

**ESTUDOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS E SEUS
RISCOS ASSOCIADOS AO LONGO DO TRAÇADO
REFERENCIAL DO TAV BRASIL**

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB / CPRM

Prof. André Assis, PhD (UnB / ITA)

Instituto de Engenharia / CBT

São Paulo, 28 de outubro de 2009

Estudos Geológico-Geotécnicos

- **Introdução**
- **Objetivos**
- **Metodologia**
- **Compartimentação Geológico-Geomecânica**
- **Identificação de Eventos de Riscos Associados**
- **Considerações Finais e Recomendações**

Introdução

- **Traçado referencial do TAV Brasil (511 km)
→ Halcrow & Sinergia**
- **Estudos geológico-geotécnicos visando:**
 - Modelos geológico-geomecânicos esquemáticos
 - Orientar investigações futuras
- **Disponibilidade integral dos dados**
- **Ênfase para a importância de gerenciamento de riscos em empreendimentos deste porte**

Etapas dos Estudos

- Mapeamento geológico-geotécnico integrados em SIG (Etapa 1) → SGB (CPRM)
- Dados e resultados das sondagens executadas (Etapa 2) → SGB (CPRM) / Geodata
- Consolidação dos dados e identificação de eventos de riscos potenciais (Etapa 3) → SGB (CPRM)
- **Estudos Complementares: Análise de Riscos (Geodata) e Relatório IPT (Métodos IGG)**

Objetivos

- **Caracterização geológico-geotécnica dos materiais para fins de otimização do traçado, planejamento da obra e avaliação de custos**
- **Consolidação e integração dos dados e resultados das Etapas 1 e 2**
- **Definir compartimentos geológico-geomecânicos e identificar eventos de risco potenciais em função dos tipos de obras**










Unidades Geotécnicas

	Corpos d'água
	Mar raso sobre argila mole
	Al Unidade Geotécnica Aluvionar
	Co Unidade Geotécnica Coluvionar
	Al-Co Unidade Geotécnica Alúvio-Coluvionar
	Ug FIM Unidade Geotécnica Flúvio-Marinho
	ATM Unidade Geotécnica Aterro sobre Mangue, Restinga e Solo Residual
	Sr Sed Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar
	Sr gn Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaiss
	Sr sr Unidade Geotécnica Solo Residual Grupo São Roque
	R Alc Unidade Geotécnica Rocha Alcalina
	R Vul b Unidade Geotécnica Rocha Vulcânica Básica
	Ra Sed Unidade Geotécnica Rocha Alterada Sedimentar
	R gn mg Unidade Geotécnica Rocha Gnaiss e Migmatitos
	Sap gn mg Unidade Geotécnica Saprolítico de Gnaiss e Migmatitos
	R gn mg Unidade Geotécnica Rocha Gnaiss e Migmatitos
	Sr gn mg Unidade Geotécnica Solo Residual Raso de Gnaiss e Migmatitos
	Sr gn mg Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaiss e Migmatitos
	Sr Sed Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar
	Sr Sed pi Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sed. Fm. Pindamonhangaba
	Sr Sed tr Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar Fm. Tremembé
	Sr Xis Unidade Geotécnica Solo Residual de Xisto
	Sr r Xis Unidade Geotécnica Solo Residual Raso de Xisto
	Sr gr Unidade Geotécnica Solo Residual de Granito
	Sr r gr Unidade Geotécnica Solo Residual Raso de Granito
	Sr gr Unidade Geotécnica Rocha Granito
	Sr sa Unidade Geotécnica Solo Residual Serra das Araras
	R Vul b Unidade Geotécnica Solo Residual Rocha Vulcânica Básica
	Talus Unidade Geotécnica Tálus


Feições Erosivas

	Campo de Blocos		Queda de Blocos
	Deslizamento		Rastejo
	Erosão Laminar		Ravinamento
	Erosão hídrica		Solapamento de Margem
	Voçoroca		







Infraestrutura

	Aeroporto
	Aterro
	Duto
	Eixo de Barragem - FURNAS
	Extração de areia
	Igreja - Patrimônio histórico
	Pedreira / Mineradora (gr - granito, fl - folhelho, bs - basalto)
	Represa
	Terraplanagem




