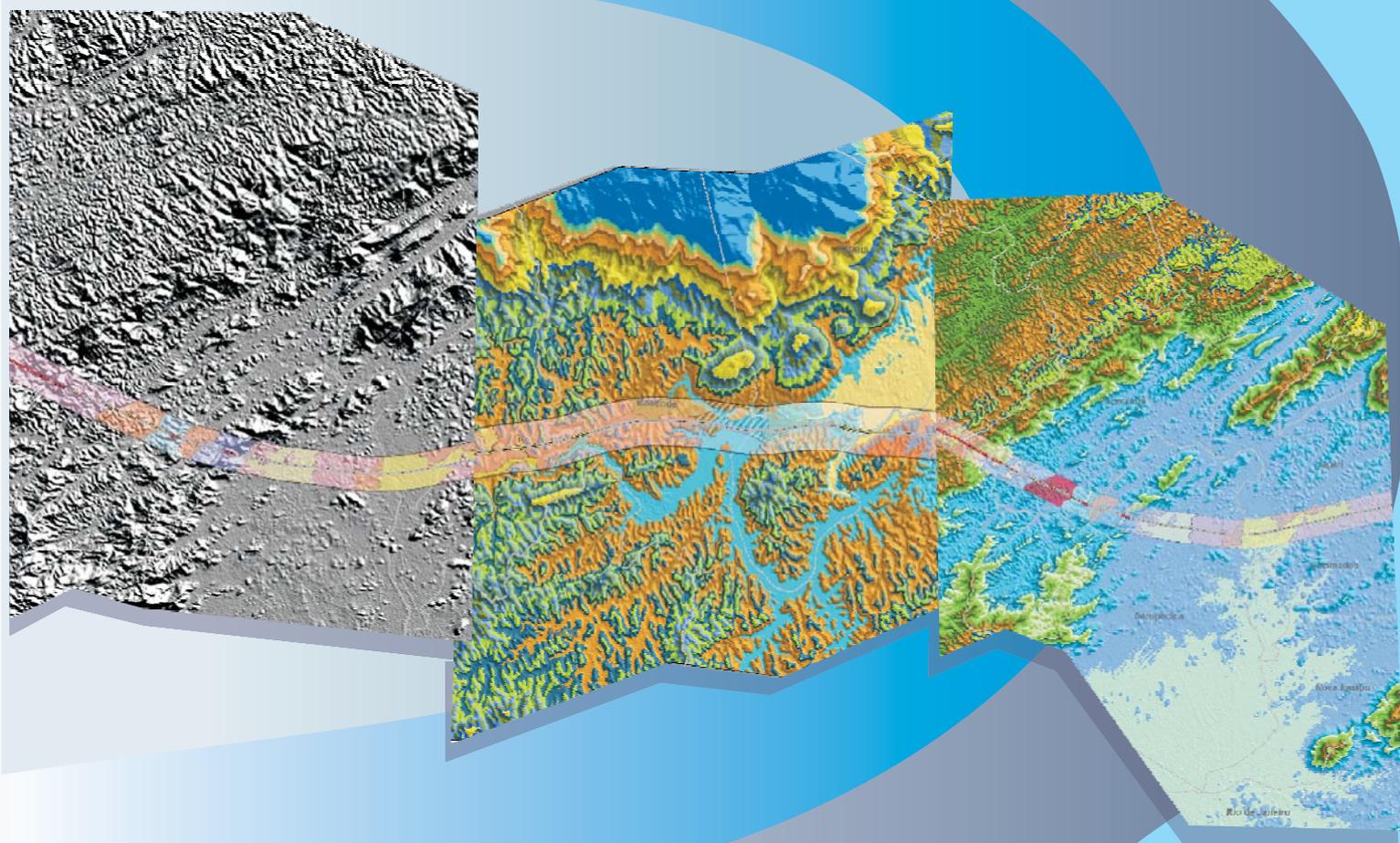


# MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO E DELIMITAÇÃO DAS ÁREAS DE RISCO GEOLÓGICO AO LONGO DO TRAÇADO DA VIA DO TREM DE ALTA VELOCIDADE – TAV

SIG – CPRM – TAV



RELATÓRIO DA PRIMEIRA ETAPA

Julho 2009

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

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

**Secretário Executivo**  
Márcio Pereira Zimmermann

**Secretário de Geologia,  
Mineração e Transformação Mineral**  
Cláudio Scliar

**COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS /  
SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)**

**CONSELHO DE ADMINISTRAÇÃO**

**Presidente**

Giles Carriconde Azevedo

**Vice-Presidente**

Agamenon Sergio Lucas Dantas

**Conselheiros**

Benjamim Bley de Brito Neves

Cláudio Scliar

Luiz Gonzaga Baião

Jarbas Raimundo de Aldano Matos

**DIRETORIA EXECUTIVA**

**Diretor-Presidente**

Agamenon Sergio Lucas Dantas

**Diretor de Hidrologia e Gestão Territorial**

José Ribeiro Mendes

**Diretor de Geologia e Recursos Minerais**

Manoel Barretto da Rocha Neto

**Diretor de Relações Institucionais e Desenvolvimento**

Fernando Pereira de Carvalho

**SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB / CPRM**

**SIG\_CPRM\_TAV**

**MAPEAMENTO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO DO  
TRAÇADO REFERENCIAL DO TREM DE ALTA  
VELOCIDADE – TAV**

**RELATÓRIO DA PRIMEIRA ETAPA**

Junho – 2009

## **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, M.Sc.**  
Departamento de Gestão Territorial – DEGET

**Geógrafa Regina Célia Gimenez Armesto**  
Divisão de Gestão Territorial – DIGATE

### ***EQUIPE EXECUTORA***

**Geólogo Jorge Pimentel, M.Sc., DEGET-ERJ**  
Coordenador

**Geólogo Carlos Eduardo Osório Ferreira, M.Sc., DEGET-ERJ**  
Investigações Geotécnicas

**Eng. Agrônomo Edgar Shinzato, M.Sc., DEGET-ERJ**  
Geoprocessamento

### **Técnicos**

**Geólogo Pedro Augusto dos Santos Pfaltzgraff, DSc, SUREG-RE**

**Geóloga Juliana Maceira Moraes, MSc, SUREG-GO**

**Geóloga Sandra Fernandes da Silva, DSc, SUREG-BH**

**Geóloga Maria Adelaide Mansini Maia, SUREG-MA**

**Geólogo Giovani Nunes Parisi, SUREG-PA**

**Geóloga Fernanda Soares Florêncio de Miranda, SUREG-RE**

**Geólogo Carlos Augusto Brasil Peixoto, Esp. SUREG-SP**

**Geólogo Luiz Carlos Bastos Freitas, SUREG-SA**

**Geógrafo Marcelo Eduardo Dantas, MSc, DEGET-ERJ**

**Engenheiro Cartógrafo Daniel Medeiros Moreira, DEHID-ERJ**

**Técnica em Cartografia Elaine de Souza Cerdeira, DIGEOP-ERJ**

## **Consultores**

**Geólogo Álvaro Rodrigues dos Santos**

**Engenheiro Civil André Pacheco de Assis, PhD, UNB**

**Geóloga Nórís Costa Diniz, DSc, UNB/ANTT**

**Geólogo André Ferrari, DSc**

**Geólogo Hélio Monteiro Penha, DSc**

## **Estagiários**

**Bruno de Paula e Silva – Geologia, UERJ**

**Frederico da Fraga Lemos – Geologia, UERJ**

**Rodrigo Ferreira França – Geologia, UERJ**

**Vanessa Rodrigues Pacheco – Geologia, UERJ**

**Luiz Wallace Costa Nascimento – Geologia, UERJ**

## **Apoio**

**Antonio Carmo de Rosa – SUREG-SP**

**Clezio Ribeiro dos Santos – SUREG-SP**

**Roylane Barboza – SUREG-SP**

**Ana Lúcia Rezzano Mendes – Secretária DEGET**

**Claudia Maurício Barros – secretária DHT**

## **Capas do Relatório e CD-Rom**

**Valter Alvarenga Barradas – DIEDIG-DRI**

## Agradecimentos

A execução desse Projeto, por sua importância para o Brasil, características específicas do tema que foi abordado, e ainda, em função dos prazos e cronogramas vigentes, constituiu-se em um grande desafio para o Serviço Geológico do Brasil. A finalização dos estudos, ora apresentados neste relatório técnico, somente foi possível com a contribuição e auxílio de diversas instituições e profissionais que contribuíram para que o SGB tivesse condições de atender à demanda solicitada.

Assim, o SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL – SGB/CPRM encaminha o seu agradecimento aos profissionais e às instituições abaixo relacionadas:

- À Prof<sup>a</sup>. Dra. Nóris Costa Diniz, pela importante contribuição nas discussões iniciais, pela palestra no seminário de capacitação das equipes de campo, pelo material de consulta disponibilizado e pela visão de que o SGB tem muito a contribuir na área de geologia de engenharia;
- Ao Prof. Dr. André Pacheco de Assis e ao Geólogo Álvaro Rodrigues dos Santos, consultores do SGB no Projeto TAV, pelas sugestões, pelas palestras nos seminários de capacitação das equipes de campo, e pelo material de consulta disponibilizado;
- Ao Prof. Dr. Hélio Monteiro Penha, pela importante contribuição e trabalho conjunto na interpretação das feições estruturais e orientação no entendimento da geologia regional, e pela transmissão de sua experiência e conhecimento aos técnicos do SGB;
- Ao Prof. Dr. André Ferrari pela fundamental palestra sobre a evolução tectônica e compartimentação dos terrenos ao longo da área dos estudos;
- Ao Prof. Dr. Marcelo Assumpção - USP/IG, pelos dados de sismos cedidos ao SGB;

- Ao Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo – IPT, pelo pleno atendimento em ceder dados geológicos da região da Bacia de Taubaté para o projeto;
- Ao Instituto de Geologia do Estado de São Paulo – IG, pelo pleno atendimento em ceder dados geológicos da região de Campinas para o projeto;
- Ao Departamento de Geologia da Universidade Estadual do Rio de Janeiro – UERJ, por ceder de forma antecipada os dados do PRONAGEO para o projeto;
- Ao Departamento de Recursos Minerais do Estado do Rio de Janeiro – DRM-RJ, pelo pleno atendimento em ceder dados geológicos dos mapeamentos da Carta Geológica do Estado do Rio de Janeiro;
- A todas as Superintendências Regionais da CPRM, e em especial a SUREG-SP, pelo esforço das unidades regionais disponibilizando os profissionais para atuarem no projeto e pelo esforço da SUREG-SP em disponibilizar os meios para aluguel dos veículos e aquisição de microcomputadores;
- À Divisão de Geoprocessamento da CPRM-DIGEOP, pela disponibilização da especialista em cartografia;
- À Divisão de Hidrologia e Hidrogeologia da CPRM – DEHID, pela recuperação de dados da base SIAGAS e pela participação do Engenheiro Cartógrafo na elaboração do mapa de densidades de fraturas;
- E a todos os colaboradores que direta ou indiretamente contribuíram para a viabilização desse estudo.

# ÍNDICE

I. INTRODUÇÃO.....	1
II. OBJETIVOS.....	1
III. INFRAESTRUTURA EXECUTIVA, EQUIPE TÉCNICA E TRABALHOS REALIZADOS.....	2
III.1. Trabalhos Iniciais e Seminários Internos.....	3
III.2. Mapeamento de Campo e Trabalhos de Escritório.....	3
IV. METODOLOGIA.....	4
IV.1. Levantamento de Dados Existentes.....	4
IV.2. Geoprocessamento.....	5
IV.2.1 Delimitação de Feições Depositionais.....	6
IV.2.2. Base de Dados de Campo.....	6
IV.2.3. Conversão de Dados Analógico para Digitais.....	7
IV.2.4. SIG_CPRM_TAV.....	7
IV.2.5 Acesso ao SIG e Plotagem de Mapas.....	10
IV.3. Mapa de Domínios Geológico-Geotécnicos.....	10
IV.4. Mapa de Unidades Geotécnicas na Escala 1:10 000.....	10
IV.4.1. Fotointerpretação.....	11
IV.4.2. Trabalhos de Campo.....	11
IV.4.3. Elaboração do Mapa.....	15
IV.5. Investigações Geotécnicas.....	16
IV.5.1. Investigações Diretas – Sondagens Mecânicas (rotativas, mistas e percussão), Manuais (trado) e Ensaios de Laboratório.....	17

IV.5.2. Levantamento Geofísico (SEV's e caminhamento elétrico).....	18
IV.6. Levantamento de Dados Geológico-estruturais.....	19
IV.6.1. Análise do modelo digital do terreno (MDT) e fotointerpretação.....	19
IV.6.2. Coleta de dados estruturais no campo.....	19
IV.6.3. Integração e tratamento dos dados.....	20
IV.7. Dados Gerados em Ambiente SIG.....	20
IV.7.1. Mapas de Declividades.....	20
IV.7.2. Mapa de Aspecto (orientação de vertentes).....	20
IV.7.3. Mapa Hipsométrico.....	21
IV.7.4. Mapa de Densidade de Fraturas.....	21
V. RESULTADOS DOS TRABALHOS REALIZADOS.....	22
V.1. Geologia Regional.....	23
V.1.1. Síntese da Evolução Tectônica Regional.....	23
V.1.2. Litoestratigrafia e Compartimentação Tectônica.....	28
V.1.3. Magmatismo Pós – Paleozóico.....	41
V.1.4. As Coberturas Sedimentares Pleisto- Holocênicas.....	42
V.1.5. Neotectônica.....	43
V.2. Sismicidade Regional.....	45
V.2.1. Sismicidade dos Terrenos no Sudeste do Brasil.....	45
V.2.2. Registros de Eventos Sísmicos.....	47

