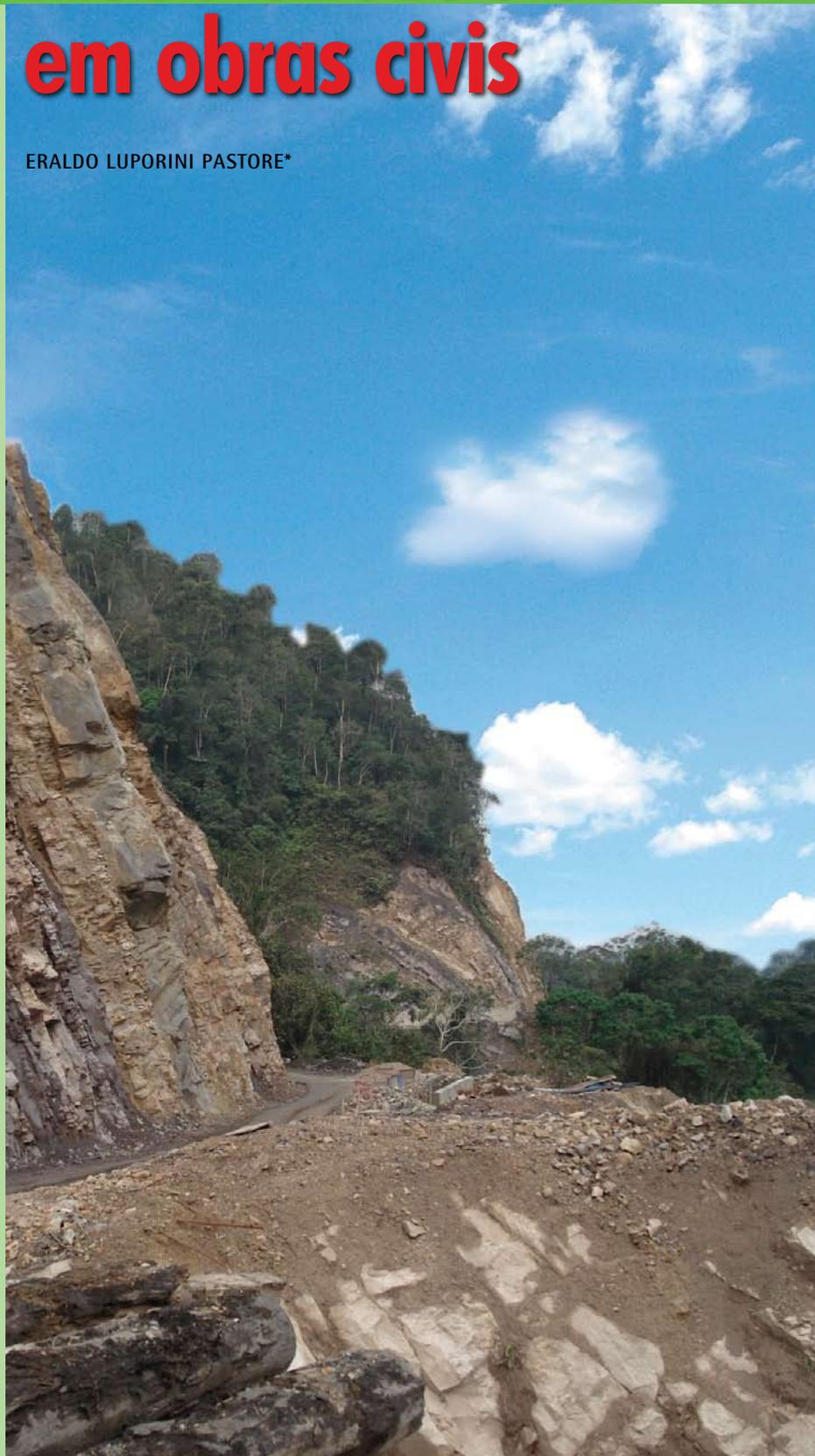


# RISCO GEOLÓGICO

## em obras civis

ERALDO LUPORINI PASTORE\*



**C**om a prática no Brasil de contratação de obras pelo sistema de Engineering, Procurement, Construction (EPC) – Turn-Key onde o preço é previamente estabelecido e global, bem como os marcos contratuais e a data de entrega da obra, com transferência de grande parte dos riscos para o contratado –, tornou-se prática corrente a apresentação de pleitos (claims) para ressarcimento de custos adicionais e justificativa do não cumprimento destas obrigações em decorrência de riscos ou imprevistos geológicos e hidrológicos.