Traçado Referencial

	Ponte
	Superfície
	Túnel
	Buffer 2 km
	Municípios

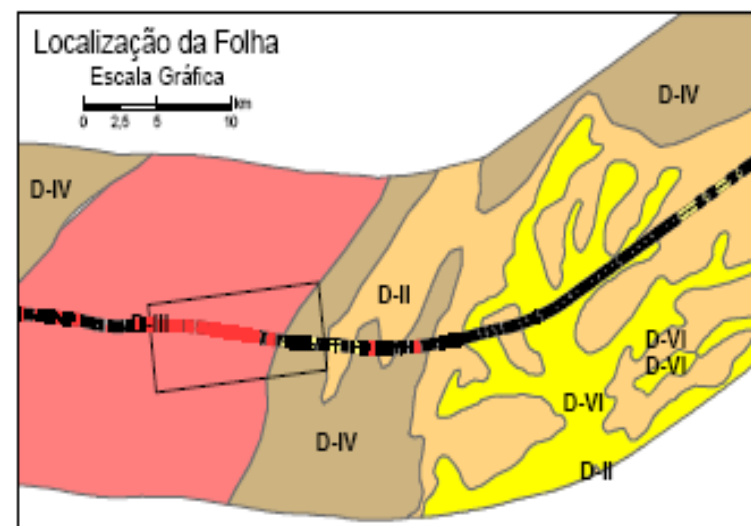
Estruturas Geológicas

	Dique
	Falha
	Falha e ou Zona de Cisalhamento
	Lineamentos
	Sinforme Normal
	Zona de Brecha