V.2.3. Recorrência Sísmica.....	50
V.3. Compartimentação Geomorfológica e Pedológica.....	52
V.3.1. Baixada da Guanabara.....	54
V.3.2. Baixada Fluminense.....	55
V.3.3. Serra das Araras.....	57
V.3.4. Médio Vale do rio Paraíba do Sul Fluminense.....	58
V.3.5. Bacia de Resende.....	60
V.3.6. Alto Estrutural de Queluz.....	61
V.3.7. Médio Vale do rio Paraíba do Sul Paulista.....	62
V.3.8. Bacia de Taubaté.....	64
V.3.9. Alto Estrutural de Arujá.....	66
V.3.10. Planalto Paulistano.....	67
V.3.11. Bacia de São Paulo.....	68
V.3.12. Planalto de Jundiaí.....	69
V.3.13. Depressão Periférica Paulista.....	71
V.4. Domínios Geológico-Geotécnicos.....	71
V.4.1. Domínio de Terrenos Sedimentares	
Flúvio-marinhas e Flúvio-lagunares	
da Baixada Litorânea.....	71
V.4.2. Domínio de Colinas da Baixada Fluminense.....	72
V.4.3. Domínio da Serra das Araras.....	72
V.4.4. Domínio de Colinas e Morros Sustentados	
por Rochas Cristalinas do Vale do Paraíba,	
do Planalto Paulista e da Baixada Litorânea	
no Sopé da Serra das Araras.....	73

<b>V.4.5. Domínio das Bacias Sedimentares – Volta</b>	
<b>Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo.....</b>	<b>73</b>
<b>V.4.6. Domínio das Planícies Aluviais.....</b>	<b>74</b>
<b>V.4.7. Domínio da Bacia do Paraná.....</b>	<b>74</b>
<b>V.5. Unidades Geológico-Geotécnicas Mapeadas</b>	
<b>na escala 1:10 000.....</b>	<b>75</b>
<b>V.5.1. Mar Raso Sobre Argila Mole.....</b>	<b>76</b>
<b>V.5.2. Unidade Geotécnica Aterro Sobre Mangue,</b>	
<b>Restinga e Solo Residual - Ug_AtM.....</b>	<b>77</b>
<b>V.5.3. Unidade Geotécnica Flúvio-Marinho - Ug_FM.....</b>	<b>78</b>
<b>V.5.4. Unidade Geotécnica Depósito Aluvionar - Ug_AI.....</b>	<b>80</b>
<b>V.5.5. Unidade Geotécnica Alúvio-Colúvio - Ug_AI-Co.....</b>	<b>83</b>
<b>V.5.6. Unidade Geotécnica Colúvio - Ug_Co.....</b>	<b>85</b>
<b>V.5.7. Unidade Geotécnica Tálus - Ug_Talus.....</b>	<b>88</b>
<b>V.5.8. Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha</b>	
<b>Sedimentar - Ug_Sr_Sed.....</b>	<b>90</b>
<b>V.5.9. Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha</b>	
<b>Sedimentar (Formação Pindamonhangaba)</b>	
<b>- Ug_Sr_Sed_pi.....</b>	<b>93</b>
<b>V.5.10. Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha</b>	
<b>Sedimentar (Formação Tremembé) - Ug_Sr_Sed_tr...95</b>	
<b>V.5.11. Unidade Geotécnica Rocha Alterada</b>	
<b>Sedimentar - Ug_Ra_Sed.....</b>	<b>97</b>
<b>V.5.12. Unidade Geotécnica Solo Residual</b>	
<b>do Grupo São Roque - Ug_Sr_Sr.....</b>	<b>99</b>

<b>V.5.13. Unidade Geotécnica Solo Residual</b>	
de Xisto - Ug_Sr_Xis.....	101
<b>V.5.14. Unidade Geotécnica Solo Residual</b>	
Raso de Xisto - Ug_Sr_r_Xis.....	102
<b>V.5.15. Unidade Geotécnica Solo residual</b>	
Vulcânica Básica - Ug_Sr_vul_b.....	104
<b>V.5.16. Unidade Geotécnica Rocha Vulcânica</b>	
Básica - Ug_R_vul_b.....	105
<b>V.5.17. Unidade Geotécnica Rocha Alcalina - Ug_R_Alc.....</b>	107
<b>V.5.18. Unidade Geotécnica Solo Residual</b>	
de Granito - Ug_Sr_gr.....	110
<b>V.5.19. Unidade Geotécncia Solo Residual</b>	
Raso de Granito - Ug_Sr-r_gr.....	113
<b>V.5.20. Unidade Geotécnica Rocha Granitos</b>	
- Ug_R_gr.....	116
<b>V.5.21. Unidade Geotécnica Solo Residual</b>	
de Granitos e Gnaisses - Serra das	
Araras - Ug_Sr-sa.....	119
<b>V.5.22. Unidade Geotécnica Solo Residual</b>	
de Gnaisse - Ug_Sr_gn.....	123
<b>V.5.23. Unidade Geotécnica Solo Residual</b>	
de Gnaisse e Migmatito - Ug_Sr_gn_mig.....	127
<b>V.5. 24. Unidade Geotécnica Solo Residual</b>	
Raso de Gnaisse e Migmatito - Ug_Sr_r_gn_mig.....	133
<b>V.5. 25. Unidade Geotécnica Saprólito de Gnaisse</b>	

e Migmatito - Ug_Sap_gn_mig.....	138
V.5. 26. Unidade Geotécnica Rocha Alterada	
de Gnaiss e Migmatito - Ug_Ra_gn_mig.....	141
V.5. 27. Unidade Geotécnica Rocha Gnaiss e	
Migmatito - Ug_R_gn_mig.....	144
V.6. Condicionantes e Processos Geológico- Geotécnicos.....	146
V.6.1. Solos Colapsíveis.....	146
V.6.2. Solos Expansíveis.....	148
V.6.3. Subsidência Cárstica.....	150
V.6.4. Cavas de Areia.....	152
V.6.5. Turfeiras.....	154
V.7. Processos Erosivos e de Movimentos de Massa.....	155
V.8. Pontos e Hierarquização de Riscos Geológico-	
Geotécnicos.....	157
VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	158
VII. BIBLIOGRAFIA.....	164

## **I. INTRODUÇÃO**

Este relatório apresenta os resultados dos estudos geológico-geotécnicos executados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM ao longo da diretriz do traçado referencial da via do Trem de Alta Velocidade – TAV, totalizando aproximadamente 520km de extensão, que será implantado para interligar as cidades de Campinas, São Paulo e Rio de Janeiro.

Os estudos foram desenvolvidos com base na conjugação de metodologias tradicionais de execução de mapeamento geológico e geotécnico com a adoção de técnicas mais recentes baseadas em Sistemas de Informação Geográfica – SIG, bases de dados, tratamento de imagens digitais, e em metodologias de processamento e modelagem digital de dados. Essa integração de metodologias consistiu na chave para a realização do Projeto e a geração dos produtos, conforme detalhado nos itens posteriores.

A disponibilização dos dados gerados em ambiente SIG possibilitará, com o acréscimo do conhecimento ao longo das próximas etapas do projeto, a atualização dos dados, a transformação e integração de informações e temas, e a geração de novos produtos, de modo a constituir um consistente acervo sobre o meio físico e as características geológico-geotécnicas e ambientais dos terrenos ao longo do traçado do TAV, de forma a melhor subsidiar a tomada de decisão nas diversas etapas do projeto.

## **II. OBJETIVOS**

O objetivo principal dos estudos efetuados foi o de 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.

Os trabalhos realizados visaram, principalmente, a caracterização geotécnica do traçado da via, sob a ótica de um estudo de detalhe, baseado em mapeamento de campo, executado na escala 1:10 000, compreendendo a identificação e individualização das unidades geológico-geotécnicas, tais como

materiais de cobertura e substrato rochoso expostos em afloramentos e taludes de corte, ao longo de uma faixa de 2km de largura, sendo 1km para cada lado, também a partir do eixo da diretriz do traçado da via. O conjunto de dados levantados incluiu diversos elementos de natureza geológico-geotécnica que poderão condicionar o desenvolvimento de processos naturais ou induzidos com potencial para causar danos à operação do empreendimento.

Os trabalhos tiveram por finalidade também, a elaboração em ambiente de Sistema de Informação Geográfica – SIG de um amplo acervo de dados digitais provenientes tanto de dados secundários, como de dados primários gerados ao longo dos trabalhos do Projeto, o que possibilitará o desenvolvimento de diversos estudos complementares e o melhor entendimento dos condicionantes geológico-geotécnicos ao longo da traçado referencial do TAV.

Tais trabalhos serviram ainda para orientar a programação das investigações indiretas (geofísicas) e diretas (sondagens mecânicas e ensaios geotécnicos) necessárias ao desenvolvimento da atual etapa dos estudos para implantação da via do TAV, inclusive da prospecção preliminar de materiais terrosos, granulares e fontes de agregados necessários à construção da ferrovia.

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

O Serviço Geológico do Brasil – CPRM/SGB 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 Trem de Alta Velocidade (TAV) e execução de todo o conjunto de atividades relacionadas ao projeto, o SGB disponibilizou 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 do SGB lotados no Departamento de Gestão Territorial, no Escritório Rio de Janeiro, cuja equipe técnica foi composta por 11 geólogos, 01 engenheiro agrônomo, 01 engenheiro cartógrafo, 01 geógrafo, 01 técnico em cartografia e 05 estagiários de geologia (alunos da Faculdade de Geologia da UERJ), além de secretárias, técnicos de mineração e pessoal de apoio.

### **III.1. Trabalhos Iniciais e Seminários Internos**

Em dezembro de 2008 o SGB realizou a primeira reunião com os técnicos designados para executar os trabalhos do TAV, quando foram iniciadas as atividades de estruturação da metodologia a ser adotada no mapeamento geológico-geotécnico e levantamento de dados secundários.

Na segunda quinzena de janeiro a equipe técnica foi reunida na cidade do Rio de Janeiro para iniciar as atividades de fotointerpretação de imagens orbitais e ortofotos, levantamento de dados, tratamento dos dados obtidos, elaboração de textos, e a integração dos dados em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG). Ainda em janeiro, foram realizadas diversas palestras técnicas, proferidas por técnicos da CPRM e consultores externos, com a finalidade de estabelecer padrões metodológicos e homogeneizar conceitos na área de geologia de engenharia e geotecnia. As palestras tiveram por finalidade, também, a ampliação do conhecimento sobre as características do meio-físico da região abrangida pelo TAV.

### **III.2. Mapeamento de Campo e Trabalhos de Escritório**

Os trabalhos de campo foram realizados por quatro equipes, compostas por dois geólogos e um motorista. Todo o traçado referencial, faixa de 2,0 km foi percorrida pelas equipes de campo com os veículos destacados para o projeto, ao longo das rodovias principais e das secundárias, e por meio de caminhamento a pé ao longo de caminhos e trilhas.

Foram descritos nos trabalhos de campo 466 pontos, cujos dados referentes às características geológico-geotécnicas, pedológicas e geomorfológicas dos terrenos foram anotados.

Cada equipe recebeu um conjunto de equipamentos organizados em um kit, concebido para facilitar o andamento dos trabalhos e a aplicação da metodologia proposta. O kit de campo foi constituído de Laptop, GPS, máquina fotográfica digital, bússola, martelo, arquivos digitais organizados em um SIG (compostos por mapas geológicos, dados de infraestrutura, imagens orbitais, ortofotos, modelo digital do terreno, etc.), mapas analógicos, caderneta de campo, e outros materiais de consumo.

Na medida em que os trabalhos iam sendo executados as equipes de campo remetiam os dados levantados via correio eletrônico para a equipe de geoprocessamento, estruturada no Escritório do Rio de Janeiro da CPRM. Essa equipe fazia a alimentação das bases de dados em ambiente SIG.

O mapeamento teve início no dia 02 de Fevereiro e foi finalizado no dia 03 de Abril de 2009. Os trabalhos de campo foram realizados de acordo com a metodologia proposta pelo SGB, de acordo com o Termo de Referencia do Mapeamento Geológico-Geotécnico do TAV, conforme detalhado no item IV, apresentado a seguir.

## **IV. METODOLOGIA**

### **IV.1. Levantamento de Dados Existentes**

O levantamento de dados existentes foi realizado inicialmente com base nos diversos projetos realizados pelo Serviço Geológico do Brasil na região de interesse, destacando-se os seguintes trabalhos:

- GisBrasil na escala 1:1 000 000, CPRM;
- Geodiversidade na escala 1:1 000 000, CPRM;
- Projeto Rio de Janeiro na escala 1: 250 000, CPRM;
- Pronageo Baía de Guanabara 1:100 000, CPRM/UERJ;
- Pronageo Ipirará, Volta Redonda e Santa Rita, escala em 1: 50 000, CPRM/UERJ;
- Mapa Geológico do Estado de São Paulo 1:750 000;

- Diversos mapas pertencentes ao acervo do IPT;
- Mapa Geotécnico do Estado de São Paulo – IPT;
- Projeto GEROE – IPT;
- Diversos Mapas pertencentes ao acervo do Instituto Geológico do Estado de São Paulo – IG,
- Mapas pertencentes ao acervo do Departamento de Recursos Minerais do Rio de Janeiro – DRM-RJ;
- Carta Geotécnica do Município do Rio de Janeiro, escala 1:10.000 – Fundação GEORIO;
- Base de dados SIAGAS (CPRM);
- Base de dados sísmicos fornecidos pelo Prof. Marcelo Assumpção (USP);
- Diversas teses de Doutorado, Mestrado e artigos técnicos sobre a geologia e geotecnia da região.

Desse acervo, os dados digitais foram convertidos para o sistema de projeção cartográfica e *datum* adotados no projeto e importados para o ambiente SIG. Os dados analógicos obtidos foram convertidos para o formato digital e igualmente importados para o SIG.

#### **IV.2. Geoprocessamento**

Para viabilizar a realização dos trabalhos e a aplicação da metodologia proposta para a geração dos produtos necessários, tanto para subsidiar os trabalhos de campo, como na elaboração de diversos temas de interesse ao Projeto, o Serviço Geológico do Brasil, alocou recursos para montagem de uma estrutura física necessária ao desenvolvimento dos trabalhos de geoprocessamento, com a aquisição de microcomputadores, impressoras, um ploter A0, e laptops. Foram utilizados os aplicativos de geoprocessamento ArcGis 9.3, ENVI 4.5 e Globalmapper 7.0. Esse conjunto de aplicativos possibilitou a elaboração de diversos produtos conforme abaixo apresentado.

