

Acidentes em Geotecnia: Previsão e Prevenção

Paulo Ivo Braga de Queiroz¹

¹Instituto Tecnológico de Aeronáutica

6º Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos
Gerais

Tópicos Abordados

- 1 **Casos Históricos**
- 2 **Previsibilidade de Acidentes**
- 3 **Projeto Geotécnico “Determinístico”**
- 4 **Projeto Probabilístico**
- 5 **Fechamento**

Acidentes em Túneis

- Estação Pinheiros do Metrô de São Paulo
- Túnel Tribunal de Justiça - São Paulo
- Túnel do Aeroporto de Heathrow

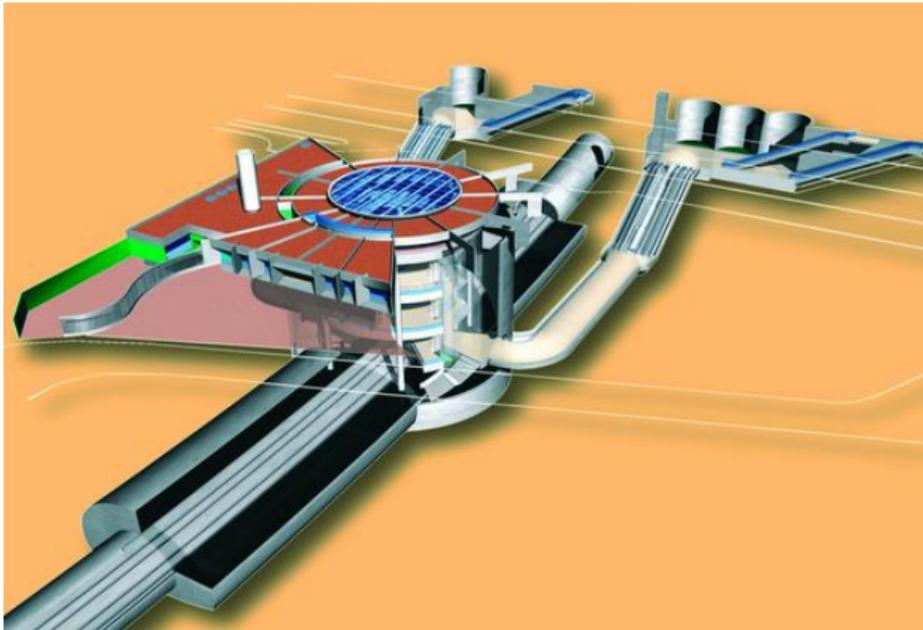
Causas de Acidentes em Túneis

- Atraso de Fechamento do Arco Invertido
- Projetos "Arrojados" × Construção não Conforme

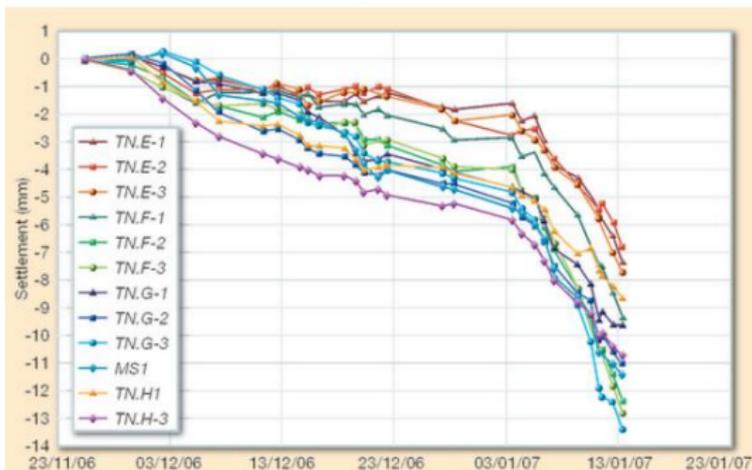
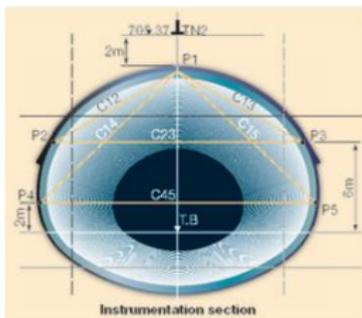
Acidente da Estação Pinheiros – Poço Capri

- 12 de janeiro de 2007
- 7 mortos (seis transeuntes e um operário)
- 15 minutos entre os indícios iniciais e a ruptura

