



A Travessia Algés - Trafaria

TÚNEIS LONGOS EM LIGAÇÕES INTERURBANAS INTENSAS (O Caso dos Túneis Imersos)

António Campos e Matos (FEUP)
GEG - IC

ADFER
A TRAVESSIA ALGÉS - TRAFARIA
Sociedade Portuguesa de Geografia



Estrutura da apresentação

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross.

1. Enquadramento

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco
e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos
(Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel
em New York .

5. Marmaray Tunnel,
Bophorus Cross

antes da obra vem o projecto...

antes do projecto vem a decisão...

antes da decisão deveria vir...

a análise de risco...

1. Opção Túnel vs Opção Ponte

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

A opção final por um túnel extenso em ligações interurbanas com intenso tráfego rodoviário ou ferroviário, em casos de atravessamento de rios, lagos, canais, etc., resulta sempre de uma enorme necessidade e pressão de executar essa ligação, e a decisão é tomada quase sempre no limite.

A comparação com solução em ponte é sempre colocada e, quando a escolha por um túnel é tomada, um dos factores de decisão com maior peso é a da mais fácil ligação à rede viária das margens, particularmente no caso do rio ser navegável

Assim o é também na travessia do Tejo entre Algés e Trafaria. Esta ligação foi estudada ao nível de estudos de viabilidade.

As características da ligação em túnel apresentada nestes estudos, são, muito aproximadamente, as seguintes:

- extensão do túnel sob o rio = 2.725m
- extensão total do túnel = 3.600m
- profundidade máxima = 37m (até à cota da via)
- profundidade sob a linha da Cascais = 15m (do carril à via)
- custo e prazo = 570 M€ e 4 a 5 anos de construção

1. Opção Túnel vs Opção Ponte

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Da inevitável comparação com a solução em ponte, podem-se retirar os seguintes dados:

- extensão da ponte sob o rio = 2.725m
- extensão total da ponte = 4.000m
- distância ao rio = 70m (da via ao rio)
- altura sobre a linha da Cascais = 60m (do carril à via)
- custo e prazo = 770 M€ prazo e 4 a 5 anos de construção

Numa análise muito imediata, quem quiser apontar as vantagens da ponte indicaria certamente, no maior conhecimento e experiência da solução (particularmente entre nós), no controlo do custo e na segurança na operação.

Quanto ao túnel, o custo apareceria como o factor mais aliciante.

Aprofundando esta comparação, poderiam começar a aparecer outras conclusões, esbatendo-se até a diferenciação na questão do controlo do custo e da segurança na operação.

Note-se as importantes vantagens da solução túnel no que respeita a alguns impactos ambientais, à inserção urbana nas margens e à menor extensão total dos percursos.

1. Opção Túnel vs Opção Ponte

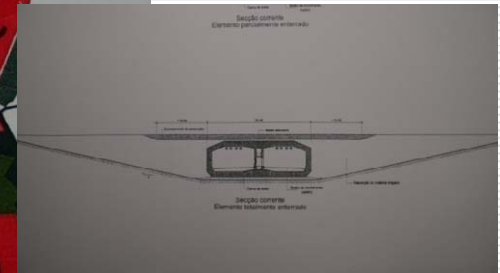
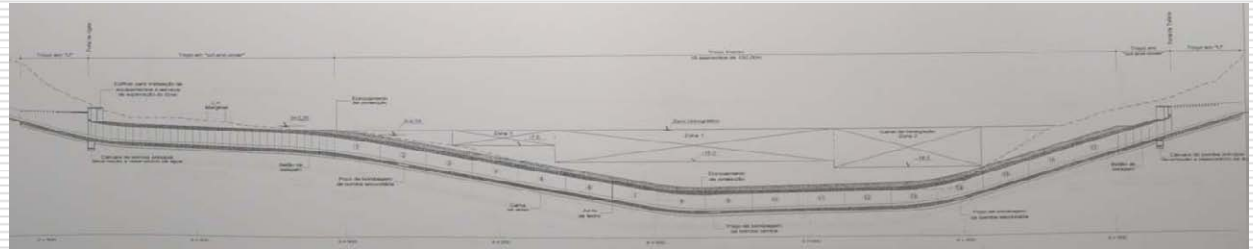
1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross



1. Estudos de Risco

1. Enquadramento.	Os estudos de Risco associados às grandes obras de engenharia civil, e muito particularmente os estudos de caracterização do Risco Financeiro, são tidos como determinantes da decisão do investimento.
2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.	Aliás o recurso a financiamento, deveria determinar sempre a elaboração destes estudos, já que o custo do financiamento é ele próprio função do risco associado ao investimento.
3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irlanda).	Os túneis são tidos como as obras onde o Risco de descontrolo do Custo é maior. Tal resulta do valor sempre elevado do Custo, do elevado grau de desconhecimento dos parâmetros do sistema, nomeadamente os geotécnicos e das operações de trespasse e partilha de risco com outros ser sempre difícil de enquadrar técnica-juridicamente.
4. O Holland Tunnel em New York .	O Dono de Obra encontra-se sempre numa posição frágil nesta problemática.
5. Marmaray Tunnel, Bosphorus Cross	Client Benefits <i>"Giving citizens a range of costs, including full disclosure of the variables, 'is not only politically smart, but it's common sense'..."</i> Seattle Post-Intelligencer, June 2002 - Golder Associates

1. "Holland Tunnel"