Outras Feições Geotécnicas

	Carste solo colapsível
	Campo de blocos
	Turfeiras

Domínios Geotécnicos



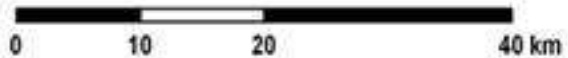
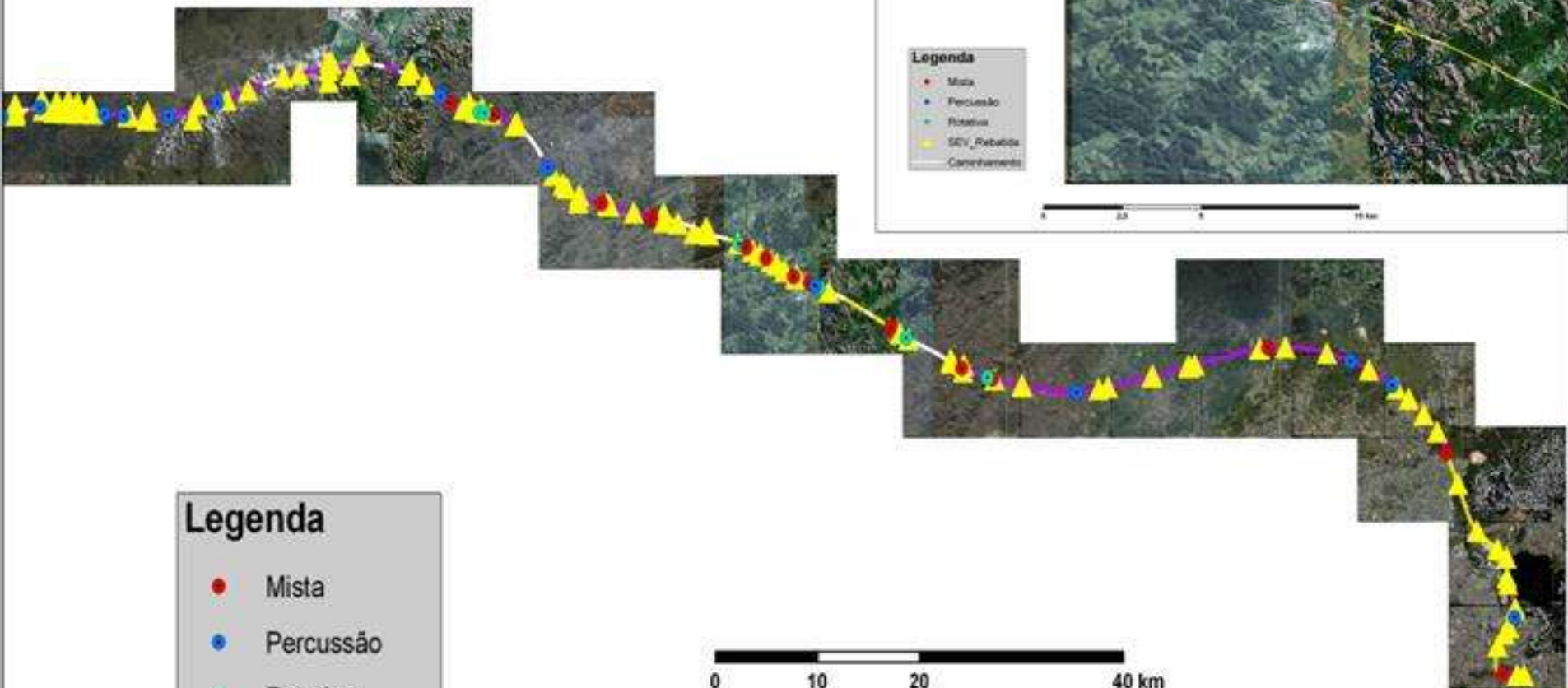
DOMÍNIO	SI-GLA	CARACTERÍSTICAS	COMPORTAMENTO TÍPICO FRENTE ÀS SOLICITAÇÕES DA OBRA
Domínio de terrenos sedimentares <u>flúvio-marinhos</u> da baixada litorânea.	I	Terrenos planos, próximos à orla marinha, <u>argilo-arenosos</u> e/ou <u>argilosos orgânicos</u> (manguezais).	Podem ser moles a muito moles, altamente compressíveis, com baixa capacidade de suporte em fundações de aterros e obras de arte.
Domínio de colinas e morrotes da Baixada Fluminense	II	Terrenos suavemente ondulados constituídos por colinas sustentadas por rochas cristalinas e depósitos <u>colúvio-aluvionares</u> entulhando as áreas planas entre as elevações. Os solos de cobertura dessas elevações são <u>coluvionares argilo-arenosos</u> e / ou residuais <u>silto-arenosos</u> . As áreas planas entre as elevações podem conter solos <u>argilo-arenosos</u> e/ou solos moles argilosos, orgânicos, saturados.	Nas elevações é alta a <u>erodibilidade</u> dos solos residuais (<u>saprolíticos</u>). Riscos de ruptura exigem baixa inclinação de taludes. Em geral não apresentam problemas em fundações de aterros e obras de arte. Grande heterogeneidade horizontal e vertical nos estágios de alteração das rochas. Os terrenos planos entre as elevações podem ser de baixa resistência se forem constituídos por solos moles argilosos, orgânicos, saturados.
Domínio da Região Serrana	III	Terrenos muito movimentados de relevo escarpado e / ou montanhoso, sustentado por rochas cristalinas. Ocorrência significativa de coberturas de solos transportados constituídos por depósitos <u>coluvionares</u> e depósitos de <u>tálus</u> com blocos e matacões, ambos capeando solos residuais <u>silto-arenosos</u> . O maciço rochoso subjacente aflora em áreas de ocorrência de rochas mais resistentes.	Encostas com grande instabilidade natural potencializada pelas altas declividades e pluviosidade. Cortes e aterros são sempre obras de risco exigindo contenções. Risco da <u>plataforma</u> ser atingida por blocos de rocha ou deslizamentos. Fundações de obras de arte sujeitas a movimentos de massa lentos ou rápidos exigindo cuidados especiais, especialmente em corpos <u>coluvionares</u> e corpos de <u>tálus</u> . Problemas executivos para <u>tubulões</u> pela presença de matacões. Emboques e desemboques de túneis exigem cuidados especiais. Quando os solos superficiais são pouco espessos os túneis desenvolvem-se em grande parte em rocha sã. Condições de <u>fraturamento</u> , zonas de <u>cisalhamento</u> , <u>desplacamento</u> por tensões residuais, <u>lençóis suspensos</u> e outros fatores exigem máxima atenção na abertura, na sustentação e na manutenção dos túneis.

