

Comissão

Riscos de Engenharia

Evento Dirigido ao mercado / Construção de Túneis

Painel

Análise de riscos de construção de túneis.

Palestrante

M.Sc. Eng. Marcio Santos

Senior Risk Engineer – Liberty International U/W

Sumário

Serão abordados os desafios, o estado-da-arte e tendências de Risk Assessment para obras subterrâneas, com ênfase em túneis construídos pelos métodos TBM (*Tunnel Boring Machine*) e NATM (*New Austrian Tunneling Method*).

Contato FenSeg

Danilo Sobreira

Tel: 21 2510-7983 Fax: 21 2510-7832

E-mail: danilo.sobreira@fenseg.org.br

Gerson CMS Raymundo
Presidente CRE

Lucas Lopes
Vice Presidente CRE



Análise de Riscos de Obras Subterrâneas: desafios, estado da arte e tendências

M.Sc. Eng. Marcio Santos

Senior Risk Engineer – Liberty International U/W

LIU Specialty Lines Division™



Perspectivas de obras subterrâneas no Brasil



- Expansão linha 4 SP (1,5km);
- Linha 6 SP (15km);
- Linha 2 SP (15km);
- Linha 4 Trecho 2 Rio (4km);
- Metrô Fortaleza Linha 3 (10km);
- Linha 3 Metrô BH (4,5km);
- Metro Curitiba (12km);



- 100 km de túneis urbanos/rurais;

DNIT

- BR 101 – MG (3km);
- BR 280 – SC (~2km);



- Duplicação Tamoios (12km);
- Rodoanel Norte (10km);
- Túnel Santos-Guarujá (1km);
- ~~ROMA (4,5km)~~

Sem considerar:

- Projetos ferroviários (VALEC, ANTT);
- Projeto de energia (barragens);
- Projetos da iniciativa privada;

Incertezas na Engenharia de Túneis

- Material tipicamente heterogêneo;
- Enormes variações nas propriedades de interesse:
 - Mais permeável = 10 bilhões x (menos permeável);
 - Mais resistente > 100 x (menos resistente);
- Grande influência do meio (intemperização) → solos tropicais (Brasil);
- Comportamento dependente do carregamento;
- Comportamento *in-situ* vs. comportamento previsto nos modelos de cálculo;
- Processos de investigação sempre contemplam “ínfima parte do todo”;



Incertezas na Engenharia de Túneis

- Razão de amostragem concreto/solo:
 - Em obras triviais ≈ 100 ;
 - Obras de túneis ≈ 200 (Parker, 2008);



Fonte: Parker (2008)

Desafios do seguro de construção de túneis

- Métodos de construção;
- Prazos;
- Orçamentos;
- Alocação de risco;

- Aumento de acidentes
- Sinistro/Prêmio
- *Escalation cost*;
- Transferência de risco;

- Redução do apetite das seguradoras
 - T&C mais agressivos
- Práticas de Gerenciamento de Riscos

Fonte: adaptado de Munich Re (2006)

(Boas) Práticas de Gerenciamento de Riscos



- The joint code of practice for risk management of tunnel works in the UK (BTS, 2003).



- Guidelines for tunneling risk management (ITA – WG2, 2004).



- A code of practice for risk management of tunnel works (ITIG, 2012).

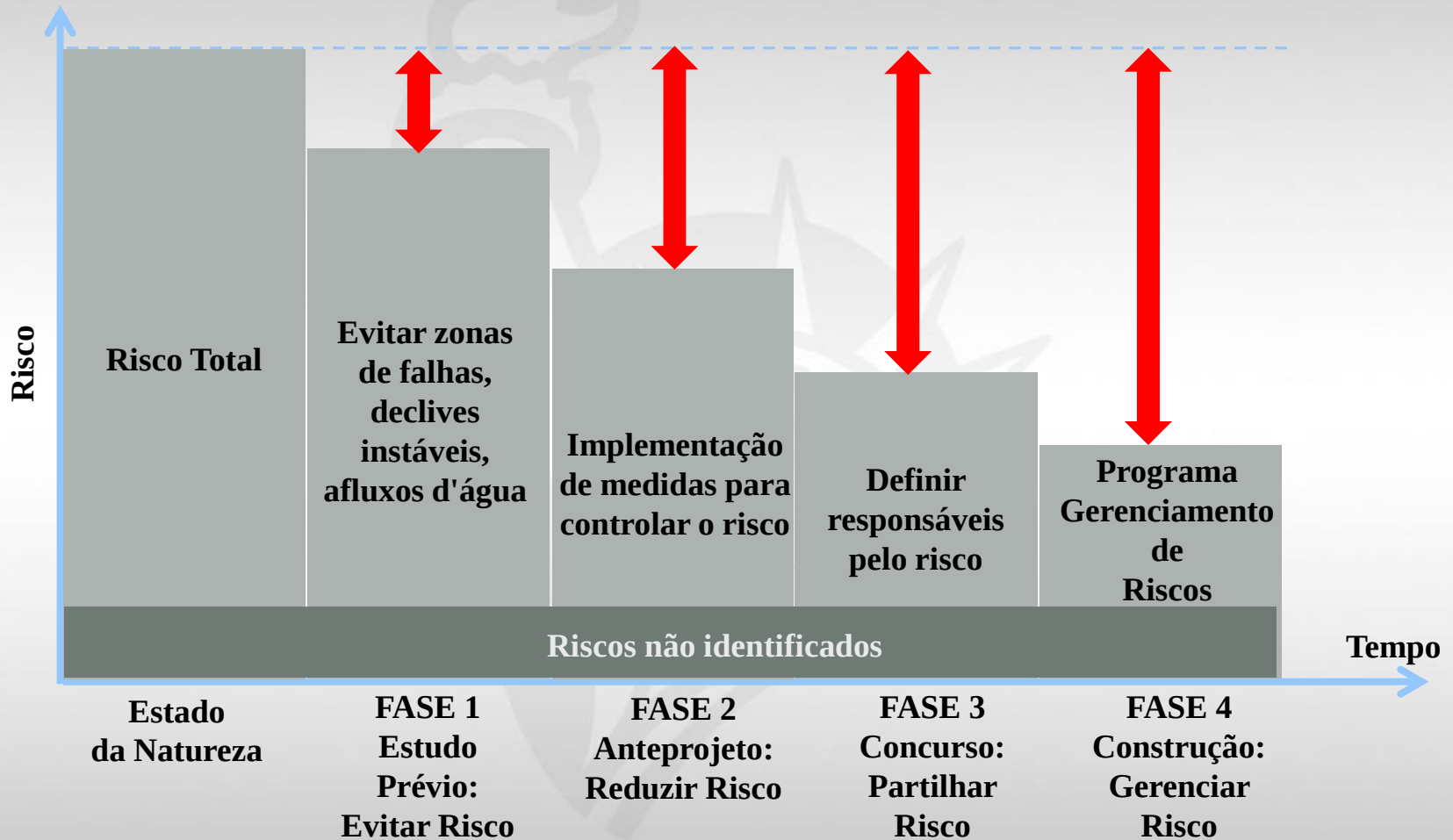
Fundamentos das Práticas de Gerenciamento de Riscos

- Funções e responsabilidades das partes;
- Correta alocação de risco por vias contratuais;
- Linhas de reporte bem definidas;
- Estabelecimentos de *baselines* geotécnicos;
- Comitês de riscos;
- Supervisão técnica independente;
- Análises qualitativas e/ou quantitativas de riscos;
- Registro de riscos;

Códigos de práticas de gerenciamento de riscos

- Objetivo: tornar os riscos residuais ALARP (“As Low As Reasonably Practicable”);
- Abordagem tradicional: riscos gerenciados no âmbito do projeto;
- ITA/ITIG/BTS: análise sistemática dos riscos desde a fase de concepção até o final da construção!
- Gerenciamento de Riscos: termo geral que engloba a identificação, avaliação, mitigação e controle dos riscos de construção;

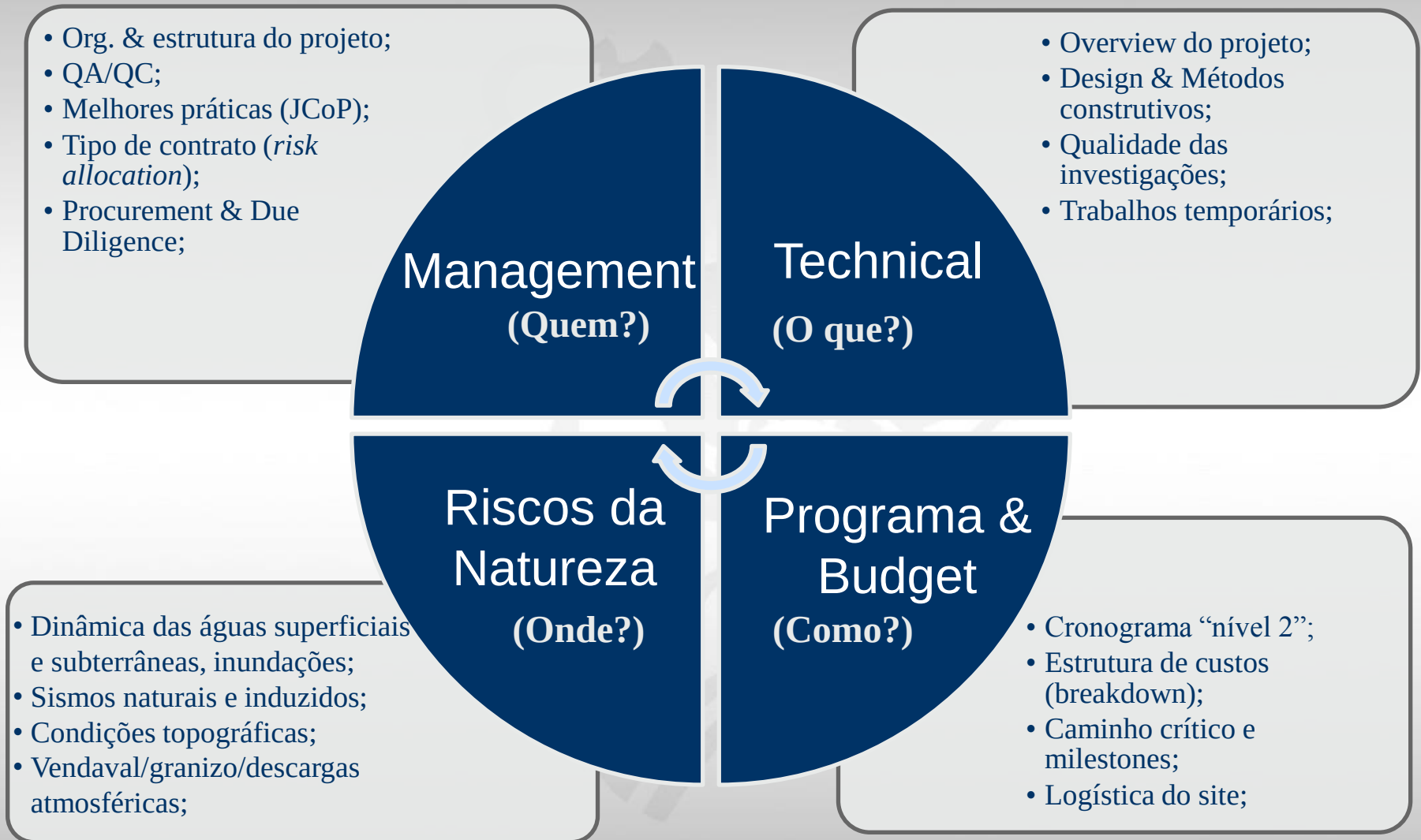
Gerenciamento de Riscos no horizonte do projeto



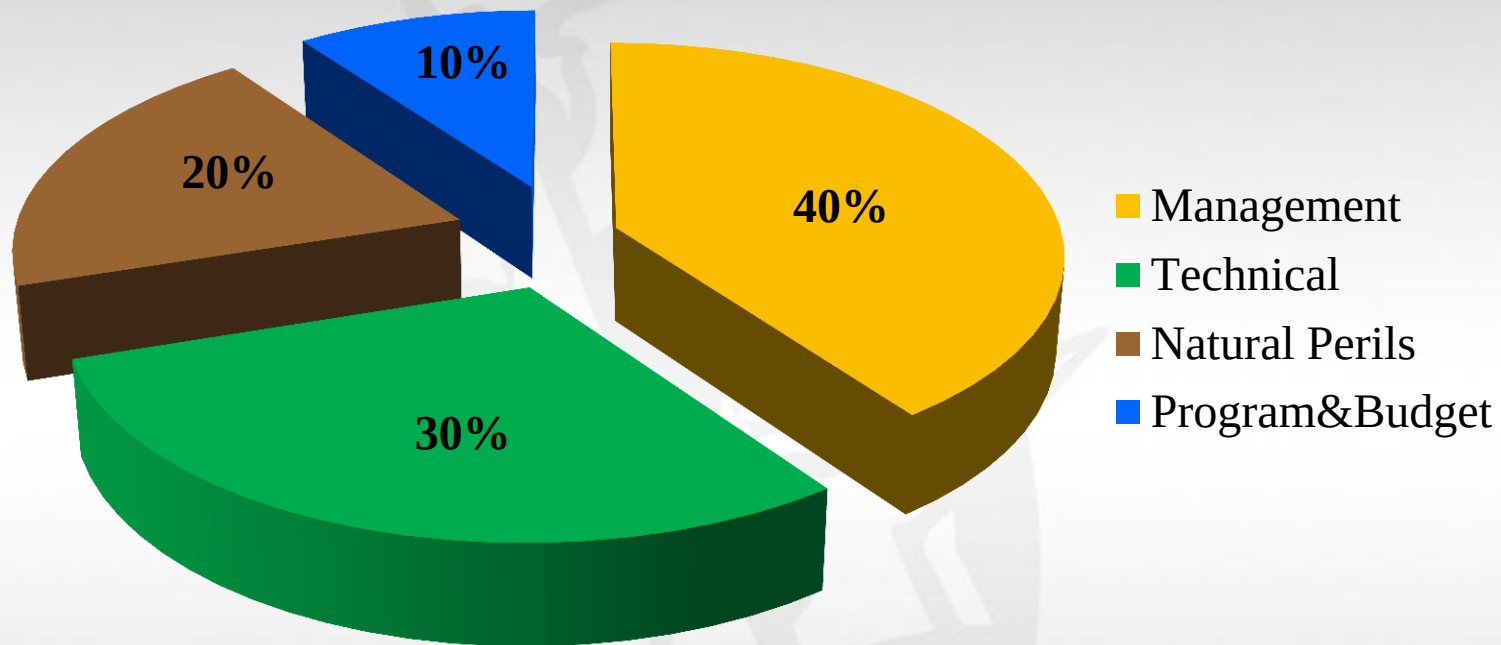
Fatores intervenientes na Análise de Risco

- Aspectos contratuais;
- Organização do projeto;
- Investigações geológico-geotécnicas;
- Adequação do projeto de engenharia e método construtivo em face das condições locais;
- Budget e sua alocação, prazo;
- Metodologia de construção;
- Heterogeneidade e anisotropia do solo;
- Qualidade da instrumentação e seu efeito nas decisões de obra;
- Atuação integrada, comunicação ampla, definição de *authorities* e agilidade nas decisões;
- Práticas de gerenciamento;
- Consciência de risco;
- Experiência e expertise.