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

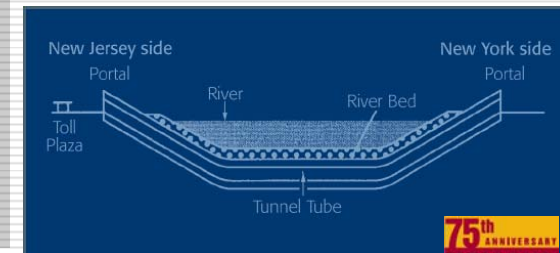
3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

O "Holland Tunnel" que liga Manhattan, na cidade de New York, a New Jersey, sob o rio Hudson, não sendo um túnel imerso, apresenta características muito interessantes do ponto de vista de um exemplo:

- extensão (2.550m);
- muito baixa cobertura (penso que chega a atingir valores da ordem de 5m),
- profundidade (28m);
- de idade (81 anos);
- de tráfego (35 MV, veículos /ano, aprox. 100.000/dia; 50.000 veículos no 14 de Novembro de 1927; Ponte 25 de Abril = 55MV/ano), de operação (duas interrupções completas, a saber, um grave acidente, com incêndio e colapso estrutural de cerca de 150m, em 1949, sem mortes, e o encerramento quase total, durante 1 mês, após o 11 de Setembro de 2001).



É verdadeiramente um caso de sucesso de "Túneis Longos em Ligações Interurbanas Intensas", comprovando a eficiência, o desempenho, a procura, durabilidade e segurança.



2. Conceito de Risco

1. Enquadramento.

Risco

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

- A existência de Risco está intrinsecamente ligada à existência de variabilidade no sistema.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

- Não existe risco numérico ou quantitativo se os parâmetros do sistema são aceites como valores exactos, ou melhor, como valores únicos. Pelo contrário, se existe risco numérico, então nunca esse risco pode ser nulo.

4. O Holland Tunnel em New York .

- Na engenharia, na medicina, na economia, etc. os sistemas não são assim tão simples, e a estas parcelas quantificáveis do sistema adicionam-se incertezas (Risco avaliável qualitativamente) e surpresas (Risco não avaliável).

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

- A comparação entre soluções (Ponte ou Túnel, Traçados e Cenários, Procedimentos de Financiamento, etc.), em sistemas de elevada variabilidade ou de baixa possibilidade de controle, deve ser baseada em análises de Risco e não apenas na comparação entre números tidos como exactos.

2. Conceito de Risco

1. Enquadramento.

De uma forma muito simplista, em problemas de engenharia, pode-se adoptar para "Risco / Conceito", a definição seguinte:

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

Risco = P (valor»valor limite, facto de influência negativa) x
V (vulnerabilidade, exposição, desconhecimento prévio) x
I (impacto, custos directos, indirectos, etc.)

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

Oportunidade = P (valor«valor limite, facto de influência positivo) x
V (vulnerabilidade, exposição, desconhecimento prévio) x
I (redução de prazo, do custo, conhecimento prévio)

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Num Sistema existem parâmetros Variáveis (ou melhor, variáveis e caracterizáveis), quando previamente se reconhecem (ou podiam ser reconhecidos), e que a sua variabilidade é caracterizável e quantificável por obedecerem a regras e tendências de uma distribuição, normal, triangular, par de valores extremos, etc. (por exemplo, o número de veículos pesados numa ponte, para estudos de fadiga).

2. Conceito de Risco

1. Enquadramento.

Num Sistema existem Incertezas quando se conhecem ou a sua probabilidade de ocorrência é reconhecida como elevada mas não se consegue qualificar, nem quantificar (no espaço e tempo). Ver o caso de cavernas em calcários, veios de quartzitos em rochas magmáticas. Nestes casos, sabemos que determinados problemas podem ocorrer durante a obra mas não foi possível identifica-los na fase de projecto. A gestão do risco durante a obra (Risk Management) faz-se também e nestes casos, por metodologias do tipo “onde está o Wally”.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

Num Sistema existem Surpresas quando não era possível imaginar nas fases anteriores à ocorrência (à luz do melhor conhecimento e tecnologias) que determinado problema ou fenómeno, pudesse ocorrer.

4. O Holland Tunnel em New York .

Comparação

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Uma forma menos analítica e mais empírica de avariar riscos em “Comparações” é o recurso à experiência (positiva e negativa). Esta “quantificação empírica” é algo difícil aceitar em determinadas análises, mas quando tudo é consideravelmente complexo, interligado, pouco linear e quando existe mais que uma solução na avaliação de risco, a possibilidade de comparar, em vez de avaliar, ganha peso e eficácia.

2. Conceito de Risco

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Por exemplo, numa análise de comparação entre “Ponte e Túnel” para “Atravessamentos Longos de um Rio em Ligações Interurbanas Intensas”, o procedimento seria, numa fase inicial, listar e separar os aspectos que efectivamente (!) interessam à comparação:

No âmbito dos Riscos:

- a - controlo do custo / prazo*
- b - custos de manutenção*
- c - impactos ambientais*
- d - acidentes com a navegação*
- e - segurança na operação do trânsito*

No âmbito dos valores avaliados para comparação simples:

- f - custo / prazo (inicial)*
- g - extensão total*
- h - altura, etc.*
- i - impacto das ligações*
- j - condicionantes à navegação*
- k - condicionantes à operação em condições meteorológicas gravosas*

Na Decisão, a solução túnel ganhará frequentemente à solução ponte em casos de “Atravessamentos Longos de um Rio em Ligações Interurbanas Intensas”, em quase todos os itens anteriormente referidos, excepto em “a-” e “e-”.

Curiosamente, a solução de Túnel Imerso, apenas uma das formas de túnel, ganhará à solução ponte também no item “a-”.

