

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

**SECRETARIA DE GEOLOGIA, MINERAÇÃO  
E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL - CPRM**

**MODELOS**

**GEOLÓGICO-GEOMECÂNICOS**

**E SEUS RISCOS ASSOCIADOS**

**AO LONGO DO**

**TRAÇADO DO TAV**

**ETAPA III**

**AGOSTO 2009**

**CASA CIVIL**  
**Ministra de Estado**  
 Dilma Vana Rousseff

**MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**  
**Ministro de Estado**  
 Edison Lobão

<b>Secretário Executivo</b> Márcio Pereira Zimmermann	<b>Secretário de Geologia</b> <b>Mineração e Transformação Mineral</b> Claudio Scliar
<b>COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS /</b> <b>SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)</b>	
<b>CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO</b>	
<b>Presidente</b> Gilles Carriconde Azevedo	
<b>Vice-Presidente</b> Agamenon Sergio Lucas Dantas	
<b>Conselheiros</b> Benjamin Blay de Brito Neves Cláudio Scliar Luiz Gonzaga Baião Jarbas Raimundo de Aldano Matos	
<b>DIRETORIA EXECUTIVA</b>	
<b>Diretor-Presidente</b> Agamenon Sergio Lucas Dantas	
<b>Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial</b> José Ribeiro Mendes	
<b>Diretor de Geologia e Recursos Minerais</b> Manoel Barretto da Rocha Neto	
<b>Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento</b> Fernando Pereira de Carvalho	
<b>Diretor de Administração e Finanças</b> Eduardo Santa Helena da Silva	

## **CRÉDITOS DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA**

### **COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS Serviço Geológico do Brasil – CPRM**

Geólogo José Ribeiro Mendes  
Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial – DHT

Geólogo Cássio Roberto da Silva  
Departamento de Gestão Territorial –DEGET

Geógrafa Regina Célia Gimenez Armesto  
Divisão de gestão Territorial – DIGATE

### **EQUIPE EXECUTORA**

Engenheiro Civil André Pacheco de Assis

Geóloga Noris Costa Diniz

Geólogo Adalberto Aurélio Azevedo

Geólogo Carlos Eduardo Osório Ferreira

Eng. Agrônomo Edgar Shinzato

Geólogo Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff

Geólogo Jorge Pimentel

Engenheiro Cartógrafo Daniel Medeiros Moreira

## Sumário

I. INTRODUÇÃO.....	05
II. OBJETIVOS.....	07
III. INFRAESTRUTURA EXECUTIVA, EQUIPE TÉCNICA E TRABALHOS REALIZADOS.....	07
III.1. Trabalhos Realizados na Etapa1.....	08
III.2. Trabalhos Realizados na Etapa 2.....	09
III.3. Trabalhos Realizados na Etapa 3.....	11
IV. METODOLOGIA.....	11
IV.1. Fase de Consolidação dos Dados Provenientes das Etapas 1 e 2.....	12
IV.2. Fase de Identificação de Eventos de Riscos Associados.....	15
V. RESULTADOS OBTIDOS NOS TRABALHOS DA ETAPA 3.....	16
V.1. Modelos Geológico-Geomecânicos Conceituais.....	16
V.2. Identificação de Eventos de Riscos.....	40
VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	51
VII. BIBLIOGRAFIA.....	54

## I. INTRODUÇÃO

Este relatório apresenta os resultados da 3ª. Etapa dos estudos geológico-geotécnicos, referente aos modelos geológico-geomecânicos e seus riscos associados, executados pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), ao longo do traçado referencial da via do Trem de Alta Velocidade (TAV), que será implantado para interligar as cidades de Campinas, São Paulo e Rio de Janeiro, totalizando 511 km de extensão.

Os estudos geológico-geotécnicos da 3ª. Etapa foram desenvolvidos com base nos resultados da Etapa 1 (mapeamentos geológico-geotécnicos integrados em sistemas de informação geográfica, SIG), desenvolvidos pela CPRM (2009), nos dados das sondagens executadas durante a Etapa 2 (Geodata, 2009) e no traçado referencial do TAV definido em julho de 2009 (Halcrow & Sinergia, 2009), incluindo seus alinhamentos vertical e horizontal, e respectivos tipos de obras de infraestrutura previstos ao longo da via (cortes, aterros, pontes ou viadutos, e túneis). Vale observar que para garantir o entendimento deste relatório, referente à 3ª. Etapa dos estudos geológico-geotécnicos, parte das informações contidas nos estudos anteriores serão aqui repetidas ou citadas. Esta 3ª. Etapa contou com a visão (subsídios e experiência) de aspectos de geomecânica aplicada a obras de infraestrutura de ferrovias de alta velocidade.

Embora ao longo da realização dos estudos geológico-geotécnicos, o consórcio Halcrow & Sinergia, responsável pelo traçado do TAV, tenha recebido diversos subsídios preliminares quanto aos condicionantes dos terrenos e tipos de eventos de risco potenciais por trechos, o que permitiu adequações de traçado em diversas situações, em momento algum destes estudos coube à CPRM a incumbência de validar o traçado proposto, o qual serviu sempre de base referencial para orientar seus estudos geológico-geotécnicos.

A integração destes três conjuntos de informação permitiu definir modelos geológico-geomecânicos conceituais para cada trecho típico do ambiente geológico-geotécnico, os quais, quando associados aos tipos de obras de

infraestrutura previstos para os respectivos trechos, levam à identificação dos eventos de risco potenciais ao longo do traçado e eventuais recomendações para suas mitigações. Por se tratar de modelos, deve-se reforçar que as informações derivadas de interpretações de dados geológicos apresentadas neste relatório foram obtidas a luz da boa prática de técnicas de geologia de engenharia, considerando a qualidade dos dados brutos, oriundos do mapeamento geológico-geotécnico da Etapa 1 (CPRM, 2009), mas condicionada à escala dos mapas-base. Portanto, cabe aos usuários de tais informações a responsabilidade pelas suas confirmações e validações, ou do contrário, outras derivações e interpretações que julguem mais adequadas ao contexto geológico local ao longo do traçado do TAV.

As análises de riscos geológico-geotécnicos podem e devem ser realizadas em todas as etapas de um empreendimento com as dimensões do TAV. No caso destes estudos da 3ª. Etapa, a identificação de eventos de risco potenciais é compatível com a fase de planejamento (viabilidade). A identificação de tipologias de eventos de risco e sua respectiva análise qualitativa, em relação às estruturas civis da infraestrutura ferroviária do TAV, permitem subsidiar a engenharia em seus aspectos de geometria e adequação de tipos de obras (obras de terra, obras de arte, de contenções, túneis etc.). A adoção de medidas preventivas, baseadas na avaliação geral de riscos e respectivos níveis admissíveis, interessa a tomadores de decisão ou entidades envolvidas no estabelecimento de faixas de tolerabilidade e de aceitabilidade, em termos de custos e prazos, para as etapas subseqüentes do empreendimento. Desta forma, um programa de gerenciamento de riscos, essencial a este tipo de empreendimento, demanda análises de riscos específicas para todas as fases de projeto do empreendimento, as quais devem indicar intervenções e tratamentos por trechos e por estruturas civis da ferrovia, compatíveis com suas respectivas fases de projeto.

## **II. OBJETIVOS**

O objetivo principal dos estudos efetuados é levantar dados referentes à caracterização geológico-geotécnica dos terrenos ao longo da via do TAV, visando subsidiar o levantamento preliminar dos custos das obras, bem como estudos referentes às futuras etapas do projeto.

O objetivo específico da 3ª. Etapa dos estudos geológico-geotécnicos é a consolidação dos dados e resultados dos estudos da Etapa 1 e dos dados das sondagens executadas na Etapa 2, e com base nestes, identificar eventos de risco potenciais para cada compartimento geológico-geomecânico típico ao longo do traçado do TAV, em função dos tipos de obras de infraestrutura previstos. Complementarmente são feitas recomendações que visam mitigar tais riscos, seja pelo melhor conhecimento de suas ocorrências (vulnerabilidade) ou pela minimização de seus impactos e consequências.

## **III. INFRAESTRUTURA EXECUTIVA, EQUIPE TÉCNICA E TRABALHOS REALIZADOS**

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) atuou no Projeto TAV sob a responsabilidade da Diretoria de Hidrologia e Gestão Territorial (DHT), e de seu Departamento de Gestão Territorial (DEGET), com importante contribuição das Superintendências Regionais.

Visando a realização do mapeamento geológico-geotécnico ao longo do traçado referencial do TAV e execução de todo o conjunto de atividades relacionadas ao projeto, inclusive a identificação de seus eventos de riscos associados, foram disponibilizados recursos, tanto de pessoal como financeiros, além da destinação de área física específica para o Projeto em suas dependências.

Os trabalhos foram coordenados por técnicos lotados no Departamento de Gestão Territorial, no Escritório Rio de Janeiro, cuja equipe técnica foi composta por onze geólogos, um engenheiro agrônomo, um engenheiro cartógrafo, um geógrafo, um técnico em cartografia e cinco estagiários de geologia (alunos da Faculdade de Geologia da UERJ), além de secretárias,

técnicos de mineração e pessoal de apoio. Esta equipe contou ainda com o apoio especializado de uma junta de consultores.

### **III.1. Trabalhos Realizados na Etapa 1**

Os trabalhos realizados na Etapa 1 dos estudos geológico-geotécnicos ao longo do traçado referencial do TAV, os quais estiveram a cargo da CPRM, foram iniciados em dezembro de 2008 e concluídos em maio de 2009. As atividades desta etapa incluíram fotointerpretação de imagens orbitais e ortofotos, levantamento e tratamento de dados, mapeamento de campo com 466 pontos descritos em termos de características geológico-geotécnicas, pedológicas e geomorfológicas dos terrenos, elaboração de textos e integração dos dados em ambiente SIG. Nesta etapa, buscou-se caracterizar, além de geologia, hidrogeologia, feições estruturais e sismos, os processos do meio físico e os condicionantes geotécnicos, que apresentam relevante significado em regiões de solos tropicais como substrato de infraestrutura para ferrovia. Tal abordagem, não convencional, possibilitou a otimização do levantamento geológico, adequada aos requisitos de obra ferroviária, considerando as características dos maciços da região estudada. Os produtos desta etapa dos estudos estão sumarizados no relatório Mapeamento Geológico-Geotécnico e Delimitação das Áreas de Risco Geológico ao Longo do Traçado da Via do Trem de Alta Velocidade - TAV, emitido em julho de 2009, em sua versão mais recente (CPRM, 2009). Pode-se também obter estas informações nas páginas web do TAV ([www.tavbrasil.gov.br](http://www.tavbrasil.gov.br)) e da CPRM ([www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)).

Vale notar a existência de uma grande quantidade de dados integrados em ambiente SIG, o que permite inúmeras possibilidades de visualização de um ou mais quesitos, tais como mapas geológicos e geotécnicos, modelo digital do terreno e topografia (curvas de nível e mapas de declividade), localização das investigações (sondagens), feições geológico-estruturais (fraturas, falhas etc.) e suas densidades, zonas com acidentes ou eventos geológicos (erosões, escorregamentos, queda de blocos, feições cársticas, sismos etc.), áreas com condicionantes geotécnicos (solo mole, turfa, cavas, pedreiras etc.), interferências com drenagens e corpos de água, zonas urbanas, domínios

minerários, áreas de interesse ou proteção ambiental, e infraestrutura existente (aeroportos, estradas, barragens, dutos etc.), e por fim, o próprio traçado do TAV e seus respectivos tipos de obras previstos. Cabe aos interessados dominar as ferramentas do ambiente SIG e explorar, da melhor e da mais ampla possível, as diversas possibilidades de combinações de quesitos e suas respectivas visualizações, em busca das características geológico-geotécnicas típicas dos trechos ao longo do traçado do TAV, suas interferências e condicionantes de projeto, e seus eventos de riscos associados.

### **III.2. Trabalhos Realizados na Etapa 2**

Uma das atividades da Etapa 1 dos estudos geológico-geotécnicos foi a definição do Termo de Referência para a realização de sondagens indiretas e diretas ao longo do traçado referencial do TAV, bem como em prováveis jazidas de materiais de empréstimo. Estes serviços foram licitados diretamente pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e executados pela empresa Geodata (Itália), no período entre abril e junho de 2009. De forma sumarizada, foram executados os seguintes itens:

- 40 sondagens a percussão (SP), num total de 569 m;
- 44 sondagens mistas (SM), somando 1306 m (926 m em solo e 380 m em rocha);
- 12 sondagens rotativas (SR), totalizando 869 m;
- 301 sondagens elétricas verticais (SEV);
- 22 caminhamentos elétricos (CA), num total de 54.408 m;
- 100 sondagens a trado (ST), somando 480 m;
- 139 pontos de ensaios nas prováveis jazidas, incluindo ensaios de caracterização completa (ensaios de granulometria, limites de Atterberg e massa específica dos grãos), umidade natural, compactação e índice de suporte Califórnia.

