

**SUGESTÕES DE TÉCNICAS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO
GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA A SER APLICADAS AO LONGO DO
TRAÇADO REFERENCIAL DO TREM DE ALTA VELOCIDADE
ENTRE AS CIDADES DO RIO DE JANEIRO, SÃO PAULO E
CAMPINAS.**

CLIENTE
BID – Banco Interamericano de Desenvolvimento

INTERESSADO
CPRM – Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais

UNIDADE RESPONSÁVEL
CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA
SEÇÃO DE GEOTECNIA

RESUMO

Este Relatório apresenta sugestões de técnicas e métodos de investigação a serem realizadas nas etapas subseqüentes do projeto do Trem de Alta Velocidade a ser implantado entre as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas e complementa o Relatório Técnico IPT nº 115 315 – 205 – “Supervisão, acompanhamento e fiscalização dos trabalhos de investigação geológico-geotécnica realizados ao longo do traçado referencial do Trem de Alta Velocidade entre as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas” e visa, fundamentalmente, a minimização dos riscos de natureza geológica durante a implantação da obra.

Palavras-Chaves

Trem de Alta Velocidade; TAV; Investigações Geológico-geotécnicas; traçado referencial; riscos geológicos.

SUMÁRIO

	P.
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivo	1
2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS DE INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA NO TRAÇADO REFERENCIAL DO TAV.....	2
3 SUGESTÃO DE TÉCNICAS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO A SEREM UTILIZADOS NAS ETAPAS SUBSEQUENTES DO PROJETO PARA MINIMIZAÇÃO DE RISCOS	3
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	7
EQUIPE TÉCNICA.....	26
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	27

1 INTRODUÇÃO

Atendendo ao estabelecido no contrato INE/TSP004/09 (referencia GTR/CL-10817-BR) entre o Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, IPT, a Seção de Geotecnia do Centro de Tecnologia de Obras de Infra-estrutura, CT-Obras, deste Instituto, realizou a supervisão, acompanhamento e fiscalização dos trabalhos de investigação geológico-geotécnica executadas ao longo do traçado referencial da Via do Trem de Alta Velocidade, cujos resultados estão apresentados no Relatório Técnico IPT nº 115 315 – 205 – “Supervisão, acompanhamento e fiscalização dos trabalhos de investigação geológico-geotécnica realizados ao longo do traçado referencial do Trem de Alta Velocidade entre as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas”. Em complementação aos trabalhos, foram elaboradas tabelas contendo sugestões de investigação geológico-geotécnicas a serem realizadas nas etapas subseqüentes do projeto.

1.1 Objetivo

O objetivo principal deste relatório é apresentar à Agencia Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), ao Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), à Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM (Serviço Geológico do Brasil) e ao Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID, sugestões de investigações geológico-geotécnicas a serem realizadas nas demais etapas de desenvolvimento do projeto do Trem de Alta Velocidade a ser implantado entre as cidades do Rio de Janeiro – São Paulo – Campinas, com vistas à redução dos riscos de natureza geológica durante a implantação das obras.

2 ETAPAS DE DESENVOLVIMENTO DOS TRABALHOS DE INVESTIGAÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA NO TRAÇADO REFERENCIAL DO TAV

Os trabalhos de investigação geológico-geotécnica ao longo do traçado referencial do TAV foram desenvolvidos em 3 etapas, conforme relatado no Relatório Técnico IPT nº 115 315 – 205 – “Supervisão, acompanhamento e fiscalização dos trabalhos de investigação geológico-geotécnica realizados ao longo do traçado referencial do Trem de Alta Velocidade entre as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Campinas”.

Na primeira etapa, os trabalhos foram realizados unicamente pela CPRM, compreendendo a fotointerpretação de imagens de satélites e ortofotos, mapeamento de campo, com descrição das características geológicas, geotécnicas, pedológicas e geomorfológicas dos terrenos levantados, e tratamento dos dados obtidos. Os dados dessa etapa foram consubstanciados no Relatório Técnico “Mapeamento Geológico-Geotécnico e Delimitação das Áreas de Risco Geológico ao Longo do Traçado da Via do Trem de Alta Velocidade – TAV” (CPRM, 2009).

A segunda etapa compreendeu a execução das investigações diretas e indiretas ao longo do traçado referencial do TAV, bem como a investigação de prováveis áreas para implantação de jazidas de materiais de empréstimo, realizadas sob a responsabilidade da Geodata SpA (Itália).

As atividades da terceira etapa também estiveram a cargo da CPRM e caracterizaram-se pela consolidação dos dados e informações obtidas nas etapas anteriores, cujos resultados encontram-se no Relatório Técnico “Modelos Geológico-Geomecânicos e seus Riscos Associados ao Longo do Traçado do TAV” (CPRM, 2009).

Em conclusão aos trabalhos do IPT, são apresentadas tabelas contendo sugestões de técnicas e métodos de investigação geológico-geotécnica com vistas à redução de riscos de natureza geológica durante a implantação das obras.

3 SUGESTÃO DE TÉCNICAS E MÉTODOS DE INVESTIGAÇÃO A SEREM UTILIZADOS NAS ETAPAS SUBSEQUENTES DO PROJETO PARA MINIMIZAÇÃO DE RISCOS

Os estudos de natureza geológico-geotécnica ao longo do traçado referencial do Trem de Alta Velocidade foram coroados ao fim da terceira etapa, caracterizada como a etapa de consolidação de todos os dados e informações obtidas nas etapas anteriores.

Nesta etapa, foram definidos modelos geológico-geomecânicos conceituais dos terrenos ao longo do traçado referencial do TAV que, quando associados aos tipos de obras de infra-estrutura previstos ao longo do traçado, permitiram identificar cenários de riscos potenciais, em função do ambiente geológico-geotécnico e do tipo de obra, cujos resultados estão apresentados no Relatório Técnico “Modelos Geológico-Geomecânicos e seus Riscos Associados ao Longo do Traçado do TAV” (CPRM, 2009).

Além da identificação dos eventos de riscos potenciais, também foram sugeridas medidas mitigadoras, tais como, a sugestão de realização de investigações geológico-geotécnicas mais aprofundadas para dirimir aspectos associados a eventos de riscos potenciais ou a sugestão de adequação das obras de engenharia, ou dos métodos/técnicas construtivas das respectivas obras.

Tais sugestões reportam-se ao conceito ainda não perfeitamente integrado à engenharia nacional de que uma das estratégias para redução dos riscos repousa na redução das incertezas que permeiam o meio geológico através da obtenção de um maior número de informações ou na limitação dos impactos dessas incertezas no desempenho técnico e econômico do projeto.