#### **IV.2.1. Delimitação de Feições Depositionais**

A delimitação e vetorização de feições deposicionais relacionadas a processos fluviais e/ou de encosta, que incluem os depósitos e terraços aluvionares, de colúvio-alúvio, rampas de colúvio, entre outras feições, foram aplicadas metodologias de tratamento digital de imagens para extrair esses elementos do terreno em apoio aos trabalhos de campo.

Para tanto foram utilizadas ortofotos escala 1:10.000, bases cartográficas do IBGE, escala 1:50.000 e no MDT de alta resolução gerado pela ENGEMAP tratadas no software ENVI 4.5. Nesse aplicativo foi elaborada a fusão entre as ortofotos e o MDT e as bases cartográficas e o MDT, além da geração de um relevo sombreado. A fusão teve por finalidade transferir tanto para as ortofotos como para as cartas do IBGE as feições topográficas ressaltadas do terreno, que muito favoreceram o processo de fotointerpretação das coberturas deposicionais.

Sobre o fundo das imagens integradas com o relevo, foi realizada a vetorização e classificação dos elementos de interesse diretamente em tela, adotando-se o software ArcGis 9.3. Com a metodologia acima descrita foi possível delimitar em detalhe as feições do terreno e discriminar melhor a tipologia de material e os distintos processos deposicionais. Posteriormente os polígonos foram integrados ao mapa geológico-geotécnico

#### **IV.2.2. Base de Dados de Campo**

Com a finalidade de se estabelecer um padrão para a descrição dos pontos de campo e constituir um “*check-list*” das informações prioritárias e fundamentais para a caracterização das unidades geológico-geotécnicas, foi elaborada uma ficha de campo para a entrada de dados (Anexo I). Essa ficha constituiu a estrutura da base de dados georreferenciada dos dados de campo.

Após um determinado período de trabalho de campo, lotes de fichas em papel foram enviados via SEDEX para o Escritório da CPRM/RJ, onde a equipe de geoprocessamento do projeto procedeu a inserção dos dados em planilha eletrônica e em seguida, importado para o ambiente SIG.

### **IV.2.3. Conversão de Dados Analógico para Digitais**

Todo o conjunto de mapas em papel considerados como fonte de informação a ser integrado ao projeto foi convertido do meio analógico para o digital e georreferenciado. O processo consistiu na obtenção de uma imagem do mapa via Scanner. Em seguida a imagem foi submetida em ambiente SIG a procedimentos visando o seu georreferenciamento. Para tanto foram utilizadas cartas do IBGE, previamente georreferenciadas ou utilizando-se imagens de sensores remotos ou ortofotos.

Em continuidade, os mapas no formato digital (geotiff) e georreferenciados foram submetidos a processo de vetorização automática e manual. Ao final desse processo o vetor no formato “shape-file” recebeu os atributos em sua base de dados, para a elaboração da legenda de cada mapa.

### **IV.2.4. SIG\_CPRM\_TAV**

O acervo de dados temáticos secundários, os dados provenientes dos trabalhos de campo, assim como aqueles gerados a partir de processamento em ambiente SIG e os resultantes de modelagem espacial foram organizados e estruturados em um Sistema de Informação Geográfica, denominado de SIG\_CPRM\_TAV. O SIG foi elaborado com a finalidade de possibilitar ao usuário a visualização, consulta, recuperação, exportação e plotagem dos diversos temas que compõem o Projeto de Mapeamento Geológico-Geotécnico do traçado referencial do TAV.

De forma preliminar, visando atender ao cronograma estabelecido para esta fase do Projeto TAV, todos os dados analógicos e os digitais que compõem o acervo temático e cadastral do projeto foram convertidos para o formato “shape-file” e inseridos na plataforma **ArcGis 9.3 (ESRI)**. Em etapa posterior, quando todos os dados referentes a todas as etapas de trabalho previstas para o projeto estiverem concluídos, o acervo final será organizado em um aplicativo desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil, denominado **ARCExibe**.

- **Parâmetros Cartográficos**

Todos os dados foram gerados ou convertidos para o Sistema de Projeção Cartográfica UTM – Universal Transversa de Mercator, elipsóide SAD-69, zona 23. O *datum* adotado justifica-se uma vez que a Hallcrow utilizou esse parâmetro para a geração do traçado referencial do TAV e outros produtos.

- **Estrutura do SIG**

O Sistema de Informações Geográficas da CPRM\_TAV foi elaborado com estrutura de sub-diretórios referentes a cada um dos temas elaborados para o projeto. O SIG foi estruturado da seguinte forma:

- **Domínios Geotécnicos** – mapa de domínios geotécnicos escala 1:50.000;
- **Domínios Geológico-Geotécnicos 1:50.000** – mapa de unidades geológico-geotécnicas na escala 1:50.000;
- **Unidades Geológico-Geotécnicas 1:10.000** – mapa de unidades geológico-geotécnicas na escala 1:10.000;
- **Feições Erosivas** – Feições erosivas (ravinas, voçorocas, deslizamentos, etc.);
- **Estruturas Geológicas** – Estruturas geológicas (zonas de cisalhamento, falhas, etc.);
- **Pontos Levantados no Campo** – Ficha de descrição de pontos de mapeamento;
- **Pontos de Risco** – Pontos de risco geológico-geotécnico;
- **Geologia** – Mapa geológico integrado (diversas escalas);
- **Pedologia** – Mapa pedológico;
- **Traçado Referencial\_Fev\_2009** – Traçado referencial e tipo de obra (disponibilizado em Fevereiro de 2009);
- **Traçado Referencial\_Abril\_2009** – Traçado referencial e tipo de obra (disponibilizado em Abril de 2009);

- **Curvas de Nível** – Geradas na faixa de 2km ao longo do traçado referencial;
- **Relevo Sombreado** – gerado a partir do MDT;
- **Declividade** – Mapa de declividades elaborado a partir do MDT;
- **Aspecto** – Mapa de Aspecto (orientação de vertentes) elaborado a partir do MDT;
- **Hipsometria** – Mapa hipsométrico elaborado a partir do Modelo Digital de Elevação;
- **Elementos e Feições de Interesse Geotécnico** – Turfeiras, pedreiras, cavas de areia, etc;
- **Investigações Geotécnicas** – Sondagens Mecânicas; Geofísica – pontos de levantamento SEV (sondagem eletro-vertical) e caminhamento elétrico;
- **Sismos** – Base de dados de eventos sísmicos;
- **Poços Tubulares** – Poços tubulares cadastrados na base SIAGAS do SGB;
- **Hidrografia do IBGE na escala 1:50 000** – Ajustada ao Modelo Digital do Terreno;
- **Recursos Minerais** – Recursos minerais (materiais de construção)– Lavras, jazidas e ocorrências minerais;
- **Títulos Minerários** – Base de dados DNPM com as áreas requeridas;
- **Infraestrutura** – Dutos, cidades etc;
- **Relatórios** – Relatório final e relatório fotográfico;
- **Mapas para plotagem** – Mapas no formato PDF e arquivos digitais para plotagem;
- **Mapa de Densidade de Fraturas** – Gerado em ambiente SIG;
- **Créditos** – Créditos e orientações de uso do SIG.

#### **IV.2.5 Acesso ao SIG\_CPRM\_TAV SIG e Plotagem de Mapas**

O Sistema de Informação Geográfica SIG\_CPRM\_TAV foi elaborado na plataforma ArcGis 9.3 (ESRI), e pode ser acessado diretamente, para os usuários que tem o aplicativo ArcGis instalado, a partir do CD-ROM SIG\_CPRM\_TAV ou a partir dos dados do CD-ROM copiados para um diretório de trabalho. Para tanto, basta clicar o arquivo *SIG\_CPRM\_TAV.mxd*.

No ambiente ArcGis todos os dados estarão disponíveis para o usuário e também, todas as ferramentas e facilidades do software poderão ser utilizadas para a pesquisa, recuperação, conversão e geração de novos dados.

Foram elaborados mapas geológicos-geotécnicos na escala 1:20.000, em papel tamanho A3 estendido, no formato PDF. Os mapas estão disponíveis armazenados em um diretório específico.

#### **IV.3. Mapa de Domínios Geológico-Geotécnicos**

Foi elaborado visando apresentar a compartimentação regional referente às características geológico-geotécnicas e morfológicas dos terrenos, identificados em grandes domínios ao longo da faixa de 20km de largura que tem como eixo a linha do traçado referencial do TAV.

#### **IV.4. Mapa de Unidades Geotécnicas na Escala 1:10 000**

Os trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico dos terrenos na escala 1:10 000 ao longo do traçado da via do TAV desenvolveram-se de acordo com a seguinte seqüência de atividades:

##### **IV.4.1. Fotointerpretação**

Foram executados trabalhos de fotointerpretação de estereopares de fotos aéreas nas escalas 1:25 000, e também interpretação de ortofotos na escala 1:10 000, com o objetivo de identificar e cartografar as unidades e feições geológico-geotécnicas dos terrenos ao longo do traçado do TAV.

Do mesmo modo, nesse trabalho foram identificadas ainda as áreas de risco de acidentes geológico-geotécnicos que poderão influenciar negativamente nos custos, e/ou no andamento, e/ou na segurança da obra, sendo as feições observadas aferidas posteriormente nos trabalhos de campo.

Os trabalhos de fotointerpretação tiveram também por objetivo o levantamento de descontinuidades geológicas representadas por zonas de cisalhamento, falhas, fraturas, e outras estruturas e descontinuidades, de modo a subsidiar a elaboração de seções geológico-geotécnicas com a projeção das mesmas até as cotas de escavação dos túneis.

Em paralelo, foi desenvolvido um intenso trabalho de fotointerpretação para a extração das feições relacionadas a depósitos aluvionares, alúvio-coluvionares, depósitos de rampa e tálus, conforme descrito no item IV.2.1.

#### **IV.4.2. Trabalhos de Campo**

Os caminhamentos para caracterização e mapeamento geológico-geotécnico dos terrenos do traçado da via do TAV e áreas contíguas, subsidiados pelos trabalhos de fotointerpretação, foram realizados por equipes de especialistas em geologia de engenharia e geotecnia, os quais percorreram tal traçado utilizando rodovias e estradas vicinais existentes na região, de forma a ter acesso ao maior número possível de pontos e/ou trechos de interesse ao mapeamento, com obrigatoriedade de visita aos considerados críticos sob o aspecto de riscos, identificados nos trabalhos de interpretação de fotos aéreas e ortofotos.

De acordo com o traçado referencial do empreendimento e com base na fotointerpretação, os trechos onde estão previstos túneis foram detalhados nos trabalhos de campo com vistas ao mapeamento geotécnico dos perfis de intemperismo e tipos litológicos, e também das estruturas geológicas (falhas e fraturas e outras descontinuidades). Esses dados estruturais deverão ser lançados posteriormente em seções geológico-geotécnicas, com o rebatimento das feições estruturais nas cotas de escavação de forma a subsidiar, juntamente com os resultados das sondagens em andamento, a classificação

geomecânica preliminar dos diferentes maciços rochosos ao longo das escavações.

Nos trabalhos de campo todos os pontos mapeados tiveram suas coordenadas UTM registradas com GPS e as feições de interesse fotografadas.

Ao término desta etapa dos trabalhos as unidades geológico-geotécnicas existentes ao longo da diretriz da via foram identificadas e individualizadas, bem como efetuada a descrição das características geotécnicas, fragilidades e suscetibilidades das mesmas frente às prováveis solicitações da obra, compreendendo os seguintes aspectos:

- Tipos litológicos e unidades lito-estratigráficas agrupadas em cada unidade geológico-geotécnica;
- Tipos de materiais de coberturas inconsolidadas agrupados em cada unidade geológico-geotécnica;
- Aspectos geomorfológicos – forma, declividade, aspecto;
- Tipos pedológicos analisados do ponto de vista da geologia de engenharia / geotecnia;
- 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);
- Grau de fraturamento das rochas, atitude das discontinuidades (possível formação de cunhas);
- Grau de alteração dos maciços rochosos;
- Ocorrências de solos compressíveis (recalques);
- 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 da ocorrência de materiais de primeira, segunda e terceira categorias de escavação);
- Capacidade de suporte/carga de solos e rochas;
- Erodibilidade dos solos;
- Suscetibilidade a movimentos de massa;
- Ocorrências de turfeiras (possibilidade de combustão natural);
- Nível d'água;
- Suscetibilidade a inundações.

Os pontos considerados de risco geológico-geotécnico foram identificados e descritos de acordo com o tipo de processo potencial, e hierarquizados conforme o seu grau de risco. Foram considerados como pontos de risco geológico aqueles que, por suas características geológico-geotécnicas, estão sujeitos a processos gravitacionais relacionados à evolução de encostas, que atuem como áreas fonte de materiais passíveis de serem mobilizados, e dos locais sujeitos ao atingimento pelos materiais mobilizados, tais como áreas nos sopés ou nas planícies a jusante de elevações.

Para a hierarquização foram atribuídos os seguintes graus de risco geológico-geotécnico: baixo (R1), moderado (R2), alto (R3) e muito alto (R4).

Como critérios de avaliação foram adotados os graus de hierarquização preconizados pelo Ministério das Cidades para a avaliação de riscos geológico em assentamentos urbanos, que se mostraram adequados para aplicação no presente estudo, conforme apresentados a seguir.

- **R-I – Risco baixo** – Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção antrópica no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Não há indícios de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica.

Mantidas as condições existentes, não se espera a ocorrência de eventos destrutivos no período de um ciclo chuvoso.