Mesmo na modalidade de contrato por custo unitário disputas também têm sido geradas, pois em muitos casos torna-se necessário comprovar o aumento dos custos devido a acréscimos nos volumes de escavação e concreto e na quantidade de tratamentos ou ainda as razões do comprometimento do cronograma devido a fatores relacionados com tais riscos.

Dado o grande desconhecimento no Brasil pelas partes envolvidas na contratação de obras do significado principalmente de risco ou imprevisto geológico – e a predominância ainda de grande confusão relacionada ao tema tanto no meio técnico quanto no meio jurídico –, apresentam-se neste artigo conceitos e definições com o intuito de auxiliar os envolvidos nestas questões, tanto na fase de preparação de contratos, quanto na formulação e avaliação de pleitos relacionados com riscos ou imprevistos geológicos.

O tema se aplica em especial a obras civis pontuais como usinas hidrelétricas e escavações em mineração e áreas industriais, quanto em obras lineares como rodovias, ferrovias, metrovias, canais e linhas de transmissão onde o fator risco geológico tenha significativa influência na eventual causa de acidentes, nos acréscimos de custos e no comprometimento dos prazos de marcos contratuais.

### CONCEITUAÇÃO TÉCNICA

No que tange ao tema os seguintes termos técnicos devem ser claramente definidos com o intuito de esclarecer seu

significado, criando-se, ao mesmo tempo, uma padronização da terminologia: feição geológica; condicionante geológico; risco ou imprevisto geológico; modelo geológico conceitual; modelo geológico real.

**Feição geológica** - Termo de larga abrangência utilizado em Geologia que engloba todo e qualquer elemento de origem geológica aplicando-se tanto a conformações de relevo quanto a estruturas tectônicas em grande ou pequena escala.

Entre as feições geológicas que tem maior relevância na construção de obras no Brasil encontram-se as zonas de cisalhamento (falhas) com ou sem preenchimento de argila, as juntas-falha, os planos de fraturas, as dobras, os planos de acamamento e foliação das rochas, as irregularidades acentuadas do topo de rocha sã, as cavernas, cavidades e dolinas, as rochas desagregáveis e friáveis, as rochas de resistência extremamente elevada, as tensões in situ, as pressões e vazões elevadas de água subterrânea e as águas ácidas.

**Condicionante geológico** - Entende-se por condicionante geológico toda a feição geológica que interfere em maior ou menor grau de modo adverso na estabilidade, na estanqueidade, na durabilidade e na geometria final das escavações e estruturas com implicação direta na ocorrência de acidentes e no acréscimo de custos e prazos de execução da obra.

**Risco ou imprevisto geológico** - Risco ou imprevisto geológico é entendido como variações significativas das previsões da geologia e dos condicionantes geológicos

apresentados no modelo conceitual ou de projeto, em decorrência de limitações e caráter pontual das "campanhas de investigação convencionais" realizadas no início dos estudos, quando comparado às escavações que permitem a exposição em verdadeira grandeza do modelo e condicionantes geológicos reais do maciço rochoso, com consequências na ocorrência de acidentes e no acréscimo de custos e prazos de execução da obra.

**Modelo geológico conceitual** - É o modelo elaborado na etapa de projeto com base em análise de documentos, interpretação de fotografias aéreas e imagens de radar e satélite, mapeamento de campo e investigação através de sondagens mecânicas, sondagens geofísicas e ensaios in situ e em laboratório, cujos dados são associados e correlacionados formando o modelo geológico que tem influência no projeto do empreendimento.

**Modelo geológico real** - É o modelo geológico elaborado na fase de execução da obra quando o maciço encontra-se escavado e visível em todas as suas particularidades sendo possível a observação direta em escala real das exposições das camadas e feições em subsuperfície, observações que podem ainda ser auxiliadas por investigações adicionais.

### FEIÇÕES GEOLÓGICAS / CONDICIONANTES GEOLÓGICOS

A seguir são apresentadas as principais feições geológicas que podem se constituir em condicionantes geológicos.