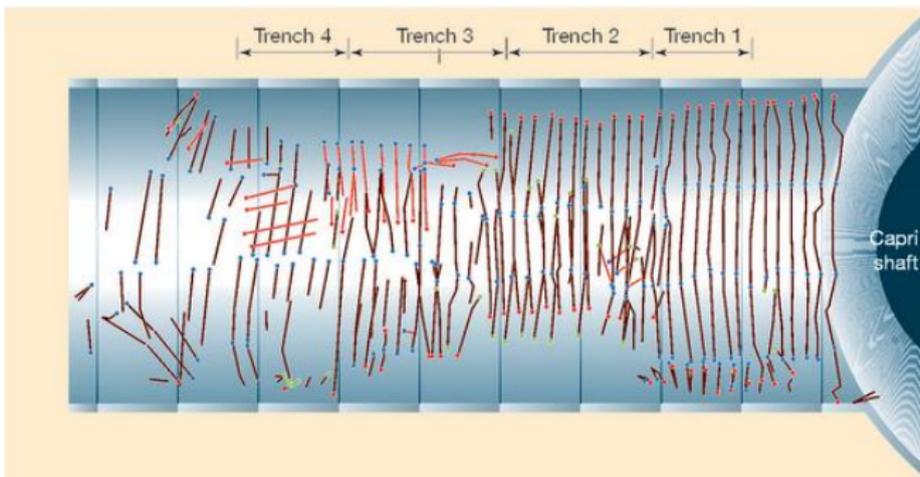
Concepção da estação



Instrumentação – Convergência do Túnel



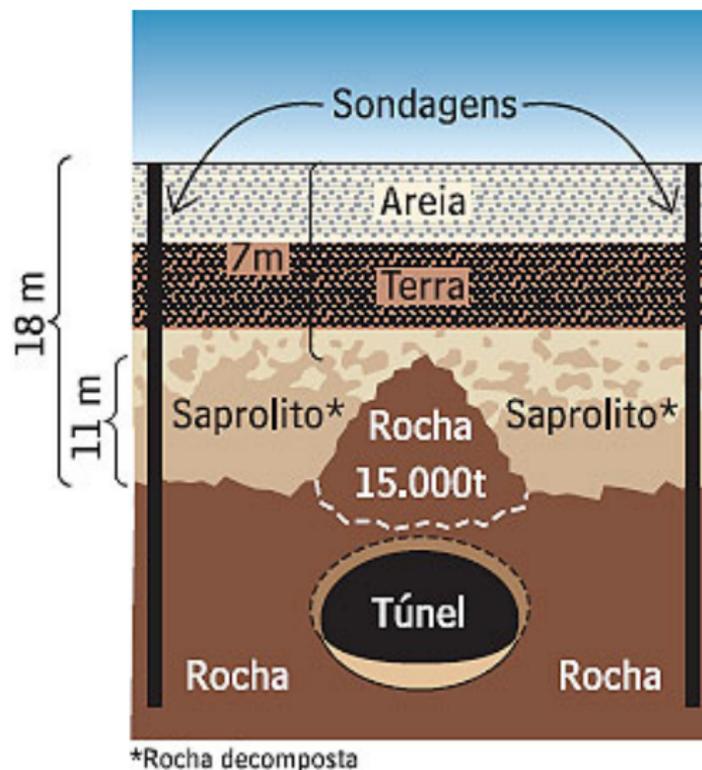
Trincas mapeadas no interior do túnel



Fotos aéreas do Poço Capri

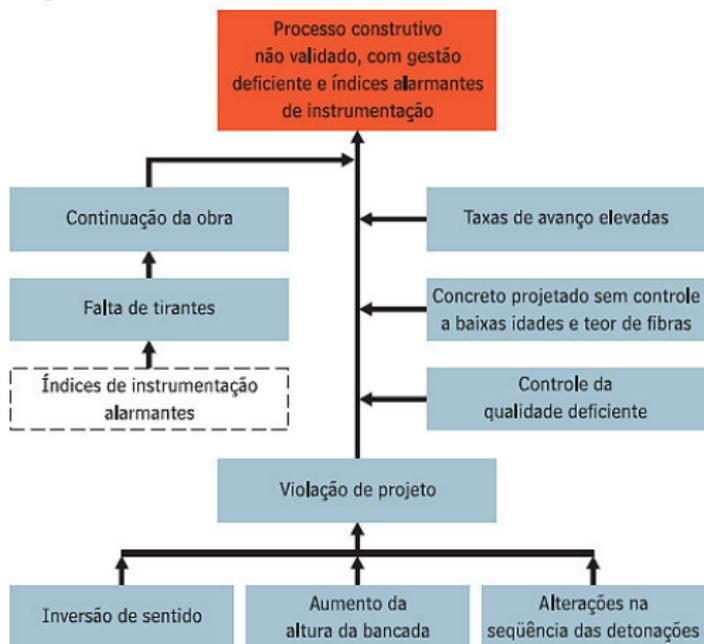


O acidente, segundo o consórcio construtor...