- **R-II – Risco Moderado** – Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.) e o nível de intervenção antrópica no setor são de baixa potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de alguma(s) evidência(s) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Mantidas as condições existentes, é reduzida a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.
- **R-III – Risco Alto** – Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.) e / ou o nível de intervenção antrópica no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. Observa-se a presença de significativa(s) evidência(s) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes etc.) Mantidas as condições existentes, é perfeitamente possível a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.
- **R-IV – Risco Muito Alto** – Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno etc.) e / ou o nível de intervenção antrópica no setor são de alta potencialidade para o desenvolvimento de processos de escorregamentos e solapamentos. As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de escorregamento, feições erosivas, proximidade da via em relação a cursos d'água etc.) são expressivas e estão presentes em grande número e/ou magnitude. É a condição mais crítica. Mantidas as condições existentes, é muito provável a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de um ciclo chuvoso.

Para consubstanciar os trabalhos de delimitação dos pontos de risco geológico-geotécnico foram cartografadas com legenda específica as cicatrizes de processos de movimentos de massa nas encostas, identificando-se os escorregamentos, ocorrências de campos de blocos de rocha passíveis de tombamentos/rolamentos, afloramentos de rocha e cortes, “creeping” e erosões (ravinas e voçorocas), com ênfase no mapeamento das feições relacionadas a movimentos de massa em depósitos de tálus e colúvio. Foram ainda avaliadas as condições de possível ruptura ou lenta mobilização desses materiais detríticos, considerando-se a possibilidade de que tais movimentos possam causar danos ao empreendimento.

As áreas fontes de eventuais movimentos de massa de elevada energia, representados pelas corridas de detritos ou de lama, deverão ser identificadas, mesmo que localizadas fora da faixa de 2km, desde que, em função de características morfológicas específicas dos terrenos, o material que venha a ser mobilizado tenha grande poder de impacto e / ou possa percorrer grandes distâncias ao longo de vales e linhas de drenagem, atingindo assim as estruturas do TAV.

#### **IV.4.3. Elaboração do Mapa**

O mapa apresentado neste Relatório consiste da caracterização geológico-geotécnica dos terrenos, abrangendo toda a faixa com largura de 2km, sendo 1km para cada lado a partir do eixo da diretriz do traçado referencial da via do TAV.

Tal mapa apresenta a caracterização e individualização em unidades dos diferentes tipos de terrenos ao longo da diretriz do traçado que mostram diferenciados comportamentos e propriedades geotécnicas, as quais refletem as interações entre os condicionantes do meio-físico, tais como: litologias e sua evolução tectônica; tipos de solos (do ponto de vista pedológico) resultantes do intemperismo e pedogênese do substrato rochoso; coberturas inconsolidadas compreendendo todo o pacote intemperizado que capeia o substrato rochoso.

A individualização e caracterização das unidades geotécnicas ao longo da via foi realizada na escala de 1:10.000, sendo resultante de processos de análise dos temas geologia, geotecnia, geomorfologia e pedologia, acrescidos dos dados provenientes de trabalhos de campo, para observação, avaliação e aferição das características geotécnicas dos terrenos ao longo da via do empreendimento.

Dessa forma, as unidades geológico-geotécnicas definidas e caracterizadas refletem a tendência de comportamento dos terrenos frente às solicitações para a implantação e operação do empreendimento sob o ponto de vista da geologia de engenharia, buscando além das características geotécnicas, identificar as suscetibilidades dos terrenos frente a processos morfodinâmicos de encostas e aqueles relacionados aos processos erosivos, tais como ravinamentos e voçorocas.

Foram também considerados os condicionantes geotécnicos relacionados aos solos expansíveis, colapsíveis, de natureza cárstica, além de ocorrências minerais (jazidas de turfa e areia), existentes nas bacias sedimentares.

Com os recursos tecnológicos disponíveis no Sistema de Informação Geográfica-SIG foi possível elaborar o mapa de unidades geotécnicas, de forma que as informações originais, principalmente aquelas relacionadas com a compartimentação litológica, cujas unidades litoestratigráficas provenientes dos diversos mapas geológicos foram integradas do ponto de vista geotécnico, fossem preservadas e armazenadas na base de dados de atributos das unidades geotécnicas.

#### **IV.5. Investigações Geotécnicas**

Foram programadas com o objetivo caracterizar, do ponto de vista geológico-geotécnico o subsolo (solos e maciços rochosos) ao longo do traçado da via do TAV. Juntamente com o resultado do mapeamento geológico-geotécnico de superfície, apresentado neste relatório, tais investigações deverão fornecer os dados dos terrenos necessários ao estabelecimento dos parâmetros para o cálculo preliminar dos custos do empreendimento. As investigações deverão

ainda abranger, também de forma preliminar, a caracterização dos terrenos sujeitos à ocorrência de processos morfodinâmicos e erosivos de risco à construção e operação do mesmo empreendimento.

Deverão também orientar a prospecção preliminar de materiais naturais de construção, (terrosos), quanto às suas condições de compactação e trabalhabilidade para aterros, agregados (gráudo-rocha e miúdo-areia) para concreto, e pedra para lastro, necessários à construção da ferrovia.

As investigações indiretas programadas compreendem métodos geofísicos – sondagens elétricas verticais e caminhamentos elétricos, e as diretas referem-se a sondagens manuais e mecânicas – sondagens a trado, sondagens a percussão, sondagens mistas e sondagens rotativas. Os locais e os métodos das investigações foram estabelecidos conforme as características geológico-geotécnicas de cada trecho específico do terreno, em função de cada obra definida no estudo do traçado referencial, de forma a auxiliar na caracterização dos terrenos e avaliação dos riscos ao longo da diretriz do TAV.

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 deverão ser executadas outras investigações no nível de detalhamento apropriado a tal finalidade.

#### **IV.5.1. Investigações Diretas – Sondagens Mecânicas (rotativas, mistas e percussão), Manuais (trado) e Ensaio de Laboratório**

Com o objetivo de investigar as características geológico-geotécnicas dos terrenos do traçado da via do TAV, foram programadas sondagens mecânicas: mistas (rotativa e percussão) em solo e rocha, percussão (com SPT) em solo, e rotativas em rocha. As sondagens mistas (SM), em número de 40, têm por objetivo caracterizar a cobertura de solos, principalmente quanto à estabilidade, nos locais de emboque e/ou desemboque de túneis, e definir o topo do maciço rochoso subjacente. Deverão, em média, alcançar profundidades da ordem de

30m. As sondagens a percussão com SPT em solo (SP), também em número de 40, objetivam caracterizar a consistência, resistência ao carregamento, estabilidade e escavabilidade da cobertura de solos (transportados e residuais) que capeiam o substrato rochoso. Poderão alcançar profundidades de até 25m, ou mais, em áreas onde o manto de intemperismo for mais espesso. As sondagens rotativas (SR), em um total de 10 furos, foram programadas com o objetivo de investigar a ocorrência de estruturas geológicas que representem descontinuidades e identificar os tipos litológicos, de modo a caracterizar o comportamento geológico-geotécnico dos maciços rochosos, principalmente quanto à escavabilidade e estabilidade, ao longo dos extensos túneis projetados para a Serra das Araras e da região do Planalto Paulista próximo às cidades de São Paulo e Campinas. Na Serra do Mar foram programados com profundidades da ordem de 100 a 140m.

Do mesmo modo, foram programados 100 furos manuais de sondagem a trado com profundidade máxima de 5m, para prospecção de materiais terrosos em futuras áreas de empréstimo para terraplenagem, e ensaios de laboratório nas amostras obtidas a partir desses furos (ensaios de caracterização – LL, LP e granulometria; compactação – próctor normal; Índice de Suporte Califórnia).

#### **IV.5.2. Levantamento Geofísico (SEV's e caminhamento elétrico)**

As investigações geofísicas foram programadas em caráter complementar às investigações diretas com o objetivo de estabelecer, principalmente, a profundidade do topo rochoso, a possibilidade de ocorrência de cavidades em terrenos cársticos, a extensão dos trechos dos maciços rochosos afetados por estruturas de origem tectônica (falhas, fraturas juntas, etc.), a espessura das coberturas inconsolidadas sobrejacentes ao substrato rochoso, e a profundidade do lençol freático. Tais investigações consistem de Sondagens Elétricas Verticais (SEV's), em número de 300, e Caminhamentos Elétricos em um total de 50km.

## IV.6. Levantamento de Dados Geológico-Estruturais

A metodologia usada na coleta de dados de controle geológico-estrutural foi dividida em 3 etapas, a saber:

### IV.6.1. Análise do modelo digital do terreno (MDT) e fotointerpretação

O trabalho consistiu da inferência de lineamentos utilizando-se o controle estrutural destacado na morfologia do terreno, que é identificada como escarpas alinhadas, variações bruscas de declividade e de direção da rede de drenagem, dentre outros.

Como base morfológica, foi utilizado o Modelo Digital de Terreno (MDT) (ENGEMAP), com luz incidida nas direções de 45° e 305° (azimute) e altitude de 45m para identificar estruturas nas direções NW e NE respectivamente.

Após o traçado dos lineamentos nos dois sentidos mencionados acima, foi feito um ajuste utilizando ortofotos na escala 1: 10.000.

Posteriormente foram utilizados mapas estruturais de diferentes escalas, onde foram levantados os nomes de falhas e zonas de cisalhamento conhecidas que foram comparadas e ajustadas com os lineamentos traçados a partir do MDT.

Aos vetores representativos das estruturas geológicas ajustadas sobre o MDT, criado no formato shape-file (ESRI), foi associada uma base de dados de atributos com os seguintes campos de informação: **Descrição:** contendo o tipo de estrutura; **Fonte:** contendo a fonte da qual foi utilizada para a sua nomenclatura; **N\_Estrutura:** Nome da estrutura

### IV.6.2. Coleta de dados estruturais no campo

Durante os trabalhos de campo, concomitantemente ao mapeamento e verificação das unidades geológico-geotécnicas, foi feito o levantamento de dados estruturais. As medidas foram feitas com bússola do modelo Brunton, envolvendo o maior número possível de estruturas geológicas: foliações, zonas de cisalhamento falhas etc.

Esta etapa possibilitou a formação de um banco de dados para a geração de informações que seriam tratadas na etapa seguinte.

### **IV.6.3. Integração e tratamento dos dados**

Os dados de estruturas obtidos em campo por diferentes equipes foram integrados e tratados utilizando-se o programa StereoNett versão 3.03 que permitiu a confecção de redes de Shimidt-Lambert e Diagramas de Roseta onde foi possível a identificação das direções preferências das estruturas.

## **IV.7. Dados Gerados em Ambiente SIG**

### **IV.7.1. Mapas de Declividades**

Com base no modelo digital de terreno (MDT), com resolução espacial de 20,0m, segundo a empresa ENGEMAP executora do produto, foi elaborado, no ArcGis 9.3 o mapa de declividades do terreno ao longo do trecho abrangido pela faixa de 20,0 km (10,0km para cada lado do traçado referencial). O mapa de declividades em gerado com 7 classes em percentagem, com os seguintes intervalos:

0 – 2%; 2 – 4%; 4 – 6%; 6 – 10%; 10 – 20%; 20 – 45%; maior que 45%

### **IV.7.2. Aspecto (orientação de vertentes)**

Com base no MDT foi gerado o mapa de aspecto de vertentes, que consiste na delimitação da orientação da face de vertentes (encostas) determinadas em relação a sua orientação em relação ao Norte, representada em azimutes. O mapa de aspecto consiste em importante meio para o desenvolvimento de estudos relativos a suscetibilidade de instabilidade de encostas, por exemplo, considerando as relações espaciais entre a orientação da face de uma determinada encosta e a orientação (direção e mergulho) de planos de descontinuidades estruturais e outras feições do maciço rochoso.

O mapa de aspecto é classificado em 9 classes de azimute em graus:

0 – 45; 45 – 90; 90- 135; 135 – 180; 180 – 225; 225 – 270; 270 – 315; 315 – 360.

### **VI.7.3. Mapa Hipsométrico**

O modelo digital de terreno possibilitou ainda a elaboração do mapa hipsométrico que representa o relevo de acordo com faixas de intervalos de curvas de nível. O mapa hipsométrico consiste de importante tema na visualização e avaliação da amplitude do terreno, possibilitando inferências relacionadas com o tipo de intervenção proposta, tais como a execução de cortes e aterros.

O mapa hipsométrico foi classificado em 30 classes de intervalos de altimetria, com intervalos variáveis, de 20,0m, 40,0m para detalhar os trechos de corte e aterro e trecho com espaçamento maior nos trechos de túnel.

### **IV.7.4. Mapa de Densidade de Fraturas**

O mapa de densidade de fraturas foi elaborado para subsidiar estudos e ampliar o conhecimento dos trechos ao longo do traçado referencial que apresentam maior incidência de estruturas geológicas, considerando que quanto maior a ocorrência de descontinuidades por unidade de área, maior poderá ser o comprometimento das propriedades geomecânicas do maciço rochoso, face à maior anisotropia, condicionando o aumento do grau de fraturamento das rochas e conseqüente aumento do grau de alteração de permeabilidade.

Assim, o levantamento estrutural realizado a partir de trabalhos de fotointerpretação e do ajuste das feições estruturais obtidas de trabalhos anteriores, somadas aos dados referentes às medidas de foliação, fraturas, diques e outras feições estruturais, levantadas nos trabalhos de campo, resultou em um importante conjunto de dados, que além da geração de estereogramas e diagramas, possibilitou a aplicação de métodos de modelagem espacial de dados para a elaboração do mapa de densidade de fraturas.

O mapa de densidade de fraturas foi elaborado a partir da adoção de ferramentas disponíveis no SIG (ArcGis 9.3) onde primeiramente foi gerado um *grid* (malha regular) de 1000x1000m. Foram testadas malhas com dimensões de 250x 250 e 500x500m, sendo que o melhor resultado obtido e que respondeu aos objetivos propostos foi a gerada na primeira tentativa.

Em continuidade, as estruturas geológicas no formato vetorial foram submetidas a um processo de corte (*intersect*) para cada célula do grid. Em seguida foi feito o somatório dos seguimentos de fratura em cada célula. Finalizando, o resultado do somatório dos comprimentos das estruturas foi dividido pela área de cada uma das respectivas células do grid.

