura 5 – Fase de Inundação da doca seca (tribune, 1999)



Figura 6 – Transporte do elemento até o local de instalação (Tribune, 1999)



Figura 7– Imersão do elemento (Tribune,1999)

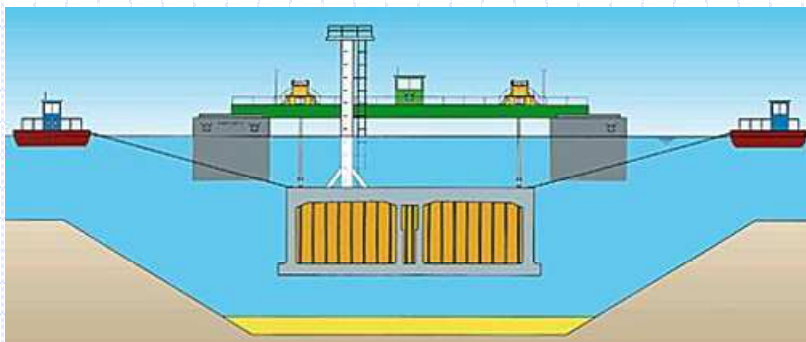


Figura 8 – Diagrama Esquemático da Imersão do Elemento (Tribune,1999)

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos

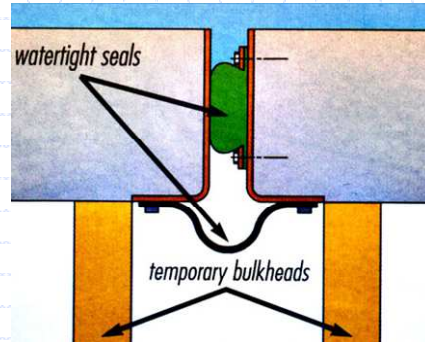


Figura 9 – Detalhe do selo de vedação entre elementos instalado após posicionamento do mesmo na trincheira (Tribune,1999)

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos



Figura 10 – Preenchimento lateral e sobre o túnel (Tribune,1999)

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435



Figura 11 – Execução da estrutura de aproximação a seco (Tribune,1999)

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435



Figura 12 – Aspecto final do túnel acabado (Tribune,1999)

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

VANTAGENS EM RELAÇÃO A TÚNEL ESCAVADO

Em relação a túneis escavados, o túnel imerso apresenta as vantagens de não necessitar formato circular, pode ser colocado imediatamente sob o curso d'água, pode ser executado em condições de solo que impedem a realização de túneis escavados ou fazer com que esta solução seja extremamente cara e ainda, a possibilidade de executar atividades em paralelo resulta em menores riscos no planejamento e com isto, uma solução mais barata.

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

MELHORES CONDIÇÕES DE APLICABILIDADE

As melhores condições de aplicabilidade dos túneis imersos estão 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 geralmente 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 13 apresentada a seguir há uma comparação das soluções: túnel imerso, túnel escavado e ponte alta. O túnel imerso apresenta a menor extensão para realizar a travessia.

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

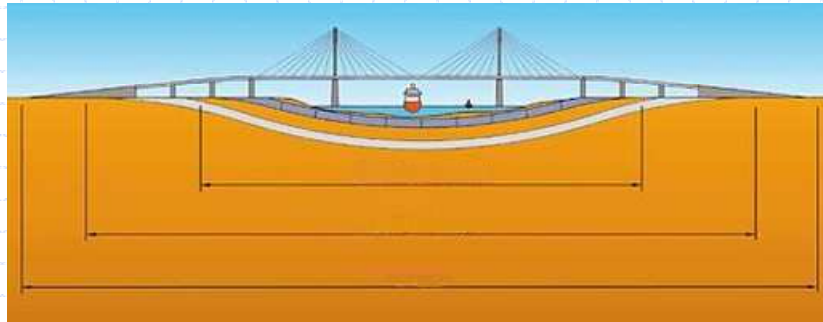


Figura 13 – Comparação entre as alternativas de travessia (Tribune,1999)

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 das melhores opções para a travessia sub-aquática, 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.



Figura 14 - Liberação do espaço da superfície e menor interferência paisagística. Túnel Heinenoord na Holanda. Fonte: Stikma, 1987.

CONSIDERAÇÕES SOBRE ASPECTOS GEOTECNICOS

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 m e em locais com água de rio ou mar, ou, ainda, na interface dos dois. Além disto, o túnel imerso é executado para a travessia de um canal cuja extensão pode ser determinada.

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 adversidade 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 devem-se relacionar 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;

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos

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

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos

b) Desmorte sub-aquático

Quando a remoção do material do subleito não é possível de ser efetuar com emprego apenas de dragas convencionais, ou por desmorte mecânico, surge então 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 desmorte subaquático a seguir é proveniente de notas do engenheiro Leonardo L. Redaelli (informação pessoal).

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

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

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 Scraeder, 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, ao tamanho do maior grão.

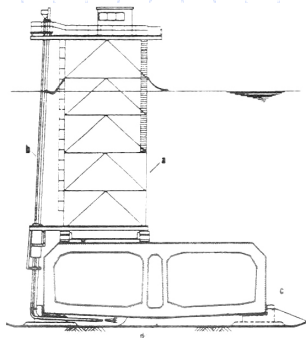
O nivelamento é feito com um peneira (screed), suspensa por guinchos de um carro rolante em uma trajetória suportada por duas barcas. O aparelho é ancorado acima da superfície a ser nivelada. A suspensão de peneiramento pode ser ajustada para compensar variações no nível da maré.

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.

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos



Vista geral da ponte de aço. Fonte: Molenaar (1993).