Abordagem da LIU – “4 Pillars”



4 pillars – Ponderação dos fatores



- Pessoas, comportamentos e processos > aspectos técnicos!

Influência de aspectos contratuais

- Projetos conduzidos pelo governo regidos pela lei nº 8666 (“lei de licitações”) e algumas pelo RDC;
- Lei 8666/93:
 - Empreitada Preço Global x Empreitada Preço Unitário;
 - Prevalência do critério de “menor preço”;
 - “Preço e técnica” válido apenas para atividades intelectuais;
 - Máximo aumento de custo de 25%;
- Alocação de riscos para as partes melhor preparadas para mitigá-los:
 - Imprevistos geológicos → proprietário;
 - Construção (ex: operação do TBM) → empreiteira;
- Previsões para acomodar aumento de custos/prazo decorrente de imprevistos geológicos (cota para contingências);

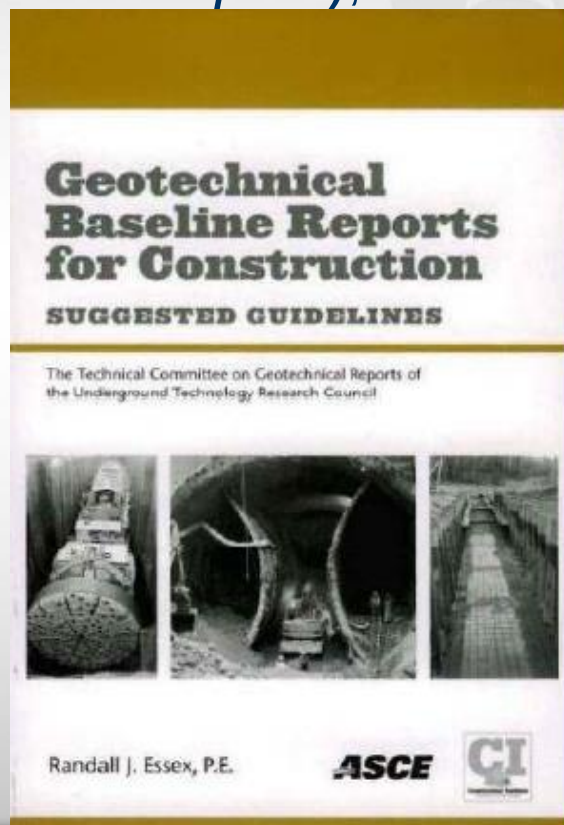
Influência de aspectos contratuais

- Tipo de contrato (*turnkey* vs. custos unitários);



Aspectos contratuais - tendências

- Supervisão Técnica contratada pelo proprietário → ATO;
- Estabelecimento de um *baseline* em contrato → GBR (*Geotechnical Baseline Report*);



Descrição antecipada do solo



Impactos no projeto e construção



Riscos associados à geologia



Quem assume os riscos dentro e fora do baseline

Recomendações – organização do projeto

- Projetista não deveria estar submetida à empreiteira;
- ATO (Acompanhamento Técnico da Obra) tem papel crucial;

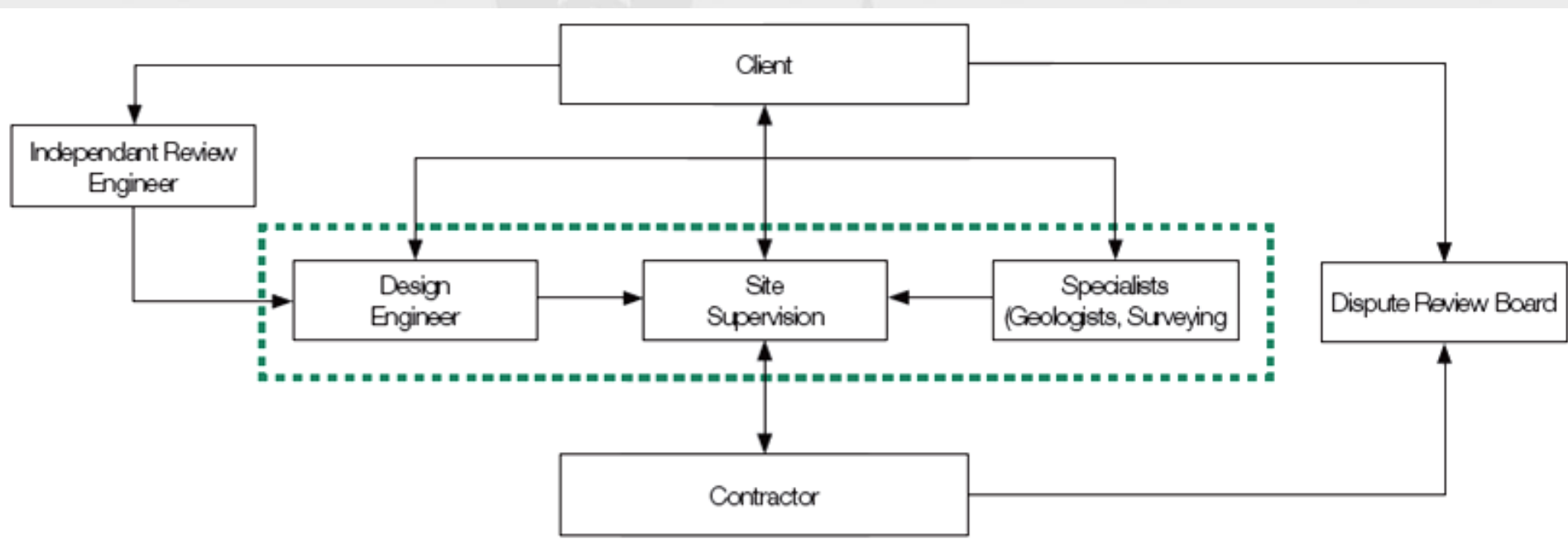
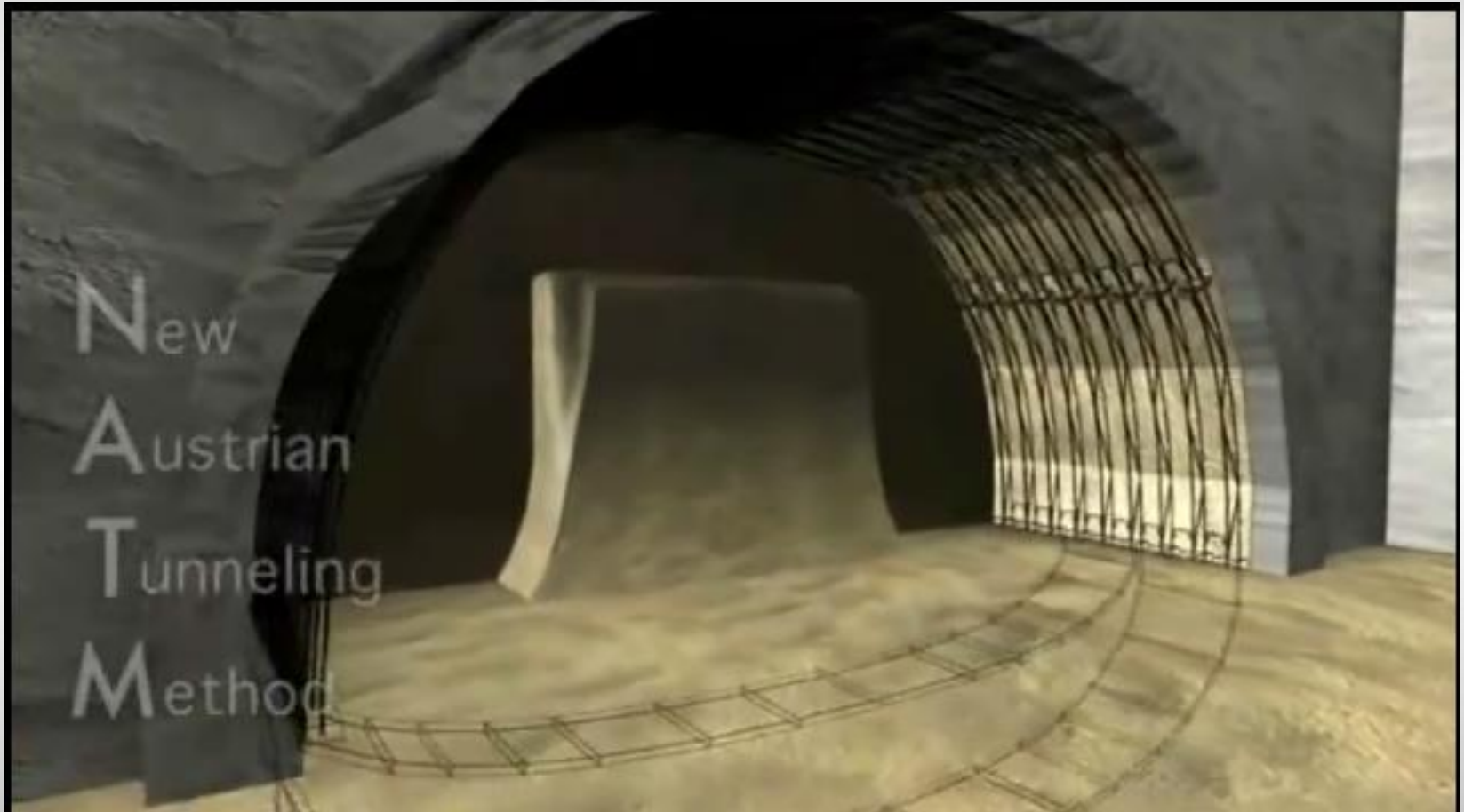


Fig. Exemplo de organização do projeto (fonte: ITA)

Métodos construtivos de túneis - NATM

NATM – New Austrian Tunneling Method





1 – Execução das enfilagens (“forepoles”)



2 – Escavação (seção plena x seção parcializada)