### Falhas ou zonas de cisalhamento rúptil

As falhas são também denominadas de paráclases ou zonas de cisalhamento rúptil constituindo-se em descontinuidades ao longo das quais os blocos separados sofrem deslocamentos (*figura 1*). A espessura das falhas pode se limitar à de uma película escura nas duas faces que se atritaram ou alcançar espessura de centenas de metros, caso em que são denominadas de zonas de falha. Nos planos de falha é comum a ocorrência de estrias (slickensides) geradas pelo atrito, o que auxilia sua identificação e classificação. Em testemunhos de sondagem rotativa convencional existe dificuldade de identificação de falhas, quando mais espessas, pois em geral o material é lavado pela água de circulação durante a perfuração.

As falhas são classificadas de acordo com o deslocamento dos blocos em falhas normais ou de gravidade, falhas de empurrão e falhas transcorrentes, podendo ocorrer em escalas desde microscópicas até macroscópicas (Teixeira et al, 2001). Por se constituírem em planos de fraqueza quase sempre apresentam problemas de ruptura e infiltração de água, indesejáveis nas escavações.

### Dobras

As dobras são ondulações resultantes de deformações de massas rochosas originalmente com feições planares tais como planos de acamamento ou de foliação. As dobras podem ter convexidade voltada para cima ou para baixo denominando-se, no primeiro caso de anticlinal (*figura 2*), e no segundo de



Figura 1 - Exemplos de falhas na fundação de estrutura de concreto e em túnel



Figura 2 - Canadian Landscapes Photo Collection - Alberta Jasper National Park

sinclinal. Podem ter dimensões microscópicas, mesoscópicas (escala de afloramentos) e macroscópicas - escala de imagens de satélite ou fotografias aéreas (Teixeira et al, 2001).

Este tipo de feição quando na escala mesoscópica é raramente visível em países tropicais como o Brasil devido à grande cobertura dos maciços rochosos por espessas camadas de solo tanto residual quanto transportado e abundante vegetação. Sua perfeita determinação através de sondagens é praticamente impossível podendo ser bem definida apenas em escavações de porte no terreno. Em investigações de superfície sua identificação quase sempre só é possível apenas com intensivos e prolongados trabalhos de mapeamento e complexa interpretação dos dados.

#### Planos de acamamento e de foliação

Os planos de acamamento e foliação são feições planares adquiridas durante a formação das rochas sedimentares e metamórficas, respectivamente, podendo se constituir em planos potenciais de ruptura devido a sua menor resistência (descontinuidades). São feições facilmente identificáveis tanto em mapeamento de superfície quanto em testemunhos de sondagens.

#### Sistemas de juntas e fraturas

Os sistemas de juntas e fraturas são constituídos por feições planares lisas ou onduladas com posição espacial muito variável. Sua identificação em geral não apresenta grande dificuldade podendo, no entanto, quando mais espessas, ter

seu preenchimento lavado durante o processo de perfuração em sondagens, o que pode mascarar sua presença. As juntas quando ocorrem com mergulho subhorizontal na fundação de estruturas de concreto quase sempre representam problemas de estabilidade devido a sua menor resistência ao cisalhamento (figura 3). Se encontradas durante as escavações levam invariavelmente à necessidade de modificações no projeto acarretando custos adicionais de tratamento da fundação. Quando dois ou mais sistemas se cruzam pode haver formação de cunhas de pequenas ou grandes dimensões potencialmente instáveis em taludes.

#### Cavernas, cavidades e dolinas

Estas feições são típicas de regiões de calcários onde devem ser esperadas com frequência. A sua localização e dimensionamento necessitam de investigação apropriada para que se evite problemas a elas associados, principalmente de fuga d'água devido a intercomunicação subterrânea entre as mesmas.

#### Solos moles e compressíveis

São depósitos geológicos muito conhecidos devido a sua forma de ocorrência, geralmente na orla marinha (mangues) e em planícies aluvionares exigindo tratamentos especiais de fundação.

#### Rochas desagregáveis e friáveis

Estas variedades de rocha apresentam comportamento particular nas escavações exigindo cuidados especiais.