Em geologia de engenharia, a redução de incertezas através da obtenção de mais informações significa o desenvolvimento de novas investigações, ou de

investigações complementares, que possam conduzir a um detalhamento das propriedades e parâmetros dos condicionantes geológicos da estabilidade do maciço.

Limitar o impacto das incertezas no desempenho técnico-econômico do projeto indica a necessidade de atuação sobre as conseqüências decorrentes da deflagração dos processos geradores de risco. As conseqüências podem ser minimizadas por meio de medidas que procurem evitar a deflagração dos processos geradores de risco, adotando-se projetos adequados, que incorporem na sua concepção os eventos geradores de risco.

Assim, são sugeridos métodos e técnicas de investigação geológico-geotécnica com o objetivo de reduzir as incertezas e que permitam, nas etapas posteriores do projeto, conduzir a um detalhamento das propriedades e parâmetros dos condicionantes geológicos da estabilidade do maciço e, por conseqüência, reduzir os riscos.

Os métodos e técnicas de investigações geológico-geotécnicas propostas têm, como primeiro objetivo, elucidar o arcabouço geológico-estrutural dos maciços nos quais serão implantadas obras de engenharia e devem permitir, num primeiro momento, avançar para a construção de modelos geológico-geomecânicos mais evoluídos do que aqueles alcançados nas fases iniciais do projeto.

Com a evolução do projeto as investigações devem ser cada vez mais detalhadas e se dirigirem para objetivos específicos a cada local, de modo a definir, da maneira mais acurada possível, todos os fatores de natureza geológica, geotécnica, hidráulica e geomecânica que intervêm no desempenho técnico e econômico das obras, ou seja, buscar definir e caracterizar todos os condicionantes geológicos da estabilidade das obras a serem implantadas.

Os condicionantes geológicos podem ser de natureza litológica, estratigráfica, tectônica, estrutural, mineralógica, morfológica, hidrogeológica, etc., e controlam, de forma inequívoca, o comportamento dos maciços. As propriedades geotécnicas e os parâmetros geomecânicos de interesse à estabilidade dos maciços estão intimamente associados aos condicionantes geológicos, sendo por estes determinados.

Portanto, a determinação dos condicionantes geológicos, a sua variabilidade espacial e temporal, as suas características geotécnicas e geomecânicas, são tarefas imprescindíveis para a elaboração de um adequado modelo de comportamento do maciço.

Portanto, as técnicas e métodos sugeridos têm objetivos mais gerais, buscando, como já informado, auxiliar na elucidação do arcabouço geológico-estrutural dos locais de implantação das obras de engenharia de modo a permitir a construção de modelos geológico-geomecânicos mais próximos da realidade.

A Tabela 1 apresenta os métodos e técnicas de investigação geológica sugeridos com os respectivos objetivos a ser alcançados.

Essas mesmas técnicas também estão apresentadas nas Tabelas 2 a 11, que relacionam, para cada Evento de Risco Potencial e respectivas Medidas Mitigadoras (CPRM, 2009), definidos para cada Compartimento Geológico-Geomecânico (CPRM, 2009), as técnicas e métodos de investigação geológico-geotécnica julgados mais adequados a serem aplicados para cada situação (identificados nas Tabelas 2 a 11 como “Sugestão de métodos e técnicas de investigação geológico-geotécnica para minimizar os riscos indicados”).

Nas Tabelas 2 a 11, a numeração dos itens indica a relação entre as Medidas Mitigadoras com as Técnicas e Métodos de Investigações sugeridos, cujos objetivos mais detalhados encontram-se na Tabela 1. Alguns dos métodos e técnicas de investigação sugeridos, não encontram relação com as medidas mitigadoras, pois configuram eventos de risco não relacionados anteriormente no relatório da CPRM (2009) e somente agora delineados.

Nas etapas subseqüentes, quando investigações diretas mais detalhadas forem realizadas, não se deve descartar a execução de investigações de campo com métodos tecnologicamente mais avançados, como o uso de perfiladores (óticos, sônicos, flowmeters, raios gama etc., que complementam as investigações com sondagens mecânicas, sondagens rotativas em particular), realização de ensaios CPTU, realização de ensaios crosshole, sondagens rotativas direcionais, etc.

Tabela 1 – Técnicas e métodos de investigação geológico-geotécnica de maciços sugeridos e objetivos específicos esperados

Métodos e técnicas de investigação geológico-geotécnica	Objetivos
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural (análise de falhas, mapas de formas, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • Definir o arcabouço geológico-estrutural visando aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico e definir as variações na qualidade geomecânica dos maciços rochosos. • Devem definir trechos de solos transportados de baixa capacidade de suporte e muito compressíveis, sujeitos a recalques, solos expansivos, problemas de estabilidade de taludes, vibrações, etc. • Devem preceder aos estudos para definição de traçados alternativos. • Devem ser utilizadas como elemento preponderante na classificação geomecânica dos túneis e nas análises de estabilidade de cortes. • Devem ser utilizadas como elemento de orientação para levantamentos geofísicos por métodos elétricos e métodos potenciais para estudos de fluxo d'água em maciços. • Permitem determinar direções preferenciais de percolação e eixos principais do tensor de tensão. • Permitem analisar interferências de obras subterrâneas com barragens e reservatórios.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Execução de mapeamento geológico de detalhe 	<ul style="list-style-type: none"> • Definir a extensão dos corpos de depósitos de sopé de encostas e áreas propensas a grandes movimentos de massa. • Prevenir problemas associados à estabilidade de encostas e prevenção de movimentos de massa em áreas serranas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sísmica de refração 	<ul style="list-style-type: none"> • Com explosivos, para determinação do topo rochoso em profundidades maiores que 30 m • Com martelo, para determinação do topo rochoso em profundidades menores que 30 m
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sísmica de reflexão 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação da estratigrafia de maciços em áreas sedimentares
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Levantamentos batimétricos 	<ul style="list-style-type: none"> • Obtenção de mapas batimétricos de áreas submersas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Levantamentos com sonar de varredura lateral 	<ul style="list-style-type: none"> • Imageamento da superfície do fundo de áreas submersas, com diferenciação das regiões recobertas por sedimentos finos dos arenosos e de eventuais “afloramentos” rochosos

(continua)

(continuação)