Os logs de sondagens e resultados de ensaios serão apresentados pela CPRM, na sua página web ([www.cprm.gov.br](http://www.cprm.gov.br)) e na página web do Projeto TAV ([www.tavbrasil.gov.br](http://www.tavbrasil.gov.br)). Os logs de sondagens foram também disponibilizados em arquivos digitais/numéricos de modo a facilitar o uso de suas informações

em quaisquer programas de interpretação geológico-geotécnica bi ou tridimensional, ou integrados em ambiente SIG.

Por fim, considerando que logs de sondagens possuem descrições que podem ser consideradas, até certo ponto, como interpretativas, vale registrar que os testemunhos de sondagens, em sua totalidade, foram colocados à disposição para consulta pública na Litoteca da CPRM em Araraquara (SP), onde interessados poderão agendar visitas para verificar ou proceder suas próprias descrições e classificações dos mesmos.

Ainda como parte do escopo dos trabalhos da empresa Geodata dentro do contrato assinado junto ao BID para os estudos da Etapa 2, será realizada uma análise de risco envolvendo um amplo leque de variáveis que possam afetar o cronograma e custo das obras de infraestrutura do TAV, seguindo a metodologia DAT (*Decision Aids in Tunneling*) desenvolvida pelo *Massachusetts Institute of Technology* - MIT (EUA). Esta ferramenta de auxílio a tomadas de decisão estratégicas para empreendimentos de infraestrutura se baseia em dois módulos de informação: variáveis de geologia de engenharia e variáveis construtivas. Os resultados deste tipo de análise permitem:

- Otimizar o grau de detalhamento de investigações geológico-geotécnicas necessárias para reduzir incertezas e seus riscos associados;
- Comparar alternativas de soluções de engenharia (traçado, métodos construtivos etc.);
- Estimar tempo de construção e custos, e suas prováveis variações;
- Simular cenários críticos e seus impactos;
- Identificar a divisão ótima de lotes construtivos em termos de gerenciamento do projeto e do contrato, em função da distribuição e dos níveis de risco associados, e seus respectivos fluxos de caixa orçamentários e planejamento de verbas de contingência.

Uma das finalidades deste relatório da 3ª. Etapa dos Estudos Geológico-Geotécnicos ao longo do traçado do TAV é fornecer subsídios, em termos de variáveis de geologia de engenharia, para a análise de risco supracitada, a ser realizada pela Geodata.

### **III.3. Trabalhos Realizados na 3ª. Etapa**

As atividades da 3ª Etapa dos estudos geológico-geotécnicos, também a cargo da CPRM, foram desenvolvidas ao longo dos últimos oito meses, desde janeiro de 2009. Primeiramente, houve apenas participações esporádicas, visando o conhecimento, a interação entre equipes e a definição de quesitos necessários para esta etapa dos estudos. Numa segunda fase de atividades mais intensas, nos últimos dois meses, buscou-se estudar os produtos das etapas anteriores e com base neles, definir modelos geológico-geomecânicos conceituais, os quais associados aos tipos de obras de infraestrutura previstos ao longo do traçado do TAV, permitiram identificar eventos de risco potenciais em função do ambiente geológico-geotécnico e do tipo de obra, inseridos ainda no ambiente urbano ou de outras interferências quaisquer.

### **IV. METODOLOGIA**

A metodologia dos trabalhos da 3ª. Etapa dos estudos geológico-geotécnicos do Projeto TAV, a cargo da CPRM, pode ser assim resumida:

- Fase de acompanhamento dos trabalhos das Etapas 1 e 2 para garantir a integração das equipes e suas atividades e ainda que os quesitos necessários fossem gerados adequadamente para a realização da 3ª. Etapa;
- Fase de conhecimento dos produtos gerados nas Etapas 1 e 2, que visou estudar os dados e resultados disponíveis pelo mapeamento geológico-geotécnico e pelas sondagens;
- Fase de consolidação dos dados geológico-geotécnicos provenientes dos estudos das Etapas 1 e 2, e integração destes ao longo do traçado do TAV (em sua última versão de julho de 2009).
- Fase de identificação de eventos de risco potenciais ao longo do traçado do TAV, com base nos diversos ambientes geológico-geotécnicos e nos tipos de obras de infraestrutura propostos. Em função dos tipos de eventos de riscos associados, buscou-se recomendações de mitigação de riscos, as quais podem variar desde a necessidade de investigações de campo mais

detalhadas, adequações de métodos construtivos, ajustes de traçado, alteração do tipo de obra etc.

As fases de acompanhamento e de conhecimento dos produtos das Etapas 1 e 2 não necessitam de maiores explicações em termos metodológicos, portanto, os itens a seguir são dedicados às duas últimas fases de trabalho da 3ª. Etapa dos estudos geológico-geotécnicos do Projeto TAV (fases de consolidação dos dados e de identificação de eventos de risco potenciais).

#### **IV.1. Fase de Consolidação dos Dados Provenientes das Etapas 1 e 2**

Todos os mapas-base, dados temáticos, elementos de interesse e dados provenientes do levantamento de campo foram organizados e estruturados em um ambiente SIG, denominado de SIG\_CPRM\_TAV, utilizando o *software* ArcGis, versão 9.3, com a finalidade de possibilitar a visualização, consulta, recuperação, exportação e plotagem dos diversos temas que compõem o Mapeamento Geológico-Geotécnico ao longo do traçado referencial do TAV. Os principais quesitos que compõem o ambiente SIG\_CPRM\_TAV são: mapas e parâmetros cartográficos (curvas de nível e declividades), modelo digital do terreno (relevo sombreado e mapa de aspecto com orientação de vertentes) e mapa hipsométrico, mapas geológicos, mapas pedológicos, domínios e unidades geológico-geotécnicas, feições erosivas e deslizamentos, estruturas geológicas e suas densidades, pontos de mapeamento de campo e de risco geológico-geotécnico, elementos e feições de interesse geotécnico (turfeiras, pedreiras, cavas de areia etc.), localização das investigações geotécnicas, eventos sísmicos, poços tubulares, hidrografia, recursos e títulos minerários, e infraestrutura existente.

Um dos sub-produtos desta metodologia foi a compartimentação regional referente às características geológico-geotécnicas e morfológicas dos terrenos identificados em grandes domínios ao longo da faixa de 20 km de largura que tem como eixo o traçado referencial do TAV, em sua versão de abril de 2009. Daí seguiram-se os trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico de campo e ao término desta etapa, foram identificadas e individualizadas as unidades geológico-geotécnicas existentes ao longo da diretriz da via (escala 1:10.000),

bem como efetuada a descrição das características geotécnicas, fragilidades e suscetibilidades das mesmas frente às prováveis solicitações da obra. Os principais aspectos identificados e descritos são:

- Tipos litológicos e unidades lito-estratigráficas agrupadas em unidades - geológico-geotécnicas;
- Tipos de materiais de coberturas inconsolidadas agrupados em unidades geológico-geotécnicas;
- Aspectos geomorfológicos (forma, declividade, aspecto);
- Tipos pedológicos sob o ponto de vista de geologia de engenharia;
- Espessura aproximada dos perfis de solos transportados (colúvios, aluviões) e dos solos residuais;
- Descrição das características geotécnicas dos solos e rochas (textura, granulometria, mineralogia, plasticidade, anisotropia, orientação da foliação etc.);
- Feições geológico-estruturais (lineamentos regionais, falhas, fraturas etc.) e suas atitudes;
- Grau de fraturamento das rochas;
- Grau de alteração dos maciços rochosos;
- Ocorrências de solos compressíveis;
- Ocorrência de solos colapsíveis;
- Ocorrências de solos ou estratos sedimentares expansíveis;
- Ocorrência de subsidências, cavidades e outras feições cársticas;
- Escavabilidade de solos e rochas (estimativa das categorias de escavação);
- Capacidade de suporte/carga de solos e rochas;
- Erodibilidade dos solos;
- Suscetibilidade a movimentos de massa;
- Ocorrências de turfeiras;
- Nível de água;
- Suscetibilidade a inundações.

O mapeamento resultante dos trabalhos da Etapa 1 consiste da caracterização geológico-geotécnica dos terrenos, abrangendo uma faixa com largura de 2 km, sendo 1 km para cada lado a partir do eixo da diretriz do traçado

referencial da via do TAV, em sua versão de abril de 2009. Este mapeamento teve como referência um mapa preliminar, gerado por geoprocessamento, a partir de mapas existentes em diversas escalas, e consolidado na escala 1:50.000 para uma faixa de 20 km, denominado de mapa geológico integrado, o qual consta do sistema SIG\_CPRM\_TAV. Para a consolidação dos dados geológico-geotécnicos, tomou-se como base este mapeamento e sobre ele, em ambiente SIG, foi integrado o traçado do TAV em sua versão mais recente (julho de 2009), bem como a localização das investigações executadas na Etapa 2.

Vale observar que as sondagens programadas e executadas na Etapa 2 dos estudos geológico-geotécnicos do Projeto TAV tiveram o objetivo de confirmar as litologias que compõem as unidades geológico-geotécnicas identificadas ao longo do traçado do TAV, bem como, ainda de forma preliminar e regional, caracterizar os terrenos, suas espessuras, níveis de água, profundidade do topo rochoso, dentre outros aspectos relevantes para a construção do empreendimento. Deve-se ressaltar ainda que a programação dessas investigações geológico-geotécnicas foi efetuada de acordo com o nível requerido para a etapa atual do empreendimento, compreendendo o reconhecimento dos terrenos do traçado da via para subsidiar os estudos prévios de viabilidade técnica e econômica. Para a elaboração do projeto básico do empreendimento deverão ser executadas outras investigações em nível de detalhamento apropriado a tal finalidade, o que é fundamental para adequar o projeto de engenharia, que apresenta diversas estruturas civis previstas, em termos de obras de terra e obras de arte, à diversidade de terrenos e condicionantes geológico-geotécnicos identificados.

Uma vez integrados aos dados de sondagens e de traçado atualizado no sistema SIG\_CPRM\_TAV, iniciou-se um processo de caminhamento virtual ao longo das progressivas do traçado do TAV, a partir do Rio de Janeiro em direção a Campinas. Para cada compartimento geológico-geomecânico, detalhado em nível de unidades geológico-geotécnicas, os dados provenientes das sondagens foram interpretados a luz das informações do mapeamento, por um grupo de profissionais especialistas (geólogos, geólogos de engenharia,

geofísicos e engenheiros de infraestrutura). Desta consolidação e interpretação dos dados de mapeamento e sondagens, deu-se origem aos modelos geológico-geomecânicos conceituais para cada compartimento.

Os modelos geológico-geomecânicos conceituais foram representados por seções geológico-geomecânicas esquemáticas ao longo do traçado do TAV. Vale observar que estas seções são esquemáticas porque trazem as informações mais relevantes, mas sem atributo quantitativo de progressiva e de profundidade.

#### **IV.2. Fase de Identificação de Eventos de Riscos Associados**

Para a identificação dos eventos de risco potenciais associados às obras do TAV, fez-se o cruzamento dos modelos geológico-geomecânicos conceituais com os tipos de infraestrutura previstos ao longo do traçado, e mais os fatores de risco geológico, condicionantes geotécnicos, interferências de quaisquer espécies etc. Mais uma vez, fez-se o caminhamento virtual ao longo do traçado do TAV, a partir do Rio de Janeiro, desta vez apoiado pelos profissionais especialistas da CPRM e seus consultores, buscando a identificação de eventos de risco potenciais e uma avaliação qualitativa de seus riscos associados.