Entre as rochas desagregáveis ou expan-

sivas encontram-se os basaltos vesiculoso-amigdaloidais que contém zeólitas, os arenitos e siltitos que contém montmorilonitas e rochas vulcânicas que contém quantidades apreciáveis de vidro (por exemplo tufos andesíticos).

Rochas friáveis em geral são rochas areníticas que não contém cimentação sofrendo erosão interna (piping) com facilidade nas fundações de barragens sob gradientes hidráulicos mais elevados e erosão superficial em taludes pela ação de águas pluviais.

#### Rochas de resistência extremamente elevada

São representadas por rochas que contém grande quantidade de quartzo em sua composição oferecendo grande resistência ao corte e provocando desgaste elevado nos bits das ferramentas de perfuração para desmonte com explosivos e nos cutters das máquinas tuneladoras (TBM) empregadas na perfuração de túneis em rocha.

#### Topo rochoso muito irregular

Constituí-se em uma feição geológica muito comum que acarreta, em geral, problemas de sobre-escavação nas fundações, pois em geral nos projetos, em sua maioria baseados em informações pontuais, a superfície do topo de rocha são na qual devem ser apoiadas as estruturas é interpretada como regular, o que nem sempre ocorre devido a diferenciações acentuadas na resistência das rochas ao intemperismo.

#### Tensões virgens elevadas

As tensões virgens elevadas não se



Figura 3 - Exemplos de junta-falha em talude de escavação e fraturas sigmóides em túnel

constituem em uma feição geológica propriamente dita, mas em um fenômeno decorrente de concentração de tensões naturais no maciço em uma determinada região ou local e que apresenta instabilidade quando escavado, principalmente nas obras subterrâneas.

### Pressões e vazões elevadas de água subterrânea

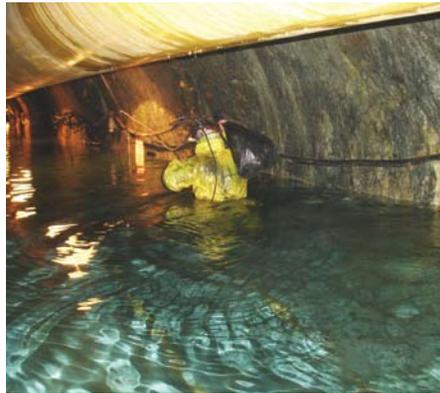
São condições especiais onde as pressões e as vazões da água subterrânea podem se apresentar muito acima do normal exigindo a aplicação de sistemas de estabilização e bombeamento reforçados, principalmente no caso de obras subterrâneas (figura 4). Em escavações a céu aberto podem representar custos adicionais caso o afluxo de água pelas fundações exija, da mesma forma, sistema de bombeamento reforçado para possibilitar o avanço das escavações.

### Águas ácidas

A ocorrência de águas ácidas está diretamente relacionada com a presença de sulfetos na rocha que, uma vez expostas ao meio ambiente, gera ácido sulfúrico o qual, por sua vez, rebaixa drasticamente o pH das águas, tornando-as altamente corrosivas e letais aos seres vivos.

### MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICA CONVENCIONAIS

Os seguintes métodos de investigação são considerados convencionais, tendo como objetivo buscar informações mínimas para a elaboração de um modelo geológico conceitual satisfatório para o projeto da obra: (a) informações bibliográficas; (b) interpretação de imagens de satélite, radar e fotografias aéreas; (c) mapeamento geológico de superfície detalhado; (d) levantamentos geofísicos: sísmica de refração e caminhamento elétrico; (e) sondagens mecânicas rotativas com recuperação de testemunhos; (f) ensaios de permeabilidade in situ em solo (infiltração) e rocha (perda d'água sob pressão); (g) ensaios de laboratório em amostras de solo e rocha: caracterização, compactação e triaxiais em solo, lâmina petrográfica, compressão uniaxial e



**Figura 4 - Inundação do túnel devido a infiltração de água subterrânea através de zonas de falha. Vazão média 460 l/s ~0,5 m<sup>3</sup>/s**

cisalhamento direto em rocha.

### MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICA ESPECIAIS

Os seguintes métodos de investigação são considerados especiais devido ao seu elevado custo e especificidade, tendo como objetivo buscar informações mais detalhadas, somente se justificando em casos onde o porte e tipo do empreendimento e a complexidade geológica exigirem para a elaboração de um modelo geológico conceitual satisfatório: (a) galerias de inspeção em rocha; (b) televisionamento de furos de sondagem; (c) ensaios de cisalhamento direto e de deformabilidade in situ; (d) ensaios de fraturamento e de macaqueamento hidráulico; (e) ensaios triaxiais de rocha em laboratório.

No caso específico de usinas hidrelétricas, as diretrizes para elaboração de estudos de viabilidade da Eletrobrás/DNA-EE (1997) e projeto básico da Eletrobrás/Aneel (1999) para estes empreendimentos estabelecem os seguintes tipos de investigações para complementação dos dados básicos geológico-geotécnicos obtidos na fase de viabilidade:

**Investigações de campo** - Deverá ser feito um detalhamento das investigações geológico-geotécnicas realizadas nos estudos de viabilidade, através de investigações manuais (trados, poços e trincheiras), investigações mecânicas (sondagens rotativas, percussão e mistas) e investigações

geofísicas, visando definir o modelo geomecânico característico das fundações das diversas estruturas, identificando os critérios utilizados para sua elaboração e evidenciando as condicionantes características de cada situação.

Os critérios a serem utilizados para a elaboração do modelo geomecânico das fundações, serão naturalmente função das condicionantes específicas de cada local. Deverão ser definidos como consequência de um nível de investigações geológico-geotécnicas adequado, os diversos tipos de tratamento de fundações necessários para as várias estruturas do aproveitamento, assim como as respectivas quantidades, profundidades, espaçamentos, rumos e inclinações.

Deverão ser feitos, "quando se revelarem necessários", devido às características geológico-geotécnicas particulares dos locais dos aproveitamentos e de exigências estruturais específicas, estudos especiais in situ e sondagens especiais tais como: (a) galerias em rocha; (b) ensaios de injeção; (c) sondagens com amostragem integral; (d) ensaios de palheta (Vane test); (e) ensaios de penetração estática (Diepsounding); (f) ensaios de permeabilidade in situ; (g) ensaios pressiométricos; (h) ensaios de mecânica das rochas.

**Ensaio de laboratório** - Os ensaios que devem ser realizados em amostras de solos provenientes de áreas de empréstimos e áreas de escavações obrigatórias, bem como de amostras de solos situados nas áreas de fundação das barragens, diques e ensecadeiras, são as seguintes: (a) ensaios de caracterização; (b) ensaios de compactação; (c) teor da umidade natural; (d) ensaios de densidade in situ; (e) ensaios de permeabilidade em permeâmetros, com carga variável; (f) ensaios de adensamento com e sem saturação e com e sem medidas de permeabilidade; (g) ensaios de expansibilidade com medida de pressão e expansão; (h) ensaios de compressão triaxial rápidos, rápidos pré-adensados, rápidos pré-adensados saturados, lentos saturados; (i) ensaios de compressão triaxial PH (pressões hidrostáticas) e

**Tabela 1 - Redutor em função do tipo de obra**

Item	Tipo de obra	Redutor
1	Túneis de adução, túneis longos com alta cobertura, taludes de casa de força, taludes > 30 m de altura, casa força subterrânea minas subterrâneas	0,70
2	Túneis de desvio e rodoferrviários, taludes industriais fundação estruturas de concreto	0,85
3	Taludes < 30 m altura, taludes provisórios, fundação barragem de terra e enrocamento, subestação	1,00

PN (pressões não hidrostáticas); (j) ensaios de compressão triaxial K0 drenados ou não drenados; (k) ensaios de erodibilidade – estes ensaios só devem ser feitos, em princípio, quando houver evidência da existência de argilas dispersivas (argilas sódicas), os principais métodos de ensaios para determinar a dispersividade de um material argiloso são os ensaios de Furo de Agulha (Pinhole Test de Sherard), o Ensaio de Dispersão (U.S. Soil Conservation Service) e o Ensaio Químico (U.S. Soil Conservation Service); (l) raio X e/ou análise termo-diferencial – sempre que for necessária a caracterização mineralógica do material.

Os resultados destes ensaios devem ser adequadamente apresentados, descritos e analisados em relatórios específicos. Todos os materiais das áreas de empréstimo, das áreas de escavação obrigatória e das fundações em solo, deverão ser classificados.