Ao final do processo foi obtido o mapa de densidade de fraturas, que foi reclassificado para sete classes de graus de fraturamento. O resultado obtido indica a maior ou menor incidência de descontinuidades geológicas, as quais poderão condicionar o comportamento geotécnico e hidrogeológico das rochas tanto em superfície como em profundidade.

Entretanto, deve ser salientado que o resultado obtido é dependente de fatores que incluem alguns aspectos fundamentais, tais como: grau de detalhamento da extração das estruturas geológicas; tamanho de célula do grid; tipologia das estruturas geológicas; aspectos qualitativos relativos a alteração das paredes das descontinuidades; abertura da fratura; preenchimento da fratura; tipo de material de preenchimento; orientação das famílias das descontinuidades e outras variáveis.

## **V. RESULTADOS OBTIDOS NOS TRABALHOS REALIZADOS**

Os trabalhos executados pelo Serviço Geológico do Brasil – CPRM, tanto de coleta e tratamento de dados existentes (dados secundários), como de geração de novos dados (dados primários), para subsidiar a atual etapa dos estudos de implantação da via do Trem de Alta Velocidade – TAV entre as cidades de Campinas, São Paulo e Rio de Janeiro foram concluídos dentro dos prazos previstos, apresentando os resultados mostrados a seguir.

## V.1. Geologia Regional

A região desse Projeto, objeto de estudos anteriores efetuados por diversos pesquisadores, aqui resumidos, está inserida na província Mantiqueira, mais precisamente subdividida entre dois de seus orógenos, o Ribeira (grande parte dela) e Brasília Meridional. Estes orógenos também são subdivididos tectono-estratigraficamente e receberão maior detalhamento neste texto.

### V.1.1. Síntese da Evolução Tectônica Regional

- **A Província Mantiqueira**

Segundo Heilbron *et al.*; (2005) a Província Mantiqueira representa um sistema orogênico Neoproterozóico situado no sul e sudeste do Brasil. Ela engloba os orógenos Araçuaí, Ribeira, Brasília Meridional, Dom Feliciano e São Gabriel, que se distribuem desde o sul do Estado da Bahia até o Estado do Rio Grande do Sul.

A Província Mantiqueira desenvolveu-se durante a Orogenia Neoproterozóica Brasiliano-Pan Africana a qual resultou na amalgamação do Paleocontinente Gondwana Ocidental.

- FAIXA RIBEIRA

Limitados por importantes descontinuidades estruturais, os diversos terrenos tectônico-estratigráficos que constituem a Faixa Ribeira foram progressivamente acrescidos junto às bordas cratônicas e às faixas móveis (terrenos) colididas previamente, em vários episódios colisionais (ca. 630 Ma; 605 Ma; 580 Ma e 520 Ma).

A compartimentação tectônica estabelecida no seu setor central compreende quatro terrenos tectono-estratigráficos: Ocidental, Oriental, Paraíba do Sul/Embú e Cabo Frio (Heilbron *et al.*, 2000; 2004; 2009; Trouw *et al.*, 2000) (Figuras V.1.1 e V.1.2).

Neste setor, os dois primeiros terrenos são separados por uma zona de cisalhamento complexamente redobrada (Limite Tectônico Central-LTC,

Almeida *et al.*, 1998) com mergulhos subverticais a moderados para NW mas também apresentando mergulhos para SE. Já o limite basal do Terreno Cabo Frio é representado por uma zona de cisalhamento de baixo ângulo, com mergulho para SE (Almeida *et al.*, 1998; Tupinambá *et al.*, 2000).

#### -Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB)

Instalado no domínio da Faixa Ribeira, o Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB), de idade paleógena, consiste em uma depressão alongada e deprimida com pouco mais de 900 km de comprimento, desenvolvida entre as cidades de Tijucas do Sul, no Estado do Paraná, e a área submersa defronte Macaé, no Estado do Rio de Janeiro. O rift segue a linha de costa atual, da qual dista em média 70 km, alcançando o Oceano Atlântico em seu segmento ocidental e na sua terminação nordeste.

Numerosos corpos de rochas alcalinas eocretáceas a paleogênicas ocorrem ao longo das bordas do rift. Zonas de cisalhamento neoproterozóicas de direção NE a EW, reativadas como falhas normais no Paleógeno e transcorrentes no Neógeno ensejaram a instalação e deformação das bacias que compõem o RCSB.

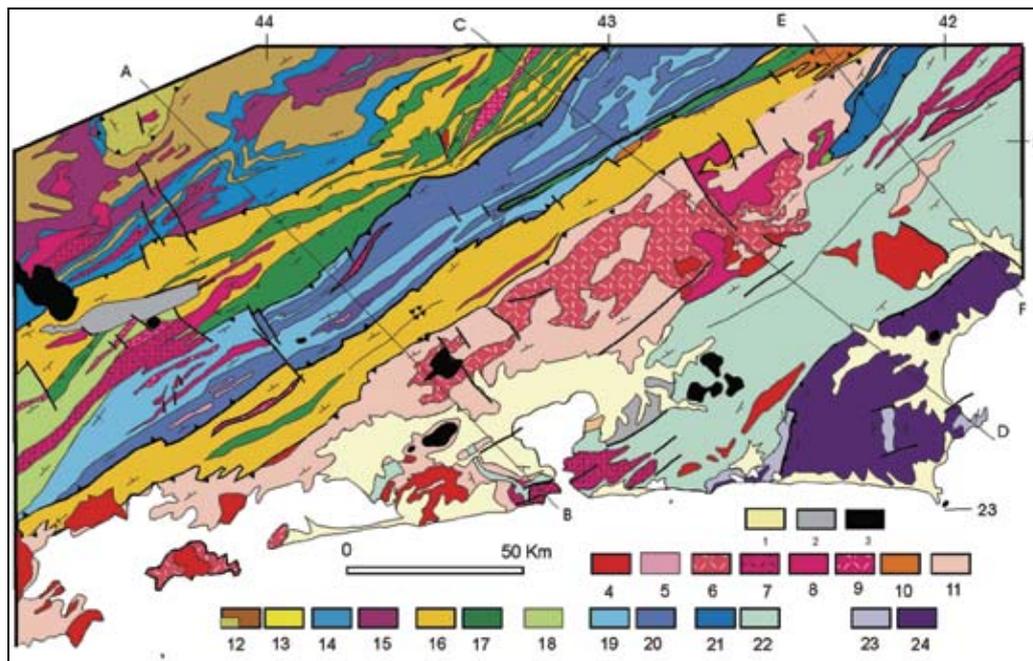


Figura. V.1.1- Mapa geológico simplificado do Orógeno Ribeira,. Legenda 1-Sedimentos quaternários, 2-Sedimentos terciários, 3-Rochas alcalinas cretáceas/terciárias, 4-Granitóide Brasilianos sin a pós-colisionais (4-9)- 4-Biotita granitos pós-colisionais (510-480 Ma, G5), 5-Granitos contemporâneos às ZCs D3 (535-520 Ma, G4), 6-granitos e charnockitos tardi-colisionais (ca. 560 Ma, G3); 7-Granitos porfiríóides sin-colisionais (590-560 Ma); 8-Leucogranitos e charnockitos tipo S ou híbridos sin-colisionais (ca. 580 Ma, G2); granitóides com idade indeterminada (9-10): 9-Hornblenda granito gnaiss; 10-Suítas Anta e São Primo; 11-Arco magmático Rio Negro (790-620 Ma); Terreno Ocidental (12-17): Megassequência Andrelândia (12-14): 12-Sequência Rio do Turvo em fácies granulito de alta P; 13-Sequência Rio do Turvo; 14-Sequência Carrancas; 15-Complexo Mantiqueira; 16-Fácies distais da Megassequência Andrelândia no Domínio Juiz de Fora; 17-Complexo Juiz de Fora; 18-Complexo Embu indiviso; Terreno Paraíba do Sul (19-20): 19-Grupo Paraíba do Sul; 20-Complexo Quirino; Terreno Orinetal (21-22): 21-Sucessão metassedimentar Italva; 22-Sucessão metassedimentar Costeiro; Terreno Cabo Frio (23-24): 23-Sucessão Búzios e Palmital; 24-Complexo Região dos Lagos.  
Fonte: Extraído de Heilbron *et al* , 2004

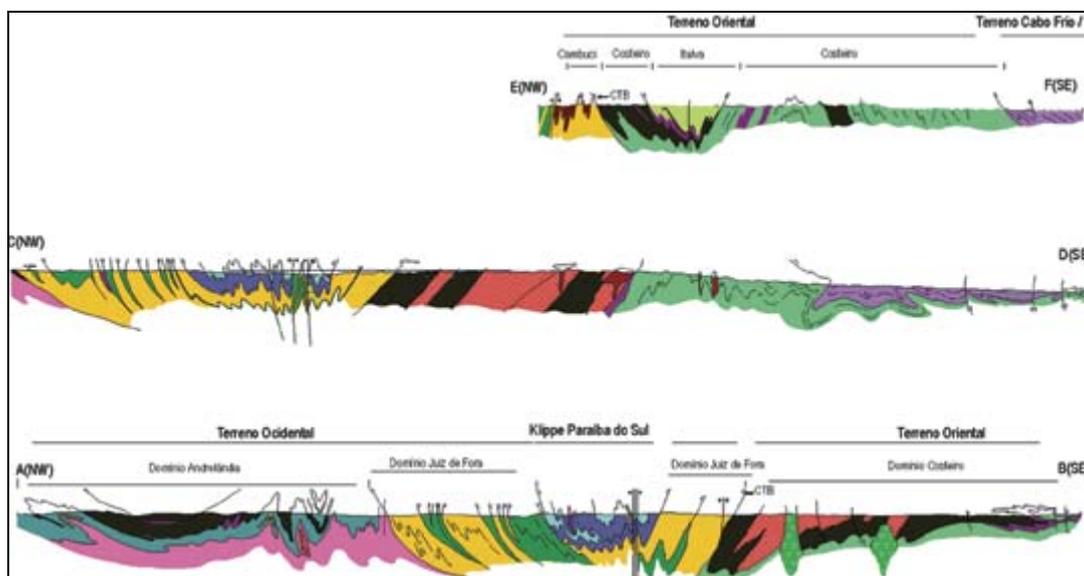


Figura. V.1.2 - Perfis estruturais transversais ao Orógeno Ribeira, compilado de Heilbron *et al.* (2004). Legenda como na figura anterior.

O RCSB pode ser subdividido em três segmentos. O segmento ocidental engloba a Bacia de Curitiba, as formações Alexandra e Pariquera-Açu, e os grábens de Guaraqueçaba, Cananéia e Sete Barras. O segmento

central (de maior importância no estudo) acolhe as bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda, assim como os depósitos das regiões de Bonfim (localizada a sudeste da Bacia de Taubaté) e Cafundó (entre as bacias de Resende e Volta Redonda). O segmento oriental compreende as bacias do Macacu, Itaboraí e o Gráben de Barra de São João.

#### -Graben da Guanabara

O Gráben da Guanabara, que inclui a depressão tectônica da Baixada Fluminense, da Baía da Guanabara a norte das ilhas do Governador e Paquetá (Figura V.1.3). Nele, os blocos do embasamento cristalino, tectonicamente rebaixados por falhas normais, foram parcial ou totalmente recobertos por sedimentos cenozóicos ou pelo mar. Nas áreas de recobrimento parcial dos blocos do embasamento, o relevo é tipificado por cristas e morros em meia-laranja isolados ou agrupados, sobressaindo-se da planície sedimentar, ou como ilhas no fundo da Baía da Guanabara.

Do relevo deprimido do Graben da Guanabara sobressaem-se duas montanhas isoladas, que correspondem aos complexos intrusivos alcalinos do Tinguá (1) e do Mendanha (2). O primeiro situa-se na borda norte e o segundo no interior do Graben da Guanabara. O maciço de Itaúna (4) (Mun. São Gonçalo) ocorre na borda meridional, embora não forme relevo tão saliente.

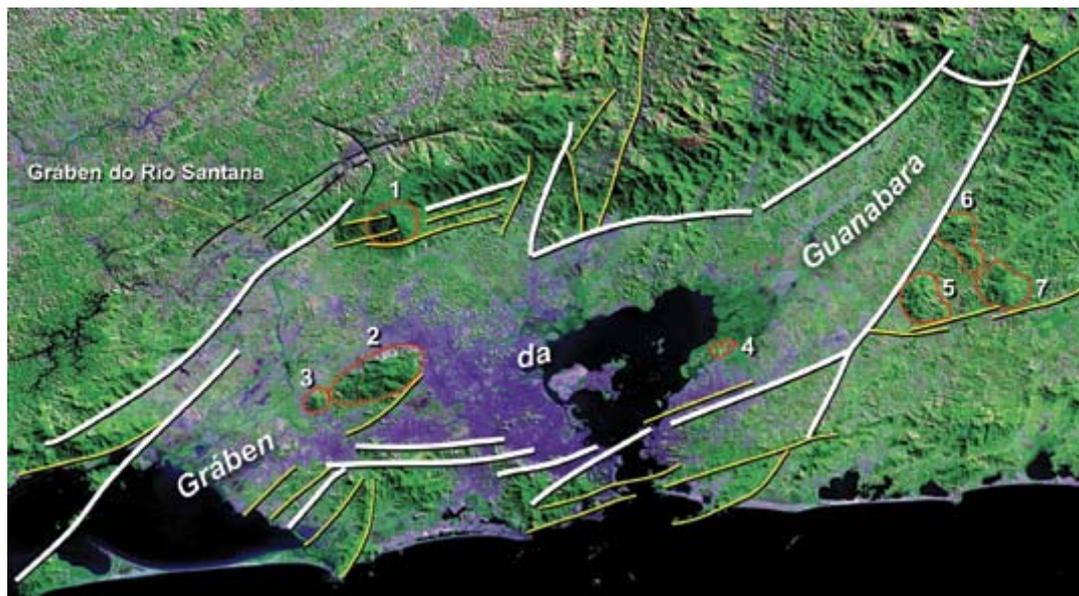


Figura. V.1.3 - Imagem de satélite da NASA sobre o Gráben da Guanabara. Interpretação estrutural mostra os principais falhamentos de borda do gráben (traços grossos brancos) e outros menores associados (traços amarelos). Intrusões alcalinas encontram-se delineadas em vermelho: 1- Tinguá, 2- Mendanha, 3- Marapicu, 4- Itaúna, 5- Tanguá, 6- Soarinho, 7- Rio Bonito. O Gráben do Rio Santana representa um episódio tardio (Ne-Mioceno - Presente).