Quanto ao item “e-”, da segurança na operação, não deixa de ser curioso reflectir sobre a experiência do Holland Tunnel.

2. What is True?

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

What is TRUE?

Philosophy and Process

Dr. Travis McGrath, P.E.
Arturo Gutierrez del Olmo
Golder Associates

2. What is True?

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

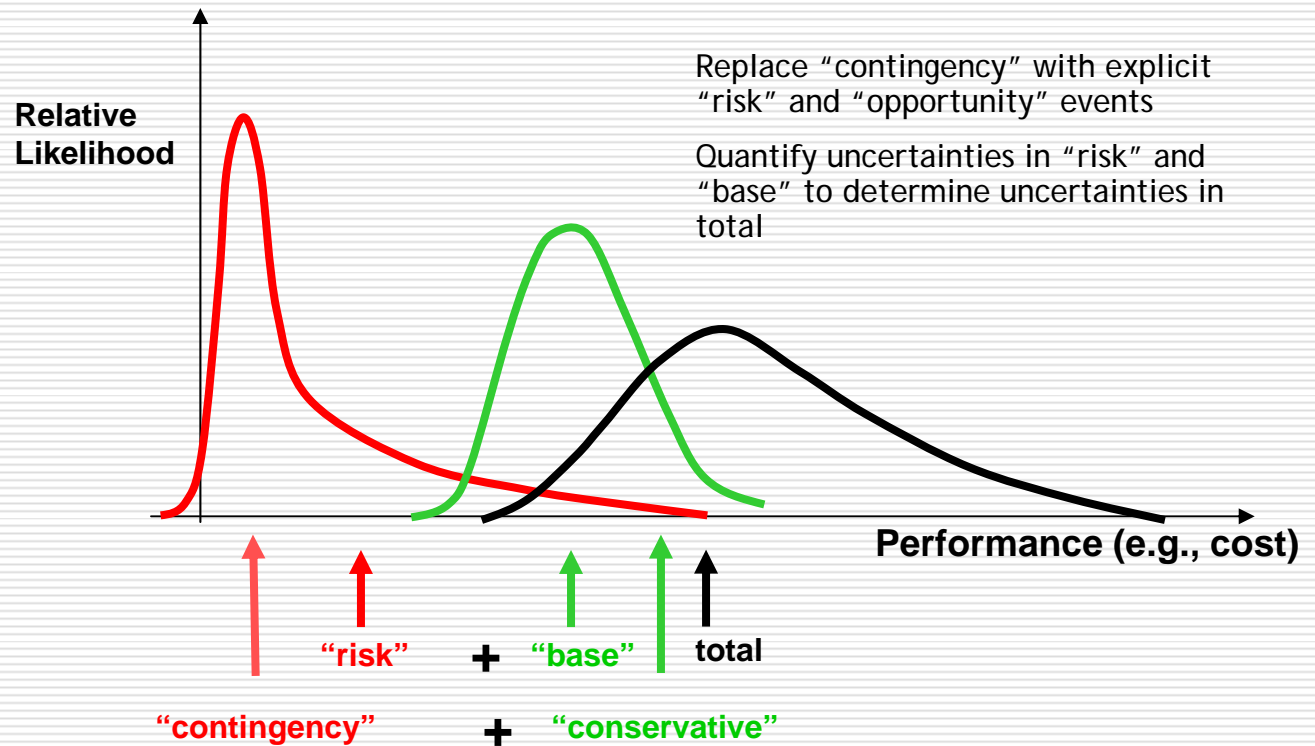
3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

TRUE Concept

$$\text{Total} = \text{"Base"} + \text{"Risk"}$$



2. What is True?

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

TRUE Concept

- Can also quantify uncertainty in other measures, such as:
 - Safety
 - Environmental impacts
 - Societal impacts
 - Benefits (revenue, etc.)
 - Operations and maintenance

2. What is True?

1. Enquadramento.

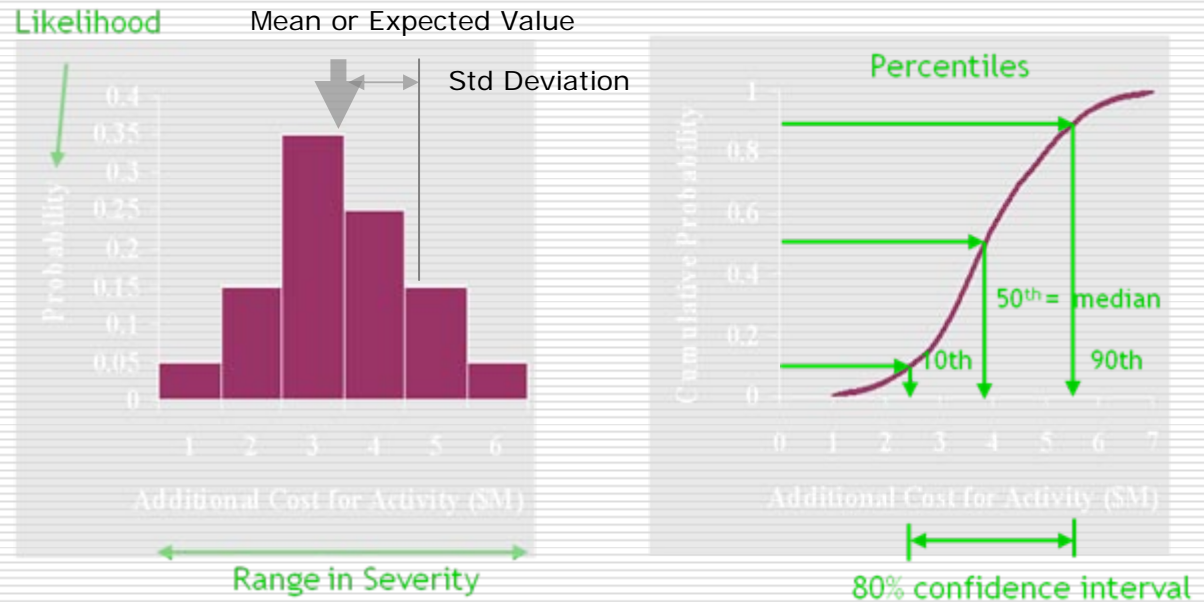
2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