### CLASSIFICAÇÃO DO RISCO GEOLÓGICO

Os riscos geológicos sempre estarão presentes em qualquer tipo de obra em maior ou menor grau dependendo de inúmeras variáveis, entre as quais as mais importantes são a complexidade geológica, a qualidade do programa de investigação e o tipo de obra.

A seguir apresenta-se uma tentativa de classificar os riscos geológicos em função destas variáveis em três níveis: alto (A), médio (M) e baixo (B), podendo esta classificação tanto ser aplicada na análise de risco prévia de projetos básicos para formação de preço e licitação, quanto na fase de construção para avaliação de riscos eventualmente ocorridos.

A sistemática da classificação do ris-

**Tabela 2 - Classificação da complexidade geológica**

Parâmetros de classificação e seus pesos		Complexidade geológica		
Item	Parâmetro	Faixa de valores		
1	Quantidade de estudos na região da implantação da obra	muitos 20	alguns 10	nenhum 2
2	Obras similares construídas no mesmo domínio geológico	muitas 20	algumas 15	nenhuma 2
3	Tipo de rocha predominante no sítio da obra	A 15	B 5	C 0
4	Atividade tectônica na região	A 25	B 10	C 1
Somatória valores x redutor tipo de obra = Peso PESO CLASSE		50 - 75 BAIXA	25 - 50 MÉDIA	0 - 25 ALTA

Tipo de Rocha		Tectônica	
A	Granitos, basaltos	A	Baixa
B	Xistos, gnaisses	B	Média
C	Arenitos, filitos, calcários	C	Complexa

**Tabela 3 - Classificação do programa de investigação**

Parâmetros de classificação e seus pesos		Qualidade do programa de investigação		
		Faixa de valores		
1 - Pesquisa bibliográfica	Boa 4	Média 2	Insuficiente 1	
2 - Interpretação de fotografias aéreas e análise de imagens de radar e satélite	Adequada 8	Razoável 4	Inexistente 0	
3 - Caminhamento elétrico	Existente 8	Parcial 4	Não realizado 0	
4 - Sísmica de refração	Existente 6	Parcial 4	Não realizado 0	
5 - Sondagens rotativas nas estruturas	Em todas 8	Algumas 7	Insuficientes 2	
6 - Qualidade da descrição de testemunhos	Boa 8	Razoável 4	Não satisfatória 1	
7 - Ensaios de perda infiltração e perda d'água	Suficientes 6	Parciais 2	Não realizados 0	
8 - Ensaios em amostras de rocha	Especiais 8	Usuais 4	Inexistentes 0	
9 - Ensaios em amostras de solo	Especiais 8	Usuais 4	Insuficientes 1	
10 - Modelo geológico	Detalhado 8	Simplificado 3	Muito simplificado 1	
11 - Modelo geomecânico	Consistente 8	Simple 4	Inexistente 0	
12 - Modelo hidrogeológico	Consistente 8	Simple 4	Inexistente 0	
13 - Interatividade entre informações geológicas e projeto	Intensa 8	Média 4	Não realizado 0	
14 - Análise de riscos geológicos esperados	Crítiosa 4	Superficial 2	Inexistente 0	
Somatória valores x redutor tipo de obra = PESO PESO CLASSE		100 - 70 BOA	70 - 30 MÉDIA	0 - 30 RUIM

Tabela 4 - Classificação do risco geológico

C O M P L E X I D A D E  G E O L Ó G I C A	A L T A	A	A	M
	M É D I A	A	M	B
	B A I X A	M	B	B
		RUIIM	MÉDIA	BOA
 QUALIDADE DO PROGRAMA DE INVESTIGAÇÕES				

co consiste em inicialmente se classificar a complexidade geológica e a qualidade do programa de investigação aplicando-se um redutor para o tipo de obra em função de sua complexidade, com base em pontuações, de acordo com as tabelas 1, 2 e 3, utilizando-se, em seguida, a tabela 4.