Fonte: Zalán P. V (2005)

- FAIXA BRASÍLIA

De idade neoproterozóica, como a faixa Ribeira, a faixa Brasília é marcada por dois ramos distintos: a Faixa Brasília Setentrional (FBS), de orientação NE, e a Faixa Brasília Meridional (FBM), de orientação NW. Esses dois ramos se encontram na altura do paralelo de Brasília formando a Megaflexura dos Pireneus, dando à Faixa Brasília uma pronunciada concavidade voltada para leste, em conformação a uma protuberância no contorno original da margem do paleocontinente São Francisco.

- A FAIXA BRASÍLIA MERIDIONAL (FBM)

A FBM tem estilo tectônico definido pelo empilhamento de extensas *nappes* de cavalgamento subhorizontais formadas predominantemente por rochas da margem passiva sanfranciscana, empurradas em direção ao Cráton do São Francisco por volta de 640 Ma. No seu conjunto, o grau metamórfico e a intensidade da deformação ligada ao cisalhamento de baixo mergulho aumentam consideravelmente, porém não continuamente, da área cratônica, até a zona mais interna da faixa, passando pelas zonas de antepaís e externa. Nos seus estágios mais

tardios, a deformação passa para um estilo dominado por dobramentos mais abertos associados a falhas transcorrentes sinistrais de direção NW-SE que acabam por fragmentar a FBM em segmentos deslocados (Luminárias, Passos, Tapira, Araxá-Goiânia).

### **V.1.2. Litoestratigrafia e Compartimentação Tectônica**

Neste item serão abordados dados referentes a litoestratigrafia dos diferentes terrenos das faixas Orogênicas de maior importância na área e sempre que possível serão associados a sua compartimentação tectônica.

- **Faixa Ribeira**

- TERRENO OCIDENTAL

O Terreno Ocidental corresponde à margem passiva retrabalhada do paleocontinente São Francisco, sendo composto por unidades do embasamento paleoproterozóico/arqueno retrabalhado e sucessões sedimentares da margem passiva neoproterozóica. (Trouw *et al.*, 2000; Heilbron *et al.*, 2004a).

As associações do embasamento compreendem duas unidades distintas: a) ortognaisses migmatíticos com anfíbolitos e, subordinadamente, rochas granulíticas; b) ortogranulitos paleoproterozoicos com ampla variação composicional. A margem passiva neoproterozóica (Megassequência Andrelândia) é representada por uma sucessão metassedimentar siliciclástica metamorfisada desde baixo até alto grau.

O Terreno Ocidental é subdividido em dois domínios estruturais principais, Domínios Andrelândia e Juiz de Fora, que apresentam distintos estilos estruturais e associações litológicas. O Domínio Andrelândia é caracterizado por grandes dobras e empurrões de baixo a médio ângulo com vergência para NNW, que deformam a seqüência metassedimentar siliciclástica e seu embasamento arqueano a paleoproterozóico. O Domínio Andrelândia está

cavalgado sobre o Domínio Autóctone, situado junto a borda do Cráton do São Francisco, e também sobre a porção meridional da Faixa Brasília, formando uma zona de interferência com a Faixa Ribeira. O Domínio Juiz de Fora é caracterizado pela intensa intercalação tectônica entre os metassedimentos da Megassequência Andrelândia e os ortogranulitos paleoproterozóicos do Complexo Juiz de Fora, mostrando frequentemente, rochas com texturas miloníticas relacionadas a empurrões de alto ângulo, que também indicam movimentação oblíqua dextral. O limite entre os Domínios Juiz de Fora e Andrelândia é estabelecido pela Zona de Empurrão do Rio Preto.

#### o TERRENO PARAÍBA DO SUL

O Terreno ou *Klippe* Paraíba do Sul encontra-se, de maneira geral, cavalgado sobre o Terreno Ocidental, sendo constituído por duas principais associações litológicas: a) ortognaisses paleoproterozóicos de composição, predominantemente, granítica a granodiorítica; b) seqüência metassedimentar siliciclástica composta por gnaisses bandados e xistos pelíticos contendo lentes de mármore, calcissilicáticas e gonditos. As rochas do Terreno Paraíba do Sul mostram uma xistosidade de médio ângulo de mergulho, deformada por dobras apertadas e abertas. Rochas com *fabric* milonítico são observadas, especialmente, junto aos contatos com os Terrenos Ocidental e Embu (Heilbron *et al.*, 2000, 2004).

Ocorre também uma zona milonítica de alto ângulo, denominada de Zona de Cisalhamento de Além Paraíba (Campanha, 1981), que é tardia em relação ao episódio colisional principal e situada junto ao contato entre o Terreno Paraíba do Sul e o Domínio Juiz de Fora (Terreno Ocidental) estendendo-se desde o Estado de São Paulo até o norte do Estado do Rio de Janeiro.

#### ○ TERRENO EMBU

O Terreno Embu é limitado a norte e ao sul por extensas zonas de cisalhamento de alto ângulo com componente de movimentação dextral, como os contatos com os Terrenos Paraíba do Sul e Oriental, denominado de Zona de Cisalhamento de Cubatão.

Indicadores cinemáticos tectônicos sugerem que os Terrenos Paraíba do Sul e Embu foram colados lateralmente aos Terrenos Apiaí-Açunguí e Ocidental (Campos Neto, 2000; Heilbron *et al.*, 2004). Ao longo de seu *strike* o Terreno Embu acunha junto ao Terreno Ocidental, para leste, e com o Terreno Apiaí-Açunguí, a oeste. Semelhante ao Terreno Paraíba do Sul, o Terreno Embu é composto por duas associações litológicas: a) ortognaisses paleoproterozóicos de composições graníticas a tonalíticas; b) seqüência metassedimentar composta por metapelitos, metapsamitos, quartzitos e rochas calcissilicáticas.

#### ○ TERRENO ORIENTAL

O Terreno Oriental é formado por três escamas tectônicas (Heilbron & Machado 2003), listadas abaixo da base para o topo, seguindo uma seção NW–SE: a) Domínio Cambuci – composto por granada-biotita gnaisses com lentes de mármore e calcissilicáticas, onde os protólitos sedimentares destas rochas são interpretados como depósitos de ambiente tipo bacia ante-arco. b) Domínio Costeiro – representa o ambiente aonde se instalou o arco magmático da Faixa Ribeira, denominado de Complexo Rio Negro, sendo constituído também por paragnaisses pelíticos ricos em intercalações de quartzitos e calcissilicáticas. Os ortognaisses do Complexo Rio Negro possuem afinidade calcialcalina e composição variando desde tonalítica até granítica, com enclaves dioríticos e gabróicos. c) Domínio Italva – composto de uma sucessão metassedimentar de baixo grau rico em rochas carbonáticas plataformais, interpretadas

como depositadas em uma margem passiva ou ambiente de bacia retro-arco.

- CTB – *Central Tectonic Boundary*

Ou Limite Tectônico Central (Almeida *et al.*, 1998; Almeida, 2000) é a principal descontinuidade tectônica, que representa o limite entre os Terrenos Oriental e Ocidental, ou seja, uma zona de sutura entre as duas placas. O CTB é uma zona de cisalhamento dobrada que mostra uma complexa evolução estrutural desenvolvida em condições de alta temperatura.

Feições deformacionais e metamórficas superimpostas ao CTB, incluindo dobramentos abertos e zonas de cisalhamento subverticais, foram causadas pela colagem tardia, associada ao Terreno Cabo Frio.

- TERRENO CABO FRIO

Duas principais unidades estratigráficas ocorrem no Terreno Cabo Frio (Heilbron *et al.*, 1982): a) ortognaisses paleoproterózoicos (ca. 1.9 Ga) com intrusões de anfibolitos (Schmitt *et al.*, 2004); b) e um conjunto mais novo formado por sucessão metassedimentar de alto grau composta de paragnaisses pelíticos a psamíticos com lentes de anfibolitos e calcissilicáticas.

O Terreno Cabo Frio colidiu com a faixa entre 530–510 Ma. Este episódio cambriano tem sido referido como orogenia Búzios (Schmitt *et al.*, 2004) e gerou importantes estruturas de baixo ângulo no Terreno Cabo Frio, destacando as grandes dobras isoclinais (Heilbron *et al.*, 1982). Este último episódio tectônico também resultou na superposição de dobramentos e zonas de cisalhamento dextrais que afetaram todos os terrenos previamente amalgamados (Oriental, Paraíba do Sul, Embu e Ocidental). Um dos exemplos é a Zona de Cisalhamento de Além Paraíba (Campanha, 1981), de

centenas de quilômetros de extensão e com uma espessa faixa milonítica.

Segundo Eirado (2006), todos os terrenos que compõe a Faixa Ribeira apresentam direção preferencial de foliação (Figura V.1.4) e falhas principais (Figura V.1.5) para NE e as Zonas de Cisalhamento Dúctil Rúptil (Figura V.1.6) apresentam uma direção preferencial para NW.

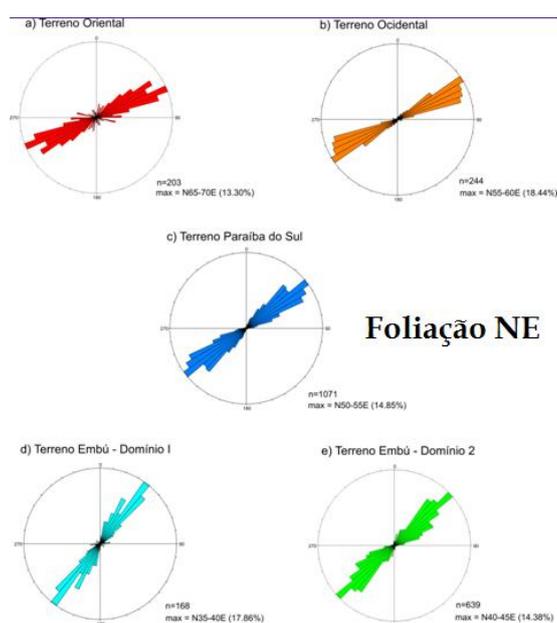


Figura V.1.4 - Direção Preferencial da Foliação nos diferentes terrenos que compõem a faixa Ribeira (Eirado, 2006)

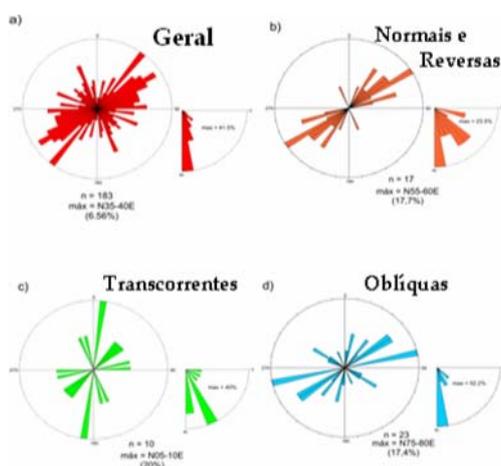


Figura V.1.5 – Direção Preferencial dos diferentes tipos de falhas (Eirado, 2006)

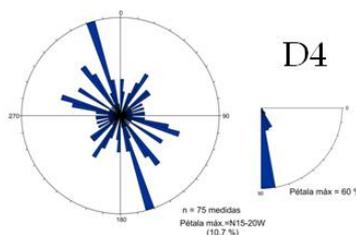


Figura V.1.6 – Zonas de Cisalhamento Dúctil Rúpteis (Eirado, 2006)

Alguns diques localizados na região de Resende constituem-se uma exceção em relação aos demais, que apresentam concordância com a orientação preferencial da foliação regional (NE). Segundo Guedes *et al.*, (2005) há uma predominância de direções N-NW nos diques de rochas toleíticas(A) e nas juntas(B) enquanto que nos diques de rochas alcalinas(C) e falhas(D), a direção preferencial é a ENE concordante com a regional (Figura V.1.7).

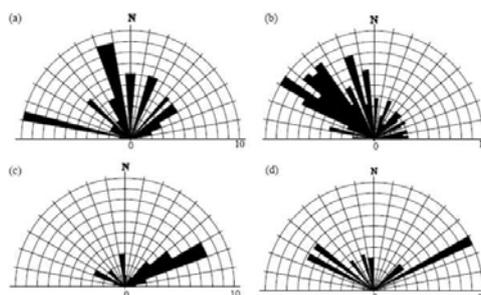
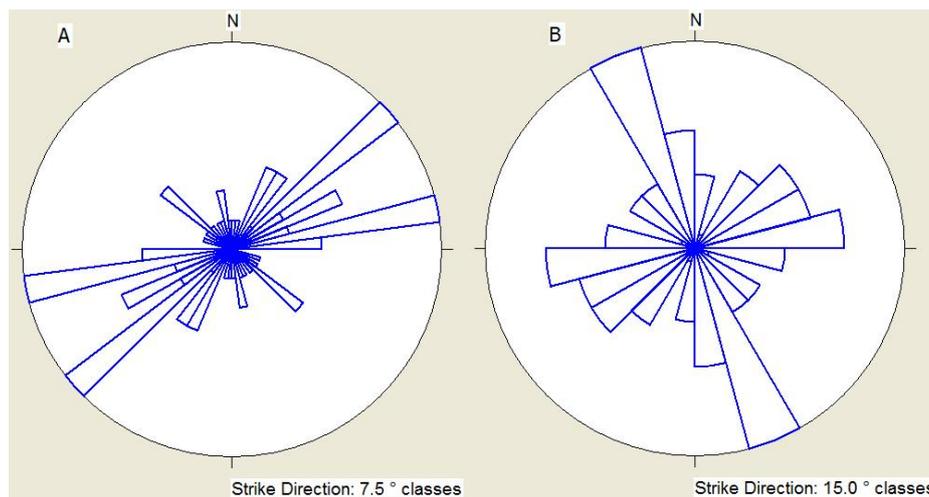


Figura V.1.7 – Direção preferencial das estruturas na Região de Resende – RJ

- **TRATAMENTO DOS DADOS ESTRUTURAIS DE CAMPO**

De acordo com o levantamento de estruturas no campo, a direção preferencial das fraturas ao longo da área do traçado, é NW e da Foliação NE (Figuras V.1.8 A e B), concordante com os trabalhos apresentados anteriormente, mas devido a poucas exposições capazes de serem analisadas estruturalmente pela pequena largura da área mapeada (1 km de cada lado do traçado) e a grande variação de eventos superpostos, faz-se necessário uma análise regional mais detalhada para uma melhor interpretação do controle estrutural.