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Perfilagem sísmica contínua 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação da espessura dos sedimentos que recobrem o embasamento rochoso em áreas submersas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Magnetometria 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação da presença de diques e sills de rochas básicas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análises petrográficas detalhadas 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação dos parâmetros matriciais da rocha, como o conteúdo equivalente em quartzo, para estudos de abrasividade das rochas
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ensaios de abrasividade (Cerchar, Dureza Knoop, Abrasão Los Angeles, impacto Treton e outros) 	<ul style="list-style-type: none"> • Determinação das características tecnológicas das rochas com vistas a estudos de abrasividade e uso como agregado, lastro, etc.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Eletrorresistividade e georadar 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigação de plumas de contaminação por hidrocarbonetos ou outros contaminantes
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Análises de sismicidade 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar análises da sismicidade natural e induzida por reservatórios para o projeto de túneis na região da Serra das Araras e nas proximidades de barragens
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizados para estudo de problemas de natureza hidrogeotécnica. Devem ser precedidos de análises estruturais e de levantamentos geofísicos.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mapeamentos geológico-estruturais de detalhe associados a levantamentos geofísicos específicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Detecção de problemas associados à presença de rochas carbonáticas e problemas cársticos, especialmente para problemas de carste coberto.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Levantamentos por eletrorresistividade 	<ul style="list-style-type: none"> • Detectar a presença de matacões

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As tabelas contendo sugestões de investigações geológico-geotécnicas para cada compartimento geomecânico procura apenas indicar técnicas de investigação que devem preceder os estudos de investigação a ser elaborados ao longo das demais etapas do projeto. Estas visariam definir outros aspectos geológico-geotécnicos particulares, assim como os parâmetros de projetos para cada uma das obras a ser implantadas ao longo do traçado do trem de alta velocidade.

Tabela 2 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-01 Baixada Fluminense (km 000-072) (modificado de CPRM 2009)

Descrição		
Tipo de Obra Predominante	PV TU	As obras predominantes deste trecho são túneis (TU) e pontes e viadutos (PV) de grandes dimensões, complementados por aterros (AT) e cortes (CT).
Interferências	AU ER IT	Área Urbana Edificações de grande relevância (refinaria Manguinhos e prédios da UFRJ) Infraestrutura de transporte (rodovias e pista do aeroporto do Galeão)

Cenários de Risco Potenciais	Geral	<p>Intercalações de camadas de sedimentos de baixa capacidade de suporte e muito compressíveis (solo mole), com NA aflorante ou raso: → AT - recalques excessivos e diferenciais, agravados pelo topo rochoso irregular, ou até mesmo insuficiência de capacidade de suporte; possibilidade de escorregamento em solos moles, mesmo com baixas declividades (vide Vila Barraginha, MG); → CT - instabilidade dos taludes e afluxo de água.</p> <p>Topo rochoso ondulado, com variações bruscas de profundidade nas duas direções, encobertos por sedimentos: → PV - elementos de fundação com profundidades variadas, alguns muito profundos, requerendo definição precisa do topo rochoso para assentamento de cada elemento de fundação (do contrário, ocorrerão recalques excessivos e diferenciais como os observados na Linha Vermelha); Corpos de tálus com possibilidade de atingir os pilares e estruturas de fundação</p> <p>→ TU – variações bruscas das características geomecânicas dos materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solo e rocha) e presença de água. Corpos de tálus presentes nos emboques ou próximos a este.</p>	Medidas Mitigadoras	1. Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural
				2. É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de fundações de PV e antecipar as mudanças de faces de escavação dos TU, além da verificação da presença de corpos de tálus.		2. Sísmica de refração, com explosivo, e sísmica de reflexão
				3. O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas, face de escavação mista e presença de água. Dado ao conteúdo de quartzo de algumas rochas cristalinas deve-se medir esta grandeza, já que afeta a definição de ferramentas de escavação.		3. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural, complementadas por análises petrográficas detalhadas e ensaios de abrasividade das rochas.
				4. Ainda por se tratar de área urbana, sensível a recalques, o método deve prever controle efetivo de recalques e do NA, tais como pressurização da frente de escavação.		4. Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais.
				5. Para minimizar o número de faces mistas e de alterações bruscas de materiais, podem-se buscar traçados alternativos que privilegiem túneis mais profundos.		5. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais, levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão e eletrorresistividade)
				6. Evitar infraestrutura de plataforma (cortes e aterros), ou implementar medidas (melhoria e reforço) de engenharia complementares para controle de recalques e aumento da capacidade de suporte dos terrenos.		6. Ensaios de dinâmica dos solos, tendo em vista problemas de vibração induzida, e ensaios para definição das técnicas mais adequadas para melhoria da capacidade de suporte dos terrenos
				7.		7. Travessia da Bacia da Guanabara – realizar levantamentos com ecobatímetro, sonar de varredura lateral e perfilagem sísmica contínua

(continua)

(continuação)

			8.		8. Detecção de diques de rochas básicas, comuns no sudeste brasileiro – realizar levantamentos magnetométricos
Local	<p>Refinaria de Manguinhos – provável ocorrência de solos contaminados por hidrocarbonetos, os quais requerem áreas especiais de bota-fora, bem como sistema de escavação e transporte cuidadosos.</p> <p>Edificações da UFRJ – prováveis litígios judiciais quanto a sua desapropriação (dependendo da finalidade da edificação, novas instalações devem ser construídas antes de sua demolição).</p> <p>Pista do aeroporto do Galeão – túnel com baixa cobertura, com grande impacto em caso de acidentes.</p> <p>Área Urbana: → TU – controle de recalques e estabilidade da frente de escavação; → CT e AT – prováveis litígios judiciais quanto à desapropriação.</p> <p>Morraria do sopé da Serra das Araras – rochas cristalinas com perfil de intemperismo, sendo os solos sujeitos a instabilidade de taludes e erosão: → CT e TU – sequência de túneis curtos com cortes e emboques de grande altura, com risco de instabilizações dos taludes e emboques, bem como condições difíceis para os túneis (face mista e tetos em materiais mais desfavoráveis).</p>	Medidas Mitigadoras	1. Alterar o traçado para evitar o trecho abaixo da refinaria Manguinhos, ou verificar se há contaminação de terrenos circundantes por hidrocarbonetos.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais, levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão, eletrorresistividade). Investigação de eventuais plumas de contaminação por hidrocarbonetos por meio de levantamentos geofísicos, em particular eletrorresistividade e geo-radar;
			2. Alterar o traçado ou o tipo de obra para túnel ou viaduto para evitar confronto com as edificações da UFRJ.		2. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais, levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão, eletrorresistividade)
			3. Antecipar o emboque do túnel para aumentar a cobertura do túnel abaixo pista do aeroporto do Galeão, ou interromper o acesso à pista, caso possível.		3. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais, levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão, eletrorresistividade)
			4. Alterar o traçado no trecho da morraria do sopé da Serra das Araras, de modo a minimizar a altura de cortes e o número de emboques, ou seja, um traçado mais profundo.		4. - Execução de mapeamento geológico de detalhe (definir a extensão dos corpos de depósitos de sopé de encostas). Realização de análises geológico-estrutural detalhadas como elemento preponderante na classificação geomecânica dos túneis e nas análises de estabilidade de cortes