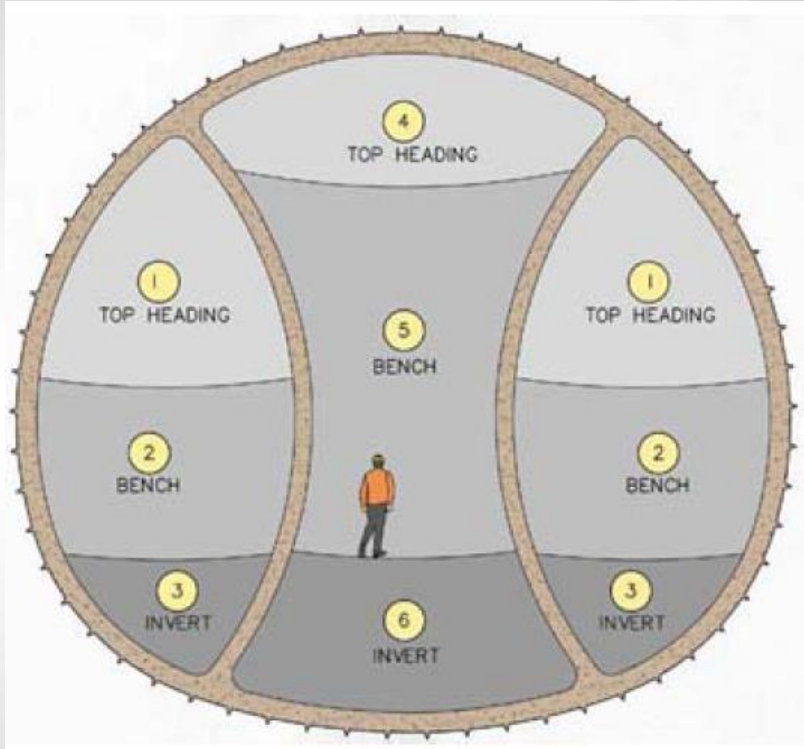


3 – Colocação de cambotas metálicas

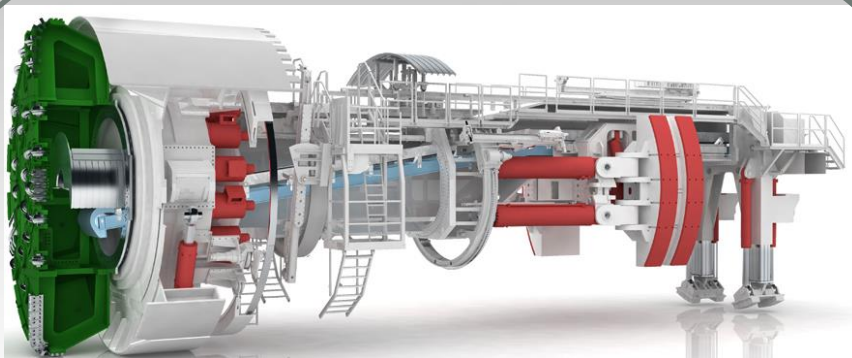


4 – Concreto projetado

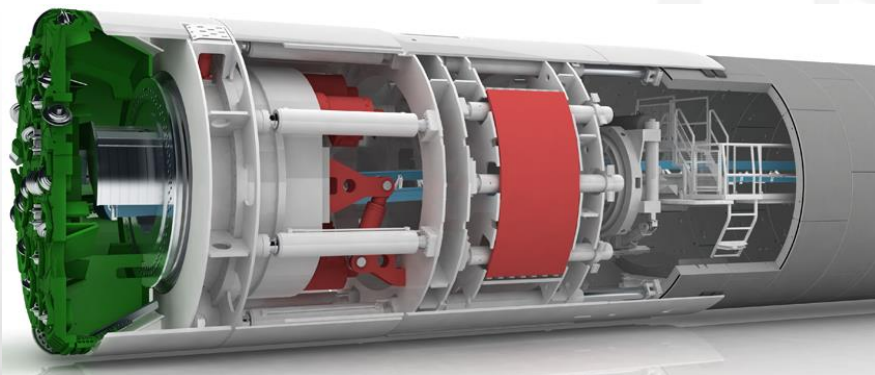
Parcialização da escavação



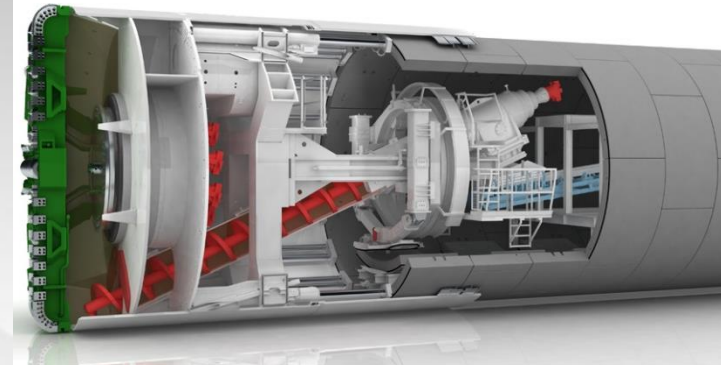
Métodos construtivos de túneis – TBM



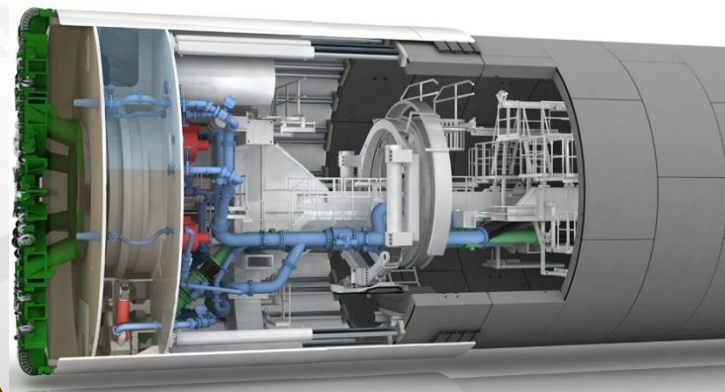
Gripper Shield



Double Shield TBM



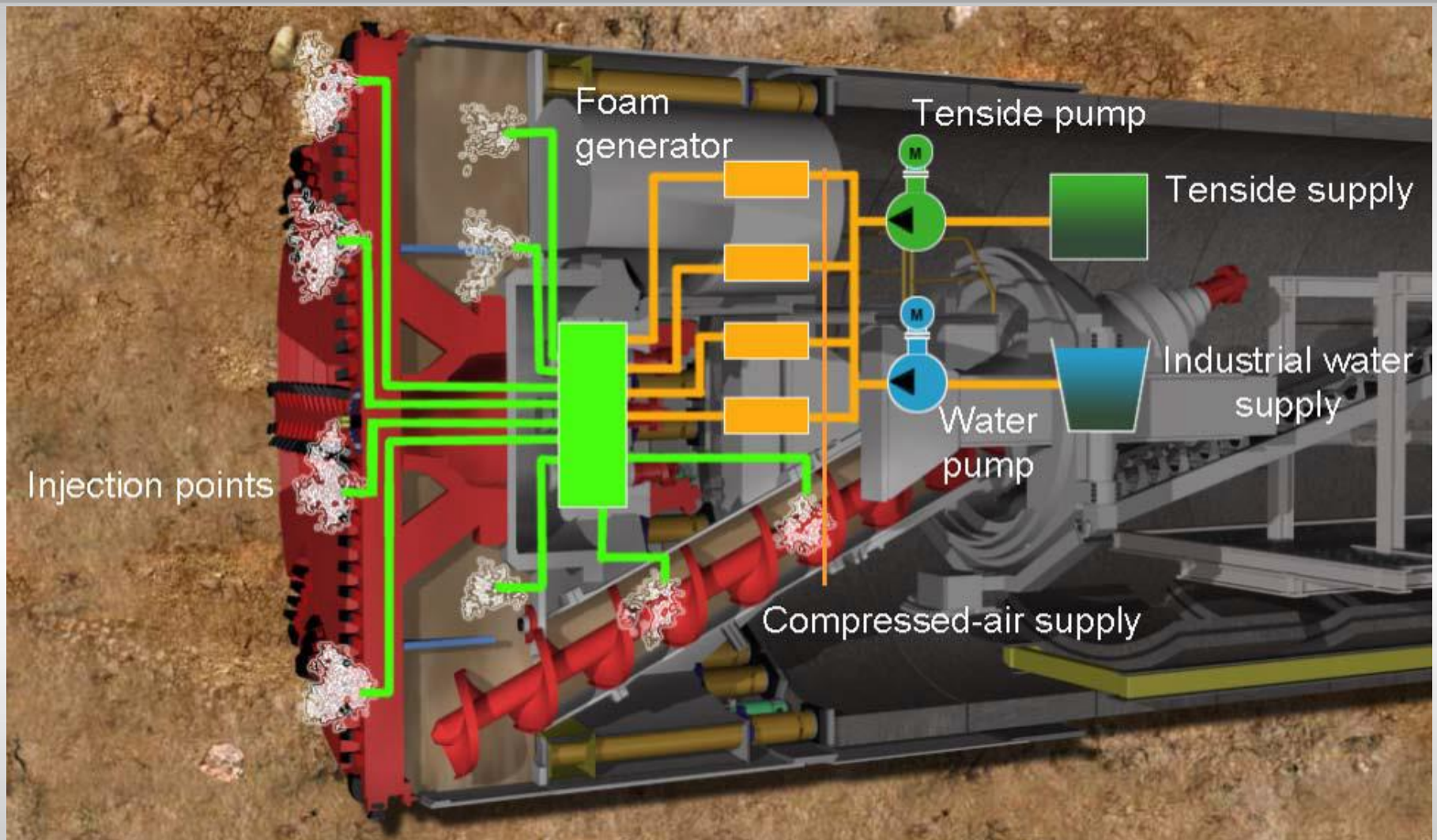
EPB – Earth Pressure Balanced



Mixshield (slurry)

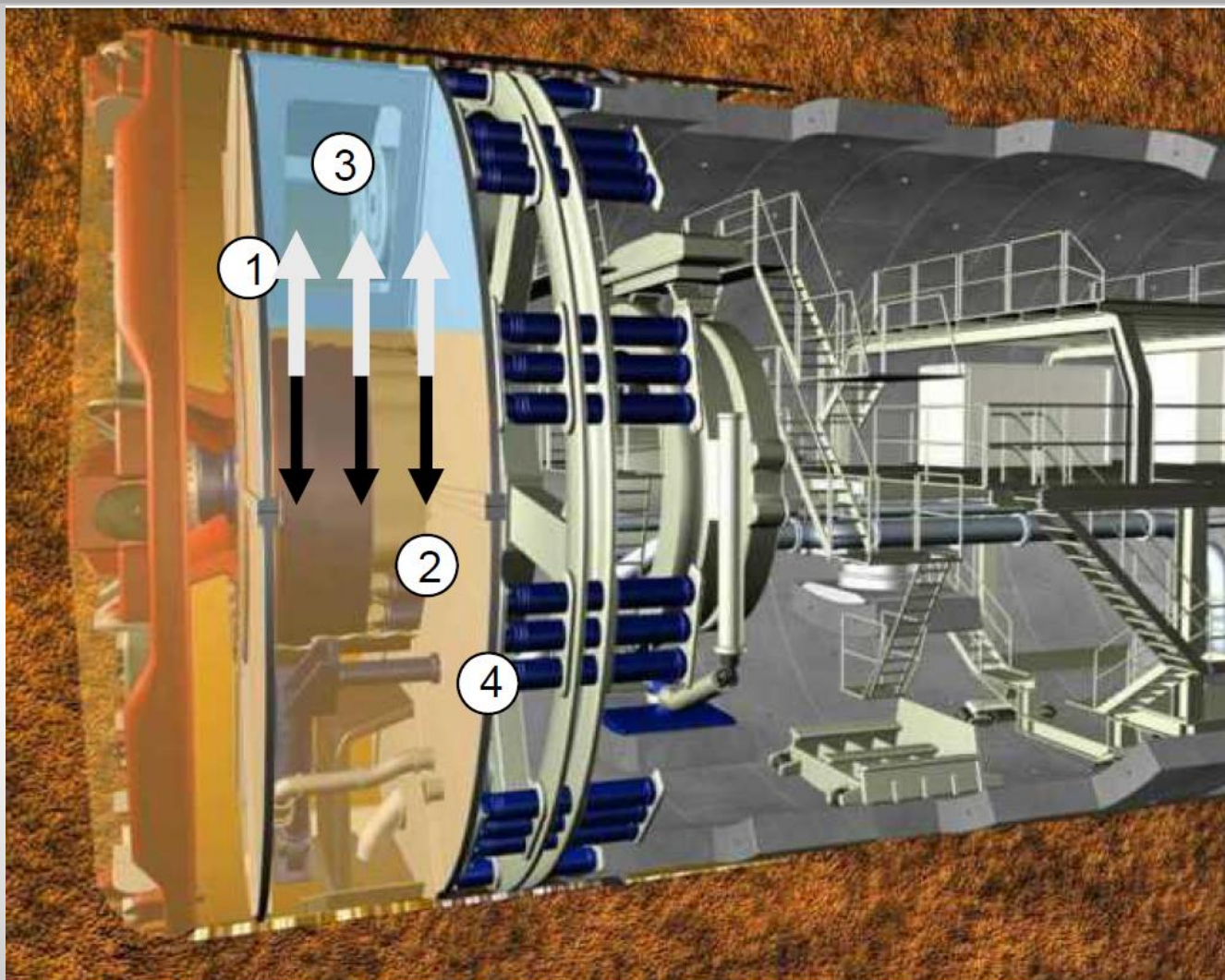
Fonte: Herrenknecht

EPB – *Earth Pressure Balanced*



Fonte: Peev (2012)

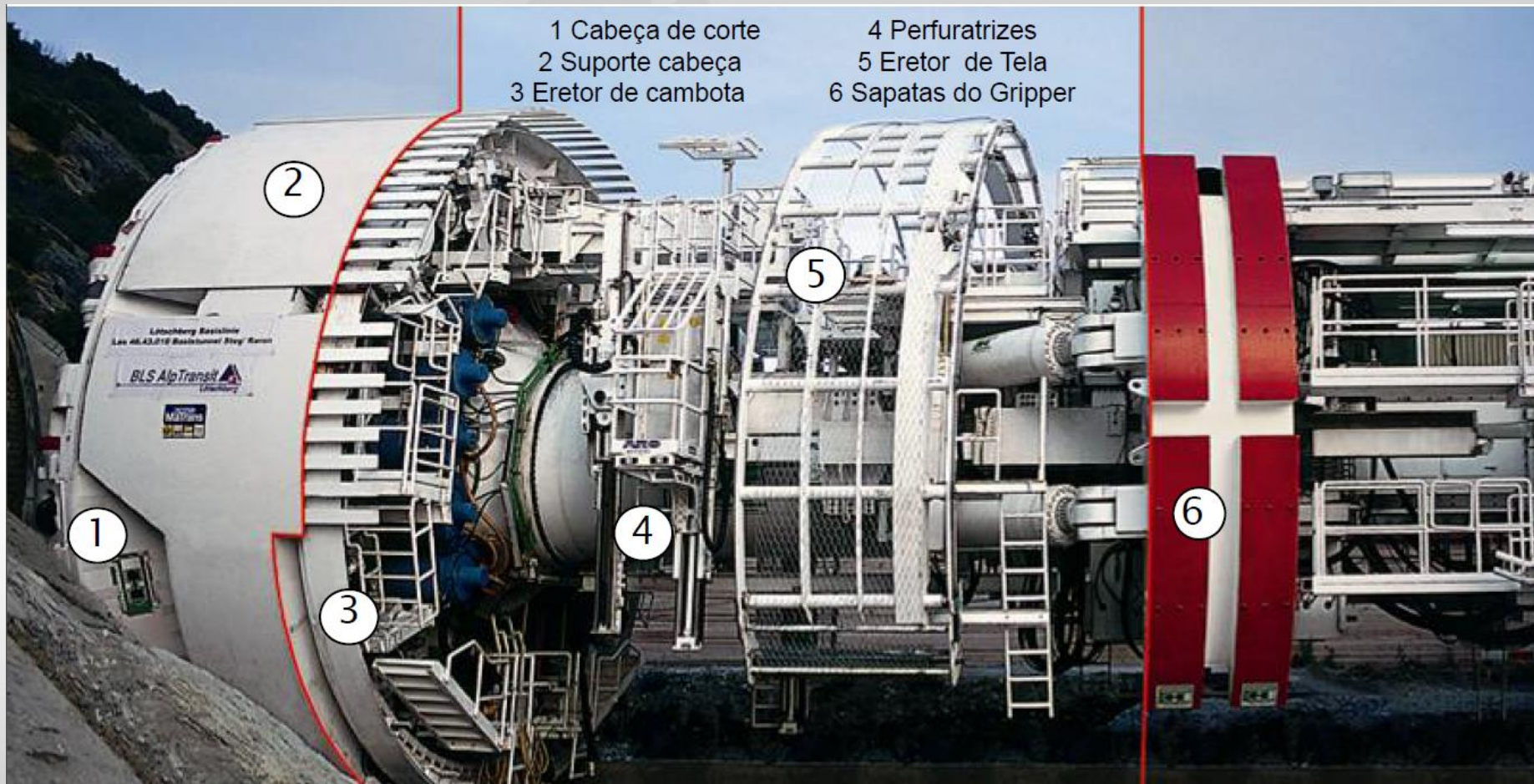
Mixshield (slurry)



- 1 – Parede submersa;
- 2 – Câmara de escavação;
- 3 – Bolha de ar;
- 4 – Anteparo de pressão;