Trabalhos Realizados na Etapa 2

- Investigações geológico-geotécnicas
- 40 SP (569 m)
- 44 SM (1306 m = 926 m solo + 380 m rocha)
- 12 SR (869 m)
- 100 ST (480 m)
- 301 SEV
- 22 CA (54.408 m)



SONDAGENS



Metodologia

- **Consolidação dos dados e resultados das Etapas 1 e 2**
- **→ Modelos geológico-geomecânicos conceituais**
- **Cruzamento dos modelos GG conceituais com os tipos de obras previstos no traçado**
- **→ Identificação de eventos de risco potenciais**

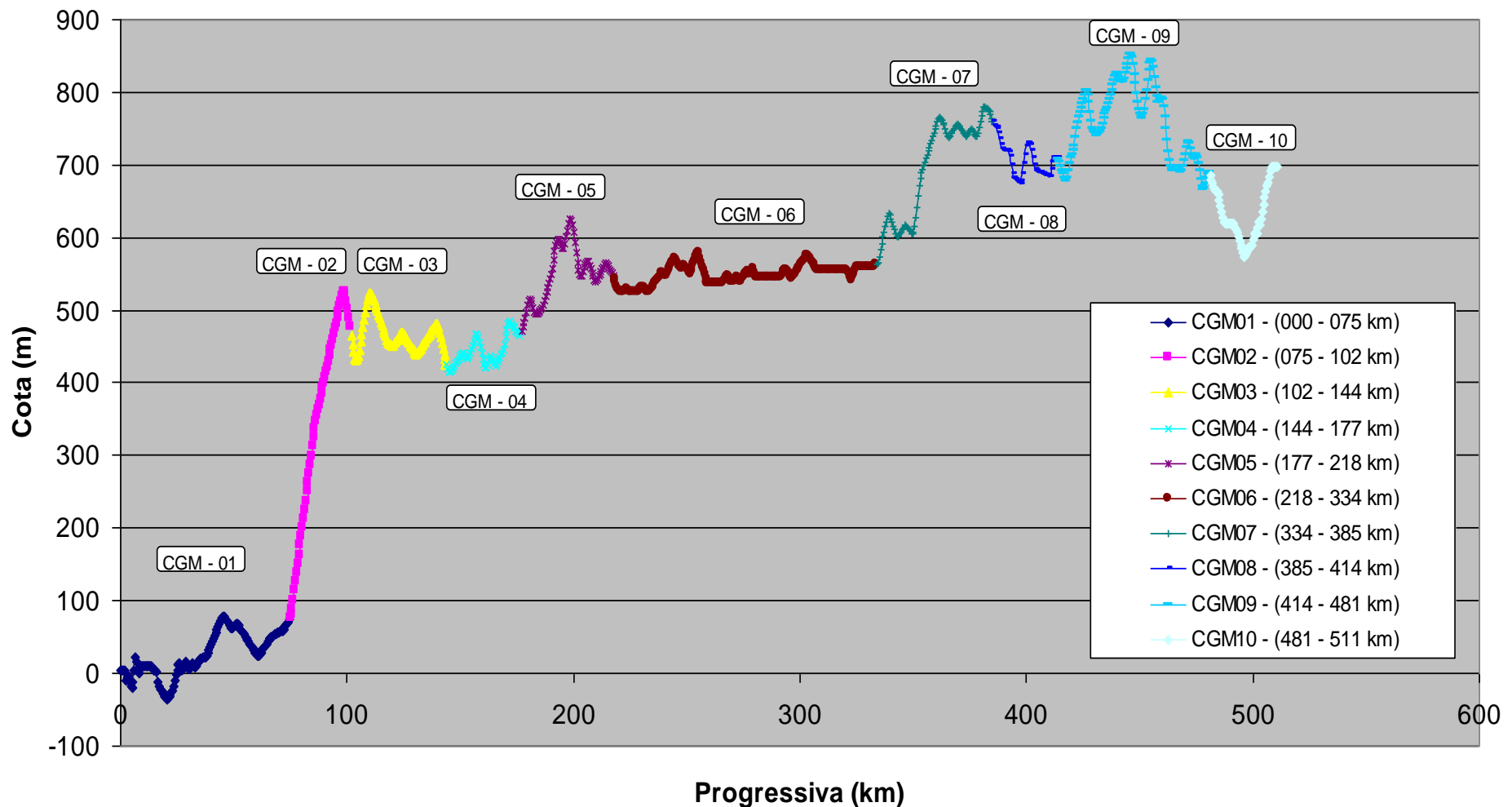
Modelos GG Conceituais

- **Etapa 1 identificou:**
 - 13 compartimentos geomorfológicos
 - 27 unidades geológico-geotécnicas
- **→ 10 Compartimentos de comportamento geomecânicos equivalentes, delimitados pelas progressivas do traçado**