Figuras V.1.8 A e B - Direção preferencial das fraturas e da foliação ao longo da área do traçado. A) Foliações-Geral. B) Fraturas-Geral

Os trabalhos de Riccomini (1998), Salvador (1994) e Ferrari (2001) expõem diversas etapas de ativação e reativação de estruturas e modificações de tensores ao longo da evolução do RCSB com uma ênfase na Região do Vale do Rio Paraíba do Sul e a evolução do Graben da Guanabara por parte dos dois últimos autores, respectivamente.

- **Bacias Tafrogênicas Cenozóicas**

A individualização das bacias de São Paulo, Taubaté, Resende e Volta Redonda (Figura V.1.9) está relacionada às fases de deformações posteriores à instalação do segmento central do RCSB, como evidenciado pelas ocorrências isoladas de sedimentos nas áreas de separação entre essas bacias (Riccomini, 1989).

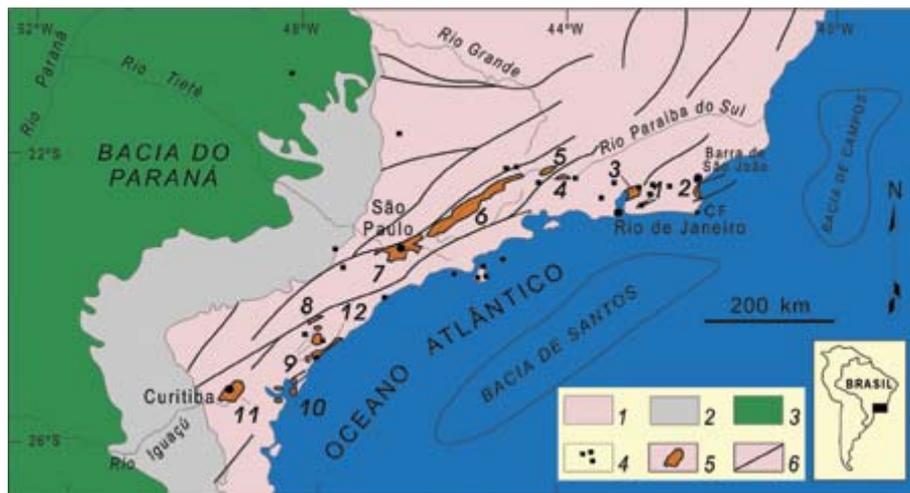


Figura. V.1.9 - Contexto geológico regional do *Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB)* e Bacias Tafrogênicas - 1) embasamento pré-cambriano; 2) rochas sedimentares paleozóicas da Bacia do Paraná; 3) rochas vulcânicas toleíticas eocretáceas da Formação Serra Geral; 4) rochas relacionadas ao magmatismo alcalino mesozóico-cenozóico; 5) bacias cenozóicas do *rift* (1- Bacia de Itaboraí, 2- Gráben de Barra de São João, 3- Bacia do Macacu, 4- Bacia de Volta Redonda, 5- Bacia de Resende, 6- Bacia de Taubaté, 7- Bacia de São Paulo, 8- Gráben de Sete Barras, 9- Formação Pariquêra-Açu, 10- Formação Alexandra e Gráben de Guaraqueçaba, 11- Bacia de Curitiba, 12- Gráben de Cananéia); 6) zonas de cisalhamento pré-cambrianas, em parte reativadas durante o Mesozóico e Cenozóico. Fontes: Riccomini *et al.*, 2005 modificado de Melo *et al.*(1985a), Riccomini *et al.*(1996) e Ferrari & Silva (1997).

- o Bacias de Volta Redonda e Resende

Dentre as três bacias orientais, a de Volta Redonda (Figura V.1.10) é aquela de menor expressão em área de exposição. Está encaixada em falhas normais, com orientação similar a das outras bacias, embora ocorra deslocada para SE com relação ao *trend* estrutural. Segundo Riccomini (1989) a sedimentação caracteriza ambientes continentais, com registros de sedimentação rudácea associada a leques aluviais proximais. Estes gradam lateralmente para fácies distais mais finas (Formação Resende) e para ambientes fluviais de rios anastomozados (Formação São Paulo) daí passando para uma sedimentação muito fina, de ambiente lacustre (Formação Tremembé).

Quanto a Bacia de Resende, trata-se de uma depressão alongada na direção ENE, com pouco mais de 43 km de comprimento e largura média entre 5 e 6 km, perfazendo cerca de 230 km<sup>2</sup> de área (Figura V.1.10). A bacia possui compartimentação transversal imposta pelo Alto Estrutural de Resende, de direção NE (Melo *et al.*, 1983; 1985b;

Riccomini, 1989). Este alto atuou como fonte de sedimentos fanglomeráticos, mas também guarda remanescentes de sedimentos paleogênicos no seu topo. Dados de sondagem distribuídos de maneira irregular na bacia indicam espessura de sedimentos superior a 220 m no compartimento situado a oeste do alto transversal, assim como um espessamento dos depósitos de sul para norte (Melo *et al.*, 1983). A disposição das falhas mestras de direção ENE, reativadas do embasamento, ao longo de sua borda norte e a inclinação do seu assoalho no rumo NNW, permitem caracterizar a bacia como um hemigráben.

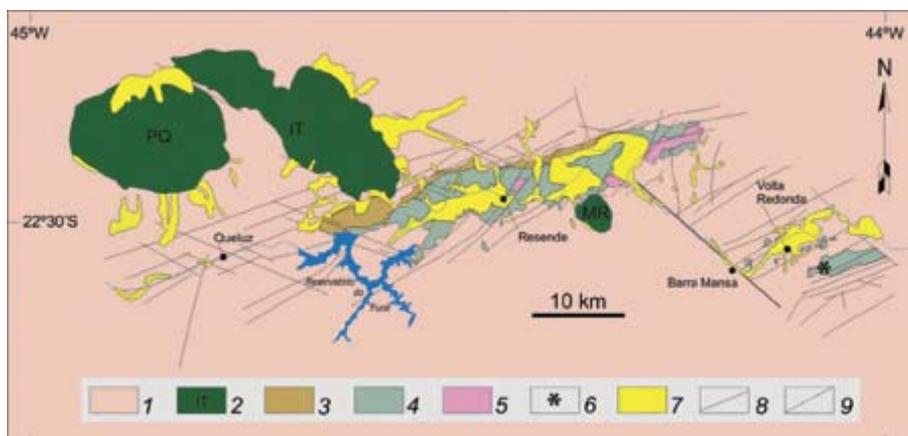


Figura. V.1.10 – Mapa geológico das bacias de Resende e Volta Redonda - 1) embasamento pré-cambriano; 2) maciços alcalinos (IT- Itatiaia, PQPassa Quatro, MRMorro Redondo); 3) Formação Resende (sistema de leques aluviais proximais); 4) Formação Resende (sistema de leques aluviais medianos a distais associados a planície aluvial de rios entrelaçados); 5) Formação São Paulo; 6) derrames de ankaramito; 7) sedimentos quaternários; 8) falhas cenozóicas, em parte reativadas do embasamento pré-cambriano; 9) falhas mesozóico-cenozóicas brechadas e silicificadas. Fonte: Riccomini *et al.*, (2005) modificado de Riccomini (1989)

A Formação Resende apresenta distribuição generalizada em todas as bacias do segmento central, onde seus depósitos são os mais abundantes e compreendem grande parte do pacote sedimentar paleogênico. Ela é formada por orto e paraconglomerados nas áreas proximais e lamitos nas porções medianas e distais dos leques aluviais, além de arenitos fluviais em rios entrelaçados axiais às bacias Riccomini *et al.*, (2005).

- o Bacia de Taubaté

Segundo Riccomini (*op. cit*) a Bacia de Taubaté é a maior depressão tectônica do RCSB. Com 170 km de comprimento e 20 km de largura

máxima, ocupa uma área de aproximadamente 3200 km<sup>2</sup> (Figura V.1.11). Sondagens (Hasui & Ponçano, 1978), mapas de distribuição das litofácies (Riccomini, 1989), linhas sísmicas (Marques, 1990) e dados gravimétricos (Fernandes, 1993; Fernandes & Chang, 2001) indicam que a bacia possui altos internos que delimitam segmentos com alternância de depocentros ao longo do seu eixo. Os altos estruturais de Caçapava, onde encontram-se exposições de rochas do embasamento (Carneiro *et al.*, 1976; Hasui & Ponçano, 1978; Riccomini, 1989), e de Pindamonhangaba, recoberto por sedimentos (Fernandes, 1993), são considerados zonas de transferência que subdividem a bacia em três compartimentos alongados segundo a direção NE, denominados, de sudoeste para nordeste, de São José dos Campos, Taubaté e Aparecida (Fernandes & Chang, 2001; 2003)(Figura V.1.12).

O Compartimento São José dos Campos é um hemigráben com assoalho inclinado para NW (Marques, 1990), contra a falha mestra de São José, atingindo espessura máxima de 300 m de sedimentos (Fernandes & Chang, 2003).

O Compartimento Taubaté, também um hemigráben, apresenta basculamento para SE controlado pela Falha de Quiririm, com cerca de 600 m de espessura máxima de sedimentos (Fernandes & Chang, 2003).

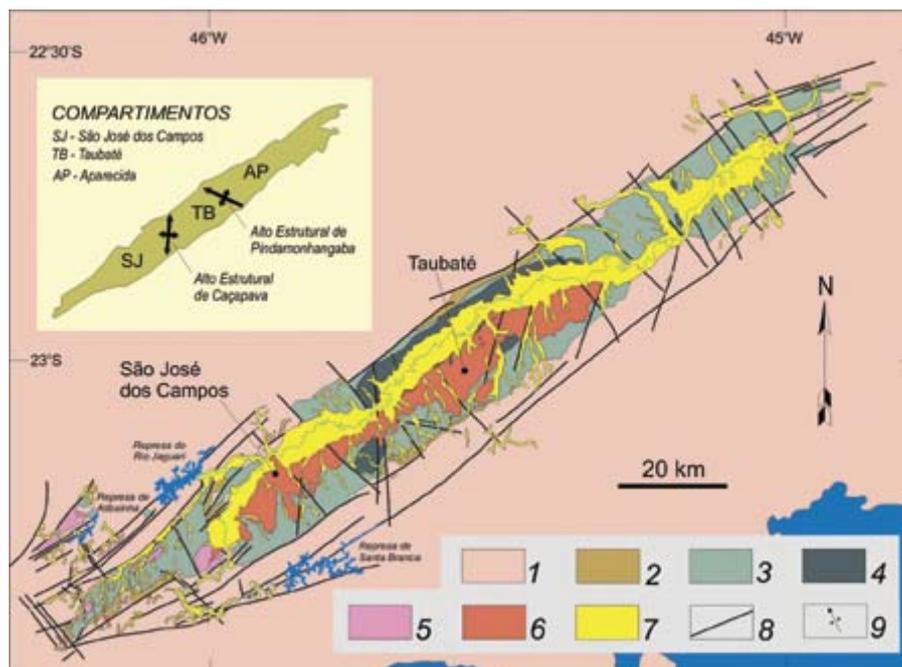


Figura. V.1.11 - Mapa geológico da Bacia de Taubaté - 1) embasamento pré-cambriano; 2) Formação Resende (sistema de leques aluviais proximais); 3) Formação Resende (sistema de leques aluviais medianos a distais associados a planície aluvial de rios entrelaçados); 4) Formação Tremembé; 5) Formação São Paulo; 6) Formação Pindamonhangaba; 7) sedimentos quaternários; 8) falhas cenozóicas, em parte reativadas do embasamento pré-cambriano; 9) eixos de dobras principais. Fonte: Riccomini *et al.*(2005) modificado de Riccomini (1989).