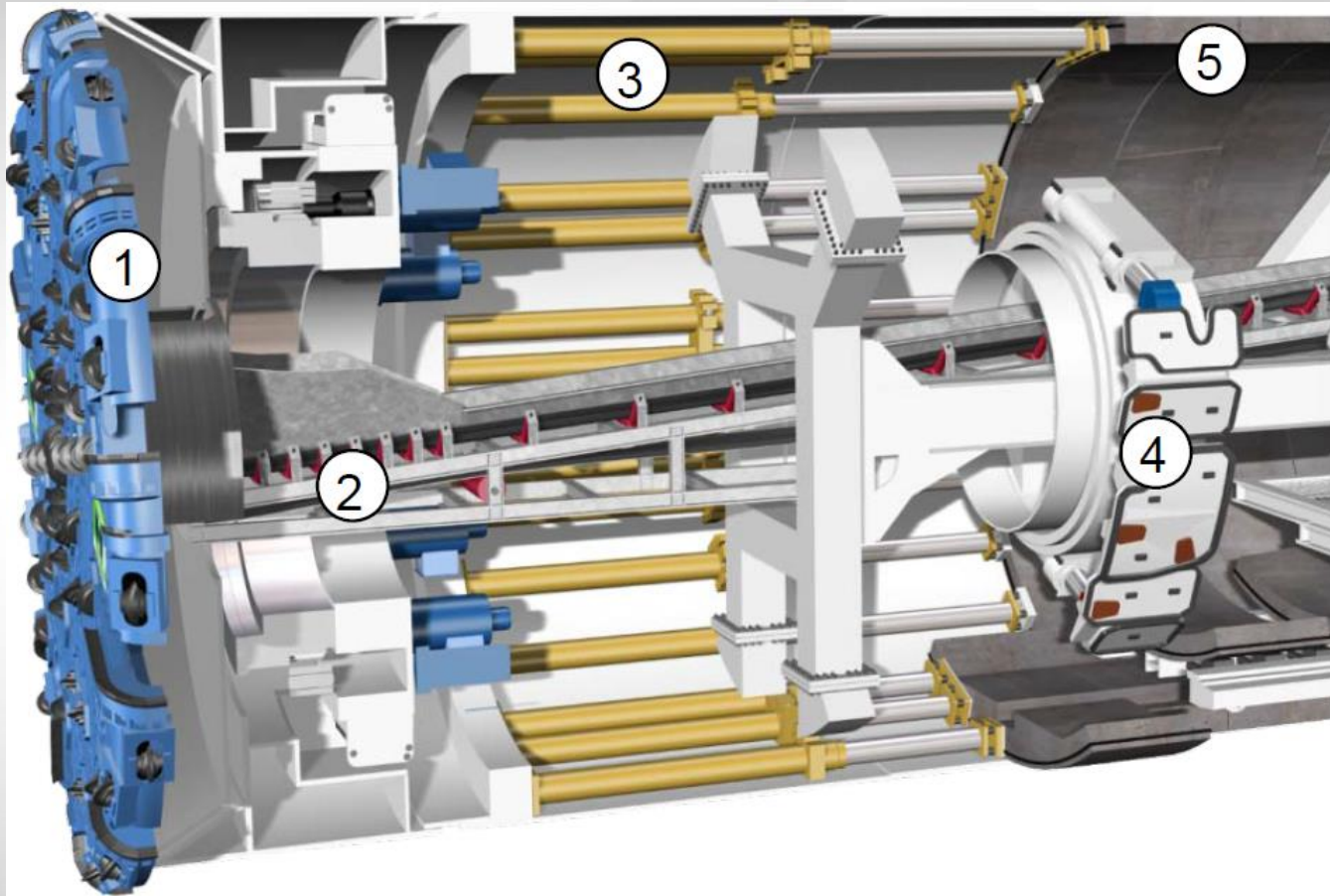
Fonte: Peev (2012)

Gripper Shield



Fonte: Peev (2012)

Single Shield TBM

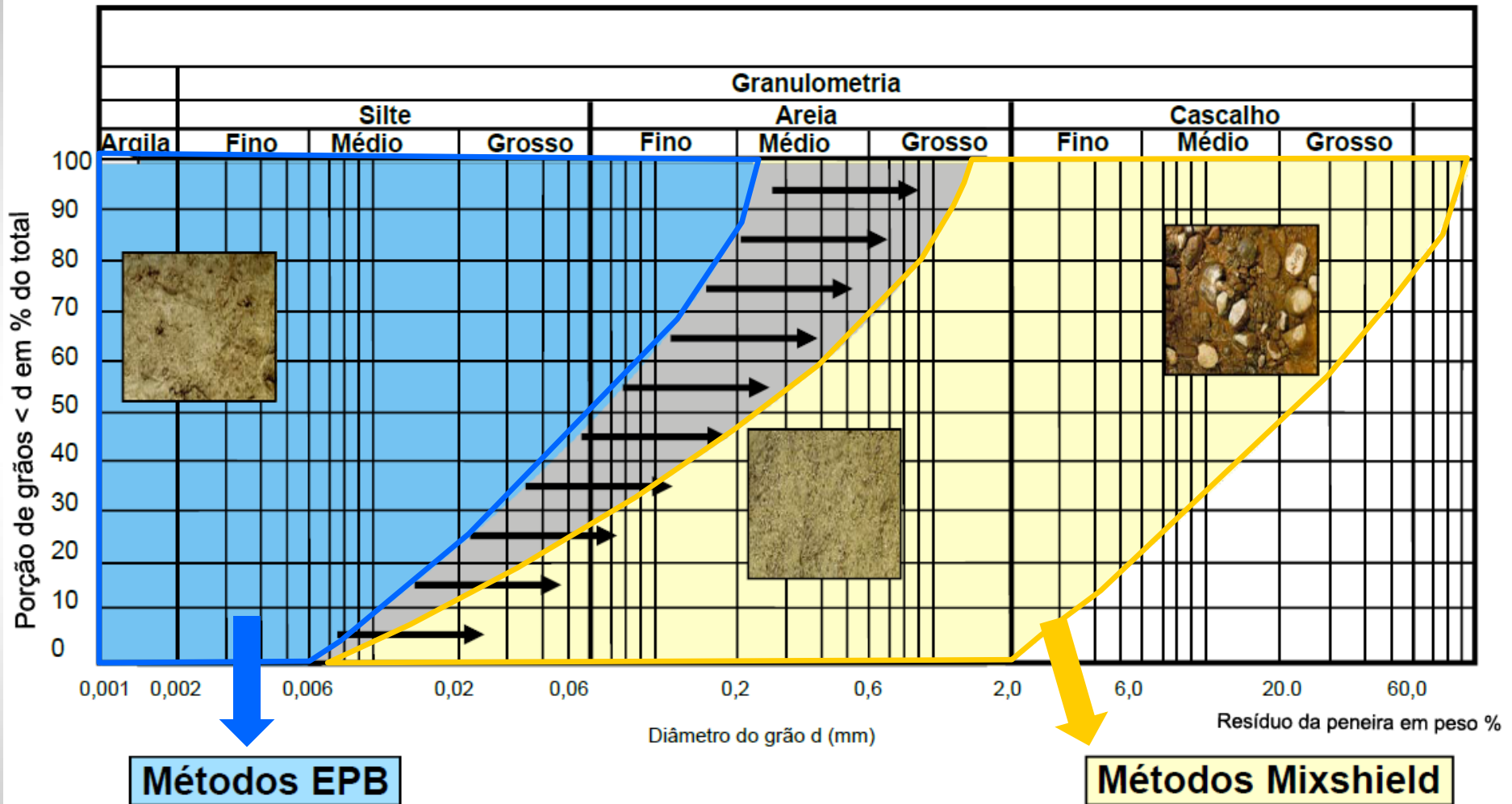


- 1 – Cabeça de corte;
- 2 – Correia transportadora;
- 3 – Cilindro de empuxo;
- 4 – Eretor de anéis;
- 5 – Revestimento do túnel;

Saída do TBM



Fator crítico em projetos TBM: seleção do equipamento!



Fonte: Peev (2012)

Critérios usuais para escolha do TBM

Critério	Slurry	EPB
Controle de recalques	Mais preciso	Menos preciso
Face mista solo/rocha	+ estabilidade - desgaste	+ instabilidade + desgaste
Alto conteúdo de finos	Planta de separação e <i>clogging</i>	Uso padrão
Solo grosseiro com água	Uso padrão	+ desgaste e + risco de instabilidade
Matacões	- desgaste Triturador possível	+ desgaste e bloqueio do sem fim

Critérios usuais para escolha do TBM

Critério	Slurry	EPB
Acesso à face da máquina	Mais fácil	Mais difícil
Controle da face no downtime	Controle uniforme e ininterrupto	Desagregação da espuma e solo
Solo contaminado	Sem exposição direta	Exposição direta ao material
Disposição de rejeito	+ custo; Tratamento antes	- custo; Disposição direta
Complexidade da instalação	Maior área; Circuito de lama	Normalmente menos complexo

Métodos construtivos de túneis

Drill & Blast



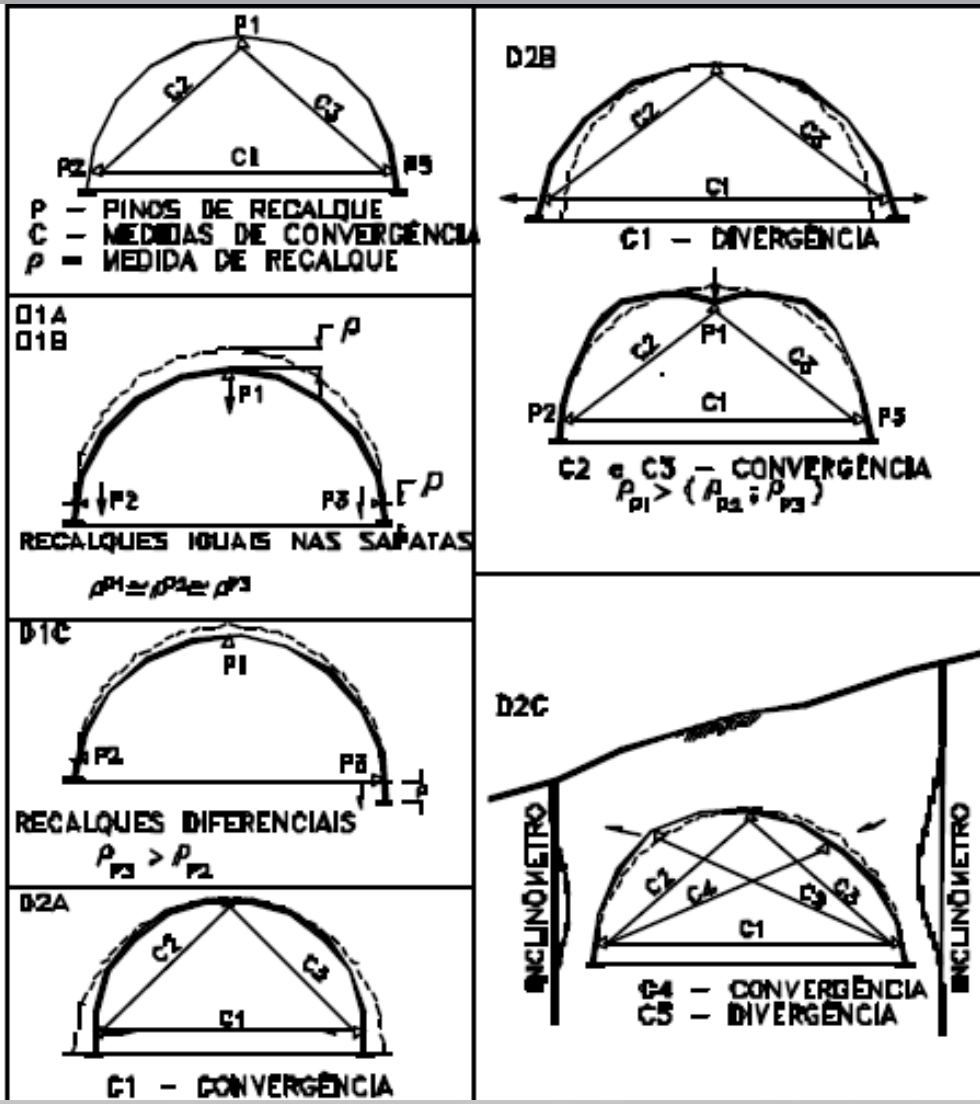
Cut and Cover é um método de baixo risco



Cut and Cover é um método de baixo risco ?



Monitoramento – medidas de convergência



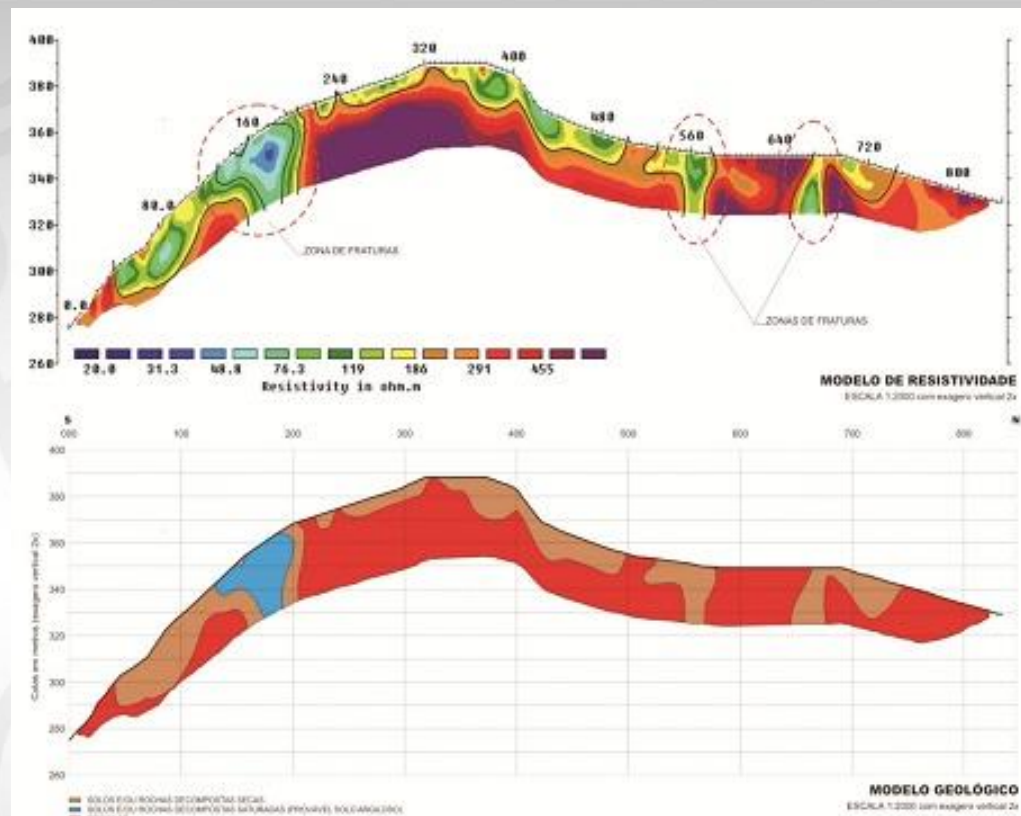
(Fonte: Maffei, 1998)