TRUE Concept - Describing Uncertainty



Probability Mass Function PMF
(or PDF)

Cumulative Distribution
Function CDF

2. What is True?

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

TRUE (Risk-Based) vs. Traditional

Traditional	Risk-Based
Estimate is a Single Value with unknown confidence	Estimate is a Distribution that expresses confidence
Based on arbitrary set of assumptions	Considers uncertainty in key assumptions
Risk and Uncertainty are modeled as lumped “contingency”	Risk and Uncertainty are evaluated explicitly by source / type
Risk Management is ad-hoc	Risk Management is formal and explicit, because significant risks (and opportunities) are quantified
Relies on judgment from experience plus data – consensus hard to achieve	Relies on judgment from experience plus data – consensus easier to achieve

2. What is True?

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Example Project - Pittsburgh North Shore Connector (USA)



2. What is True?

1. Enquadramento.

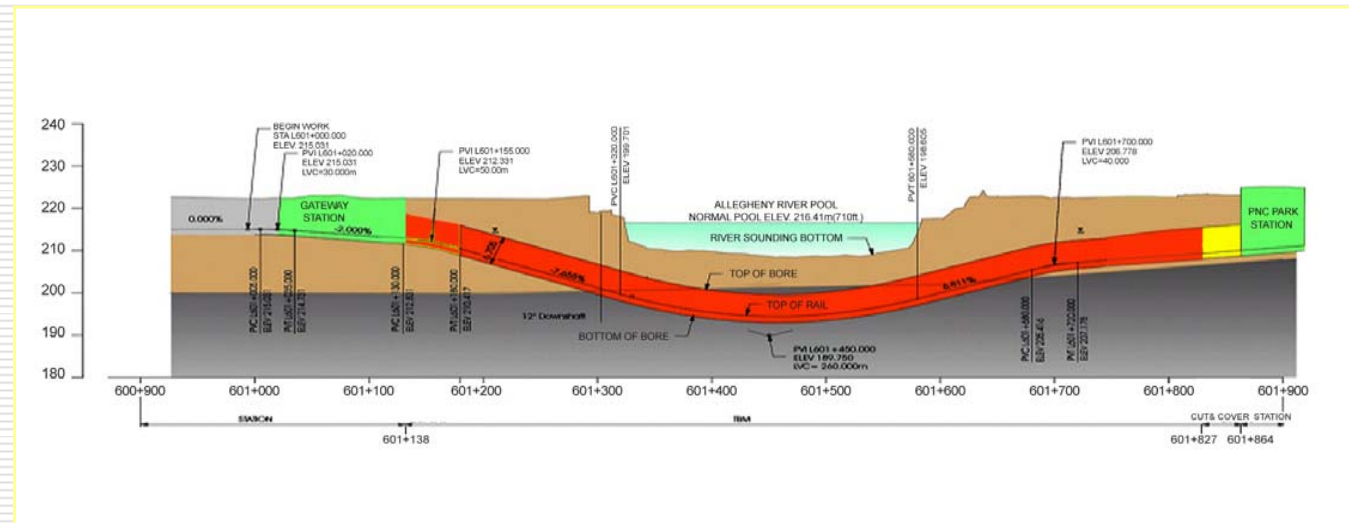
2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Ireland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Example Project - Pittsburgh North Shore Connector (USA)