Progressiva (km)	Compartimento Geomorfológico (CMF)	Domínio Geológico-Geotécnico (DGG)
000-027	CMF-01 Baixada Guanabara	DGG-1 Sedimentos Fluviais Marinhos e Lagunares DGG-6 Sedimentos Aluviais DGG-2 Colinas da Baixada Fluminense DGG-4 Colinas e Morros
027-072	CMF-02 Baixada Fluminense	
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

Progressiva (km)	Compartimentos de Comportamento Geomecânico (CGM)
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

Compartimentos de Comportamento Geomecânico ao longo do Traçado do TAV Brasil



CGM 03



Cachoeira Paulista

Canas

Lorena

CGM-6



Classificação de parâmetros predominantes para descrição das CGMs

- **Litologia**
- **Condições de água (profundidade do NA)**
- **Tipo de topo rochoso**
- **Condicionante geotécnico**
- **Feições geológico-estruturais**
- **Feições de risco geológico**

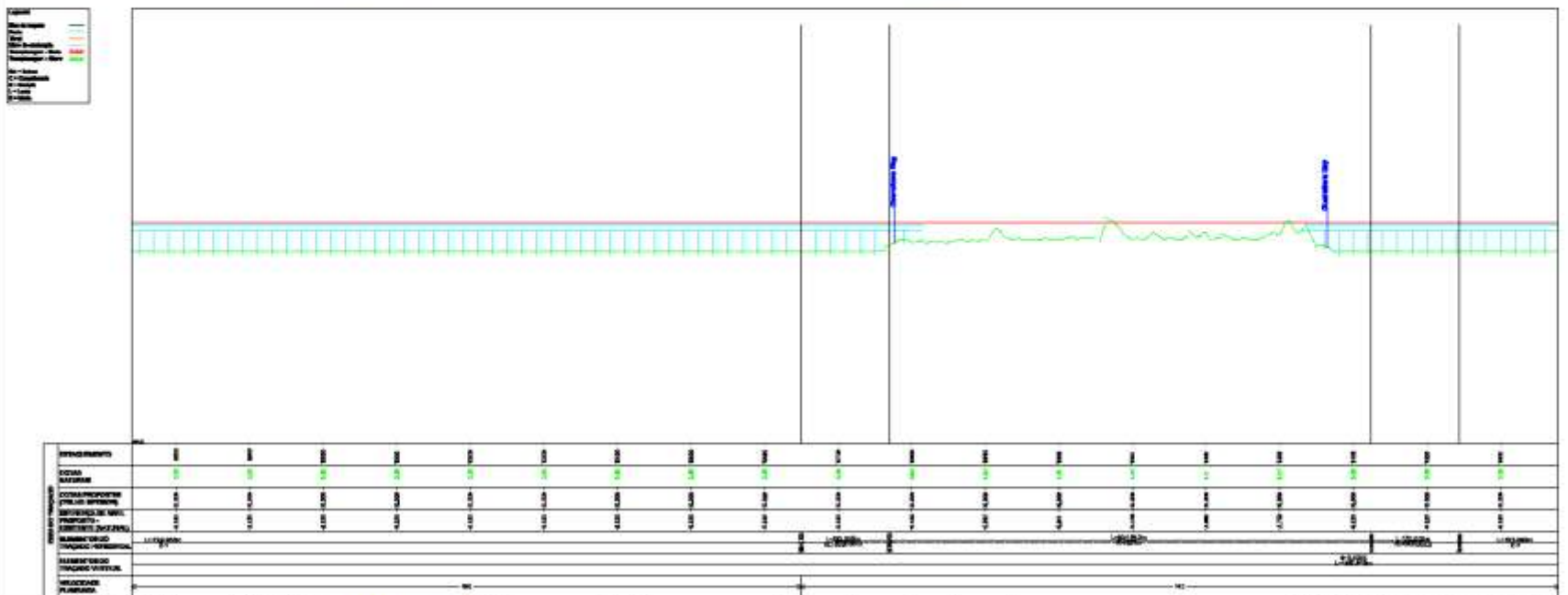
Classificação de Parâmetros Predominantes

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 de profundidade
	W3	NA de de profundidade
	W4	NA de de profundidade
	W5	NA profundo (>) 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”)