TBM – cabine de controle

Cabine de controle



Investigações geológico-geotécnicas



- Comprimento furos exploratórios > 1,5 x comprimento do túnel;
- Gastos com investigações → mínimo 3% custo da obra;
- Investigações em todas as fases do projeto e complementações durante a construção (“furo tático”);

Investigações geológico-geotécnicas

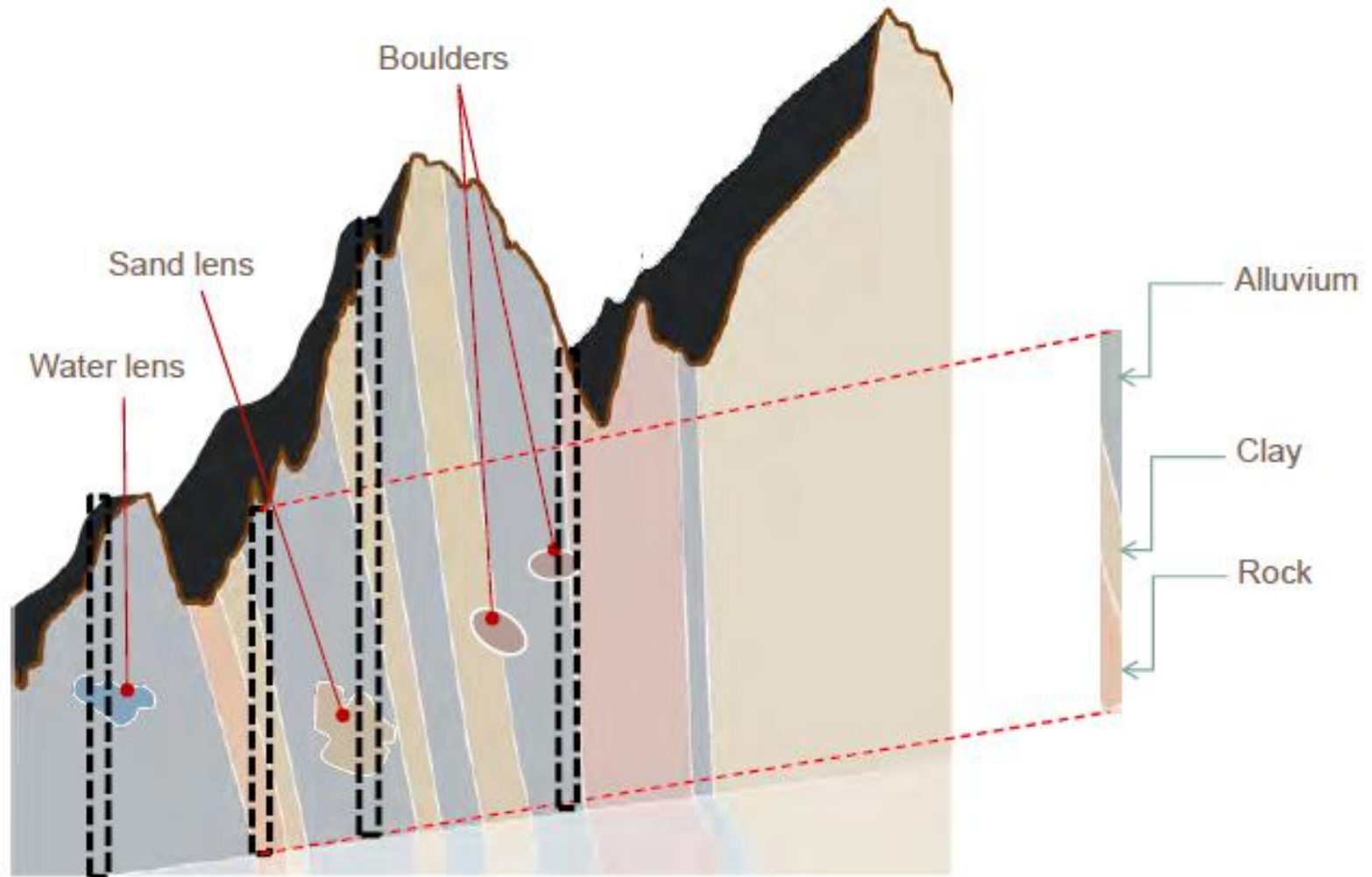
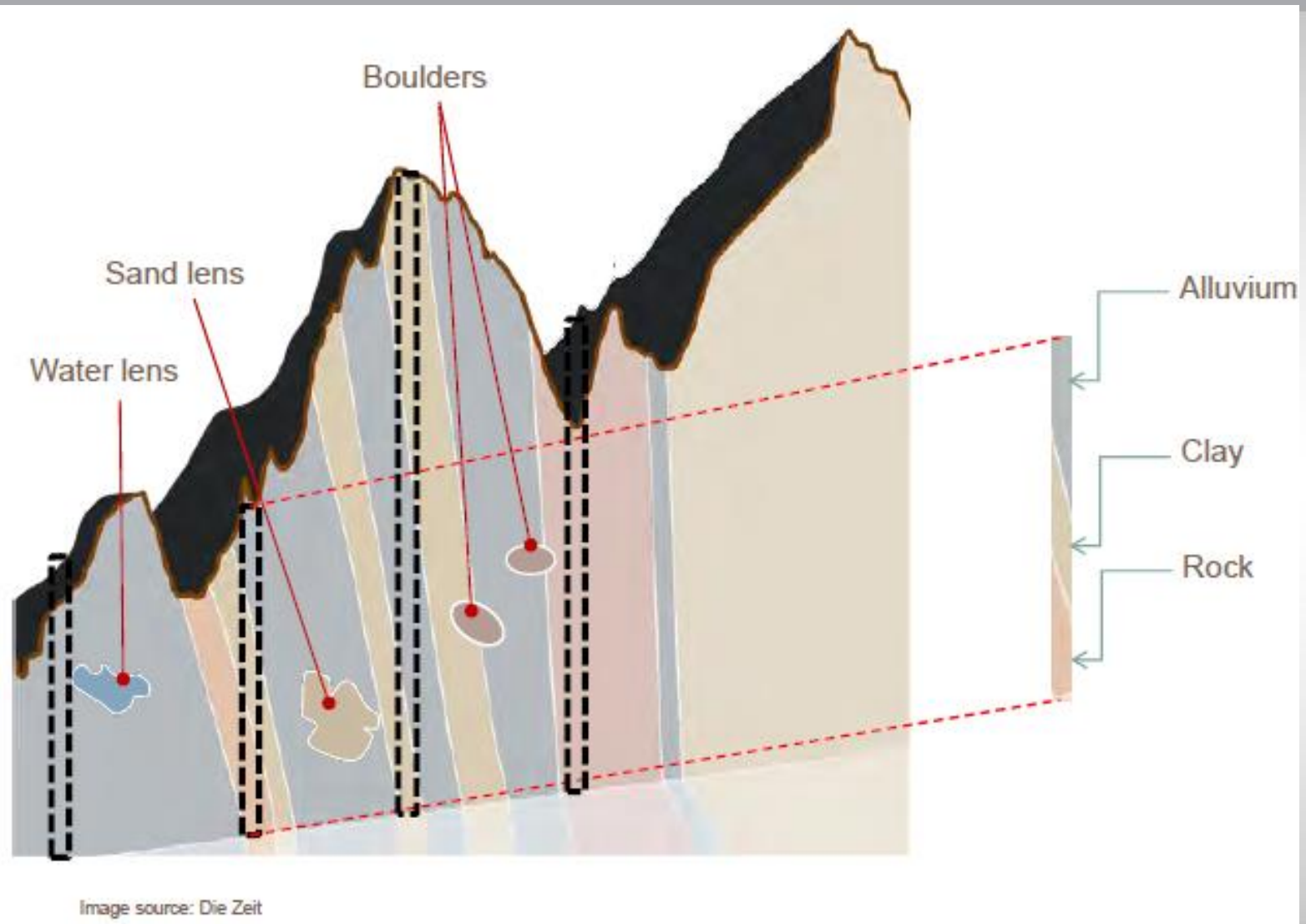


Image source: Die Zeit

Investigações geológico-geotécnicas + azar



Boa Prática – Registro de Riscos

- Elencar os cenários de perda;
- Discriminar as consequências e probabilidades associadas;
- Obter o risco do cenário em estudo;
- Propor medidas de mitigação e planos de ação com responsáveis pela execução;

Hazard	Cause of Hazard	Potential Consequence	Risk likelihood	Risk consequence						Risk Score
				Financial	Project Schedule	Corporate Reputation	Regulatory/ Legal	Health and Safety	Environment	
Encountering Ground Conditions more adverse than advertised in Contract	Rock Strength higher than anticipated	Submittal of claims	4	3	4					16

Boa Prática – Registro de Riscos

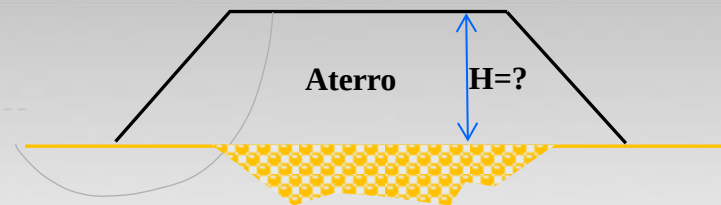
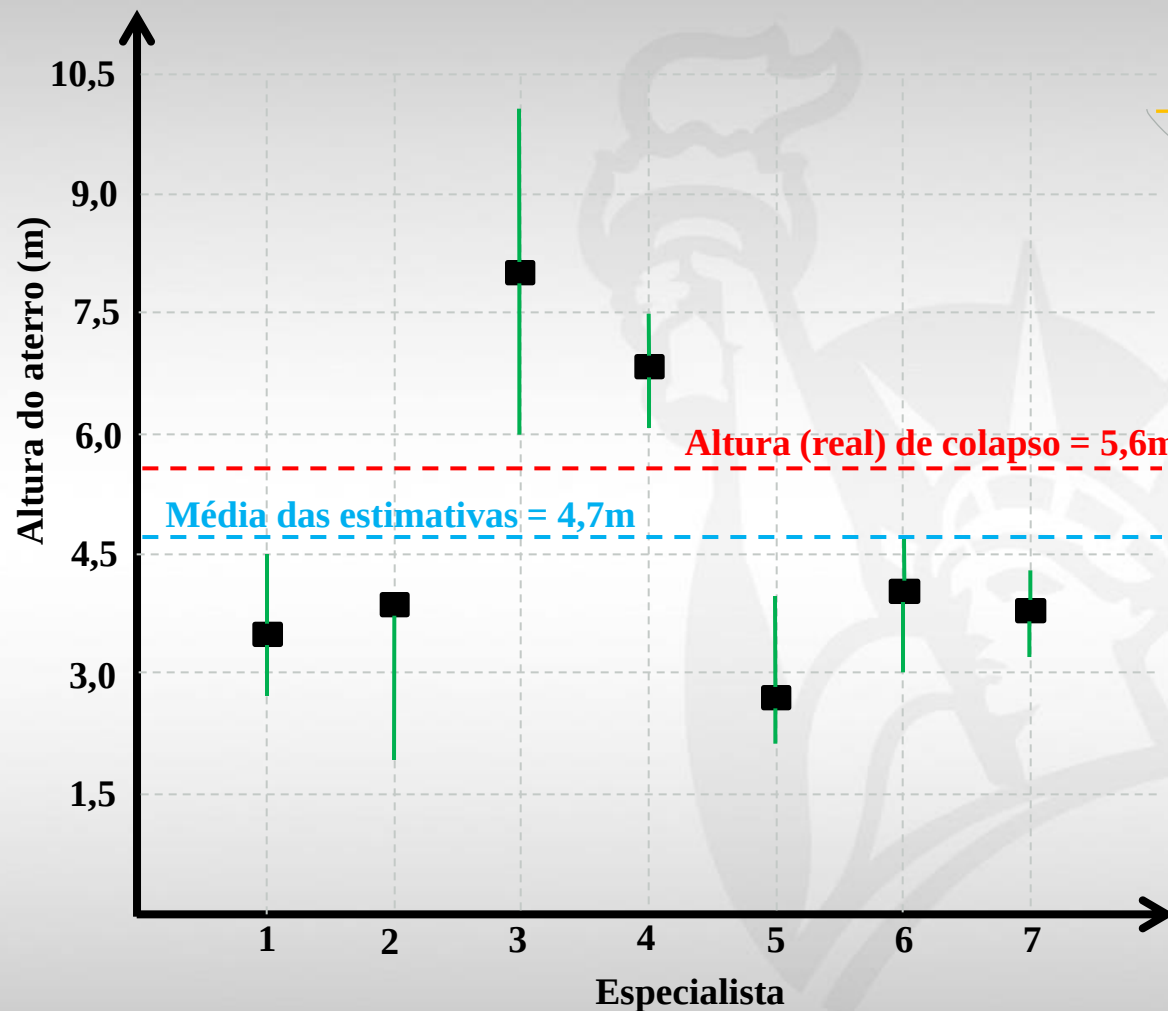
Risk Consequence Criterion	Consequence Rating				
	Low				High
	1	2	3	4	5
Cost Impact	0 – \$500k	\$500k – \$3M	\$3 – \$10M	\$10 – 50M	Greater than \$50 million
Project Schedule Impacts	Week	Weeks	Month	Months	Year
Regulatory / Legal	Isolated non-compliance	Systematic non-compliance with impacts to project schedule only	Systematic non-compliance with potential for fines	Legislative non-compliance with potential for fines, charges and damages	Non-compliance with potential for significant implications for senior personnel and potentially large damages
Health & Safety	Minor injury (non-reportable)	Minor injury	Major injury and/ or multiple minor injuries	Multiple major injuries and/ or single fatality	Multiple fatalities
Social Environment	Complaints from local public	Complaints from local officials/ politicians	Major local impact or minor national impact	Long-term local or national impact	National and international adverse coverage or impacts
Natural Environment	Short term local damage	Medium term local damage or short term regional damage	Medium term regional damage	Long term local or regional damage	Long term widespread damage to region

Boa Prática – Comitês de Riscos

COMITÊ
DE
RISCOS



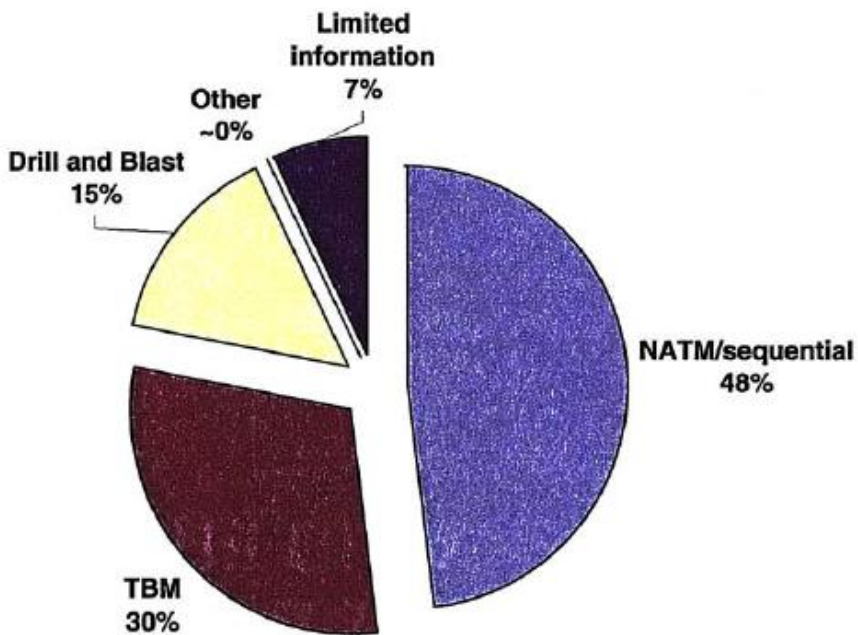
Como medir experiência/expertise?