... e o acidente segundo as investigações

Esquema simplificado da linha causal do colapso estrutural do túnel-estação sentido Faria Lima, com origem no Processo Construtivo



Acidentes Geotécnicos

- Evitáveis: Porquê ocorrem?
- Inevitáveis:
 - Previsíveis: Porquê não foram mitigados?
 - Imprevisíveis: Porquê permitiu-se um projeto arriscado?

Eventos "Previsíveis" em análises "post mortem"

- 11 de setembro
- Pearl Harbour
- Terremotos
- Tsunamis

Variáveis Condicionantes de Obras Geotécnicas

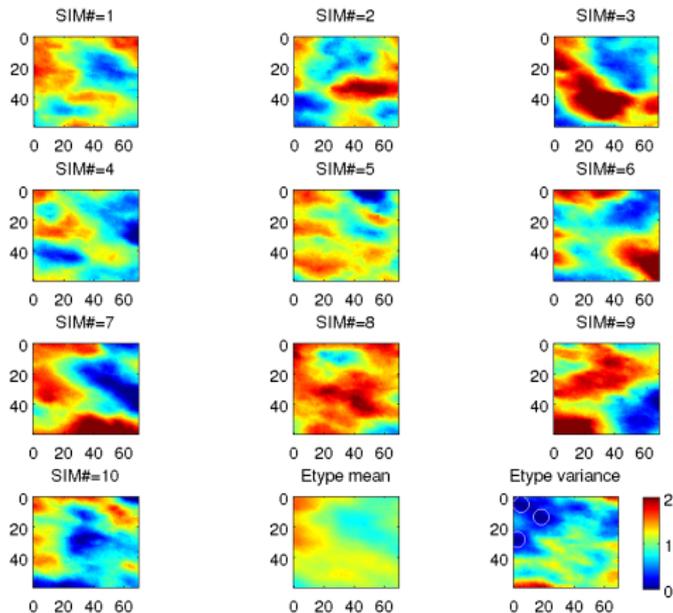
- Escorregamentos de Encostas
 - Geometria da Encosta – Previamente Estabelecida
 - Histórico de Chuvas – Estocástico
 - Propriedades dos solos – “Previamente” Estabelecidas
- Acidentes em Túneis
 - Geometria do Túnel – Previamente Estabelecida
 - Propriedades dos Materiais – “Previamente” Estabelecidas
 - Métodos Construtivos – Previamente Estabelecidos

Pode-se então prever acidentes em túneis?

Propriedades dos Materiais Geotécnicos

- Normalmente, estabelecidas há mais de 10000 anos
- A rigor, mensuráveis ponto a ponto
- Existem vários ensaios de campo e laboratório estabelecidos e normatizados
- Número de amostras necessário para caracterizar uma obra geotécnica é "finito"...

... mas qual é realmente este número?



Propriedades dos Materiais de Construção – Concreto

- Relação água-cimento
- Umidade da areia

Concreto curado: sobram água e cal não hidratada
→ muita dispersão no f_{ck} !!

Precedentes ao Projeto

- Concepção da obra
- Investigações de campo
- Premissas
 - Perfil de Projeto
 - Propriedades dos solos
 - Propriedades dos materiais de construção
 - Cargas de projeto e normas
 - Fatores de segurança e fatores de redução

Cálculos de Projeto

- Esforços solicitantes
 - Soluções analíticas
 - Métodos numéricos
 - Métodos semi-empíricos
- Dimensionamento em concreto armado
 - Flexão pura
 - Flexão normal composta
 - Flexão oblíqua
- Verificações adicionais
 - Abertura de fissuras
 - Estabilidade (flambagem) não linear
 - Verificação da armadura "bitolada"
 - Eventual verificação de rótulas plásticas

Desdobramentos do Projeto

- Materiais e disposição geométrica
- Método Construtivo
- Previsão de desempenho da obra
 - Deslocamentos
 - Tensões
- Monitoramento da obra
 - Instrumentação com aparelhos adequados em posição para leituras específicas
 - Estabelecimento de níveis de alerta