Tabela 3 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-02 Escarpa da Serra das Araras (km 072-102). (modificado de CPRM 2009)

Descrição						
Tipo de Obra Predominante	TU	As obras predominantes deste trecho são túneis (TU) de grandes dimensões, complementados por pontes e viadutos (PV) e cortes (CT).				
Interferências	RB	Existência de um reservatório da barragem Ribeirão das Lajes (não muito próximo ao traçado).				
Cenários de Risco Potenciais	Geral	<p>Topo rochoso ondulado muito irregular nas duas direções, devido às zonas de alta concentração de descontinuidades (falhas, fraturas e zonas de cisalhamento), predominantemente subverticais, com traço na direção NE (perpendiculares ao eixo longitudinal do traçado do TAV) e uma segunda família com traço NW (subparalelo ao eixo do traçado do TAV). As descontinuidades NE acompanham a foliação e as NW são feições tracionadas e portadoras de água. Falhas com traços na direção NE e médio mergulho também são esperadas. A franja de alteração intempérica é muito profunda acompanhando as faixas de concentração de descontinuidades:</p> <p>→ TU – variações bruscas das características geomecânicas dos materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solos, rocha alterada e rocha) e presença de água, as quais ocorrerão nas passagens pelas zonas de cisalhamento e falhas;</p> <p>→ PV – elementos de fundação com profundidades variadas, alguns muito profundos.</p> <p>Solos superficiais sujeitos a erosão e movimentos gravitacionais de massa, agravados pela alta pluviosidade da região:</p> <p>→ PV – movimentos sobre os pilares e elementos de fundação; deslocamento de massa proveniente de escorregamentos translacionais rasos, rotacionais ou corridas de massa atingindo</p> <p>→ CT – Instabilidade de taludes de cortes e emboques, com impactos muito negativos para a operação do empreendimento. Corpos de talus presentes nos emboques ou próximos a este.</p>	Medidas Mitigadoras	1. Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural
				2. É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de fundações de PV e antecipar as mudanças de faces de escavação dos TU, além da identificação dos corpos de talus.		2. Sísmica de refração, com martelo ou explosivo, dependendo da profundidade esperada do topo rochoso.
				3. O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas, frentes de escavação mistas e presença de água. Dado ao conteúdo de quartzo de algumas rochas cristalinas deve-se medir esta grandeza, já que afeta a definição de ferramentas de escavação.		3. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural, complementadas por análises petrográficas detalhadas e ensaios de abrasividade das rochas.
				4. Dada à presença do NA em pontos localizados (zonas de cisalhamento e falhas), o método deve prever seu controle efetivo, tais como pressurização, injeções e investigações da frente de escavação.		4. Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais.
				5. Para minimizar o número de faces mistas e de alterações bruscas de materiais nos túneis e as alturas de corte e emboques, pode-se buscar traçados alternativos que privilegiem túneis mais profundos.		5. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais, levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão e eletrorresistividade)

(continua)

(continuação)

			<p>6. Deve-se buscar alternativas de traçado que minimizem as obras de superfície, já que a encosta da serra possui uma grande instabilidade intrínseca.</p> <p>7. Nos casos onde forem necessários cortes e emboques, utilizar medidas complementares de engenharia (contenção, tratamentos de maciço e drenagem) para garantir sua estabilização em níveis de riscos aceitáveis, bem como proteger os pilares e elementos de fundação das PV quanto a eventos de movimentos gravitacionais de massa.</p>		<p>6. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais e levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão e eletrorresistividade).</p> <p>7. Realização de análises geológico-estrutural detalhadas como elemento preponderante na classificação geomecânica dos túneis e nas análises de estabilidade de cortes. Execução de mapeamento geológico de detalhe para definir a posição e extensão dos corpos de depósitos de sopé de encostas.</p>
			8.		8. Detecção de diques de rochas básicas, comuns no sudeste brasileiro – realizar levantamentos magnetométricos.
			9.		9. Análise da sismicidade natural e induzida na região da serra.
Local	Interferência das obras com a barragem e seu reservatório.		1. Estudos e investigações hidrogeológicas para estimar a influência das obras de túneis na barragem e seu reservatório.		1. Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais. Estudos de sismicidade induzida por reservatórios e a eventual implicação da construção de túneis.

Tabela 4 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para CGM-03 Mar de Morros do Paraíba do Sul Fluminense (km 102-144) (modificado de CPRM 2009)

Descrição		
Tipo de Obra Predominante	PV TU	As obras predominantes deste trecho são pontes e viadutos (PV), seguidos de túneis (TU), complementados por cortes (CT) e aterros (AT).
Interferências	IT	Rodovias de grande porte, mas sem maiores impactos.

Cenários de Risco Potenciais	Geral	<p>Topo rochoso ondulado, mais raso (0 a 15 m), acompanhando a morfologia dos morros, Variações mais profundas ocorrem próximas as zonas de concentração de descontinuidades (falhas, fraturas e zonas de cisalhamento). Embora menos crítico, esta variação do topo rochoso e consequente alternâncias de rochas de alta resistência com zonas de baixa (solos e rochas alteradas), agravados com vales entulhados, continuam a ser o principal condicionante local:</p> <p>→ PV – elementos de fundação com profundidades variadas, alguns muitos profundos. Deve-se atentar para a presença de matacões, os quais podem falsear a determinação do topo rochoso. Deslocamento de massa proveniente de escorregamentos translacionais rasos, rotacionais ou corridas de massa atingindo pilares e elementos de fundação.</p> <p>→ TU – variações bruscas das características geomecânicas dos materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solos, rocha alterada e rocha) e presença de água, as quais ocorrerão nas passagens pelas zonas de cisalhamento e falhas.</p> <p>Solos superficiais sujeitos a erosão e movimentos gravitacionais de massa, agravados pela alta pluviosidade da região:</p> <p>→ CT – Instabilidade de taludes de cortes e emboques, com impactos muito negativos para a operação do empreendimento.</p>	Medidas Mitigadoras	1. Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural
				2. É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de fundações de PV e antecipar as mudanças de faces de escavação dos TU, além da identificação dos corpos de talus.		2. Sísmica de refração, com martelo ou explosivo, dependendo da profundidade esperada do topo rochoso
				3. O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas, frentes de escavação mistas e presença de água. Dado ao conteúdo de quartzo de algumas rochas cristalinas, deve-se medir esta grandeza, já que afeta a definição de ferramentas de escavação.		3. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural, complementadas por análises petrográficas detalhadas e ensaios de abrasividade das rochas.
				4. Dada à presença do NA em pontos localizados (zonas de cisalhamento e falhas), o método deve prever seu controle efetivo, tais como pressurização, injeções e investigações da frente de escavação		4. Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais.