2. What is True?

1. Enquadramento.

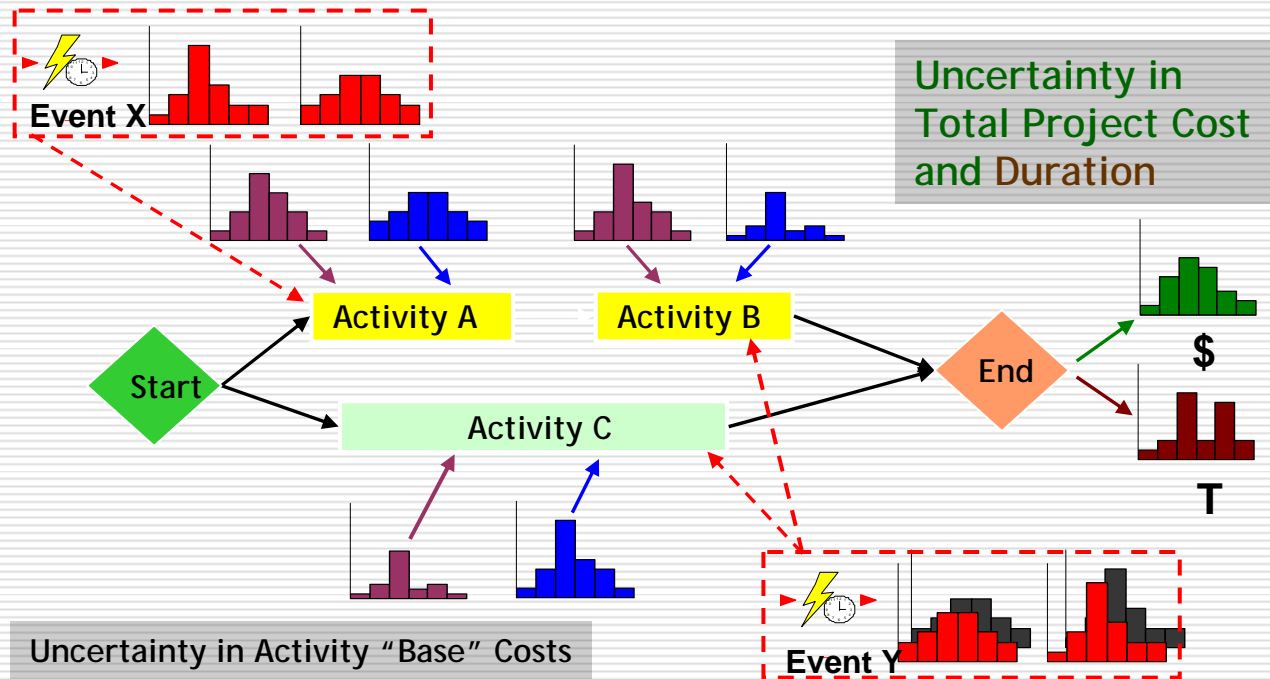
2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Ireland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Example Project - Pittsburgh North Shore Connector (USA)



Uncertainty in Activity "Base" Costs

Uncertainty in Activity "Base" Durations

Risk Events (likelihood of occurrence, and likelihood for cost and duration changes if the event occurs)

2. What is True?

1. Enquadramento.

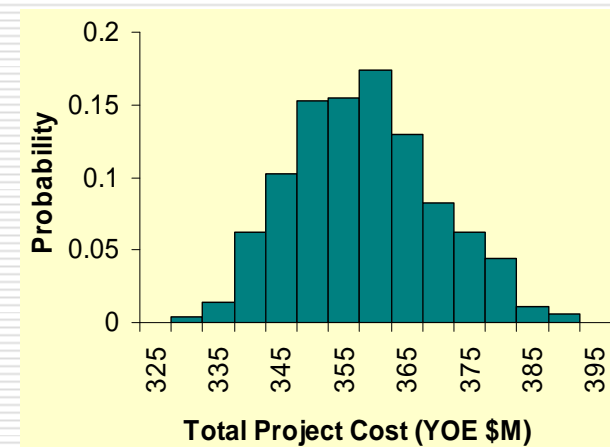
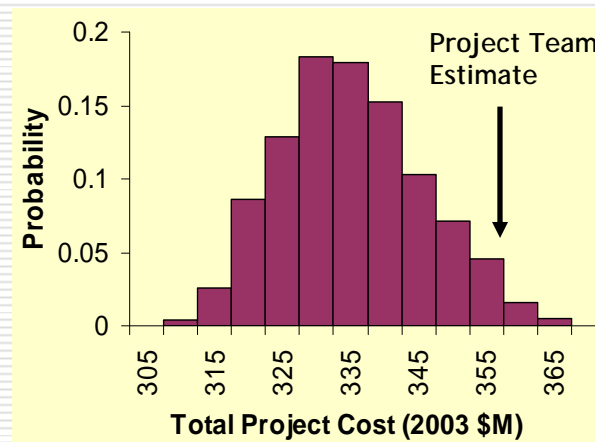
2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Example Results - Cost Probability Distributions



2. What is True?

1. Enquadramento.

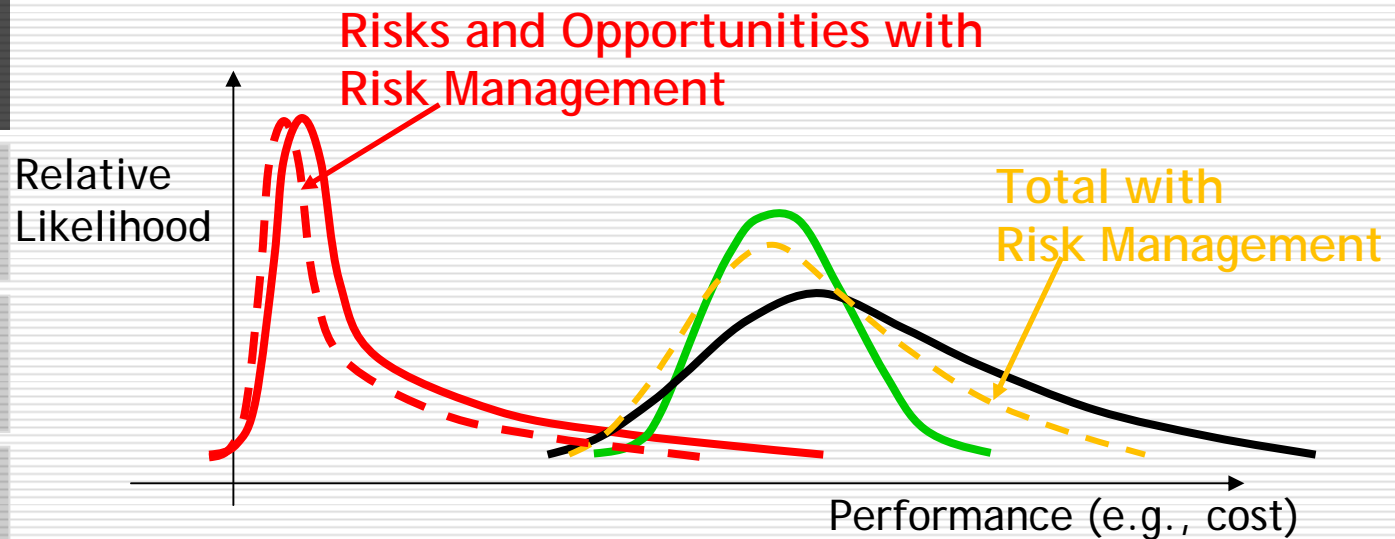
2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Risk Management