Para cada compartimento e tipo de infraestrutura foram considerados os seguintes aspectos:

- Litologia dominante do maciço - ou seja, aquele na zona de influência em função do tipo de obra previsto;
- Condições de água subterrânea - em solos, profundidade do nível de água (lençol freático) e em rocha estimativa da presença e pressão de água no maciço ou em descontinuidades;
- Comportamento geotécnico do maciço - identificação de aspectos condicionantes do maciço, tais como compressibilidade excessiva, colapsibilidade, expansibilidade etc.;
- Topo rochoso - profundidade do topo rochoso e sua morfologia esperada (irregular, ondulado, côncavo, “caixa de ovos” etc.);

- Feições geológico-estruturais – lineamentos regionais, falhas, fraturas, zonas de cisalhamento e quaisquer outras descontinuidades desfavoráveis;
- Feições indicativas de risco geológico - zonas erosivas, de deslizamentos, sísmicas, cársticas, solos expansivos, colapsíveis ou sujeitos à combustão instantânea, etc.
- Interferências - zonas urbanas, áreas de proteção ambiental, áreas de atividade ou reservas minerárias, patrimônio histórico, áreas indígenas etc.
- Tipos de obra - aterros, cortes, estruturas de contenção, pontes, viadutos e túneis, com suas dimensões mais relevantes (p.ex. altura, profundidade das fundações, cobertura dos túneis etc.)

Em função destes aspectos, a junta de especialista fez a identificação dos eventos de risco potenciais, seus riscos associados, e recomendações de eventuais medidas mitigadoras.

## **V. RESULTADOS OBTIDOS NOS TRABALHOS DA ETAPA 3**

### **V.1. Modelos Geológico-Geomecânicos Conceituais**

O relatório da CPRM (2009), relativo ao mapeamento ao longo do traçado do TAV, identificou treze compartimentos geomorfológicos e sete domínios geológico-geotécnicos, os quais foram detalhados em 27 unidades geológico-geotécnicas. A Tabela 1 apresenta de modo simplificado a correspondência entre os compartimentos geomorfológicos (CMF) e os domínios geológico-geotécnicos (DGG), bem como suas progressivas (km) aproximadas.

Tabela 1. Correspondência simplificada entre compartimentos geomorfológicos (CMF) e domínios geológico-geotécnicos (DGG).

<b>Progressiva (km)</b>	<b>Compartimento Geomorfológico (CMF)</b>	<b>Domínio Geológico-Geotécnico (DGG)</b>
000-027	CMF-01 Baixada Guanabara	DGG-1 Sedimentos Fluviais Marinhos e Lagunares
027-072	CMF-02 Baixada Fluminense	DGG-6 Sedimentos Aluviais DGG-2 Colinas da Baixada Fluminense DGG-4 Colinas e Morros
072-102	CMF-03 Serra das Araras	DGG-3 Serra das Araras
102-144	CMF-04 Médio Vale Paraíba do Sul Fluminense	DGG-4 Colinas e Morros
144-177	CMF-05 Bacia de Resende	DGG-5 Bacias Sedimentares DGG-6 Sedimentos Aluviais
177-202	CMF-06 Alto Estrutural de Queluz	DGG-4 Colinas e Morros
202-218	CMF-07 Médio Vale Paraíba do Sul Paulista	DGG-4 Colinas e Morros
218-334	CMF-08 Bacia de Taubaté	DGG-5 Bacias Sedimentares DGG-6 Sedimentos Aluviais
334-374	CMF-09 Alto Estrutural de Arujá	DGG-4 Colinas e Morros
374-385	CMF-10 Planalto Paulistano	DGG-4 Colinas e Morros
385-414	CMF-11 Bacia de São Paulo	DGG-5 Bacias Sedimentares DGG-6 Sedimentos Aluviais
414-481	CMF-12 Planalto de Jundiaí	DGG-4 Colinas e Morros
481-511	CMF-13 Depressão Periférica Paulista	DGG-7 Bacia do Paraná

Considerando os compartimentos geomorfológicos, os domínios geológico-geotécnicos e a base geológica dos respectivos locais, foram definidos dez compartimentos de comportamento geomecânico diferenciados (CGM), os quais estão apresentados na Tabela 2, junto com suas respectivas progressivas aproximadas, o que também está ilustrado na Figura 1. O Anexo 1 apresenta um vídeo ilustrando um sobrevôo virtual 3D ao longo do traçado do TAV, passando pelos diversos CGMs. Este vídeo foi obtido pela fusão de aerofotografias de alta definição com o modelo digital do terreno, cujo objetivo é complementar a visualização dos diversos tipos de terrenos, facilitando assim o entendimento do comportamento dos compartimentos geomecânicos.

Tabela 2. Compartimentos de comportamento geomecânico diferenciados (CGM) e suas progressivas aproximadas.

<b>Progressiva (km)</b>	<b>Compartimentos de Comportamento Geomecânico (CGM)</b>
000-072	CGM-01 Baixada Fluminense
072-102	CGM-02 Escarpa da Serra das Araras
102-144	CGM-03 Mar de Morros do Paraíba do Sul Fluminense
144-177	CGM-04 Vale de Resende
177-218	CGM-05 Mar de Morros de Queluz
218-334	CGM-06 Bacia de Taubaté
334-385	CGM-07 Alto de Arujá
385-414	CGM-08 Bacia de São Paulo
414-481	CGM-09 Mar de Morros de Jundiaí
481-511	CGM-10 Depressão de Campinas

Para cada compartimento de comportamento geomecânico diferenciado é apresentada uma tabela contendo as seguintes informações **predominantes**: litologia, condições de água subterrânea, profundidade e características do topo rochoso, feições geológico-estruturais, condicionante geotécnico, feições indicativas de risco geológico, identificação das sondagens executadas no trecho e, por fim, uma descrição geológico-geomecânica. Estas informações **predominantes** de cada compartimento de comportamento geomecânico foram padronizadas em grupos classificatórios de acordo com o tipo ou faixa de variação, conforme apresentado na Tabela 3.

As Tabelas 4 a 13 apresentam estes dados e o sumário descritivo destes compartimentos de comportamento geomecânico diferenciados (CGM), e as figuras 02 a 06 mostram seus respectivos perfis geológico-geomecânicos esquemáticos (longitudinais).

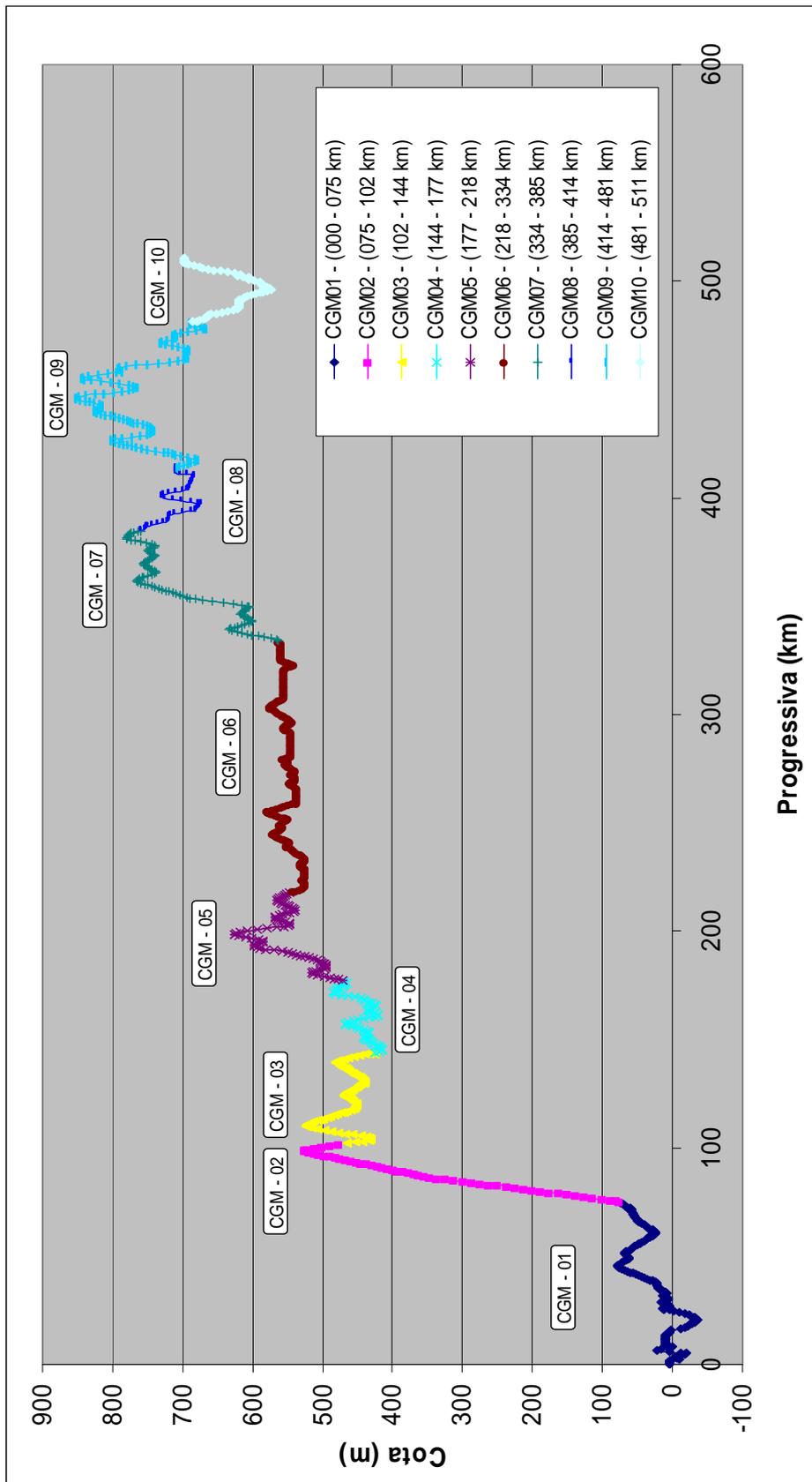


Figura 1. Compartimentos de comportamento geomecânico ao longo do traçado (progressivas em km) do TAV.

Tabela 3. Classificação dos parâmetros **predominantes** para descrição dos compartimentos de comportamento geomecânico.

Quesito		Descrição
Litologia	L1	Solo Transportado (aterros, colúvios, alúvios e sedimentos flúvio-marinhos, em camadas com espessuras variáveis e interdigitadas).
	L2	Depósito Colúvio-Aluvionar
	L3	Solo Residual de rocha cristalina
	L4	Solo Residual de rocha sedimentar
	L5	Solo Residual de rocha metassedimentar
Condições de Água (Profundidade do Nível de Água – NA)	W1	Maciço Seco
	W2	NA aflorante ou raso até 3 m de profundidade
	W3	NA de 3 a 10 m de profundidade
	W4	NA de 10 a 20 m de profundidade
	W5	NA profundo (> 20 m) ou acompanhando as proximidades do contato solo e rocha
Topo Rochoso	T1	Topo Rochoso plano
	T2	Topo Rochoso levemente ondulado
	T3	Topo Rochoso ondulado
	T4	Topo Rochoso com variações bruscas em uma direção
	T5	Topo Rochoso com variações bruscas em duas direções (“caixa de ovos”)
Condicionante Geotécnico	G1	Solo sujeitos à Liquefação (não-coesivos, fofos e saturados)
	G2	Solo Mole (baixa resistência e muito compressível)
	G3	Solo muito Permeável (percolação excessiva)
	G4	Solo Colapsível (recalques excessivos e bruscos)
	G5	Solo Expansível
Feições Geológico-Estruturais	E1	Área com Baixa Concentração de Descontinuidades
	E2	Área com Média Concentração de Descontinuidades
	E3	Área com Alta Concentração de Descontinuidades
	E4	Juntas de alívio que acompanham a morfologia dos morros (esfoliação esferoidal tipo “casca de cebola”)
	E5	Faixas de concentração de zonas de cisalhamento, falhas ou fraturamento excessivo
Feições de Risco Geológico	P1	Ocorrência de solos sujeitos à liquefação

	P2	Ocorrência de solos moles
	P3	Ocorrência de solos muito permeáveis
	P4	Ocorrência de solos colapsíveis
	P5	Ocorrência de solos expansíveis
	P6	Franja de alteração intempérica em grandes profundidades, acompanhando zonas de descontinuidades, com possível ocorrência de água
	P7	Coberturas superficiais sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e erosão
	P8	Campo de matacões (blocos de rocha soltos e imersos em solos)
	P9	Vales entulhados com sedimentos colúvio-aluvionares
	P10	Tálus de grande espessura sujeitos a instabilizações
	P11	Cavas de areia (algumas encobertas com corpos de água)
	P12	Camadas de turfa, com possível ocorrência de linhito (combustão espontânea)
	P13	Ocorrência de feições cársticas

Tabela 4. Dados e sumário do CGM-01 Baixada Fluminense (km 000-072).