(continua)

(continuação)

			<p>5. Para minimizar a seqüência de túneis curtos intercalados a cortes de grande altura, e o conseqüente número de faces mistas e de alterações bruscas de materiais nos túneis e as alturas de corte e emboques, pode-se buscar traçados alternativos que privilegiem túneis mais profundos.</p> <p>6. Considerando o risco operacional para o empreendimento causado por eventuais instabilizações de taludes, nos casos onde forem necessários cortes e emboques, utilizar medidas complementares de engenharia (contenção, tratamentos de maciço e drenagem) para garantir sua estabilização em níveis de riscos aceitáveis.</p> <p>7.</p> <p>8.</p>		<p>5. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais e levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão e eletrorresistividade).</p> <p>6. Realização de análises geológico-estruturais detalhadas como elemento preponderante nas análises de estabilidade de cortes.</p> <p>7. Detecção de diques de rochas básicas, comuns no sudeste brasileiro – realizar levantamentos magnetométricos.</p> <p>8. Presença de rochas carbonáticas com eventuais problemas de natureza cárstica - realizar mapeamentos geológico-estruturais voltados especificamente para delimitar corpos carbonáticos e seus solos de alteração e, caso possível, definir os controles geológico-estruturais dos processos de carstificação. Realizar levantamentos geofísicos de eletrorresistividade voltados especificamente para definir a ocorrência de carste coberto.</p>
Local	Alguns aterros de grande extensão interceptam drenagens naturais e ficam sujeitos a escoamento superficiais (<i>run-offs</i>) expressivos após chuvas de alta intensidade e duração, podendo se tornar vulneráveis a ruptura.	Medidas Mitigadoras	<p>1. Atentar para as medidas de drenagem dos aterros (dimensionamento de bueiros e galerias), considerando a intensidade pluviométrica da região e sua posição em relação a drenagens naturais e suas respectivas bacias de capacitação.</p>	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	<p>1. Execução de mapeamento geológico de detalhe visando definir a extensão dos corpos de depósitos de sopé de encostas e áreas propensas a grandes movimentos de massa com eventual interferência nas drenagens.</p>

Tabela 5 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-04 Vale de Resende (km 144-177) (modificado de CPRM 2009)

Descrição						
Tipo de Obra Predominante	PV	Este trecho se caracteriza por algumas pontes de viadutos (PV) de grande extensão, nas proximidades de Resende e depois uma sequência de cortes (CT), aterros (AT) e túneis curtos (TU).				
Interferências	IT RB	Rodovias, mas sem maiores interações. Reservatório da barragem de Funil, mas em posição favorável em relação ao traçado proposto.				
Cenários de Risco Potenciais	Geral	<p>Topo rochoso ondulado acompanhando a morfologia dos morros, mas sujeito a alteração brusca de profundidades devido aos vales entulhados, preenchidos por sedimentos. Esta variação do topo rochoso e consequente alternâncias de rochas de alta resistência com zonas de baixa (solos e rochas alteradas), agravados com vales entulhados, continuam a ser o principal condicionante local: → PV – elementos de fundação com profundidades variadas, alguns muito profundos. Deve-se atentar para a presença de matacões, os quais podem falsear a determinação do topo rochoso; → TU – variações das características geomecânicas dos materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solos, rocha alterada e rocha) e presença de água, que pode ocorrer nas passagens por zonas de cisalhamento e falhas.</p> <p>Solos superficiais sujeitos a erosão e movimentos gravitacionais de massa: → CT – Instabilidade de taludes de cortes e emboques, com impactos muito negativos para a operação do empreendimento.</p>	Medidas Mitigadoras	1. Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural.
				2. É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de fundações de PV e antecipar as mudanças de faces de escavação dos TU.		2. Sísmica de refração, com martelo ou explosivo, dependendo da profundidade esperada do topo rochoso
				3. O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas, frentes de escavação mistas e presença de água.		3. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural, complementadas por análises petrográficas detalhadas e ensaios de abrasividade das rochas.
				4. Dada à presença do NA em pontos localizados (zonas de cisalhamento e falhas), o método deve prever seu controle efetivo, tais como pressurização, injeções e investigações da frente de escavação.		4. Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais.
				5. Para minimizar a seqüência de túneis curtos intercalados a cortes de grande altura, e o consequente número de faces mistas e de alterações bruscas de materiais nos túneis e as alturas de corte e emboques, pode-se buscar traçados alternativos que privilegiem túneis mais profundos.		5. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais e levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão e eletrorresistividade).
				6. Considerando o risco operacional para o empreendimento causado por eventuais instabilizações de taludes, nos casos onde forem necessários cortes e emboques, utilizar medidas complementares de engenharia (contenção, tratamentos de maciço e drenagem) para garantir sua estabilização em níveis de riscos aceitáveis.		6. Realização de análises geológico-estruturais detalhadas como elemento preponderante nas análises de estabilidade de cortes.

(continua)

(continuação)

				7.		7. Execução de mapeamento geológico e geomorfológico de detalhe visando definir ocorrência e extensão de vales atulhados (mini grabens?) situados em meia encosta.
Local	Ocorrência de tálus no sopé, os quais podem ser instáveis.	Medidas Mitigadoras	1. Alterar traçado para evitar zonas de tálus, ou investigar melhor as características de estabilização do mesmo.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Execução de mapeamento geológico de detalhe visando definir a extensão dos corpos de depósitos de sopé de encostas e áreas propensas a grandes movimentos de massa com eventual interferência nas drenagens.	

Tabela 6 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-5 Mar de Morros de Queluz (km 177-218) (modificado de CPRM 2009)

Descrição						
Tipo de Obra Predominante	TU PV	Este trecho se caracteriza por uma sequência de túneis (TU) e pontes de viadutos (PV), complementados por cortes (CT), alguns de grandes alturas.				
Interferências	IT	Rodovias e vias ferroviárias, mas sem maiores interações.				
Cenários de Risco Potenciais	Geral	<p>O topo rochoso varia de aflorante a até 50 m de profundidade, o que, associado a vales entulhados, mais uma vez se constitui num importante condicionante de projeto:</p> <p>→ TU – variações das características geomecânicas dos materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solos, rocha alterada e rocha) e presença de água, que pode ocorrer nas passagens por zonas de cisalhamento e falhas;</p> <p>→ PV – elementos de fundação com profundidades variadas, alguns muito profundos.</p> <p>Solos superficiais sujeitos a erosão e movimentos gravitacionais de massa:</p> <p>→ CT – Instabilidade de taludes de cortes e emboques, com impactos muito negativos para a operação do empreendimento.</p>	Medidas Mitigadoras	<ol style="list-style-type: none"> Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado. É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de fundações de PV e antecipar as mudanças de frentes de escavação dos TU. O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas, frentes de escavação mistas e presença de água. Dada à presença do NA em pontos localizados (zonas de cisalhamento e falhas), o método deve prever seu controle efetivo, tais como pressurização, injeções e investigações da frente de escavação. Para minimizar a seqüência de túneis curtos intercalados a cortes de grande altura, e o conseqüente número de faces mistas e de alterações bruscas de materiais nos túneis e as alturas de corte e emboques, pode-se buscar traçados alternativos que privilegiem túneis mais profundos. Considerando o risco operacional para o empreendimento causado por eventuais instabilizações de taludes, nos casos onde forem necessários cortes e emboques, utilizar medidas complementares de engenharia (contenção, tratamentos de maciço e drenagem) para garantir sua estabilização em níveis de riscos aceitáveis. 	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	<ol style="list-style-type: none"> Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural. Sísmica de refração, com martelo ou explosivo, dependendo da profundidade esperada do topo rochoso Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural, complementadas por análises petrográficas detalhadas e ensaios de abrasividade das rochas. Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais e levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão e eletrorresistividade). Realização de análises geológico-estrutural detalhadas como elemento preponderante nas análises de estabilidade de cortes