Note: Base costs also now include RM implementation costs

2. What is True?

1. Enquadramento.

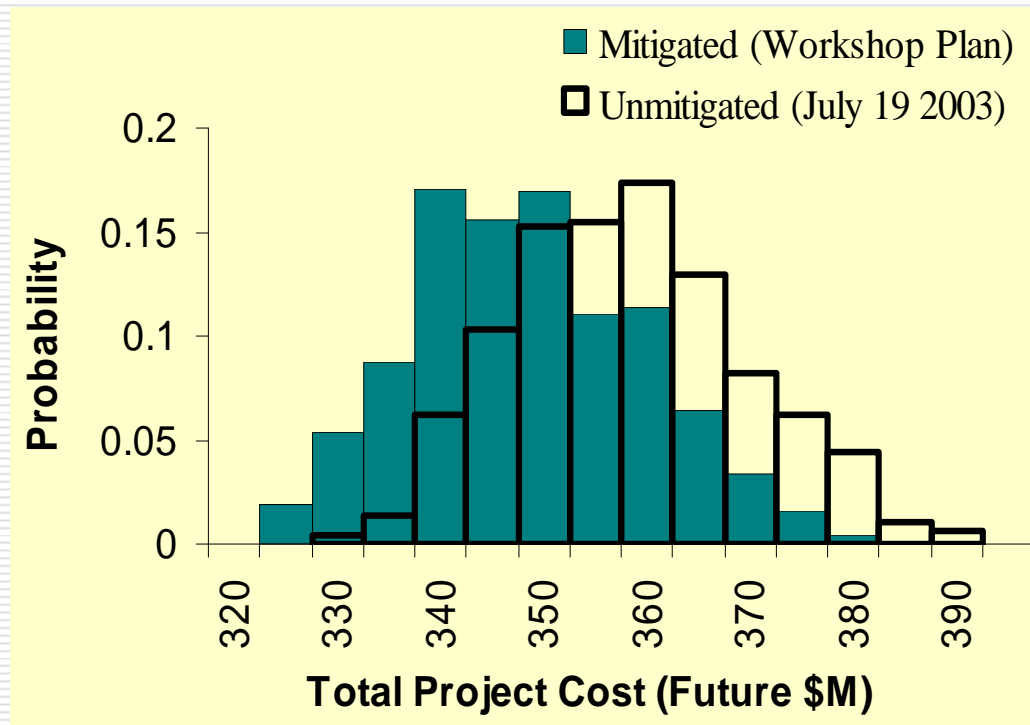
2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Example Results - Risk Management or Updates



2. What is True?

1. Enquadramento.

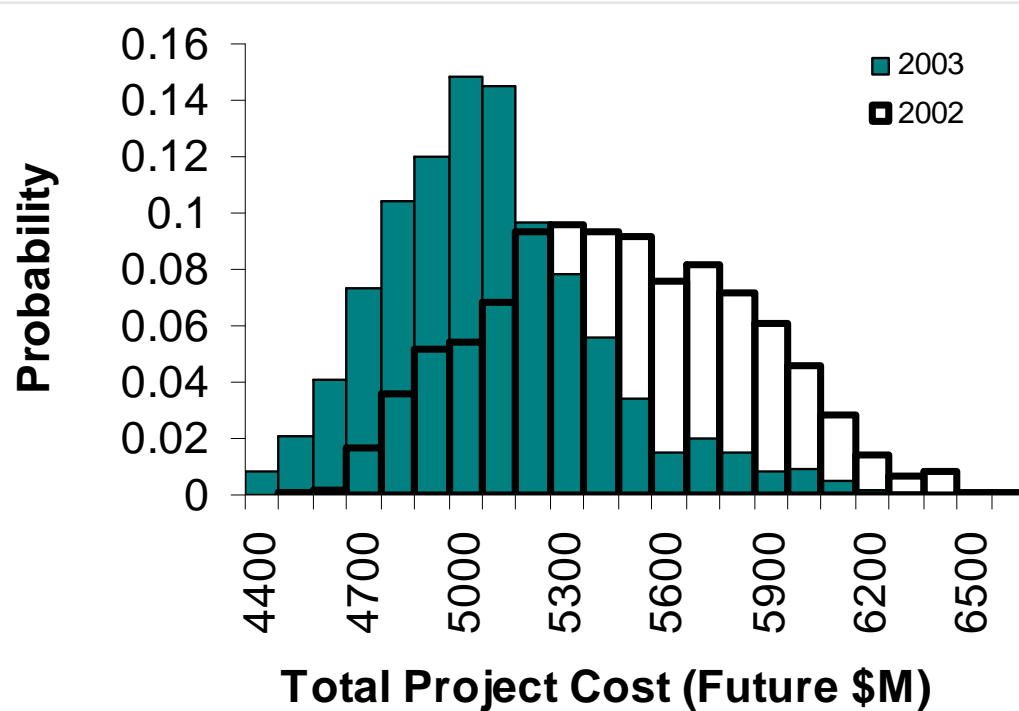
2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Example Results - Updates or Risk Management