Quesito		Descrição
Litologia	L1	Solo Transportado (aterros, colúvios, alúvios e sedimentos flúvio-marinhos, em camadas com espessuras variáveis e interdigitadas).
Condições de Água	W2	NA aflorante ou raso, até 3 m de profundidade (variação de 1 a 20 m).
Topo Rochoso	T3	Topo Rochoso ondulado sobre rochas cristalinas, com variações bruscas de profundidade (variação de 4 a 56 m), em quaisquer direções.
Feições Geológico-Estruturais	E1	Baixa concentração de descontinuidades (predominantemente subverticais), exceto em algumas zonas (progressivas km 026-028, 036-037, 043-051, 073-075). Vale observar que nas áreas cobertas por sedimentos e emersas, esta avaliação fica prejudicada.
Condicionante Geotécnico	G2	Solo Mole (baixa resistência e/ou muito compressíveis).
Feições de Risco Geológico	-x-	-x-
Sondagens Mecânicas	SP-01 a 04 – SM-01 a 04, SM-100 a 101 – SR-01	
Sondagens Geofísicas	SEV-001 a 032	
Descrição Geomecânica	<p>Sedimentos depositados sobre uma paleosuperfície de mar de morros (rochas cristalinas), condicionado pelo gráben da Guanabara, delimitado pelos falhamentos da Serra das Araras (traço NE).</p> <p>Sedimentos com espessuras variáveis, com intercalações de solo mole (espessura de 1 a 10 m), que causam problemas de estabilidade de cortes ou recalques excessivos e diferenciais de aterros, ou até insuficiência de capacidade de suporte.</p>	

	<p>Alguns destes sedimentos são arenosos, fofos e saturados, portanto sujeitos à liquefação devido a carregamentos cíclicos.</p> <p>A transição da Baixada para a Serra das Araras se caracteriza por uma sucessão de morros, com perfil típico de alteração intempérica (solos residuais sobre rochas cristalinas).</p> <p>As fundações de pontes e viadutos devem ser apoiadas no topo rochoso. No entanto, dado à irregularidade de profundidade do topo rochoso, seus elementos de fundação podem sofrer variações bruscas de altura.</p> <p>Quanto aos túneis, devem-se esperar sucessivos trechos de contatos, relativamente bruscos, entre solos de baixa resistência e rochas de alta resistência, inclusive face de escavação mista, os quais ocorrerão em maior número quanto mais superficiais forem os túneis.</p>
--	--

Tabela 5. Dados e sumário do CGM-02 Escarpa da Serra das Araras (km 072-102).

Quesito		Descrição
Litologia	L3	Solo Residual de rochas cristalinas, predominantemente espessos (10 a 40 m).
Condições de Água	W5	NA acompanhando as proximidades do contato solo e rocha.
Topo Rochoso	T5	Topo Rochoso aflorante ou quando em profundidade (0 a 40 m), irregular, acompanhando a morfologia dos morros da escarpa da serra, mas também condicionados estruturalmente pelas feições geológicas.
Feições Geológico-Estruturais	E3	Zonas de alta concentração de discontinuidades (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 discontinuidades 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.
	E4	
	E5	Juntas de alívio que acompanham a morfologia dos morros (esfoliação esferoidal tipo <i>casca de cebola</i> ).
Condicionante Geotécnico	-x-	Faixas de concentração de zonas de cisalhamento e falhas, com traços na direção NE
Feições de Risco Geológico	P6	Franjas de alteração intempérica de grandes profundidades, acompanhando zonas de discontinuidades em quaisquer direções (NE e NW), com possível ocorrência de água.
	P7	Coberturas superficiais sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e erosão.
Sondagens Mecânicas		SP-05 – SM-05 a 10, SM-102 – SR-02 a 06
Sondagens Geofísicas		SEV-033 a 045

---

Descrição Geomecânica	<p>A Serra das Araras é uma seqüência sucessiva de intercalações de rochas granítica e gnáissica, cujos contatos seguem o traço da estrutura principal (NE). Tais rochas são ricas em quartzo e apresentam elevada dureza e resistência quando sãs.</p> <p>Possui um perfil típico de alteração por intemperismo, com espessos níveis de solos (10 a 40 m), seguidos de rochas alteradas e fraturadas (5 a 10 m), até atingir a rocha sã de alta resistência.</p> <p>Os solos derivados deste tipo de rocha normalmente possuem matriz areno-siltosa, o que os tornam sujeitos à erosão superficial e instabilidade de taludes. Já a capacidade de suporte para aterros é boa.</p> <p>O contato entre solo e rocha alterada e fraturada normalmente concentra água e forma uma faixa com característica geomecânica desfavorável a cortes, onde também pode ocorrer presença de juntas de alívio.</p> <p>A presença de níveis de biotita concentrados em rocha gnáissica, quando alterados, pode gerar descontinuidades de baixa resistência ao longo da foliação.</p> <p>Dada a grande espessura dos solos residuais e de alteração, os emboques de túneis podem ser extensos e sujeitos a instabilidades. Uma vez em rocha, trata-se de maciço autoportante, mas sujeito à presença de descontinuidades (zonas de cisalhamento, falhas e fraturas), agravada por alteração intempérica profunda devido à penetração de água.</p>
-----------------------	--

---

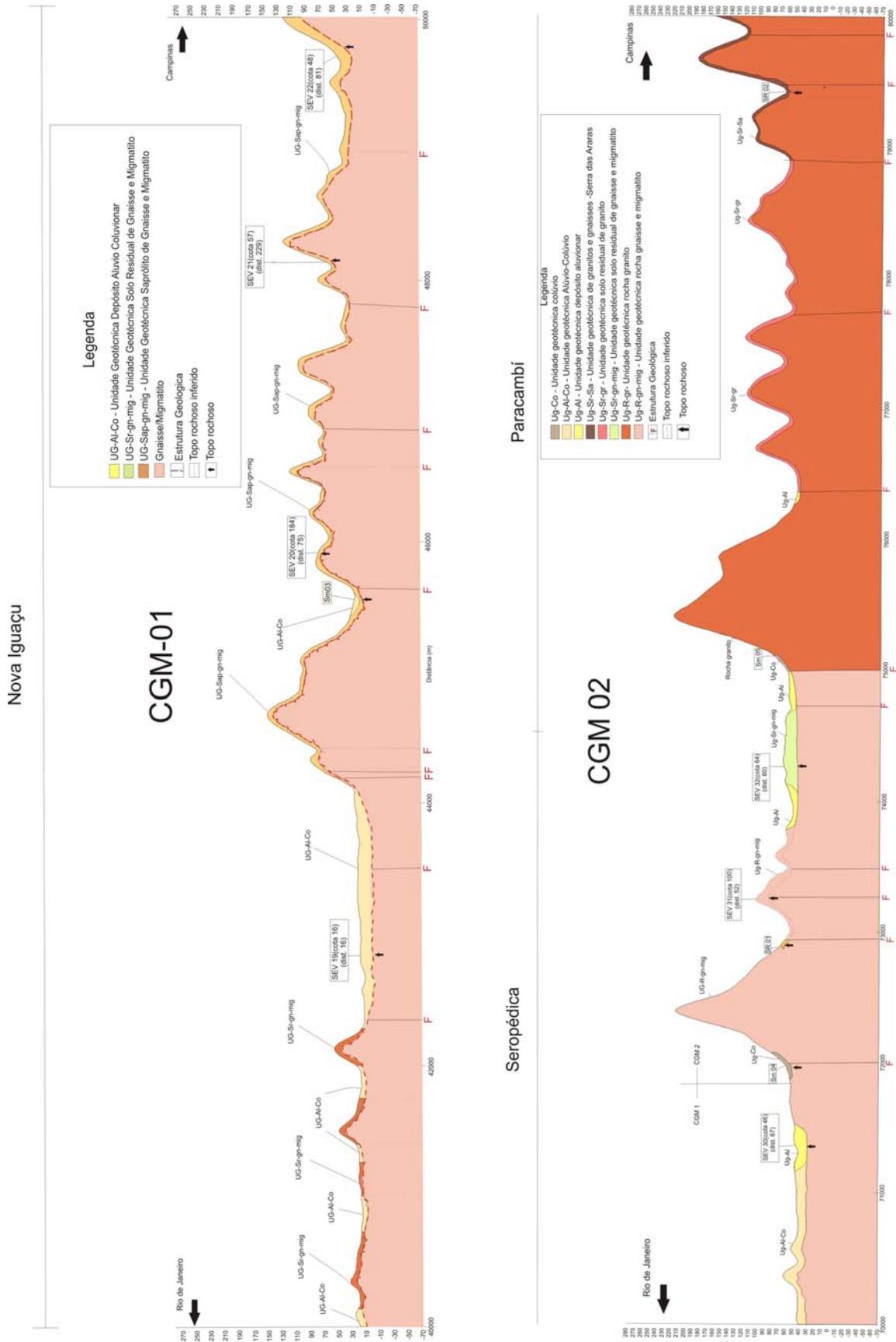


Figura 02. Perfis geológico-geomecânicos, CGM 01 e 02, esquemáticos (longitudinais).

Tabela 6. Dados e sumário do CGM-03 Mar de Morros do Paraíba do Sul Fluminense (km 102-144).

Quesito		Descrição
Litologia	L3	Solo Residual de rochas cristalinas, predominantemente rasos.
Condições de Água	W1 W5	Maciço seco ou NA acompanhando as proximidades do contato solo e rocha
Topo Rochoso	T3	Topo Rochoso aflorante ou quando em profundidade (0 a 15 m), ondulado acompanhando a morfologia dos morros. Profundidades bem maiores são encontradas próximas a zonas de descontinuidades devido à franja de alteração intempérica.
Feições Geológico-Estruturais	E2 E4 E5	Zonas de média concentração de descontinuidades, predominantemente subverticais, com traços nas direções NE e NW. As descontinuidades NE acompanham a foliação e as NW são feições tracionadas e portadoras de água. As feições NW ganham relevância, como demonstrado pelo alinhamento do rio Paraíba do Sul, concordante com esta feição em grande extensão, bem como condiciona o limite oeste da Bacia Sedimentar de Resende. Estas estruturas NW devem ser vistas com cuidado, pois condicionam claramente a drenagem, a borda da bacia de Resende e, ainda, tem-se a presença uma rocha alcalina, o que indica que estas estruturas nessa região podem estar muito mais tracionadas do que nas demais áreas.  Juntas de alívio que acompanham a morfologia dos morros (esfoliação esferoidal tipo <i>cascas de cebola</i> ).  Na direção NE existem faixas de concentração de zonas de cisalhamento e de falhas.
Condicionante Geotécnico	-x-	
Feições de Risco Geológico	P6 P7 P8 P9	Franjas de alteração intempérica em grandes profundidades, acompanhando as zonas de falhas e fraturas em quaisquer direções (NE e NW), com possível ocorrência de água.  Coberturas superficiais sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e erosão.  Campo de matacões (blocos de rocha soltos imersos em solos).  Vales entulhados com sedimentos colúvio-aluvionares, fora da calha atual do rio Paraíba do Sul.
Sondagens Mecânicas		SP-06 a 08 – SM-11 a 14 – SR-103
Sondagens Geofísicas		SEV-046 a 075
Descrição Geomecânica		O mar de morros do Paraíba do Sul Fluminense também é uma seqüência sucessiva de intercalações de rochas granítica e gnáissica, cujos contatos seguem o traço da estrutura principal (NE).  Possui um perfil típico de alteração por intemperismo, com camadas de solos residuais rasos, seguidas de rochas alteradas e fraturadas (5 a 10 m), até atingir a rocha sã de alta resistência.  Os solos derivados deste tipo de rocha normalmente possuem

	<p>matriz areno-siltosa, quando granítica, e argilo-arenosa, quando gnáissica, o que os tornam sujeitos a erosão superficial e instabilidade de taludes progressiva. Já a capacidade de suporte para aterros é boa.</p> <p>O contato entre solo e rocha alterada e fraturada normalmente concentra água e forma uma faixa com característica geomecânica desfavorável a cortes, onde também pode ocorrer presença de juntas de alívio.</p> <p>A presença de biotita em rocha gnáissica, quando alteradas, podem gerar descontinuidades de baixa resistência.</p> <p>Uma vez em rocha, trata-se de maciço autoportante, mas sujeito à presença de descontinuidades (zonas de cisalhamento, falhas e fraturas), agravada por alteração intempérica profunda devido à penetração de água.</p>
--	--

Tabela 7. Dados e sumário do CGM-04 Vale de Resende (km 144-177).