(continua)

(continuação)

				7.		7. Execução de mapeamento geológico e geomorfológico de detalhe visando definir ocorrência e extensão de vales atulhados (mini grabens?) situados em meia encosta.
Local	Ocorrência de tálus no sopé, os quais podem ser instáveis.	Medidas Mitigadoras	1. Alterar traçado para evitar zonas de tálus, ou investigar melhor as características de estabilização do mesmo.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Execução de mapeamento geológico de detalhe visando definir a extensão dos corpos de depósitos de sopé de encostas e áreas propensas a grandes movimentos de massa com eventual interferência nas drenagens.	

Tabela 7 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-06 Bacia de Taubaté (km 218-334) (modificado de CPRM 2009)

		Descrição				
Tipo de Obra Predominante	PV	Trecho caracterizado por extensas pontes e viadutos (PV), complementados por pequenos cortes (CT), aterros (AT) e túneis (TU).				
Interferências	AU AR MA	Área Urbana Área Rural (plantações em várzea) Área de interesse ou proteção ambiental				
Cenários de Risco Potenciais	Geral	Topo rochoso muito irregular, coberto por sedimentos colúvio-aluvionares, com camadas interdigitadas ou bolsões de solo mole, inclusive turfa, preenchendo paleocanais do rio, e NA aflorante ou raso: → PV – profundidade dos elementos de fundação das pontes e viadutos muito variáveis e necessidade de determinar precisamente o topo rochoso para fins de fundação.	Medidas Mitigadoras	1. Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Realizar análises estratigráficas e estruturais detalhadas para permitir definir o arcabouço geológico. Realizar levantamentos geofísicos para definir intercalações e interdigitações de sedimentos com diferentes propriedades geotécnicas.
				2. É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de fundações de PV.		2. Sísmica de refração, com martelo ou explosivo, dependendo da profundidade esperada do topo rochoso. Sísmica de reflexão para definir estratigrafia sedimentar.
	Local	Túnel em área urbana requer controle efetivo de recalques e do NA. Alguns cortes e aterros em área urbana podem gerar litígios jurídicos, bem como as interferências com áreas de interesse ou proteção ambiental. Cavas de areia, de profundidades variadas de 5 a 50 m, cujos taludes podem se tornar instáveis sujeitos a carregamentos cíclicos.	Medidas Mitigadoras	1. No caso de túneis em zonas urbanas, o método de escavação escolhido deve ter controle efetivo de recalques e do NA, tais como pressurização e injeções de frente de escavação.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Análises hidrogeológicas detalhadas utilizando diferentes técnicas para determinar zonas de recarga, direções preferenciais de percolação, extensão dos impactos. Levantamentos geofísicos por eletrorresistividade e potencial espontâneo orientados segundo os resultados dos estudos geológicos e hidrogeológicos. Realização de ensaios hidrogeológicos especiais.
				2. Evitar cortes e aterros em áreas urbanas que levem a desapropriação ou segregação urbana, alterando traçado ou tipo de obra (considerar túneis ou viadutos).		2. Preceder definição de novos traçados ou diferentes alternativas com realização de análises geológico-estratigráficas, levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão, eletrorresistividade) previamente à execução de sondagens mecânicas.
3. Alterar traçado para evitar a região de cavas de areia, bem como áreas de interesse ou proteção ambiental.	3. Realizar mapeamentos específicos detalhados					
4.	4. Considerar, sempre, a presença de solos expansivos nos projetos de cortes e aterros					

Tabela 8 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-07 Alto do Arujá (km 334-385) (modificado de CPRM 2009)

		Descrição				
Tipo de Obra Predominante	CT AT PV TU	Este trecho se caracteriza por uma sequência de cortes (CT), aterros (AT), pontes de viadutos (PV) e túneis (TU).				
Interferências	AU IT MA RM RB	Área Urbana Rodovias, mas sem maiores interações Áreas de interesse ou proteção ambiental Áreas de exploração de recursos minerais (cavas de areia e pedreiras) Reservatório da barragem de Igaratá, mas sem maiores interações com o traçado proposto				
Cenários de Risco Potenciais	Geral	O topo rochoso varia de aflorante a até 50 m de profundidade, com variações bruscas nas duas direções, devido à estruturação geológica regional (traços NE e NW), o que se constitui num importante condicionante de projeto: → TU – variações das características geomecânicas dos materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solos, rocha alterada e rocha) e presença de água, que pode ocorrer nas passagens por zonas de cisalhamento e falhas; → PV – elementos de fundação com profundidades variadas, alguns muito profundos, e ainda sujeitos a matacões.	Medidas Mitigadoras	1. Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural.
				2. É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de fundações de PV e antecipar as mudanças de frentes de escavação dos TU.		2. Sísmica de refração, com martelo ou explosivo, dependendo da profundidade esperada do topo rochoso.
				3. O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas, frentes de escavação mistas e presença de água.		3. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural, complementadas por análises petrográficas detalhadas e ensaios de abrasividade das rochas.
				4. Dada à presença do NA em pontos localizados (zonas de cisalhamento e falhas), o método deve prever seu controle efetivo, tais como pressurização, injeções e investigações da frente de escavação.		4. Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais.
				5. Para minimizar a seqüência de túneis curtos intercalados a cortes de grande altura, e o conseqüente número de faces mistas e de alterações bruscas de materiais nos túneis e as alturas de corte e emboques, pode-se buscar traçados alternativos que privilegiem túneis mais profundos.		5. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais e levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão e eletrorresistividade).