Conceito de Risco: Probabilidade de acidente \times Custos envolvidos

- Percepção de risco
- Cisne negro \times Acidente rotineiro
- Previsão de contingências

Riscos nas investigações geotécnicas

- Representatividade das amostras
- Indicadores e propriedades
- Licitação e inadequação de requisitos
 - "Boa vontade" e interpretação de requisitos
 - "Má vontade" e risco de impugnação
 - Nova licitação e atrasos
 - Projeto com aceitação dos riscos de uma investigação inadequada

Riscos no projeto

- Cargas simultâneas e falhas → Fukushima
- Segurança × custo da obra → chuva decamilenar
- Segurança × custo do projeto → ELLAM: U\$ 10⁶ em computação
- Preço do projeto × custos de reparação
- Riscos × seguro para projetos

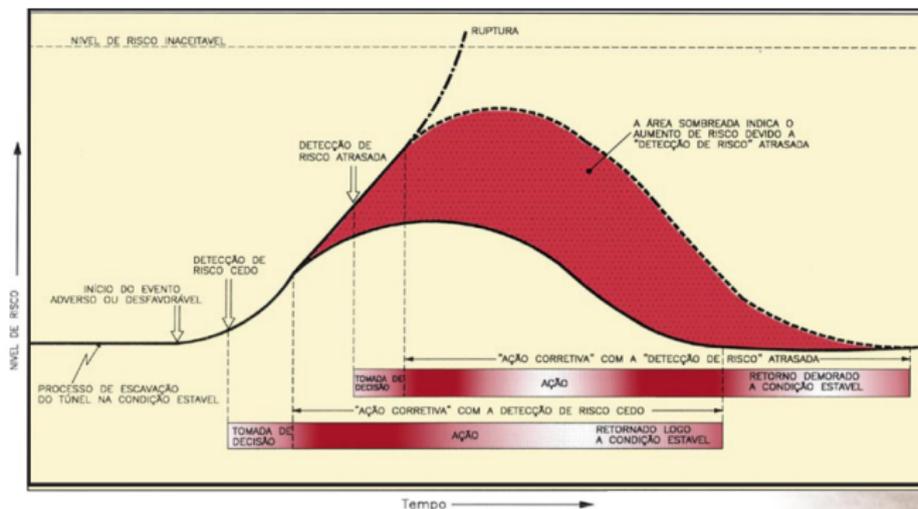
Riscos na execução

- Necessidade de acompanhamento → especialidades envolvidas e custo
- Projeto "inexequível" ou previsão inadequada de custos
 - Subestimação de riscos em "virada de mesa" → decisão antecipada de construção arriscada
 - Subestimação de custos em licitação → decisão posterior de construção arriscada
- Substituição e adaptação → disponibilidade de máquinas e pessoal, dentro e fora de emergências
- Riscos × seguro para construção

Riscos no acompanhamento

- Papel do acompanhamento técnico: fiscal × instrutor
- Adoção de níveis de alerta: subestimação de riscos × desgastes com medidas emergenciais desnecessárias
- Procedimentos de emergência: consciência do tempo para atuação na prevenção
- Autoridade durante a emergência: conhecimento dos riscos
- Tempo de atuação
- Riscos × seguro para o acompanhamento

Detecção de risco e ação corretiva



Acidentes em geotecnia: causas e divisão de responsabilidades

- Público
- Proprietário
- Gestor
- Projetista
- Construtor
- Fiscais
- Usuário ou transeunte

Conclusões

- Conceito atual de obras:
 - Os projetos são baseados em modelos determinísticos – a natureza das obras geotécnicas não é essa
 - As autoridades e os responsáveis estão distantes um do outro – tempo para tomada de decisão
 - Quem lucra com o risco não é penalizado proporcionalmente com os acidentes – o risco “compensa”
- As pessoas se “esquecem” mais rápido dos acidentes do que dos “alarmes falsos” – divulgação pública sobre riscos

Recomendações

- Conceito de risco no projeto, na execução e no gerenciamento – lucro e responsabilidade proporcionais aos riscos
- Em caso de acidente, o conceito de risco na reparação e na penalização dos culpados
 - Condenação baseada em risco e dolo eventual – trama fechada, como na legislação ambiental
 - Pena exemplar – desestímulo aos riscos altos
 - Proteção ao cidadão comum – CONFEA e licitações