Quesito		Descrição
Litologia	L3 L4 L2	Solo Residual de rochas cristalinas, com ocorrências de Solo Residual de rochas sedimentares e de Depósitos Colúvio-Aluvionares, predominantemente espessos (10 a 50 m).
Condições de Água	W1 W5 W2/3	Maciço seco ou NA acompanhando as proximidades do contato solo e rocha nos morros que conformam as encostas do vale NA raso a até 10 m nos sedimentos.
Topo Rochoso	T3 T4	Topo Rochoso muito irregular em função das variações litológicas, com profundidades de até 15 m, acompanhando a morfologia dos morros das encostas e profundidades bem maiores nos vales entulhados de sedimentos (10 a 50 m).
Feições Geológico-Estruturais	E1/2 E4	Zonas de baixa a média concentração de descontinuidades, predominantemente subverticais, com traços nas direções NE e NW (as descontinuidades NE acompanham a foliação e as NW são feições tracionadas e portadoras de água). A calha do rio Paraíba do Sul tem seu traçado controlado por estas feições NE e NW.  Juntas de alívio que acompanham a morfologia dos morros (esfoliação esferoidal tipo <i>casca de cebola</i> ).
Condicionante Geotécnico	-x-	
Feições de Risco Geológico	P6 P7 P8 P9 P10	Franjas de alteração intempérica em grandes profundidades, acompanhando as zonas de falhas e fraturas em quaisquer direções (NE e NW), com possível ocorrência de água.  Coberturas superficiais sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e erosão.  Campo de matacões (blocos de rocha soltos imersos em solos).  Vales entulhados com sedimentos colúvio-aluvionares, na atual da calha do rio Paraíba do Sul e vales contribuintes.  Tálus de grande espessura na sua porção de sopé, sujeitos a instabilizações.

Sondagens Mecânicas	SP-09 a 14
Sondagens Geofísicas	SEV-076 a 099
Descrição Geomecânica	<p>O Vale de Resende se caracteriza pelo contato entre rochas cristalinas e sedimentares, em margens opostas, e sedimentos colúvio-aluvionares nos vales mais baixos (Bacia de Resende). O rio Paraíba do Sul apresenta uma calha em zigue-zague, determinada pelo arranjo das duas famílias principais de descontinuidades (traços NE e NW).</p> <p>A margem direita (de acordo com a direção de fluxo do rio) do vale (rochas cristalinas) possui um perfil típico de alteração por intemperismo, com camadas de solos residuais rasos a até 10 m de espessura, seguidas de rochas alteradas e fraturadas (5 a 10 m), até atingir a rocha sã de alta resistência.</p> <p>Já na margem esquerda, as rochas de base são de origem sedimentar, e topo rochoso é mais profundo.</p> <p>O contato entre solo e rocha alterada e fraturada normalmente concentra água e forma uma faixa com característica geomecânica desfavorável a cortes, onde também pode ocorrer presença de juntas de alívio.</p> <p>Os sedimentos podem atingir espessuras de grande monta, mas muitas vezes atingem capacidade de suporte suficiente, antes do topo rochoso, quando confinados em profundidade.</p> <p>Nos maciços de rocha cristalina, uma vez em rocha, trata-se de maciço autoportante, mas sujeito à presença de descontinuidades (zonas de cisalhamento, falhas e fraturas), agravada por alteração intempérica profunda devido à penetração de água.</p>

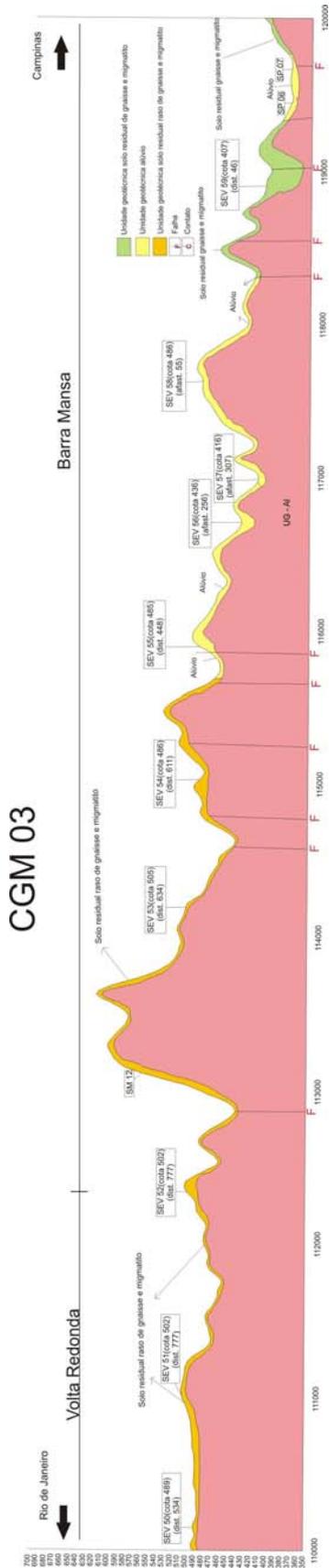


Figura 03. Perfil geológico-geomecânico, CGM 03, esquemático (longitudinal).

Tabela 8. Dados e sumário do CGM-05 Mar de Morros de Queluz (km 177-218).

Quesito		Descrição
Litologia	L3	Solo Residual de rochas cristalinas, com espessuras entre 5 e 50 m.
Condições de Água	W1 W5 W2/3	Nos morros, maciço seco ou NA acompanhando as proximidades do contato solo e rocha. Nos vales entulhados (sedimentos), NA entre 2-10 m de profundidade.
Topo Rochoso	T3	Topo Rochoso aflorante ou quando em profundidade (0 a 50 m), acompanhando a morfologia dos morros. As maiores profundidades são encontradas próximas a zonas de descontinuidades devido à franja de alteração intempérica.
Feições Geológico-Estruturais	E2 E4	Zonas de média concentração de descontinuidades, predominantemente subverticais, com traços nas direções NE e NW. As descontinuidades NE acompanham a foliação e as NW são feições tracionadas e portadoras de água. As feições NE predominam no alinhamento do rio Paraíba do Sul, embora haja também mudanças bruscas de direção devido às estruturas NW. Uma terceira família de descontinuidades aparece, em menor frequência, com traço N, a qual é perpendicular ao eixo longitudinal do traçado do TAV.  Juntas de alívio que acompanham a morfologia dos morros (esfoliação esferoidal tipo <i>cascas de cebola</i> ).
Condicionante Geotécnico	-x-	
Feições de Risco Geológico	P6	Franjas de alteração intempérica em grandes profundidades, acompanhando as zonas de falhas e fraturas em quaisquer direções (NE e NW), com possível ocorrência de água.
	P7	Coberturas superficiais sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e erosão.
	P9	Vales entulhados com sedimentos colúvio-aluvionares, fora da calha atual do rio Paraíba do Sul.
Sondagens Mecânicas		SP-15 a 23 – SM-15 a 20
Sondagens Geofísicas		SEV-100 a 123
Descrição Geomecânica		Os morros do Alto de Queluz pertencem a uma unidade paragnáissica (biotita gnaisse), ao longo de todo o trecho, e ocorrência de rocha alcalina ao norte.  Possui um perfil típico de alteração por intemperismo, com camadas de solos residuais e de alteração (saprolitos), bastante espessas (5 a 40 m), seguidas de rochas alteradas e fraturadas (5 a 10 m), até atingir a rocha sã de alta resistência.  Os solos derivados desta rocha geram encostas sujeitas a erosão superficial e instabilidade de taludes. Já a capacidade de suporte para aterros é boa.  Ocorre expressiva presença de tálus, composto por material heterogêneo, desfavorável para fundações de aterros e cortes.

	<p>Os sedimentos que cobrem os vales entulhados podem atingir espessuras de grande monta, mas muitas vezes atingem capacidade de suporte suficiente, antes do topo rochoso, quando confinados em profundidade.</p> <p>O contato entre solo e rocha alterada e fraturada normalmente concentra água e forma uma faixa com característica geomecânica desfavorável a cortes, onde também pode ocorrer presença de juntas de alívio.</p> <p>A presença de biotita em rocha gnáissica, quanto alteradas, podem gerar descontinuidades de baixa resistência.</p> <p>Uma vez em rocha, trata-se de maciço autoportante, mas sujeito à presença de descontinuidades (zonas de cisalhamento, falhas e fraturas), agravada por alteração intempélica profunda devido à penetração de água.</p>
--	---

Tabela 9. Dados e sumário do CGM-06 Bacia de Taubaté (km 218-334).

Quesito		Descrição
Litologia	L2 L4	Depósito Colúvio-Aluvionar, com espessuras entre 5 m a dezenas de metros, com passagens de solo residual de rocha sedimentar, com espessuras de 5 a 20 m.
Condições de Água	W2 a W5	Nos depósitos colúvio-aluvionares, o NA varia de superficial a muito profundo, em função da proximidade dos corpos de água. Nos altos, o NA acompanha as proximidades do contato solo e rocha.
Topo Rochoso	T5	Topo Rochoso irregular de rocha sedimentar, a qual pode se apresentar inconsolidada nos primeiros 20 m, com variações bruscas de espessuras (5 a 70 m) em função desta inconsolidação e da existência de inúmeros paleocanais do rio.
Feições Geológico-Estruturais	E1	Zonas de baixa concentração de descontinuidades (subverticais), com predominância das feições NE no alinhamento do vale, embora haja também mudanças bruscas de direção do rio devido às estruturas NW.
Condicionante Geotécnico	G2	Recalques excessivos e diferenciais devido a camadas de solo mole interdigitadas nos sedimentos e variações bruscas do topo rochoso.
Feições de Risco Geológico		Potencial de liquefação em camadas de solo arenoso fofo e saturado devido a carregamentos cíclicos.
	P1	Presença errática de camadas de solo mole interdigitadas aos sedimentos arenosos e cascalhos.
	P2	Ocorrência de solos expansivos nos fundos de vales e nas encostas dos tabuleiros sedimentares.
	P5	
	P9	Vales entulhados com sedimentos colúvio-aluvionares, fora da calha atual do rio Paraíba do Sul.
	P11	Cavas de areia, de profundidades variadas de 5 a 50 m, algumas encobertas por corpos de água.
	P12	Algumas camadas contínuas, lateralmente e em profundidade, de ocorrência e exploração de turfas, com espessuras significativas (5-15 m), com possível ocorrência de linhito (combustão espontânea).

Sondagens Mecânicas	SP-24 a 29 – SM-21
Sondagens Geofísicas	SEV-123 a 174
Descrição Geomecânica	<p>A Bacia de Taubaté se caracteriza por espessos depósitos colúvio-aluvionares (até dezenas de metros) sobre rochas sedimentares. O rio Paraíba do Sul corre predominantemente na direção NE, formando muitos meandros e paleocanais, os quais contribuem para as variações bruscas do topo rochoso, que também está condicionado à tectônica que deu origem ao gráben do rio Paraíba do Sul.</p> <p>As rochas de base são de origem sedimentar e possuem resistência variável em função de suas origens, idades e profundidades.</p> <p>Dentre os solos transportados, predominam os solos não-coesivos (areais e cascalhos), mas que podem estar interdigitados por camadas de solo mole, inclusive espessas camadas de turfa. Espera-se que no interior dos meandros ocorram sedimentos argilosos. De forma geral, os sedimentos arenosos e cascalhos podem alcançar capacidade de suporte adequada, antes do topo rochoso, quando confinados em profundidade.</p> <p>A ocorrência errática de camadas de solo mole e as variações bruscas de topo rochoso remetem à necessidade de investigações para definir o perfil adequado de capacidade de suporte em função do tipo de solução de engenharia (tipo de obra). Esta irregularidade do topo rochoso é agravada quando o traçado vai para o norte, nas proximidades do contato da bacia com o embasamento cristalino, devido à ocorrência de zonas movimentadas tectonicamente.</p> <p>Por fim, deve-se destacar o potencial de instabilidade das paredes das cavas de areia e de liquefação de camadas de solo arenoso fofo e saturado causado por carregamentos cíclicos.</p>