**PRINCIPAIS CONSEQUÊNCIAS E MEDIDAS MITIGADORAS DO RISCO GEOLÓGICO**

As principais consequências do risco geológico nas obras são a ocorrência de acidentes de pequenas ou graves proporções com perdas materiais e humanas, os custos adicionais devido à necessidade de modificações no projeto básico ou básico consolidado durante o projeto executivo, com acréscimos consideráveis de volumes de escavação e de concreto, acréscimos nos quantitativos de tratamentos de taludes e sistemas de suporte de túneis, atrasos nos marcos contratuais com pagamento de multas e adiamento da geração no caso de usinas hidrelétricas.

A identificação e comprovação de que os problemas ocorridos na obra são devidos a condicionantes geológicos e a comprovação do risco geológico são expedientes complexos e demorados. Em vista disto é sempre recomendado que o

projeto seja feito com base em investigações de qualidade seguindo, no mínimo, o recomendado pela Eletrobrás/Aneel (1999) e que análises de risco sejam realizadas nos projetos em licitação.

As seguintes medidas são recomendadas pela American Society of Civil Engineers (1997) para redução de riscos geológicos:

- 1) Destinar um orçamento adequado para investigação geológica de sub-superfície.
- 2) Recorrer a profissionais experientes e qualificados para investigar, avaliar potenciais riscos, preparar desenhos e especificações e um relatório consistente de análise de riscos.
- 3) Alocar recursos e tempo suficiente para preparar um relatório de diretriz geotécnico claro e consistente com outros documentos de projeto.

O gráfico da figura 5 exemplifica a importância da realização de investigações devido à sua consequência nos acréscimos dos custos contratuais da obra decorrentes de imprevistos geológicos, relacionando custos X razão entre o comprimento de sondagens exploratórias e o comprimento do túnel, elaborado com base em dados coletados de 84 túneis pelo U.S. National Committee on Tunnel Technolo-

gy (Hoek Et Palmeiri, 1998).

Por fim, deve ser ressaltado que não podem ser confundidos ou caracterizados como risco geológico durante a construção da obra – o que tem sido muito frequente no Brasil – problemas de acidentes e sobre-escavação decorrentes, entre outros, de erros de locação topográfica, escavações em rocha com carga excessiva de explosivos, plano de fogo mal dimensionado e velocidades de avanço além do permitido em projeto no caso de túneis. 🧐

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (1997) - Geotechnical Baseline Reports for Underground Construction, Guidelines and Practices. Geotechnical Reports of the Underground Technology Research Council.  
 [2] ELETROBRÁS/DNAEE (1997) - Instruções para Estudos de Viabilidade de Aproveitamentos Hidrelétricos.  
 [3] ELETROBRÁS/ANEEL (1999) - Diretrizes para Elaboração de Projeto Básico de Usinas Hidrelétricas.  
 [4] HOEK, E. and PALMIERI, A. (1998) - Geotechnical risks on large civil engineering projects. Keynote address for Theme I – International Association of Engineering Geologists Congress, Vancouver, Canada.  
 [5] TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M. C. M.; FAIRCHILD, T. R.; TAIOLI, F. (2001) - Decifrando a Terra. Editora Universidade de São Paulo.

\* *Eraldo Luporini Pastore* é diretor do Departamento de Engenharia de Minas e Geologia do Instituto de Engenharia, especialista em Geotecnia (LCPC – Paris), mestre e doutor em Geotecnia (USP), pós-doutorado Universidade Sherbrooke (Canadá)  
 E-mail: elpastore@uol.com.br

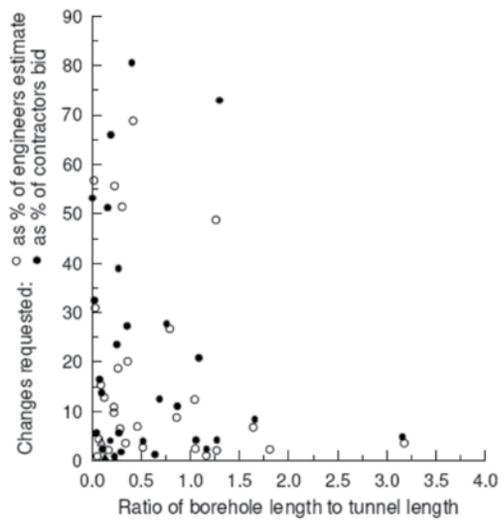


Figura 5 - Variação nos custos em função do comprimento de sondagens realizadas em túneis