Quão acurado UM especialista pode ser?

(Hynes & Vanmarke, 1976)

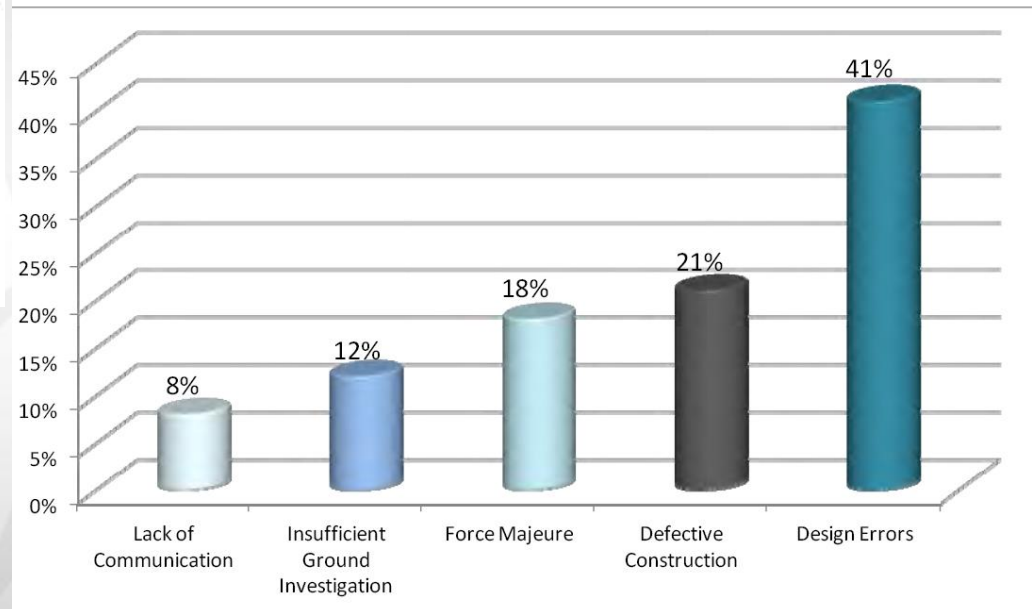
Métodos construtivos - acidentes



Acidentes x Método Construtivo

Fonte: Sousa (2010)

Distribuição das causas-raiz



Fonte: Munich Re (2006)

Construção de túneis – maiores perdas

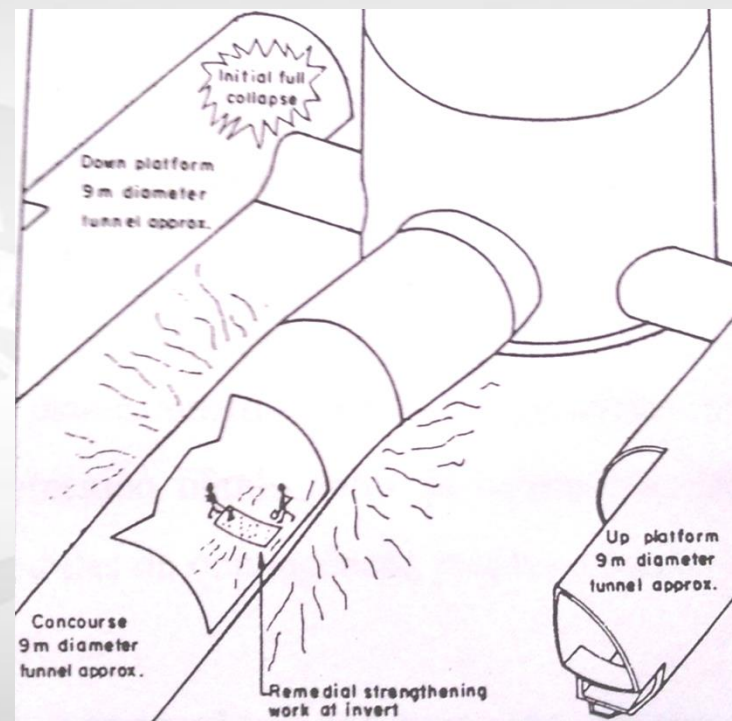
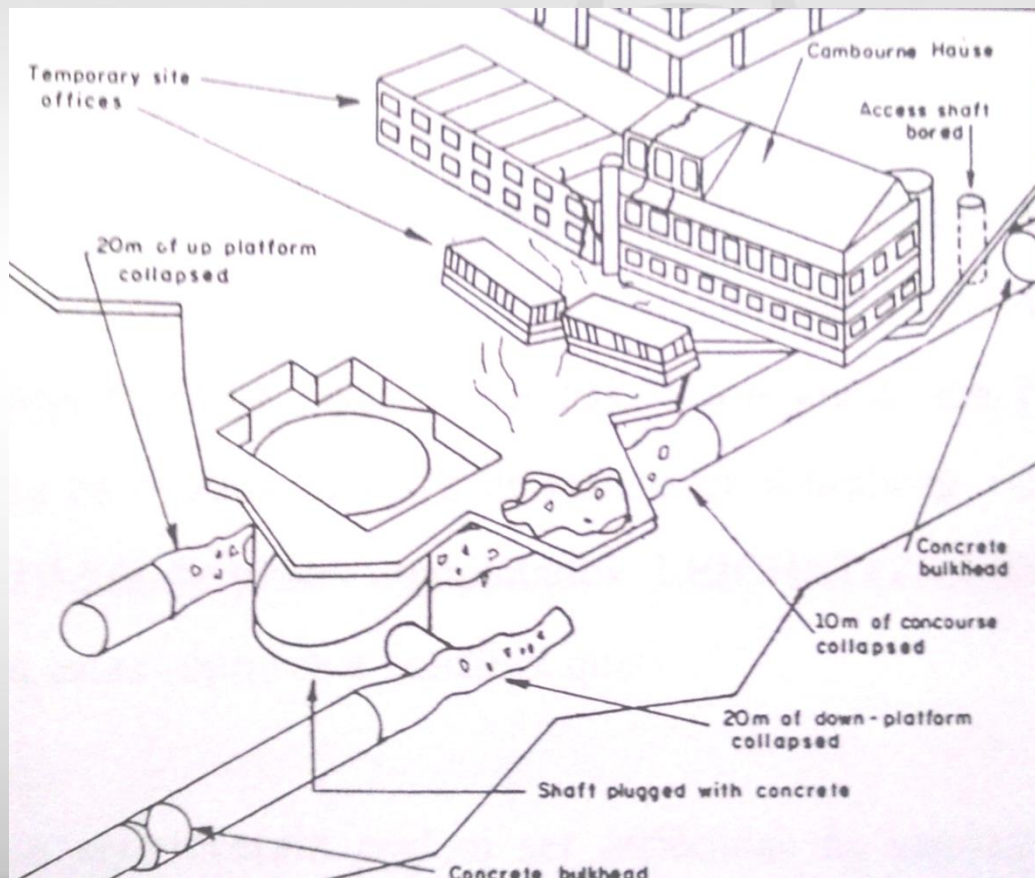
Year	Project	Method	Loss (\$m)	Delay (months)
1994	Great Belt Link, Denmark	TBM	33	?
1994	Munich Metro, Germany	NATM	4	10
1994	Heathrow Express Link, UK	NATM	141	14
1994	Taipei Metro, Taiwan	TBM	12	12
1995	Los Angeles Metro, USA	TBM	9	15
1995	Taipei Metro, Taiwan	TBM	12	18
1999	Hull Yorkshire, UK	TBM	55	26
1999	Anatolian Motorway (Bolu), Turkey		115	36
2000	Taegu Metro, Korea	Cut and Cover	13	9
2002	Taiwan High Speed Railway	NATM	11	0
2003	Shanghai Metro	Freezing	60	47*

Construção de túneis – perdas mais recentes

Year	Project	Cause	Loss		Delay
2009	Metro Cologne	Collapse	EUR	365 mio	
2009	Thirre Tunnel	Collapse	EUR	6,4 mio	
2010	Cairo Metro	Collapse	EUR	20 mio	
2010	Blanka Tunnel Prague	Collapse			
2010	Ettendorfer Tunnel	Collapse	EUR	1 mio +	
2010	Leak Mead Tunnel	Flood			
2010	Gilbe II HRT	Collapse			

Colapso de túneis em Heathrow - 1994

- Ruptura ocorreu no túnel entre Paddington e Heathrow, com trecho de aprox. 8km;
- Uma das maiores perdas da história (US\$ 141 milhões);



Colapso de túneis em Heathrow - 1994



Causas das rupturas:

- Aspectos financeiros, administrativos, organizacionais >> aspectos técnicos;
- Falhas de supervisão e monitoramento (previsível 15 dias antes);
- Forma de contratação inadequada (*turnkey*), com excessiva pressão sobre o empreiteiro;

Colapsos no Metrô do Porto 2000-2001

AS TUNELADORAS:

- 2 máquinas EPB ϕ 8,9m;
- Modo de operação aberto/fechado;
- Tratamento: espuma + polímeros;
- Escolha da máquina justificada

O SUBSOLO:

- granito com diversos graus de alteração;
- erosão do Vale do Ouro $\rightarrow$ alívio de tensões $\rightarrow$ rochas alteradas!
- alterações não tinham padrão espacial definido;