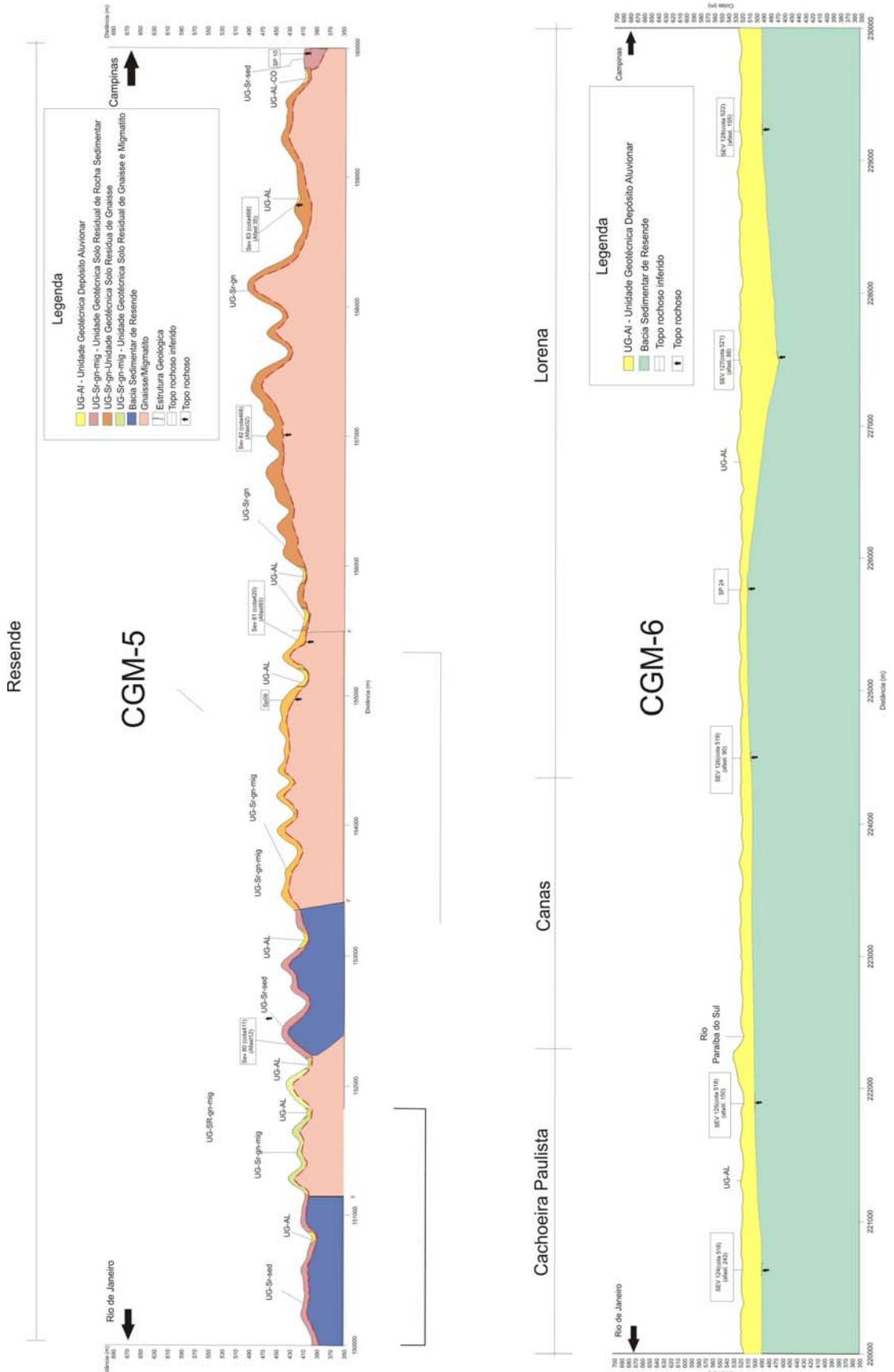


Figura 04. Perfis geológico-geomecânicos, CGM-05 e 06, esquemáticos (longitudinais).

Tabela 10. Dados e sumário do CGM-07 Alto de Arujá (km 334-385).

Quesito		Descrição
Litologia	L3 L4	Solo Residual de rochas cristalinas e sedimentares, com espessuras entre 5 e 50 m.
Condições de Água	W1 W5 W2/3	Nos morros, maciço seco ou NA acompanhando as proximidades do contato solo e rocha Nos vales entulhados (sedimentos), NA entre 2-10 m de profundidade.
Topo Rochoso	T5	Topo Rochoso aflorante ou quando em profundidade (5 a 50 m) acompanhando a morfologia dos morros. As maiores profundidades são encontradas próximas a zonas de descontinuidades devido à franja de alteração intempérica.
Feições Geológico-Estruturais	E2 E4	Nos maciços de rochas cristalinas (rochas graníticas e gnáissicas), zonas de média concentração de descontinuidades, predominantemente subverticais, com traços nas direções NE e NW. As descontinuidades NE acompanham a foliação e as NW são feições tracionadas e portadoras de água.  Juntas de alívio que acompanham a morfologia dos morros (esfoliação esferoidal tipo <i>cascas de cebola</i> ).
Condicionante Geotécnico	-x-	
Feições de Risco Geológico	P6 P7 P8 P9	Franjas de alteração intempérica em grandes profundidades, acompanhando as zonas de falhas e fraturas em quaisquer direções (NE e NW), com possível ocorrência de água. Ocorrência de áreas de superfície sujeitas a erosão. Ocorrência de campo de blocos graníticos (matacões superficiais e em meio a solos). Vales entulhados com sedimentos colúvio-aluvionares, com espessuras expressivas e presença de NA mais superficial.
Sondagens Mecânicas		SP-30 a 32 – SM-22 a 24
Sondagens Geofísicas		SEV-175 a 214
Descrição Geomecânica		<p>O Alto do Arujá se caracteriza pelo alto estrutural que separa as rochas sedimentares das bacias de Taubaté e de São Paulo, e é constituído por corpos de rochas graníticas e gnáissicas (alto propriamente dito), cujos contatos seguem os traços NE.</p> <p>De forma geral, o maciço rochoso possui dois perfis típicos, um de alteração por intemperismo, com camadas de solos residuais bastante espessas (5 a 50 m), e outro com rocha sã aflorante, de alta resistência.</p> <p>A capacidade de suporte dos terrenos é boa, mas pequenas cicatrizes indicam instabilidade de taludes e erosões nas encostas mais íngremes.</p> <p>O contato entre solo e rocha alterada e fraturada normalmente concentra água e forma uma faixa com característica geomecânica desfavorável a cortes, onde também pode ocorrer presença de juntas de alívio.</p> <p>Existem poucos vales entulhados de sedimentos colúvio-aluvionares, cujas espessuras podem atingir a ordem de metros ou</p>

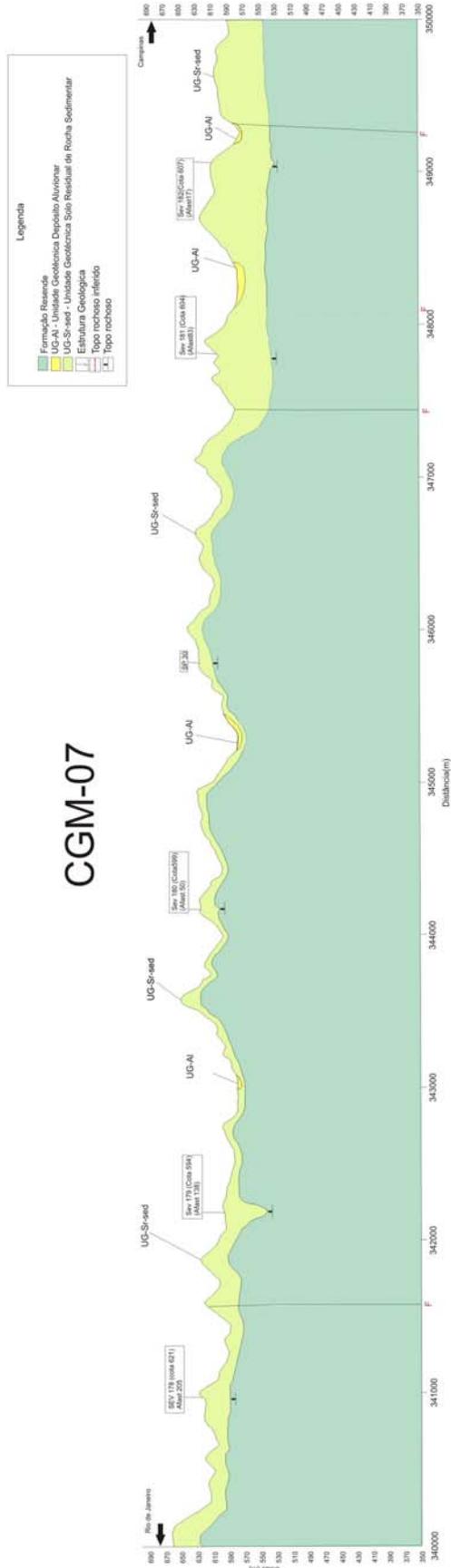
	dezenas de metros.  Nos maciços de rocha cristalina, uma vez em rocha, trata-se de maciço autoportante, mas sujeito à presença de discontinuidades (zonas de cisalhamento, falhas e fraturas), agravada por alteração intempérica profunda devido à penetração de água.
--	---

Tabela 11. Dados e sumário do CGM-08 Bacia de São Paulo (km 385-414).

Quesito		Descrição
Litologia	L2 L4	Depósito Colúvio-Aluvionar, com espessuras entre 5 m a dezenas de metros, com passagens de solo residual de rocha sedimentar, com espessuras de 10 a 20 m.
Condições de Água	W2/3	Nos depósitos colúvio-aluvionares, o nível de água (NA) varia de superficial a medianamente profundo, em função da proximidade dos corpos de água.
Topo Rochoso	T5	Topo Rochoso irregular com rocha sedimentar, espessuras entre 5 a 50 m, sobre substrato de rochas cristalinas, como paleosuperfície da Bacia de São Paulo (algumas intercalações de rochas cristalinas dispõem, lado a lado, corpos de rocha de alta resistência, sedimentos inconsolidados e solos residuais).
Feições Geológico-Estruturais	-x-	
Condicionante Geotécnico	-x-	
Feições de Risco Geológico	P2	Presença errática de camadas de solo mole interdigitadas aos sedimentos arenosos e cascalhos.
	P4	Ocorrência de solos colapsíveis nos topos de morros ou espigões.
Sondagens Mecânicas		SP-33 – SM-25 a 30
Sondagens Geofísicas		SEV-215 a 230
Descrição Geomecânica		<p>A Bacia de São Paulo se caracteriza por espessos depósitos colúvio-aluvionares (até dezenas de metros) sobre rochas sedimentares, e substrato de rochas cristalinas irregular. A borda norte da bacia, próximo ao contato com o embasamento, por onde corre o traçado do TAV, é uma região movimentada tectonicamente, sujeita a variação na profundidade do topo rochoso ("mini grabens" com grande profundidade, com ocorrência de sedimentos terciários e embasamento cristalino). Nas proximidades do aeroporto de Guarulhos ocorre um destes "mini grabens", o caracteriza um importante condicionante do projeto.</p> <p>As rochas da bacia são de origem sedimentar e possuem resistência variável em função de suas origens, idades e profundidades.</p> <p>Dentre os solos transportados, predominam os solos não-coesivos (areias e cascalhos), mas que podem estar interdigitados por camadas de solo mole. De forma geral, só alcançam capacidade de suporte adequada, antes do topo rochoso, quando confinados em profundidade.</p> <p>Algumas camadas de solos sedimentares estão assentes em solos residuais e de alteração provenientes de rochas sedimentares ou cristalinas, o que contribui para variações bruscas de características geomecânicas.</p>

Jacareí

CGM-07



Guarulhos

CGM-08

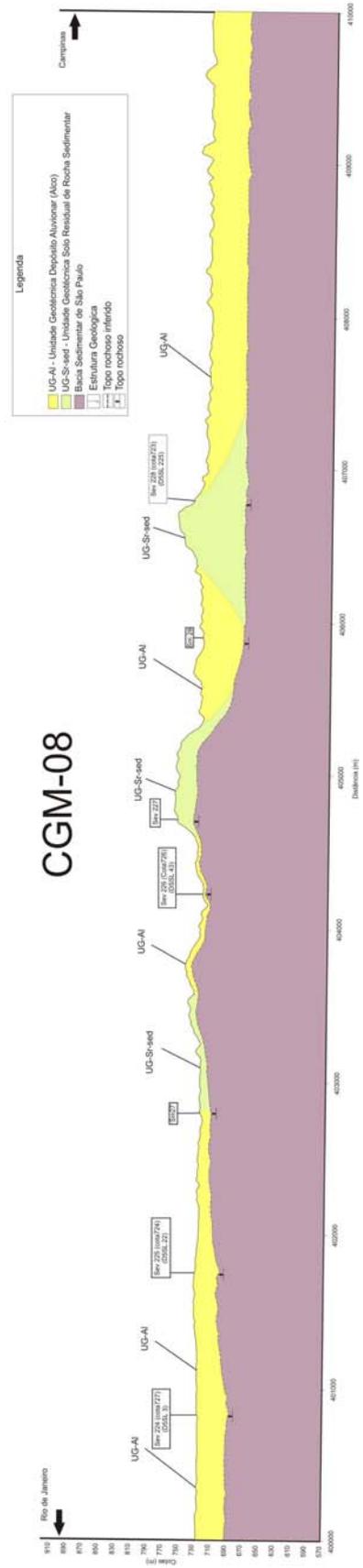


Figura 05. Perfis geológico-geomecânicos, CGM 07 e 08, esquemáticos (longitudinais).