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

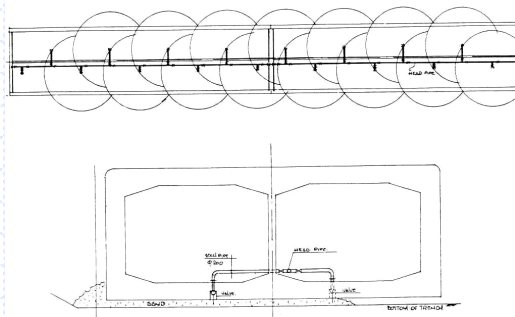
Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos

c) Sand – flow

Para locar fundações abaixo dos túneis profundos e para evitar que o sistema *sand-jetted* obstrua 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.

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435



Vista geral da tubulação de injeção. Fonte: Molenaar (1993).

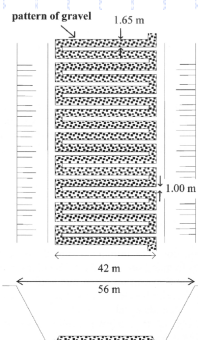
d) Scraeder

De acordo com Graaf; Janssen (2003), uma aplicação especial do conceito "scraeder" é a capacidade de construir uma estrutura feita de pedras de um padrão intermitente 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.

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos



Vista da fundação executada segundo o método Scraeder.

Fonte: Graaf; Janssen (2003)

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos

Aterro da trincheira do túnel

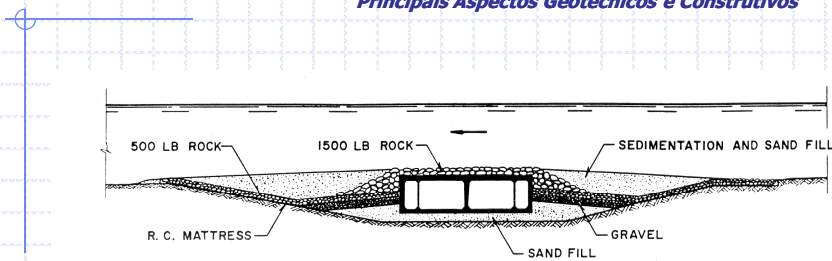
Segundo Rasmussen (1997), os trabalhos complementares compreendem o aterro do túnel, a colocação de colchão de proteção ou membranas e a colocação de enrocamento. Seus objetivos são proteger da erosão a fundação permanente do túnel; fornecer suporte horizontal ao túnel; proteger as reservas de água potável, abaixo do túnel, de contaminações pelo canal da água; proteger o aterro da erosão e proteger o túnel de objetos que possam cair, tais como âncoras de navios.

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos



Vista da fundação executada segundo o método Scradler.

Fonte: Graaf; Janssen (2003)

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos

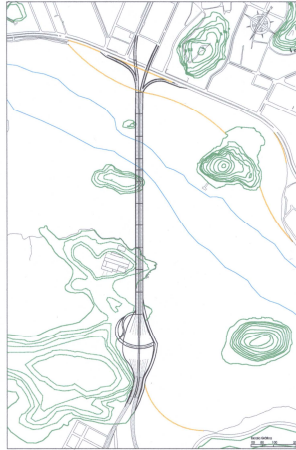
LIGAÇÃO VITÓRIA – VILA VELHA POR TÚNEL IMERSO
Arq. Erika Kneib, Doutora em Transportes

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos

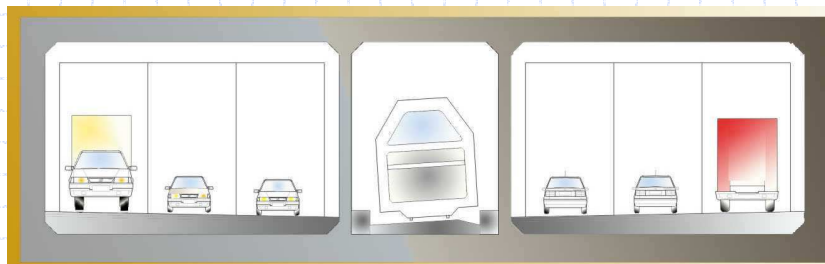


www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos



www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos



www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

TÚNEIS IMERSOS PARA TRAVESSIAS SUBAQUÁTICAS

Principais Aspectos Geotécnicos e Construtivos



www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo é uma contribuição à comunidade técnica nacional, considerando 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 sub-aquáticas.

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GRANTZ, W; SAVEUR J. Chapter 3: Strustural 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. nº 2., p. 119-122.

JANSSEN, W.P.S.M.; GRAAF, F.F.M. de. Immersed concrete tunnels in perspective. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO INTERNA DE TÚNEIS – ITA 2003. Anais. P313-319.

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.

www.geocompany.com.br

55 11 4195-4435

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.

RASMUSSEN N. Concrete Immersed Tunnels – Forty Years of Experience – Tunnelling umd Underground Space Technology. Oxford: Pergamon, 1997 v.12. nº 1., p. 33-46.

REDAELLI, L. L. Desmonte sub-aquático. Florianópolis, 2003. Não publicado.

SCHULTZ. C. C.. Túneis imersos. DISSERTAÇÃO DE MESTRADO – USP 2003. 178p.

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.

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.

STIKSMA, Kees. Tunnels in the Netherlands - Underground Transport Connections. 2. ed. Rotterdam: Illustra, 1987. 165p.

SMINK, M.. Scrding – a new approach to the foundation of concrete tunnel elements. In: CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO INTERNA DE TÚNEIS – ITA 2003. Anais. P287-289.

TRIBUNE HORS SÉRIE: INTERNATIONAL TUNNELING ASSOCIATION. Immersed Tunnels: A better way to cross waterways? Toulouse, 1999. ISSN 1267-8422. 22p.