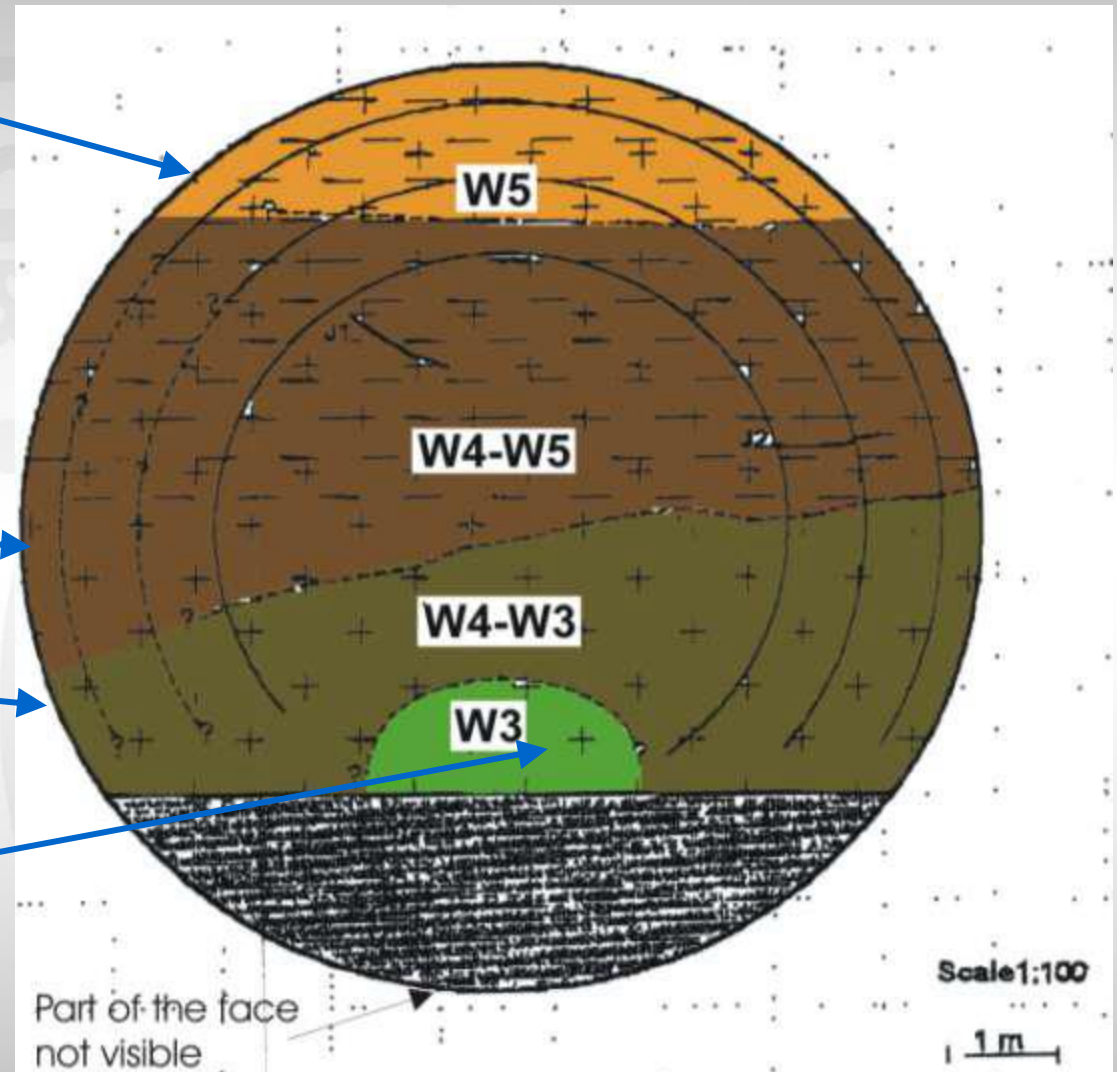
Maapeamento da frente (real) do projeto

Rocha completamente alterada

Rocha muito a completamente alterada

Rocha mediana/e a muito alterada

Rocha moderadamente alterada



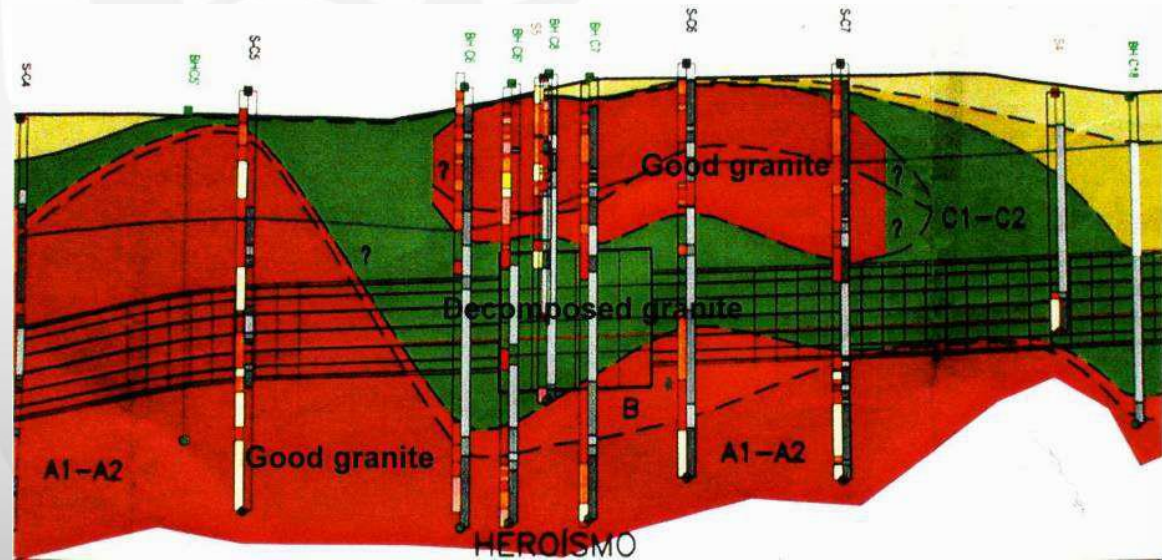
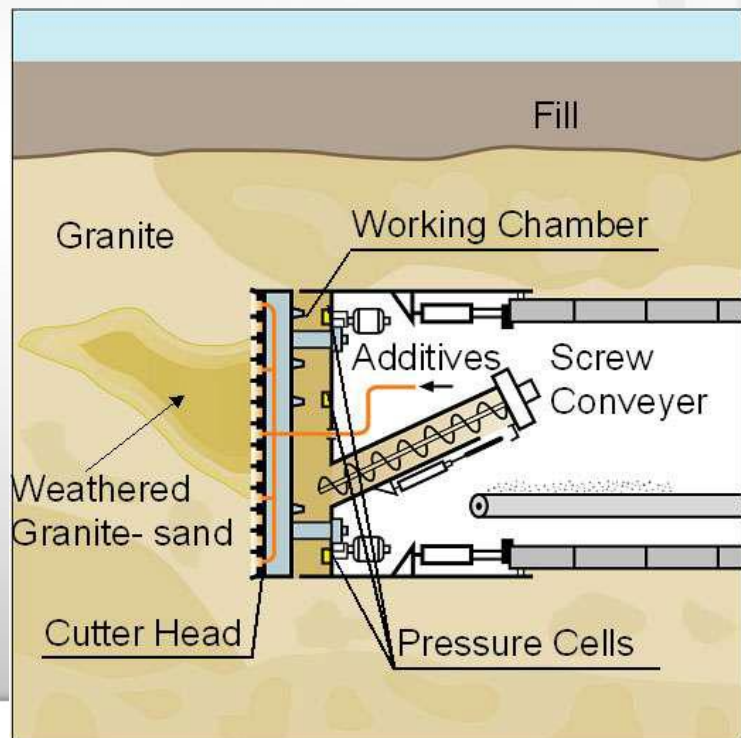
Riscos do Projeto do Metro do Porto

- RISCOS CLÁSSICOS DO PROCESSO EPB-TBM :

- Instrumentação de controle pouco sensível;
- Sobrecarga do operador do TBM;

- RISCOS GEOLÓGICOS:

- Granito alterado, com todos os graus de alteração presentes;
- Grandes variações da coesão e permeabilidade;



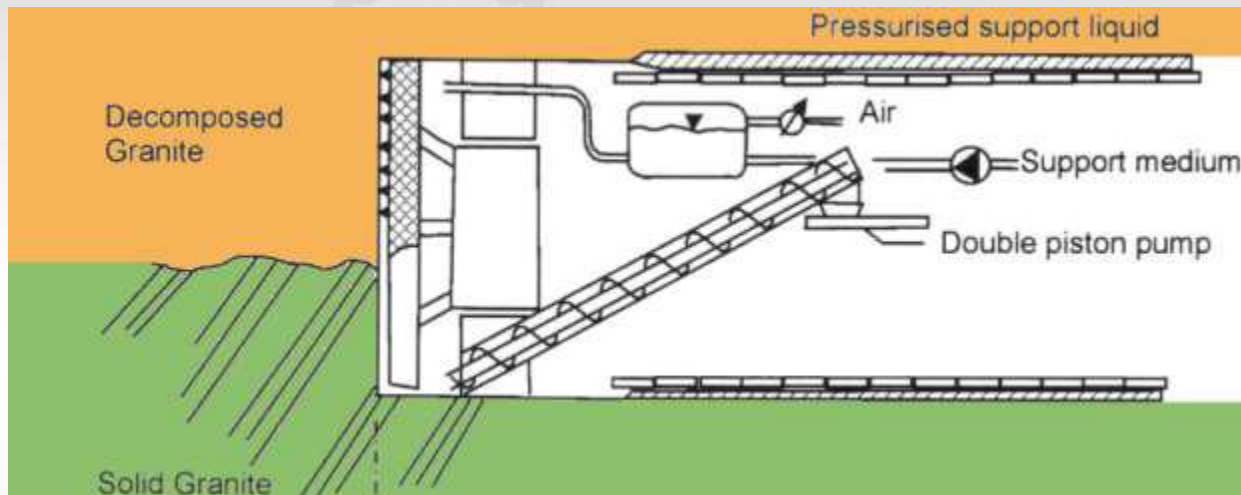
O acidente: 12/01/2001

- Cratera de 400m³;
- Idosa soterrada;
- Longa paralisação dos trabalhos;



Causas do acidente

- Granito são ou ligeira/e alterado → modo aberto;
- Todas as demais situações → modo fechado;



- Máquina operou em “open face” em regiões de face mista (granito + solos residuais), gerando sobre-escavações;
- Dificuldades em manter um bom controle de pressão na face nessas condições;

Lições aprendidas



Evert Hoek



**Siegmund
Barbendererde**



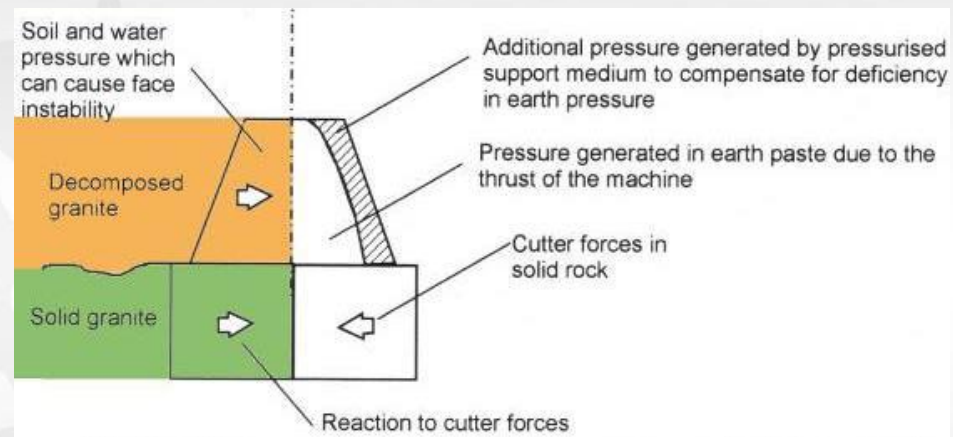
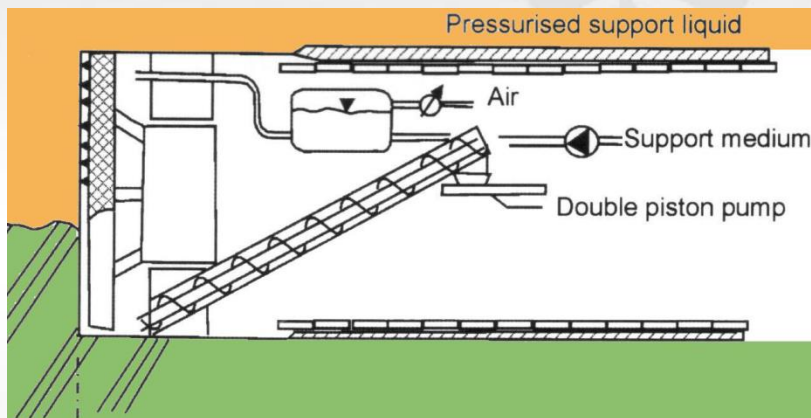
Paul Marinos



António Cardoso

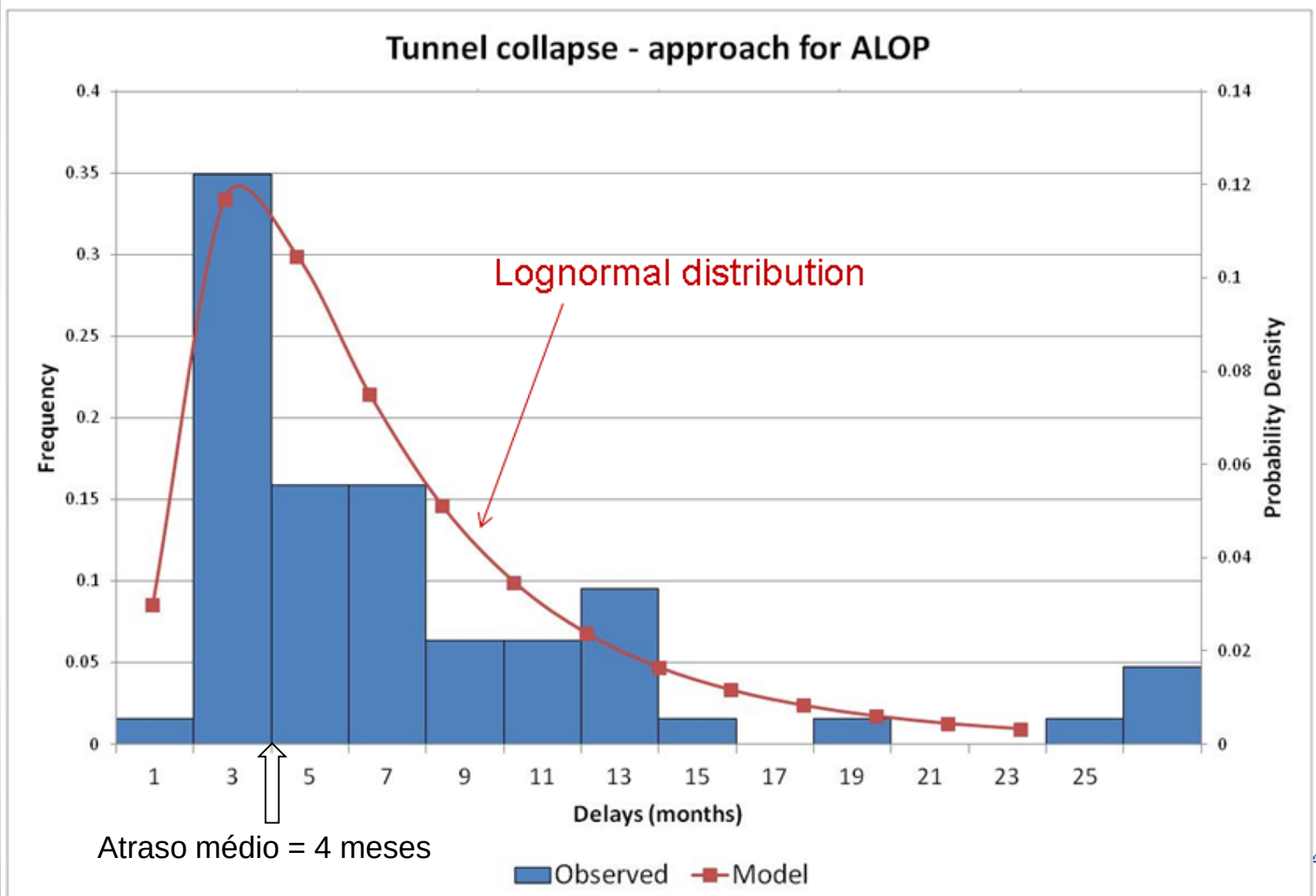
Lições aprendidas

- Operação: somente em MODO FECHADO;
- Melhorias na máquina:
 - SFSS: Sistema Ativo Secundário de Suporte da Frente;
 - Instalação de um pistão duplo de emergência no sem-fim;



- Proposição de um PAT: Plano de Avanço da Tuneladora;
 - gestão integrada das informações do projeto;
 - definição de um conjunto de parâmetros operacionais da tuneladora;
 - parâmetros entregues à tripulação → “folhas de escavação”;