Tabela 12. Dados e sumário do CGM-9 Mar de Morros de Jundiá (km 414-481).

Quesito		Descrição
Litologia	L3 L5	Solo Residual de rochas cristalinas e de rochas metassedimentares, predominantemente espessos (5 a 60 m).
Condições de Água	W1 W5	Maciço seco ou NA profundo acompanhando as proximidades do contato solo e rocha.
Topo Rochoso	T3	Topo Rochoso irregular, com profundidades entre 5 e 40 m. Profundidades bem maiores são encontradas próximas a zonas de descontinuidades devido à franja de alteração intempérica. Também nas zonas cársticas o topo rochoso pode apresentar brusca variação devido à presença de cavidades.
Feições Geológico-Estruturais	E2/3 E4 E5	Zonas de média a alta concentração de descontinuidades, predominantemente subverticais, com traços nas direções NE e NW. As descontinuidades NE acompanham a foliação e as NW são feições tracionadas e portadoras de água. As feições NE delimitam os contatos entre os diversos tipos de rocha ao longo deste trecho. Os contatos entre diferentes tipos de rocha podem se apresentar cisalhados ou muito fraturados.  Juntas de alívio que acompanham a morfologia dos morros nas rochas cristalinas (esfoliação esferoidal tipo <i>cascas de cebola</i> ).  Na direção NE existem faixas de concentração de zonas de cisalhamento e de falhas.
Condicionante Geotécnico	-x-	
Feições de Risco Geológico	P6 P7 P8 P9 P13	Franjas de alteração intempérica em grandes profundidades, acompanhando as zonas de falhas e fraturas em quaisquer direções (NE e NW), com possível ocorrência de água.  Coberturas superficiais sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e erosão.  Campo de matacões (blocos soltos imersos em solos) nas regiões de rochas graníticas.  Vales entulhados com sedimentos colúvio-aluvionares.  Zonas com feições cársticas (Pirituba a Caieiras), alongadas na direção NE, normalmente sob vales encobertos.
Sondagens Mecânicas		SP-34 a 37 – SM-31 a 37, SM-104
Sondagens Geofísicas		SEV-231 a 279
Descrição Geomecânica		Este trecho é o mais heterogêneo em termos de formações rochosas e caracterizando-se por uma seqüência intercalada de corpos de rochas cristalinas, xistos e metassedimentares, cujos contatos seguem o traço da estruturação principal (NE).  Possui um perfil típico de alteração por intemperismo, com níveis de solos residuais espessos (5 a 60 m), seguidas de rochas alteradas e fraturadas (5 a 10 m), até atingir a rocha sã, a qual possui características geomecânicas diferenciadas em função da litologia.  Em termos gerais, a capacidade de suporte para aterros é boa, bem como a resistência para taludes, com ressalva de que a estabilidade

	<p>dos taludes é condicionada por descontinuidades.</p> <p>O contato entre solo e rocha alterada e fraturada normalmente concentra água e forma uma faixa com característica geomecânica desfavorável a cortes, onde também pode ocorrer presença de juntas de alívio.</p> <p>Uma vez em rocha cristalina, trata-se de maciço autoportante, mas sujeito à presença de descontinuidades (zonas de cisalhamento, falhas e fraturas), agravada por alteração circundante profunda devido à penetração de água.</p> <p>Já as rochas metassedimentares se mostraram muito fraturadas mesmo em grandes profundidades.</p> <p>Vale destacar que uma parte do traçado do TAV passa por zona sujeita à ocorrência de feições cársticas (rochas calcárias carstificadas).</p>
--	---

Tabela 13. Dados e sumário do CGM-10 Depressão de Campinas (km 481-511).

Quesito		Descrição
Litologia	L5 L3 L4	Solo Residual de rochas metassedimentares, cristalinas e sedimentares, espessos (3 a 30 m).
Condições de Água	W1 W5	Maciço seco ou NA acompanhando as proximidades do contato solo e rocha
Topo Rochoso	T4	Topo Rochoso irregular, com variações bruscas de profundidade, e devido ao contato com a borda da bacia sedimentar do Paraná e ocorrências de intrusões de diques e <i>sills</i> de rocha vulcânica básica nas proximidades de Campinas.
Feições Geológico-Estruturais	-x-	
Condicionante Geotécnico	-x-	
Feições de Risco Geológico	P4	Ocorrência de solos colapsíveis.
	P5	Ocorrência de solos expansíveis.
Sondagens Mecânicas		SP-38 a 40 – SM-38 a 40
Sondagens Geofísicas		SEV-280 a 301
Descrição Geomecânica		<p>A bacia do Paraná é condicionada estruturalmente, o que, provavelmente, condiciona o seu embasamento, provocaria irregularidades do topo rochoso (passagens de rochas em meio a solos com diferentes capacidades geomecânicas). Os diques de diabásio devem seguir direção NW, que é a mesma direção do enxame de diques do sudeste do Brasil. Os <i>sills</i> são rochas vulcânicas tabulares, encaixadas nos sedimentos. Ou seja, a Depressão de Campinas é uma região coberta por solos residuais espessos, sedimentos interdigitados com diferentes capacidades de suporte, sobre rochas metassedimentares, e algumas intrusões de diques e <i>sills</i> de rochas básicas de alta resistência</p> <p>Os solos derivados destas rochas possuem boa resistência e</p>

---

	<p>capacidade de suporte. No entanto, ocorrem solos expansivos no substrato sedimentar e solos colapsíveis nos topos de morros.</p> <p>Ocorrem vales preenchidos por depósitos aluvionares, onde os níveis de água estão mais superficiais (3-10 m).</p> <p>Uma vez em rocha, tanto as cristalinas quanto as metassedimentares e sedimentares, trata-se de maciço autoportante, mas sujeito à presença de discontinuidades (zonas de cisalhamento, falhas e fraturas, acamamentos e contatos), agravada por alteração intempérica profunda devido à penetração de água.</p>
--	---

---

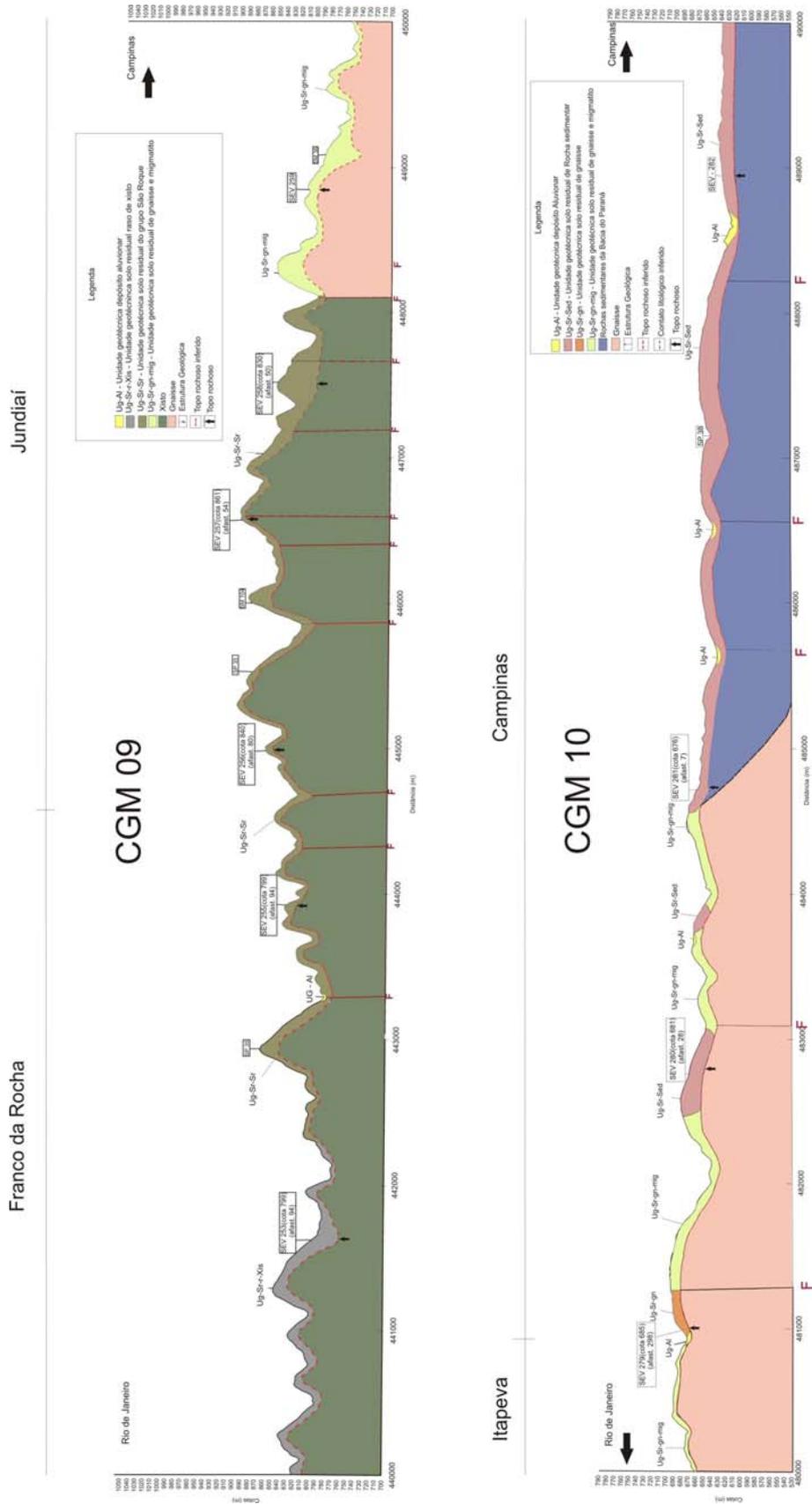


Figura 06. Perfis geológico-geomecânicos, CGM 09 e 10, esquemáticos (longitudinais).

## V.2. Identificação de Eventos de Riscos

Uma vez concebidos os modelos geológico-geomecânicos conceituais para os compartimentos de comportamento geomecânico diferenciados (CGM), fez-se a associação deles com os tipos de obras de engenharia propostos para cada trecho e respectivas interferências mais relevantes, donde resulta a identificação dos eventos de riscos potenciais. Não é objetivo deste relatório proceder a uma análise de risco (qualitativa ou quantitativa), avaliando suas probabilidades de ocorrências e seus respectivos impactos (consequências), mas somente a identificação dos eventos que podem gerar riscos. Por fim, também são apresentadas eventuais recomendações de medidas de mitigação de risco, ou seja, aquelas com potencial de extinguir as fontes de risco ou de minimizá-los. As Tabelas 14 a 23 apresentam os resultados desta análise de identificação de eventos de risco potenciais para cada CGM.

Tabela 14. Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-01 Baixada Fluminense (km 000-072).