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 de profundidade (variação de).
Topo Rochoso	T3	Topo Rochoso ondulado sobre rochas cristalinas, com variações bruscas de profundidade (variação de), em quaisquer direções.
Feições Geológico-Estruturais	E1	Baixa concentração de discontinuidades (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- 04 – SM- 04, SM- 101 – SR-01
Sondagens Geofísicas		SEV- 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), 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, deve-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>

Identificação de Eventos de Risco Potenciais

- **Cruzamento de dados entre:**
 - Cada compartimento de comportamento geomecânico
 - Tipos de obras de infraestrutura previstos no traçado do TAV Brasil
- **→ Identificação de eventos de risco potenciais e respectivas medidas mitigadoras**



 IDB	 SINERGIA	Oribina e O&M projetos por: Engenmap	Obras elétricas providas por: PRIME Engenharia	Formado: AB Escala: 1:2.000 e 1:300 V	Nº: 350004 Nº: 380004 Nº: 400004	N.º Sitios: 3 N.º Obras: 3 N.º Sitios: 3	M.º Curvas: 0 M.º Curvas: 0 M.º Curvas: 0	P.º Eixos: 0 P.º Eixos: 0 P.º Eixos: 0	Associação técnica: Associação técnica: Associação técnica:	MUNICIPALIDADE DO RIO DE JANEIRO PLANTA E PERFIL DO TRAÇADO FOLHA 6 DE 14	
										Documento No: CTDHSR-RJM-00974-ALG-206	Folha No: 03

		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	<p>Intercalações de camadas de sedimentos de baixa capacidade de suporte e muito compressíveis (solo mole), com NA aflorante ou raso: → AT - recalques excessivos e diferenciais, agravados pelo topo rochoso irregular, ou até mesmo insuficiência de capacidade de suporte; → CT - instabilidade dos taludes e afluxo de água.</p> <p>Topo rochoso ondulado, com variações bruscas de profundidade nas duas direções, encobertos por sedimentos: → PV - elementos de fundação com 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 dos materiais escavados, ocorrência de face mista de escavação (solo e rocha) e presença de água.</p>
	Local	<p>Refinaria de Manguinhos – provável ocorrência de solos contaminados por hidrocarbonetos, os quais requerem áreas especiais de bota-fora, bem como sistema de escavação e transporte cuidadosos.</p> <p>Edificações da UFRJ – prováveis litígios judiciais quanto a sua desapropriação (dependendo da finalidade da edificação, novas instalações devem ser construídas antes de sua demolição).</p> <p>Pista do aeroporto do Galeão – túnel com baixa cobertura, com grande impacto em caso de acidentes.</p> <p>Área Urbana: → TU – controle de recalques e estabilidade da frente de escavação; → CT e AT – prováveis litígios judiciais quanto à desapropriação.</p> <p>Morraria do sopé da Serra das Araras – rochas cristalinas com perfil de intemperismo, sendo os solos sujeitos a instabilidade de taludes e erosão: → CT e TU – sequência de túneis curtos com cortes e emboques de grande altura, com risco de instabilizações dos taludes e emboques, bem como condições difíceis para os túneis (face mista e tetos em materiais mais desfavoráveis).</p>

Medidas Mitigadoras

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 e antecipar as mudanças de faces de escavação dos TU.

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.

Para minimizar o número de faces mistas e de alterações bruscas de materiais, pode-se buscar traçados alternativos que privilegiem túneis mais profundos.

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.

Local

Alterar o traçado para evitar o trecho abaixo da refinaria Manguinhos, ou verificar se há contaminação de terrenos circundantes por hidrocarbonetos.

Alterar o traçado ou o tipo de obra para túnel ou viaduto para evitar confronto com as edificações da UFRJ.

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.

Alterar o traçado no trecho da morraria do sopé da Serra das Araras, de modo a minimizar a altura de cortes e o número de emboques, ou seja, um traçado mais profundo.

Considerações

Finais e Recomendações

- Metodologia dos estudos geológico-geotécnicos se mostrou adequada e eficiente
- Estudos GG mais detalhados (Relatório IPT): forma mais efetiva de minimização de riscos
- Os resultados apontaram possibilidades de otimização do traçado do TAV Brasil
- **Quaisquer empreendimentos de infraestrutura apresentam riscos → minimização de riscos**

Traçado TAV Modelo de Realidade Virtual