3. Limerick Tunnel

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

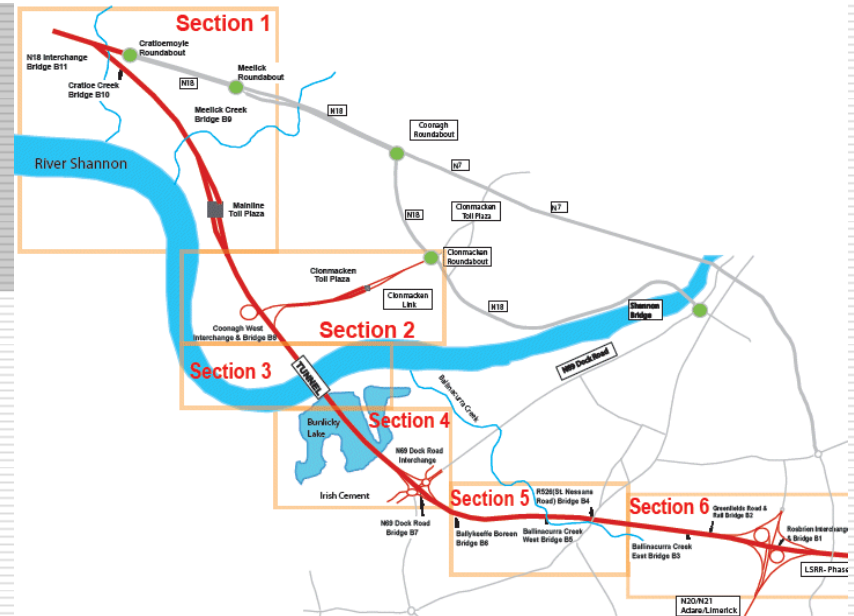
3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

The Limerick Tunnel is one of the largest projects undertaken in the western region, at a cost of over 500 Million euros. The Limerick Tunnel Project is Phase II of the Limerick South Ring road project connecting the Dublin Road, N7 to the Ennis Road - N18.

- The estimated completion date is 2010.
- The construction of the Limerick Tunnel began in August 2006 since then work has opened up on a number of fronts.



The project is divided into 6 sections

3. Limerick Tunnel - Section 3

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Section 3 - The Tunnel

The tunnel is the major element of the project.

After serious consideration and an exhaustive environmental impact study it was agreed that a tunnel under the river Shannon offered the best long term socio-economic to Limerick and the region.



3. Limerick Tunnel - Section 3

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Section 3 - The Tunnel

The tunnel is an immersed tube tunnel measuring 675m in length. The tube will consist of two bores, one for southbound traffic and the other for Northbound traffic. Each of the two bores comprises a two lanes with emergency walkways on each side. Five Tunnel Units will be cast in an area north of the Shannon. These units will be floated out and sunk into a pre-dredged channel across the river. The tunnel is completed by cut and cover sections at each end and approach ramps.



4. Holland Tunnel

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Dois importantes túneis interurbanos existem em New York, que servem de exemplos positivos no que se refere à conjugação da “decisão e construção” com o efeito positivo no tráfego, segurança e gestão ao fim de muitos anos de utilização. O primeiro túnel que será referido é o Holland Tunnel, entre Manhattan e New Jersey / Newark, sob o rio Hudson, aberto em 1927. O outro túnel é o Queens Midtown Tunnel, entre Manhattan e Long Island City, sob o rio East, com a extensão de 1.900 m, aberto em 1940.

O Holland Tunnel, tem a extensão de 2.550m, é constituído por dois tubos e foi construído em condições absolutamente extremas, com coberturas de terreno muito baixas. Não é um túnel imerso mas é um exemplo único de uma longa ligação interurbana em túnel.



4. Holland Tunnel

1. Enquadramento.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

Características:

- pensado e primeira decisão em 1906
- construído entre 1920 e 1927
- o primeiro túnel ventilado do mundo
- o recorde mundial de túnel, na época
- 35 MV, veículos /ano, aprox. 100.000 / dia, em 2007
- 50.000 veículos / dia em Novembro 1927
- altura de água acima da via, 28m
- 2 vias de rodagem em cada túnel mais passeio técnico

Este túnel constitui sem dúvida o melhor e mais relevante túnel histórico do mundo. A sua manutenção ao fim de tantos anos é uma prova deste tipo de soluções. A obra foi feita com a aplicação de estruturas metálicas em forma de partes de arcos, que eram arrastadas, aplicadas e rebitadas, debaixo de um rio, sem escudo frontal !

As dificuldades extremas, a aventura e desconhecimento das soluções adoptadas, provocaram elevado número de acidentes, com mortes, atribuindo-lhe durante muitos anos uma imagem muito negativa junto da população americana, como tendo-se tratado de uma aventura para o desconhecido.

4. Holland Tunnel

1. Enquadramento.

"The concept for the Holland Tunnel was developed in 1906.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

In 1906, a coalition of the New York State and New Jersey Interstate Bridge and Tunnel Commission began studies for a bridge connecting lower Manhattan to Jersey City, New Jersey.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

By the end of World War I (1918), the number of cars and trucks on U.S. roads had skyrocketed. This trend did not differ in the streets of New York City.

4. O Holland Tunnel em New York .

At this time the Hudson River ferries were carrying about 30 million vehicles each year (24,000 vehicles a day³) from New York to New Jersey. This had become a major problem for commuters and a solution was needed.