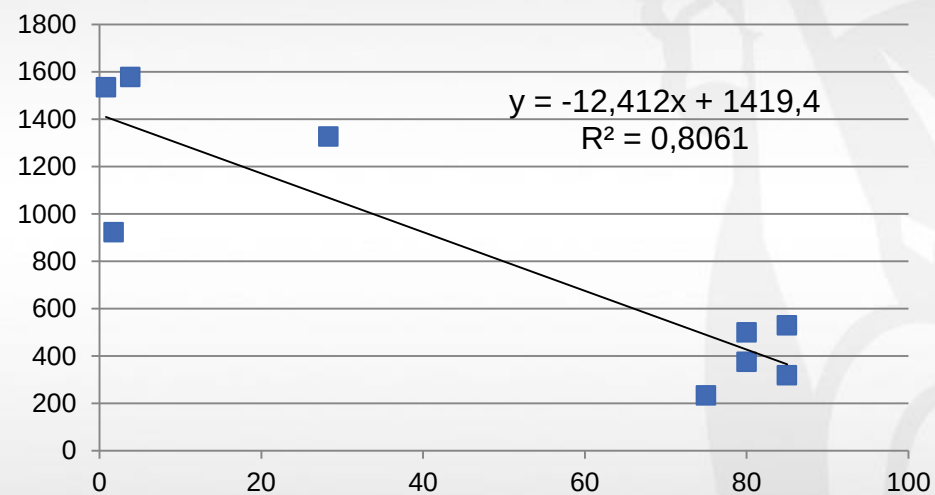
Túneis – Distribuição dos *delays*



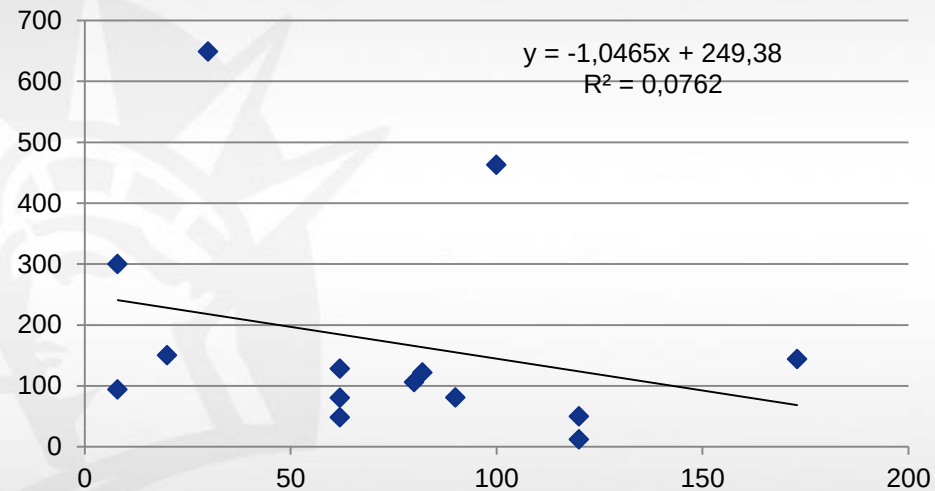
Construção de túneis - custos

- Custo túneis brasileiros > custo túneis estrangeiros;
- Influência de aspectos contratuais e geológicos;

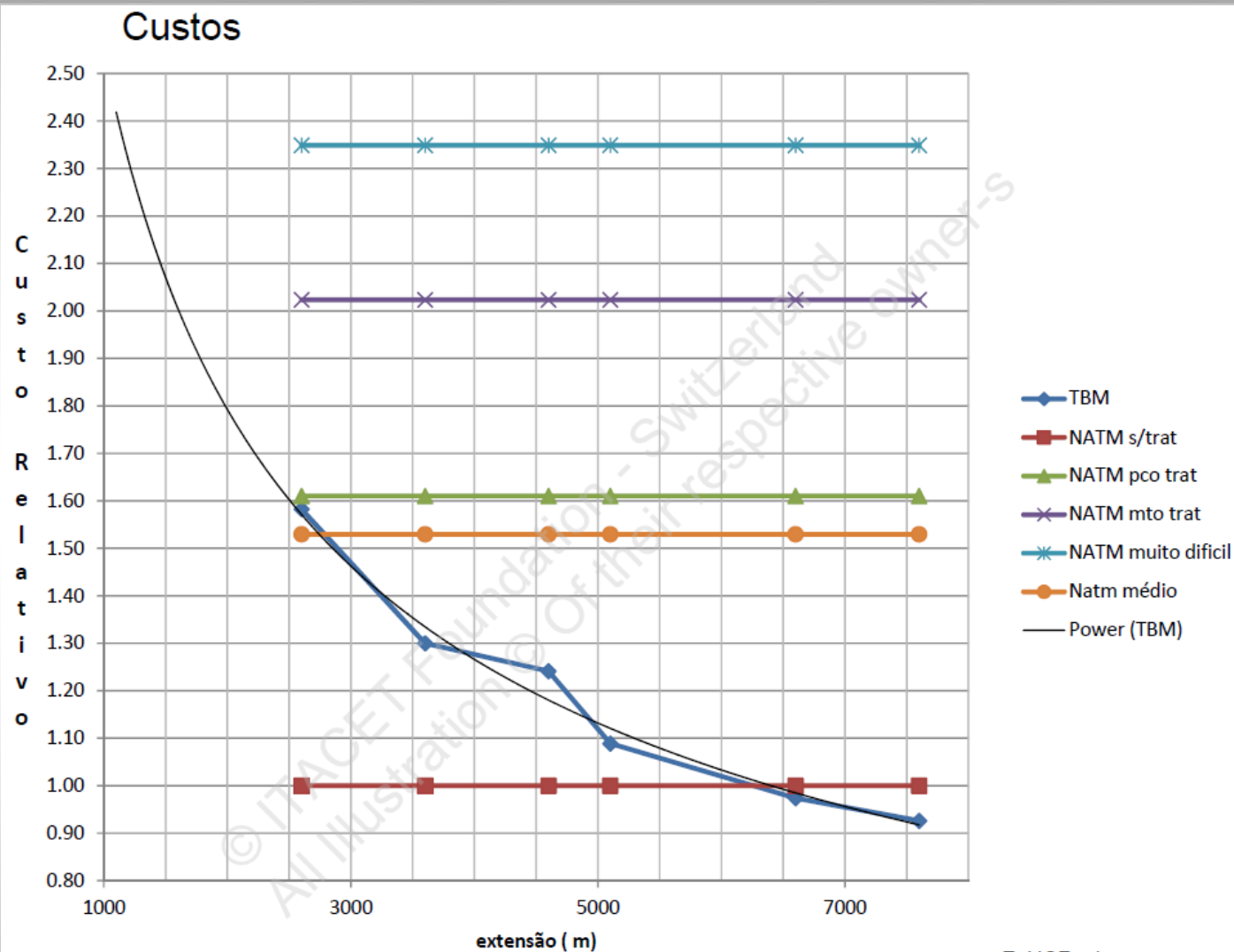
Custos - Túneis Brasileiros



Custos - Túneis Estrangeiros



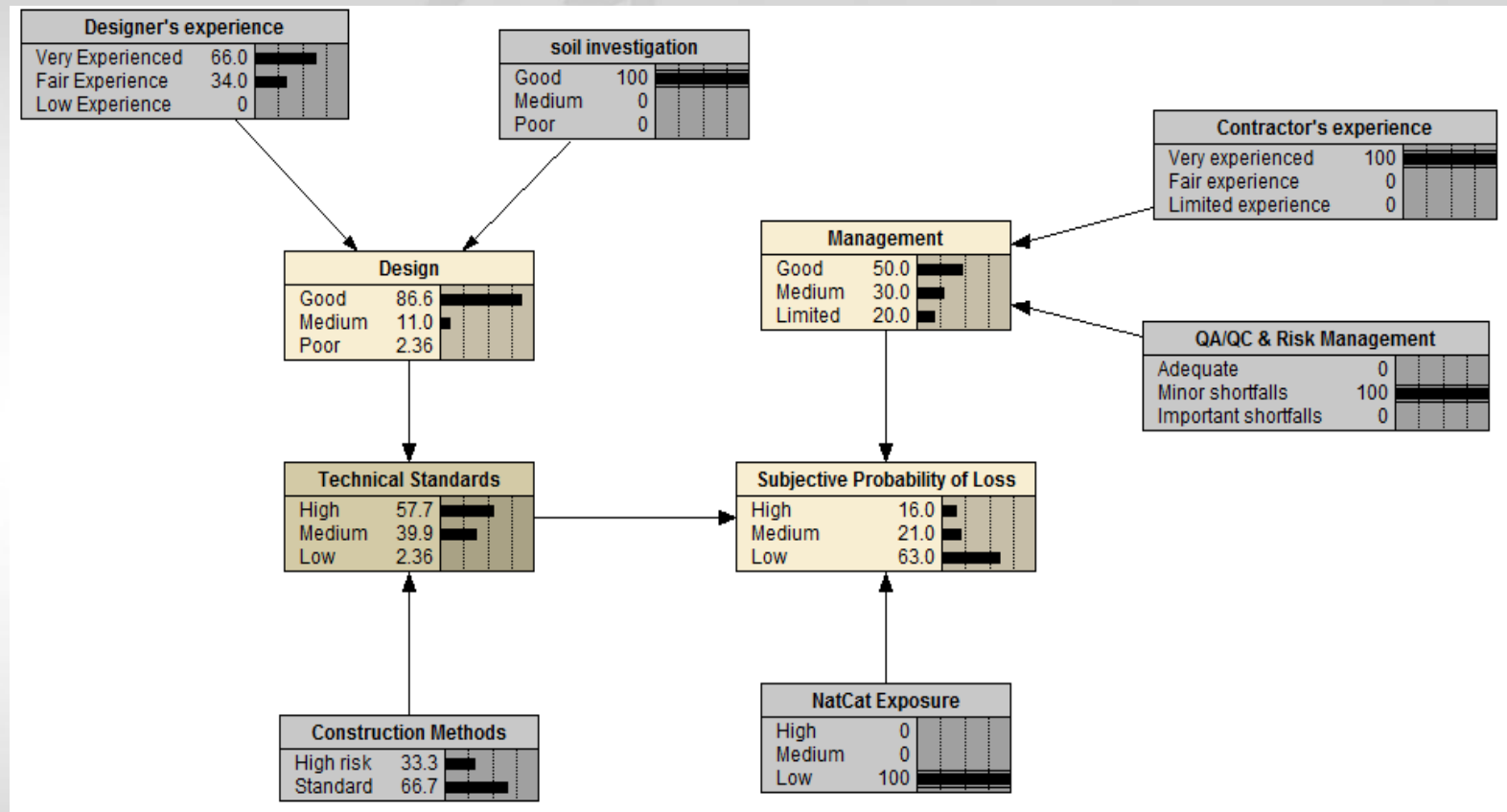
Construção de túneis - custos



F: HCRocha

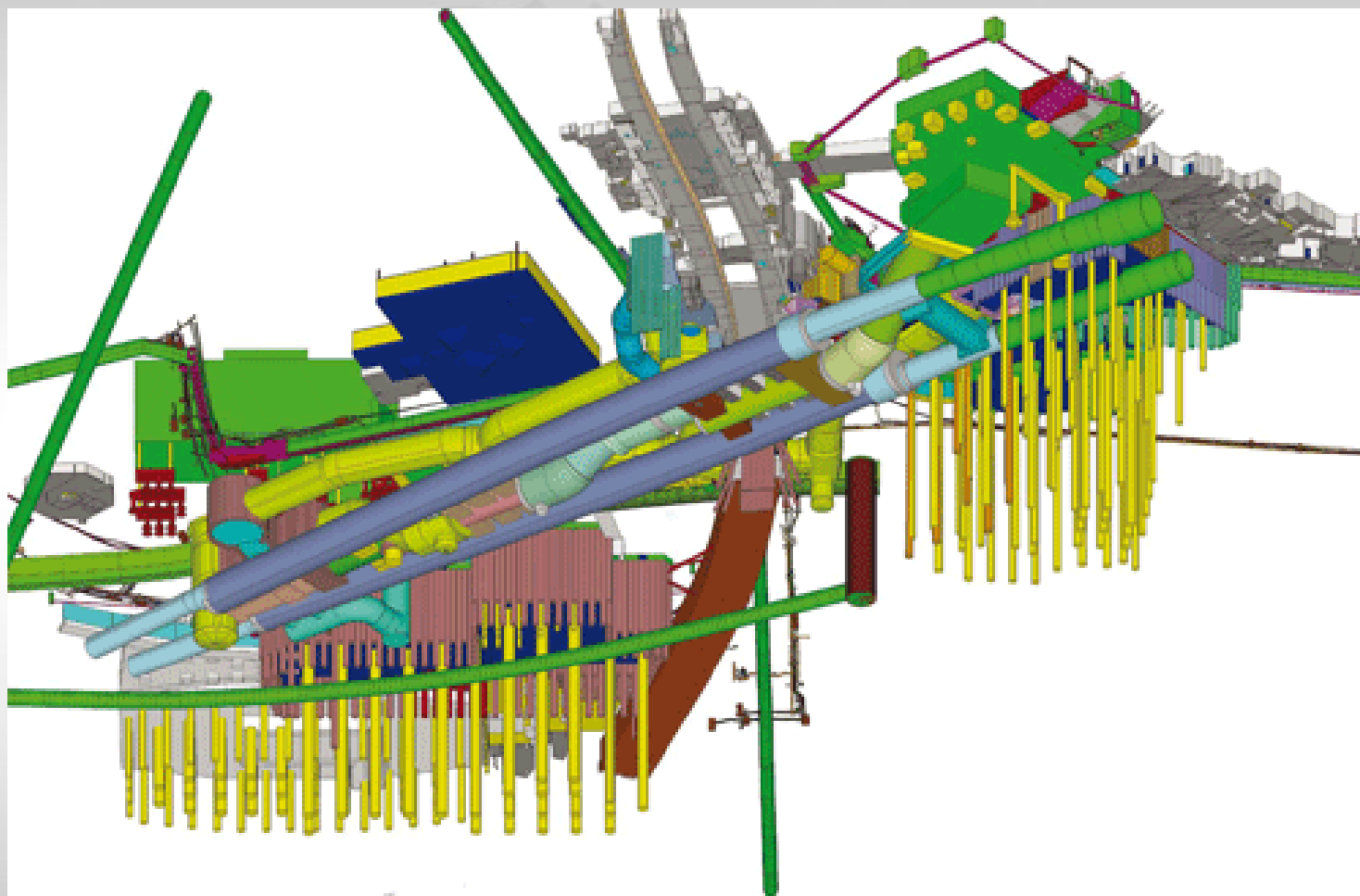
Tendências – Análise Quantitativa de Riscos

- Redes Bayesianas e árvores de falha;



(Fonte: LIU Risk Engineering)

Tendências – BIM



Conclusões

- Risk Management é fundamental para tornar “seguráveis” os túneis e outras obras com grande influência da geologia/geotecnia;
- Implantação do Risk Management gera um custo imediato reduzido e uma considerável redução do custo esperado;
- Risk Management salvaguarda os interesses comuns do segurado e da seguradora → tornam os riscos ALARP;
- Atenção para: investigações geológicas, instrumentação e ATO;
- Atenção à organização do projeto, linhas de reporte e alocação apropriada dos riscos por vias contratuais;
- Estimular a elaboração baselines geológico-geotécnicos (GBR) e registro de riscos;