(continua)

(continuação)

Local	<p>Alguns cortes e aterros em área urbana podem gerar litígios jurídicos, bem como as interferências com áreas de interesse ou proteção ambiental.</p> <p>Cavas de areia, de profundidades variadas de 5 a 50 m, cujos taludes podem se tornar instáveis sujeitos a carregamentos cíclicos.</p> <p>Solos superficiais, em especial os derivados de rochas sedimentares, estão sujeitos à expansibilidade, o que leva a problemas de instabilidade de taludes de cortes (CT) e emboques.</p>	Medidas Mitigadoras	1. Evitar cortes e aterros em áreas urbanas que levem a desapropriação ou segregação urbana, alterando traçado ou tipo de obra (considerar túneis ou viadutos).	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Preceder definição de ovos traçados ou diferentes alternativas com realização de análises geológico-estratigráficas, levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão, eletrorresistividade) previamente à execução de sondagens mecânicas.
			2. Alterar traçado para evitar a região de cavas de areia, bem como as áreas de interesse ou proteção ambiental.		2. Realizar mapeamentos específicos detalhados
			3. Considerando o risco operacional para o empreendimento causado por eventuais instabilizações de taludes, nos casos onde forem necessários cortes e emboques, utilizar medidas complementares de engenharia (retenção, tratamentos de maciço e drenagem) para garantir sua estabilização em níveis de riscos aceitáveis.		3. Realização de análises geológico-estrutural detalhadas como elemento preponderante nas análises de estabilidade de cortes

Tabela 9 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-08 Bacia de São Paulo (km 385-414) (modificado de CPRM 2009)

Descrição		
Tipo de Obra Predominante	TU	Este trecho se caracteriza por túneis (TU) longos em meio urbano, complementados por cortes (CT) e aterros (AT)
Interferências	AU IT	Área Urbana (Guarulhos e São Paulo) Rodovias e pistas e edificações do aeroporto de Guarulhos
Cenários de Risco Potenciais	Geral	<p>Depósitos colúvio-aluvionares, sobre solo residual de rocha sedimentar, sobre substratos de rochas cristalinas em ambiente movimentado tectonicamente, o que dispõem, lado a lado, intercalações de corpos de rocha de alta resistência, sedimentos inconsolidados, solos residuais e rochas alteradas. Tal situação remete aos túneis, mudanças bruscas de características geomecânicas, frentes de escavação mista e presença de água.</p> <p>Medidas Mitigadoras</p> <ol style="list-style-type: none"> Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado. É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de antecipar as mudanças de frentes de escavação dos TU. O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas, frentes de escavação mistas e presença de água. Por se tratar de túneis urbanos, deve-se ter controle efetivo de recalques e do NA, utilizando medidas tais como pressurização, injeções e investigações da frente de escavação. <p>Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados</p> <ol style="list-style-type: none"> Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural. Sísmica de refração, com martelo ou explosivo, dependendo da profundidade esperada do topo rochoso. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural, complementadas por análises petrográficas detalhadas e ensaios de abrasividade das rochas. Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais
	Local	<p>Túnel sob pista e edificações do aeroporto de Guarulhos, com impactos significativos em caso de sinistro.</p> <p>Cortes e aterros em áreas urbanas podem demandar espaço nobre para o aproveitamento urbano presente e futuro, o que significa rejeição pela solução.</p> <p>Medidas Mitigadoras</p> <ol style="list-style-type: none"> Utilizar metodologia similar a túneis em áreas urbanas, com controle efetivo de recalques e do NA, dotado de pressurização, injeções e investigações da frente de escavação. Minimizar cortes e aterros em áreas urbanas, alterando o traçado ou o tipo de obra (considerar túneis ou viadutos). <p>Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados</p> <ol style="list-style-type: none"> Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais Realização de análises geológico-estrutural detalhadas como elemento preponderante nas análises de estabilidade de cortes

Tabela 10 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-09 Mar de Morros de Jundiá (km 414-481) (modificado de CPRM 2009)

		Descrição				
Tipo de Obra Predominante	TU PV CT	Este trecho se caracteriza por túneis (TU) e pontes e viadutos (PV) de expressivas dimensões, complementados por cortes (CT), algumas de grandes alturas.				
Interferências	AU IT RM	Área Urbana Rodovias Pedreiras				
Cenários de Risco Potenciais	Geral	<p>Mais uma vez o topo rochoso irregular se constitui num importante condicionante de projeto, agravado pela presença de vales entulhados (sedimentos colúvio-aluvionares) e pelos contatos entre os diferentes tipos de rochas cristalinas e metassedimentares, destacando ainda que muitos destes contatos podem se apresentar cisalhados ou muito fraturados: → TU – variações das características geomecânicas dos materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solos, rocha alterada e rocha) e presença de água, que pode ocorrer nas passagens por zonas de cisalhamento e falhas; → PV – elementos de fundação com profundidades variadas, alguns muitos profundos, e ainda sujeitos a matacões.</p>	Medidas Mitigadoras	1. Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural.
				2. É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de antecipar as mudanças de frentes de escavação dos TU e posições dos elementos de fundação das pontes e viadutos.		2. Sísmica de refração, com martelo ou explosivo, dependendo da profundidade esperada do topo rochoso.
				3. O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas, frentes de escavação mistas e presença de água.		3. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural, complementadas por análises petrográficas detalhadas e ensaios de abrasividade das rochas.
	Local	<p>Túneis em áreas urbanas – recalques e controle de eventuais instabilidades, bem como controle do NA. Cortes e aterros em áreas urbanas – possibilidade de litígios judiciais. Cortes e aterros em áreas de exploração mineral (pedreiras) – interferências no fornecimento de material de construção da região e da própria obra e possíveis litígios judiciais. Cortes de altura excessiva com interferência direta com a Rodovia dos Bandeirantes – impactos decorrentes de instabilidade inaceitáveis para o empreendimento em si e para o sistema viário Anhanguera-Bandeirantes. Ocorrência de zonas cársticas entre Pirituba e Caieiras – fator de risco para quaisquer tipos de obras, em especial túneis, pontes e viadutos.</p>	Medidas Mitigadoras	1. No caso de túneis urbanos, além dos requisitos já mencionados acima, deve-se ter controle efetivo de recalques e do NA, utilizando medidas tais como pressurização, injeções e investigações da frente de escavação.	Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados	1. Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais.
				2. Evitar cortes e aterros em áreas urbanas que levem a desapropriação ou segregação urbana, alterando traçado ou tipo de obra (considerar túneis ou viadutos).		2. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais e levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão e eletrorresistividade).
				3. Alterar traçado para evitar a região de pedreiras, bem como as áreas de interesse ou proteção ambiental.		3. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais e levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão e eletrorresistividade).