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

"Since it would be easier and less expensive to build a bridge rather than a tunnel, a bridge was initially thought to be a better solution. However, to construct a bridge over the Hudson River it would require a minimum clearance of 200 ft. for ships to travel to and from Hudson River ports.

Since the Manhattan side of the Hudson did not meet the 200-foot elevation requirement needed for a bridge, new and expensive apparatuses would have to be built on the New York side. Also, a bridge would be affected by poor weather conditions more than a tunnel.

In 1913, the joint coalition finally decided to construct a tunnel. "

4. Holland Tunnel

1. Enquadramento.

De qualquer forma, o túnel construído de seguida, o Queens Midtown Tunnel, beneficiou desta nefasta experiência construtiva, tendo usado, talvez pela primeira vez, um escudo sobre-pressão de sustentação da frente. A segurança desta obra foi completamente diferente, não havendo relatos de acidentes graves.

2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

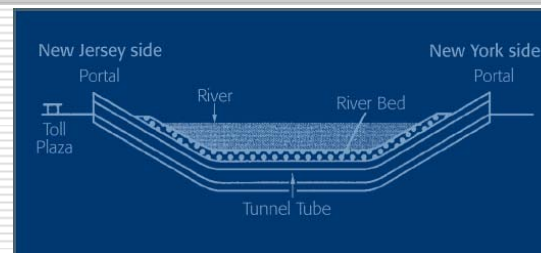
Apenas existem dois relatos de factos graves que fizeram encerrar um dos túneis ou os dois. O primeiro foi um acidente ocorrido em Maio de 1949, com o derrame completo e incêndio de um camião tanque com bissulfito de carbono que destruiu a estrutura do túnel em cerca de 150m. Foram implementadas medidas de segurança quanto à circulação de mercadorias perigosas.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

O segundo facto decorreu dos atentados de 11 de Setembro de 2001 e que determinou o encerramento do túnel como medida de segurança. Foram implementadas novas medidas de segurança e o túnel reabriu passado 1 mês. Note-se que o tráfego actual, apesar de controlado, mantém-se extremamente elevado.

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross



5. Marmaray Tunnel

1. Enquadramento.

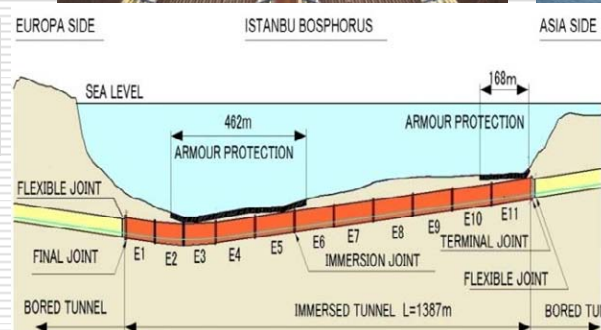
2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Irland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bosphorus Cross

Bosphorus railway tube tunnel crossing project (MARMARAY) is located between local district of Söğütlüçeşme and Yedikule with a total length of 14+040 km, which will connect either side of the Istanbul by railway system. Railway tube crossing project includes; 1387m immersed tube tunnel, (at an elevation of -55, -60, deepest immersed tube in the world), 9270 m bored tunnel (double tube), 1910 m cut & cover tunnel (stations included), 1300 m retaining fill and cut and at grade structures. There will be four deep underground stations.



5. Marmaray Tunnel

1. Enquadramento.

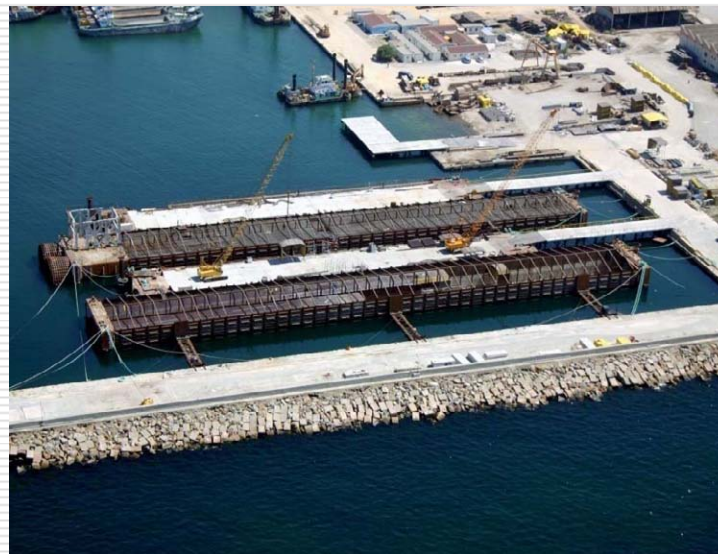
2. Conceito de Risco e Comparação de Soluções.

3. Túneis Imersos (Limerick Tunnel, Ireland).

4. O Holland Tunnel em New York .

5. Marmaray Tunnel, Bophorus Cross

The construction phase of Marmaray project was started in August 2004. Since, this is an EPC turnkey contract (design and built), the Contractor is obliged for his design and construction complying with minimum requirements of the Employer. Following the additional site investigation and design, the construction started at cut & cover station areas at on-shore section and ground treatment in off-shore section. Meanwhile, the dredging works was started and 80% of total dredging works was completed by end of September 2006. A production of immersed tube is ongoing in 2 dry docks.





iC consulenten

Agradecimentos:

GEG - *Engineering Structures for Life.*

Golder Associates

Dr. Orhan Simsek

iC Consulenten Ziviltechniker

Dr. Johannes Kleberger