		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)
Eventos de Risco Potenciais	Geral	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; → CT - instabilidade dos taludes e afluxo de água.  Topo rochoso ondulado, com variações bruscas de profundidade nas duas direções, encobertos por sedimentos: → PV - elementos de fundação com profundidade variadas, alguns muito profundos, requerendo definição precisa do topo rochoso para assentamento de cada elemento de fundação (do contrário, recalques excessivos e diferenciais como os observados na Linha Vermelha); → TU – variações bruscas das características geomecânicas do materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solo e rocha) e presença de água.
	Local	Refinaria de Manguinhos – provável ocorrência de solos contaminados por hidrocarbonetos, os quais requerem áreas especiais de bota-fora, bem como sistema de escavação e

	<p>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	<p>Geral</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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. 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.</p> <p>Para minimizar o número de faces mistas e de alterações bruscas de materiais, pode-se buscar traçados alternativos que privilegiem túneis mais profundos.</p> <p>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.</p>
	<p>Local</p> <p>Alterar o traçado para evitar o trecho abaixo da refinaria Manguinhos, ou verificar se há contaminação de terrenos circundantes por hidrocarbonetos.</p> <p>Alterar o traçado ou o tipo de obra para túnel ou viaduto para evitar confronto com as edificações da UFRJ.</p> <p>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.</p> <p>Alterar o traçado no trecho da morraria do sopé da Serra das</p>

		Araras, de modo a minimizar a altura de cortes e o número de emboques, ou seja, um traçado mais profundo.
--	--	---

Tabela 15. Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-02 Escarpa da Serra das Araras (km 072-102).

		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).
Eventos de Risco Potenciais	Geral	<p>Topo rochoso ondulado muito irregular nas duas direções, devido às zonas de alta concentração de discontinuidades (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 discontinuidades 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 discontinuidades:</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;</p> <p>→ CT – Instabilidade de taludes de cortes e emboques, com impactos muito negativos para a operação do empreendimento.</p>
	Local	Interferência das obras com a barragem e seu reservatório.
Medidas Mitigadoras	Geral	<p>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.</p> <p>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.</p>
		<p>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. 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.</p> <p>Para minimizar o número de faces mistas e de alterações bruscas</p>

		<p>de materiais nos túneis e as alturas de corte e emboques, pode-se buscar traçados alternativos que privilegiem túneis mais profundos.</p> <p>Deve-se buscar alternativas de traçado que minimizem as obras de superfície, já que a encosta da serra possui uma grande instabilidade intrínseca. 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>
	Local	Estudos e investigações hidrogeológicas para estimar a influência das obras de túneis na barragem e seu reservatório.

Tabela 16. Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-03 Mar de Morros do Paraíba do Sul Fluminense (km 102-144).

		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.
Eventos 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 conseqüente 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 muito profundos. Deve-se atentar para a presença de matacões, os quais podem falsear a determinação do topo rochoso;</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>
	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	Geral	<p>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.</p> <p>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.</p>

		<p>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. 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.</p> <p>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>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>
	Local	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.

Tabela 17. Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-04 Vale de Resende (km 144-177).

		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 seqüência 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.
Eventos 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 conseqüente 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 matações, os quais podem falsear a determinação do topo rochoso;</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>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>
	Local	Ocorrência de tálus no sopé, os quais podem ser instáveis.

Medidas Mitigadoras	Geral	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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>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>
	Local	Alterar traçado para evitar zonas de tálus, ou investigar melhor a características de estabilização do mesmo.

Tabela 18. Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-5 Mar de Morros de Queluz (km 177-218).

		Descrição
Tipo de Obra Predominante	TU PV	Este trecho se caracteriza por uma seqüência 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.
Eventos 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>
	Local	Ocorrência de tálus no sopé, os quais podem ser instáveis.

Medidas Mitigadoras	Geral	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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>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>
	Local	Alterar traçado para evitar zonas de tálus, ou investigar melhor a características de estabilização do mesmo.

Tabela 19. Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-06 Bacia de Taubaté (km 218-334).

		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
Eventos de Risco Potenciais	Geral	<p>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:</p> <p>→ PV – profundidade dos elementos de fundação das pontes e viadutos muito variáveis e necessidade de determinar precisamente o topo rochoso para fins de fundação.</p>
	Local	<p>Túnel em área urbana requer controle efetivo de recalques e do NA.</p> <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>

Medidas Mitigadoras	Geral	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.
	Local	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.  Evitar cortes e aterros em áreas urbanas que levem a desapropriação ou segregação urbana, alterando traçado ou tipo de obra (considerar túneis ou viadutos).  Alterar traçado para evitar a região de cavas de areia, bem como áreas de interesse ou proteção ambiental.

Tabela 20. Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-07 Alto do Arujá (km 334-385).

		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
Eventos 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 muitos profundos, e ainda sujeitos a matacões.
	Local	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.  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.
Medidas Mitigadoras	Geral	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

		<p>incertezas e contribuindo para um programa de gerência de riscos mais adequado.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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>
	Local	<p>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>Alterar traçado para evitar a região de cavas de areia, bem como as áreas de interesse ou proteção ambiental.</p> <p>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>

Tabela 21. Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-08 Bacia de São Paulo (km 385-414).

		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
Eventos de Risco Potenciais	Geral	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.
	Local	Túnel sob pista e edificações do aeroporto de Guarulhos, com impactos significativos em caso de sinistro.  Cortes e aterros em áreas urbanas podem demandar espaço nobre para o aproveitamento urbano presente e futuro, o que significa rejeição pela solução.
Medidas Mitigadoras	Geral	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

		<p>mais adequado.</p> <p>É essencial buscar a definição precisa do topo rochoso para fins de antecipar as mudanças de frentes de escavação dos TU.</p> <p>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>
	Local	<p>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.</p> <p>Minimizar cortes e aterros em áreas urbanas, alterando o traçado ou o tipo de obra (considerar túneis ou viadutos).</p>

Tabela 22. Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-09 Mar de Morros de Jundiá (km 414-481).

		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
Eventos 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:</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, e ainda sujeitos a matacões.</p>
	Local	<p>Túneis em áreas urbanas – recalques e controle de eventuais instabilidades, bem como controle do NA.</p> <p>Cortes e aterros em áreas urbanas – possibilidade de litígios judiciais.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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	Geral	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>
	Local	<p>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.</p> <p>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>Alterar traçado para evitar a região de pedreiras, bem como as áreas de interesse ou proteção ambiental.</p> <p>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.</p> <p>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>

Tabela 23. Identificação de eventos de risco potenciais e medidas mitigadoras para o CGM-10 Depressão de Campinas (km 481-511).

		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
Eventos 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>
	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>
Medidas Mitigadoras	Geral	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>O método de escavação de TU deve prever equipamentos capazes de lidar com mudanças bruscas de características geomecânicas e frentes de escavação mistas.</p>
	Local	<p>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> <p>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>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>

## VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Este relatório da 3ª. Etapa dos estudos geológico-geotécnicos, realizados pela CPRM, após consolidação dos dados e resultados dos estudos das Etapas 1 e 2, apresentou os dez compartimentos de comportamento geomecânico diferenciados (CGM) ao longo do traçado do TAV e suas características mais relevantes, bem como a identificação de eventos de riscos potenciais e respectivas medidas mitigadoras. Em função dos resultados desta 3ª. Etapa pode-se fazer as seguintes considerações finais e recomendações:

- Os dados geológico-geotécnicos disponibilizados nas Etapas 1 e 2 e a análise de identificação de tipologias de riscos realizada na Etapa 3 são

compatíveis com a fase de planejamento (ou viabilidade) de um empreendimento de porte similar ao Projeto TAV.

- O traçado do TAV proposto e seus respectivos tipos de obras de infraestrutura para cada trecho são de responsabilidade do consórcio Halcrow & Sinergia, e em momento algum foi incumbência dos estudos conduzidos pela CPRM quaisquer formas de validação, somente uma análise de identificação de tipologias de riscos em função dos compartimentos geológico-geomecânicos, de seus tipos de obras de infraestrutura, de suas interferências urbanas e ambientais etc.
- Vale observar que, qualquer que seja o traçado proposto para o TAV, há sempre a possibilidade de realizar uma identificação de tipos de riscos, sendo o que altera de uma alternativa para outra, é a quantificação final dos riscos associados; ou seja, a melhor alternativa é aquela viável técnica e economicamente e que minimize os riscos potenciais.
- Em função dos dados geológico-geotécnicos já disponíveis (Etapas 1 e 2) e dos tipos de obras de engenharia previstos ao longo do traçado do TAV foi possível identificar diversos eventos de risco potenciais (Etapa 3), alguns recorrentes em todos os trechos e outros mais específicos.
- A fonte de eventos de risco mais recorrente é a irregularidade do topo rochoso, com grandes e bruscas variações de profundidade, o que afeta diretamente a escolha dos métodos de túneis e as dimensões dos elementos de fundação de obras de arte (pontes e viadutos).
- Esta irregularidade de topo rochoso é agravada pela presença de zonas de cisalhamento e falhas, intemperização profunda, vales entulhados, regiões tectonicamente movimentadas, paleocanais, intrusões de rochas (diques e *sills*), sendo que o somatório destes fatores gera alternâncias de características geomecânicas ao longo do traçado, e ocorrência de água nas zonas alteradas ou no contato solo e rocha.
- As regiões das escarpas de serra e do mar de morros estão sujeitas a instabilizações de taludes, devido à alta declividade, intensa pluviosidade, características dos terrenos e planos ou zonas de discontinuidades que acompanham a morfologia dos morros (p.ex., juntas de alívio devido à esfoliação esferoidal).

- Outras fontes de eventos de risco que merecem destaque são: presença de camadas de solos moles interdigitadas a sedimentos mais competentes, ocorrência de solos expansivos e de solos colapsíveis, camadas e bolsões de turfas.
- Em todas estas situações, a forma mais eficiente de mitigar risco de origem geológica é conduzir programas de investigações geológico-geotécnicas mais detalhados, compatíveis com as diversas fases de projeto do empreendimento, cujos dados sejam interpretadas a luz das boas técnicas de geologia de engenharia, de modo a aperfeiçoar o modelo geológico-geomecânico vigente para cada local, minimizando as incertezas e contribuindo para um programa de gerenciamento de riscos mais adequado.
- Como já dito, uma vez ser impossível cercar toda a variabilidade geológico-geotécnica, deve ser implementado em todas as fases do empreendimento um programa de gerenciamento de risco, integrando os diversos atores (proprietários, projetistas, construtores e operadores), mas conduzido por instituição independente e competente.
- Considerando os eventos de riscos potenciais identificados nestes estudos, recomenda-se dar continuidade à avaliação e análise de risco, de forma qualitativa e quantitativa, adicionando além das variáveis geológico-geomecânicas, as hidrológicas, as relacionadas a métodos construtivos, as sociais, ambientais etc. Ou seja, uma análise de risco compatível com o porte, importância e impactos do empreendimento.
- De forma mais específica para os diversos tipos de obras de engenharia pode-se recomendar que:
  - Túneis - programas de investigações complementares devem incluir sondagens orientadas e parâmetros necessários para caracterização e classificação geomecânica dos diversos tipos de maciços circundantes, bem como dados de resistência e abrasão das rochas; os métodos de túneis devem contemplar variações bruscas de características geomecânicas, ocorrência de frentes de escavação mistas, presença de NA e controle efetivo de recalques quando em meios urbanos;

- Pontes e viadutos - dada à variação brusca do topo rochoso para fins de capacidade de suporte, estes vão requerer investigações específicas para cada elemento de fundação, os quais terão profundidades muito variadas, e alguns muito profundos;
  - Cortes – de forma geral, vão requerer medidas complementares de engenharia, quanto a tratamentos de maciço e contenções, uma vez que eventuais instabilidades podem gerar enormes impactos na operação do empreendimento.
  - Aterros – nas áreas dominadas por sedimentos, deve-se considerar todas as fontes de recalques excessivos e diferenciais, do contrário tais eventos afetarão a operação (velocidade) do TAV.
- Por fim, vale destacar a importância de um órgão centralizador para ser o depositário de todos os dados geológico-geotécnicos gerados em todas as fases do empreendimento, gerir as especificações e normas do empreendimento, bem como controlar todas as formas de monitoramento e aferições de segurança.

## VII. BIBLIOGRAFIA

CPRM (2009). *Mapeamento Geológico-Geotécnico e Delimitação das Áreas de Risco Geológico ao Longo do Traçado da Via do Trem de Alta Velocidade – TAV: SIG\_CPRM\_TAV*. Relatório da Primeira Etapa, Serviço Geológico do Brasil, CPRM, Rio de Janeiro, RJ, 192 p. ou [www.tavbrasil.gov.br](http://www.tavbrasil.gov.br).

Geodata (2009). *Brazilian High-Speed Train Project: Geotechnical Studies*. Geodata, Turim, Italy, [www.tavbrasil.gov.br](http://www.tavbrasil.gov.br).

Halcrow & Sinergia (2009). *Brazil TAV Project*. Halcrow & Sinergia Consortium, [www.tavbrasil.gov.br](http://www.tavbrasil.gov.br).