(continua)

(continuação)

			<p>4. Considerando o risco operacional para o empreendimento causado por eventuais instabilizações de taludes, nos casos onde forem necessários cortes e emboques, utilizar medidas complementares de engenharia (contenção, tratamentos de maciço e drenagem) para garantir sua estabilização em níveis de riscos aceitáveis.</p> <p>5. Investigações geológico-geotécnicas específicas para mapear os corpos de rochas carbonáticas e feições cársticas. No caso de túneis, implementar investigação sistemática na frente de escavação.</p>		<p>4. Realização de análises geológico-estrutural detalhadas como elemento preponderante nas análises de estabilidade de cortes.</p> <p>5. Realizar mapeamentos geológico-estruturais voltados especificamente para delimitar corpos carbonáticos e seus solos de alteração e, caso possível, definir os controles geológico-estruturais dos processos de carstificação. Realizar levantamentos geofísicos de eletrorresistividade voltados especificamente para definir a ocorrência de carste coberto.</p>
--	--	--	--	--	--

Tabela 11 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-10 Depressão de Campinas (km 481-511) (modificado de CPRM 2009)

		Descrição		
Tipo de Obra Predominante	CT AT	Este trecho inicia com um longo túnel (TU) na região do aeroporto de Viracopos, e depois se caracteriza por uma sucessão de cortes (CT) e aterros (AT), complementados por pontes e viadutos (PV).		
Interferências	AU IT	Área urbana Rodovias e aeroporto, mas sem maiores interações		
Cenários de Risco Potenciais	Geral	<p>Topo rochoso irregular e intrusões de diques e <i>sills</i> de rocha vulcânica, o que se constitui em condicionamento de projeto:</p> <p>→ TU – variações bruscas das características geomecânicas dos materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solos, e rocha);</p> <p>→ PV – elementos de fundação com profundidades variadas, alguns muitos profundos.</p>	<p>Medidas Mitigadoras</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Investigações geológico-geotécnicas mais detalhadas, interpretadas a luz das técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado. 2. É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de antecipar as mudanças de frentes de escavação dos TU e as posições dos elementos de fundação de pontes e viadutos. 3. O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas e frentes de escavação mistas. 4. 	<p>Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural. 2. Análises geológico-estruturais e geomorfológicas detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural. Sísmica de refração, com martelo ou explosivo, dependendo da profundidade esperada do topo rochoso. 3. Análises geológico-estruturais detalhadas com uso de técnicas modernas de geologia estrutural, complementadas por análises petrográficas detalhadas e ensaios de abrasividade das rochas. 4. Realizar levantamentos geofísicos (magnetometria) para determinação espacial dos corpos de rochas básicas presentes na área.
	Local	<p>Ocorrência de solos colapsíveis pode gerar recalques bruscos e excessivos em aterros.</p> <p>Ocorrência de solos expansíveis pode causar problemas de instabilidades de taludes dos cortes.</p> <p>Cortes e aterros em áreas urbanas – possibilidade de litígios judiciais.</p> <p>Túnel na área de influência do aeroporto de Viracopos, sem confronto direto com pistas, acessos e edificações, mas mesmo assim, eventuais instabilidades podem gerar impactos significativos.</p>	<p>Medidas Mitigadoras</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Investigações geológico-geotécnicas específicas para caracterizar a ocorrência de solos colapsíveis e de solos expansíveis. Uma vez localizados na área do traçado do TAV requerem medidas de engenharia dedicadas, tais como aceleração de recalques e compactação pesada para solos colapsíveis e medidas de proteção superficial do talude e eventualmente de contenção para solos expansíveis. 	<p>Sugestão de métodos e técnicas de investigação para minimizar os riscos indicados</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Caracterização de solos colapsíveis e solos expansíveis:

(continua)

(continuação)

				<p>2. Evitar cortes e aterros em áreas urbanas que levem a desapropriação ou segregação urbana, alterando traçado ou tipo de obra (considerar túneis ou viadutos).</p>		<p>2. Preceder definição de traçados com análises geológico-estruturais e levantamentos geofísicos (sísmica de refração/reflexão e eletrorresistividade).</p>
				<p>3. No caso do túnel na área de influência do aeroporto de Viracopos, embora não haja confronto direto, deve-se adotar medidas de controle de recalques e do NA, tais como em túneis urbanos, minimizando eventuais impactos negativos em casos de acidentes.</p>		<p>3. Análise geológico-estrutural detalhada utilizando técnicas de análise de falhas para determinar direções preferenciais de percolação. Levantamentos geofísicos (eletrorresistividade e potencial espontâneo) orientados segundo os resultados das análises geológico-estruturais. Estudos e ensaios hidrogeológicos especiais.</p>

EQUIPE TÉCNICA

CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS DE INFRAESTRUTURA

Seção de Geotecnia

Gerente do Projeto: Adalberto Aurélio Azevedo, Geólogo, Dr.

Otávio Gandolfo, Geofísico, Dr.

Lauro K. Dehira, Geólogo

Régis G. Blanco, Geólogo

Apoio Administrativo

Ludmila Pedrosa Souto Lima – Técnica Administrativa

São Paulo, 02 de fevereiro de 2.010.

**CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS
DE INFRAESTRUTURA
Seção de Geotecnia**

**Geól. Dr. Adalberto Aurélio Azevedo
Responsável pela Seção
CREASP: 0600849139 – RE 2358.0**

**CENTRO DE TECNOLOGIA DE OBRAS
DE INFRAESTRUTURA**

**Eng^a Dra. Gisleine Coelho de Campos
Diretora do Centro
CREA 06001948055 – RE 8195.0**

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

TABELAS

P.

1 – Técnicas e métodos de investigação geológico-geotécnica de maciços sugeridos e objetivos específicos esperados.....	06
2 – Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-01 Baixada Fluminense (km 000-072) (modificado de CPRM 2009).....	08
3 – Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-02 Escarpa da Serra das Araras (km 072-102). (modificado de CPRM 2009).....	10
4 – Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para CGM-03 Mar de Morros do Paraíba do Sul Fluminense (km 102-144) (modificado de CPRM 2009)	12
5 – Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-04 Vale de Resende (km 144-177) (modificado de CPRM 2009).....	14
6 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-5 Mar de Morros de Queluz (km 177-218) (modificado de CPRM 2009).....	16
7 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-06 Bacia de Taubaté (km 218-334) (modificado de CPRM 2009).....	18
8 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-07 Alto do Arujá (km 334-385) (modificado de CPRM 2009).....	19
9 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-08 Bacia de São Paulo (km 385-414) (modificado de CPRM 2009).....	21
10 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-09 Mar de Morros de Jundiaí (km 414-481) (modificado de CPRM 2009).....	22

11 - Sugestão de investigações geológico-geotécnicas para o CGM-10

Depressão de Campinas (km 481-511) (modificado de CPRM 2009).....24