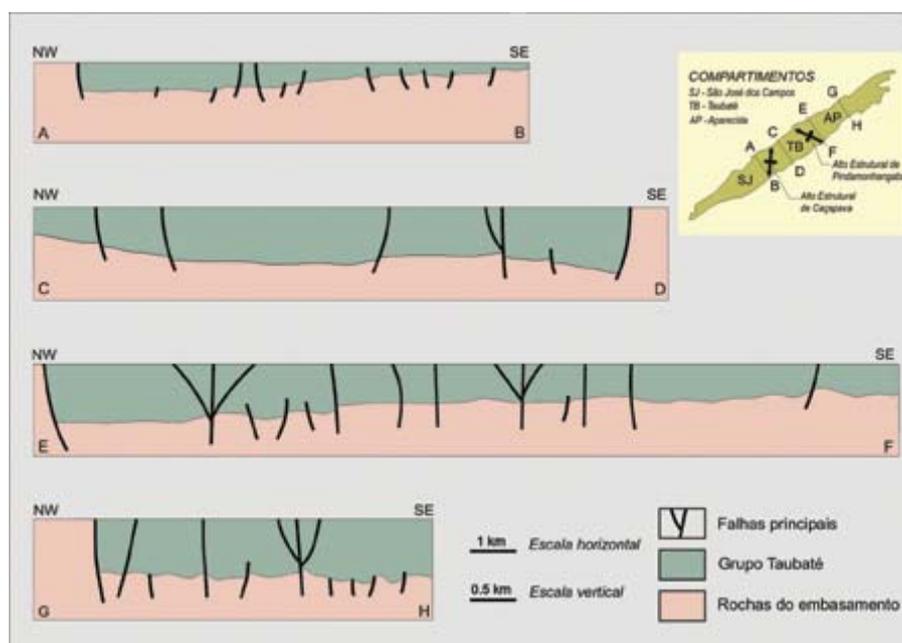


Figura V.1.12 - Seções geológicas da Bacia de Taubaté elaboradas a partir de dados sísmicos da Petrobras. Ver esquema no canto superior direito da figura para localização das seções na bacia. Seção A-B, porção nordeste do Compartimento São José dos Campos; seção C-D, parte central do Compartimento Taubaté; seção E-F, porção sudoeste do Compartimento Aparecida; seção GH, porção centro-nordeste do Compartimento Aparecida. Fonte: Riccomini *et al.*(2005) modificado de Marques (1990) e Riccomini *et al.*(2000a)

O Compartimento Aparecida é um gráben, assimétrico na sua porção sudoeste, onde o embasamento mergulha para NW controlado pela Falha do Ribeirão da Serra, e com tendência a simétrico para

nordeste, onde é delimitado pelas falhas de Piedade e do Ronco ao longo da borda noroeste, e de Aparecida na borda sul. Nas proximidades da Falha de Piedade, na porção central deste compartimento, a espessura do preenchimento sedimentar atinge 800 m (Riccomini, 1989; Fernandes & Chang, 2003).

- o Bacia de São Paulo

O arcabouço da Bacia de São Paulo pode ser delineado graças ao grande volume de dados de poços para água subterrânea (v.g. Leinz & Carvalho, 1957; Hasui & Carneiro, 1980; Takiya *et al.*, 1989; Takiya, 1991; Silva, 1999). A bacia foi retalhada por falhas pós-sedimentares que causaram soerguimentos e abatimentos locais de seu substrato. A julgar pelo seu formato e distribuição de fácies sedimentares, pode-se considerar que a bacia era originalmente um hemigráben (Figuras V.1.13 e V.1.14), controlado por falhas normais reativadas ao longo das zonas de cisalhamento proterozóicas de Taxaquara e Jaguari dispostas ao longo de sua borda norte (Riccomini & Coimbra, 1992). Os sedimentos distribuem-se irregularmente numa área pouco superior a 1000 km<sup>2</sup>, com eixo maior de 75 km, entre Arujá, a leste, e Embu-Guaçu, a oeste, e menor de 25 km, entre Santana, ao norte, e Santo André, ao sul (Riccomini & Coimbra, 1992). Dados de sondagens indicam que a maior espessura contínua preservada de sedimentos atinge 290 m, no Bairro da Moóca (Takiya, 1991). O Gráben do Baquirivu-Guaçu, na porção nordeste da Bacia de São Paulo, região de Guarulhos, apresenta espessura máxima de 255 m de sedimentos (Diniz, 1996).

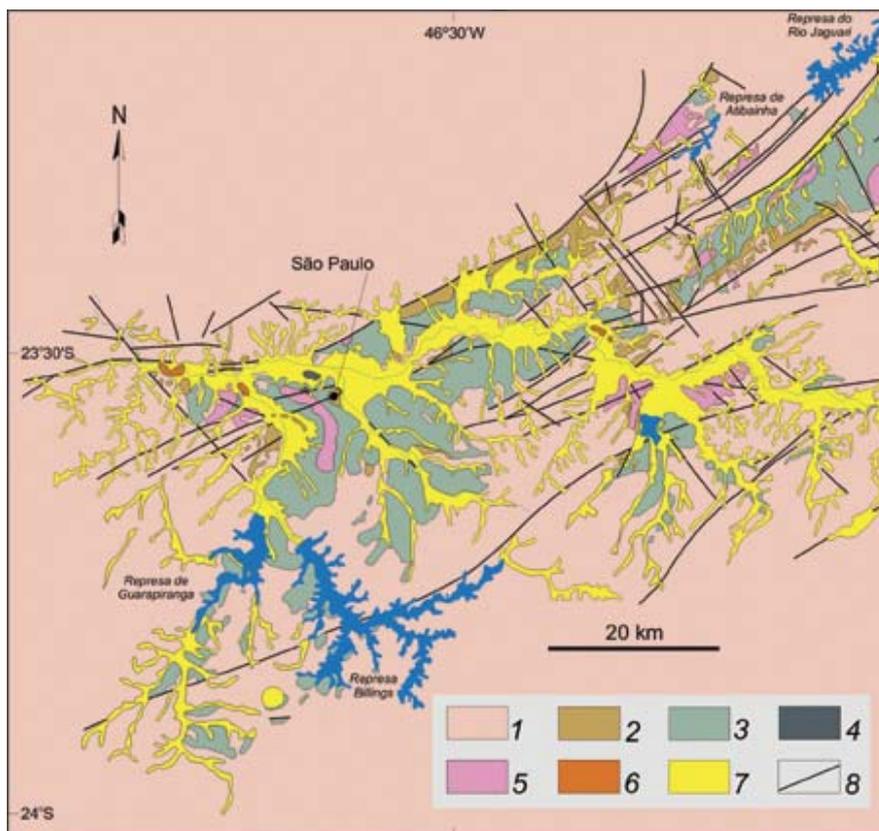


Figura V.1.13 – Mapa geológico da Bacia de São Paulo e porção sudoeste da Bacia de Taubaté -1) embasamento pré-cambriano; 2) Formação Resende (sistema de leques aluviais proximais); 3) Formação Resende (sistema de leques aluviais medianos a distais associados a planície aluvial de rios entrelaçados); 4) Formação Tremembé; 5) Formação São Paulo; 6) Formação Itaquaquecetuba; 7) sedimentos quaternários; 8) falhas cenozóicas, em parte reativadas do embasamento pré-cambriano. Fonte: Riccomini *et al.*(2005) modificado de Riccomini & Coimbra (1992)

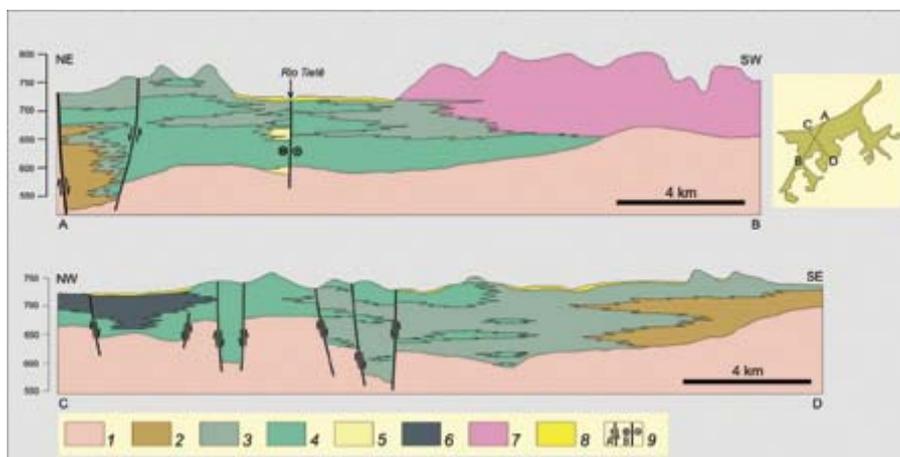


Figura V.1.14 – Seções geológicas na Bacia de São Paulo construídas a partir de dados de sondagens para água subterrânea e observações de superfície - 1) embasamento pré-cambriano; 2) orto- e paraconglomerados de leques aluviais proximais da Formação Resende; 3) lamitos de leques aluviais medianos a distais da Formação Resende; 4) lamitos de leques aluviais distais e, principalmente, areias e conglomerados de sistema fluvial entrelaçado da Formação Resende; 5) predominância de areias grossas e conglomerados de sistema fluvial entrelaçado da Formação Resende; 6) sistema lacustre da Formação Tremembé; 7) sistema fluvial meandrante da Formação São Paulo; 8) aluviões quaternários; 9) falha normal (A) e falha transcorrente dextral (B). Para localização das seções na bacia ver esquema no canto superior direito da figura. Fonte: Riccomini *et al.*(2005) modificado de Riccomini & Coimbra (1992).

- Bacia do Paraná

Na área, a bacia do Paraná está representada unicamente pelo grupo Itararé. Segundo Castro, J. C., (2005) o mapeamento do Grupo Itararé em subsuperfície deve-se a A. B. França, em sua Tese de Doutorado, sintetizada em França & Potter (1988). Aquele autor identificou três grandes ciclos de afinamento granulométrico ascendente (granodecrescência), designando-os como unidades litocronoestratigráficas: as formações Lagoa Azul, Campo Mourão e Taciba, da base para o topo. Os termos arenoso e lamítico argiloso do ciclo/Formação Lagoa Azul foram designados membros Cuiabá Paulista e Tarabai, enquanto as mesmas litologias, no ciclo/Formação Taciba, formam os membros Rio Segredo (arenito), Chapéu do Sol (diamictito) e Rio do Sul (folhelho e ritmito fino). O ciclo/Formação Campo Mourão não foi dividido, por conta de sua natureza arenosa: ressalte-se, entretanto, que o autor reconheceu o “Folhelho Lontras” no topo da unidade.

### **V.1.3. Magmatismo Pós – Paleozóico**

Diques de idades Jurássico-Cretáceo de diabásio toleítico, gabro, diorito, andesito e quartzo-pórfiro estão presentes desde a cidade de Santos (Estado de São Paulo) até a zona litorânea do Estado do Rio de Janeiro.

Para o interior do continente, esses diques são registrados até o Vale do Rio Paraíba do Sul. A direção NE predomina e coincide com a das estruturas do embasamento que, reativadas no Mesozóico, deram ensejo ao afloramento do magmatismo. As idades desses corpos intrusivos são mais antigas que o vulcanismo que deu origem aos derrames da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná.

O derrame de lava ankaramítica, intercalado em sedimentos da bacia tafrogênica de Volta Redonda, é de idade eocênica. Depois do magmatismo básico, sucederam-se novas manifestações, agora de caráter alcalino, com idades variando desde o Neocretáceo ao Eoceno. Inúmeros centros de intrusões alcalinas são registrados, dentre os quais podem ser destacados:

Poços de Caldas, Itatiaia, Passa Quatro, Gericinó-Mendanha, Rio Bonito, Itaúna, Soarinho, Tinguá, Morro de São João e as da Ilha de São Sebastião.

#### **V.1.4. As Coberturas Sedimentares Pleisto-Holocênicas**

Na região ocorre uma grande variedade de depósitos sedimentares que cobrem o embasamento, associados a ambientes de encostas, fluviais, costeiros, marinhos e, localmente, lagunares. Os depósitos associados à dinâmica erosiva das encostas ocorrem de maneira generalizada em toda área de estudo, sendo representados por sedimentos coluviais, rudáceos (p. ex. tálus) e leques aluviais.

Os depósitos colúvio - aluvionares encontram-se constituídos por material de espessura, extensão e granulometria variadas, que envolve desde argila até blocos e matacões de rochas provenientes do embasamento. As fácies proximais envolvem cascalhos, areias e lamias resultantes da ação de processos de fluxo gravitacionais e aluviais de transporte de material de alteração das vertentes. O acúmulo de material detrítico originou rampas de colúvio (predomínio de material fino) e depósitos de tálus (predomínio de material grosseiro) junto à base e a meia encosta dos morros. São materiais que sofrem transporte por movimentos de massa do tipo rastejo ou escorregamento. Na região das bacias de Resende e Volta Redonda, os sedimentos aluvio-coluviais holocênicos compreendem areias-argilosas apresentando coloração castanha, com grânulos e seixos de quartzo, com tamanho médio de 2cm de diâmetro, dispersos e muito mal selecionados, na maioria das vezes marcados na base por linhas de seixos de quartzo.

Os depósitos fluviais ocorrem em maior abundância nos fundos de vales situados no domínio de colinas do médio vale do rio Paraíba do Sul.

Na região de Bananal, a norte da folha Volta Redonda, uma significativa sucessão de sedimentos fluviais datados do limite Pleistoceno–Holoceno são agrupados na formação Bananal (Moura & Mello, 1991). Posteriormente, deposição fluvial marcante só é registrada em algumas áreas, por volta de

1.000 A.P., com aumento da erosão das encostas e acumulação de sedimentos nos fundos de vales, decorrente do desmatamento.

Junto às encostas dos vales acontece, frequentemente, a interdigitação entre depósitos fluviais e coluviais, relacionada à dinâmica dos *Complexos de Rampas* (Meis *et al.*, 1985). Os depósitos fluviais são geralmente segmentados em alvéolos, limitados à jusante por cachoeiras (*knickpoints*).

#### **V.1.5. Neotectônica**

No Brasil, as manifestações neotectônicas ocorrem a partir dos meados do Terciário, quando cessa o regime distensivo relacionado à separação continental e se instalam os processos de migração e rotação da Placa Sul-Americana para oeste.

Na região sudeste do Brasil, alguns autores identificam vários eventos neotectônicos ao longo do Terciário, com alternância entre transcorrência dextral e sinistral (Saadi 1993, Riccomini 1995, Fernandes & Amaral 2002). Tal alternância estaria relacionada às taxas de abertura da Cadeia Meso-Atlântica e de subducção da Placa de Nazca sob a Placa Sul-Americana (Riccomini 1989). A deriva desta última para oeste acarretaria transcorrência dextral, quando a taxa de abertura excede a de subducção, e transcorrência sinistral na situação oposta.

Outros autores reconhecem uma evolução progressiva sob um único regime transcorrente dextral a partir do Mioceno Médio (Hasui 1990, Hasui & Costa 1996, Costa *et al.* 1998).

Para Brown & Reilinger (1986) a dificuldade na definição dos eventos cenozóicos regionais se justifica pela complexidade da tectônica intraplaca. Ela é governada em grande parte por reativações, isto é, os movimentos atuais são guiados por heterogeneidades crustais antigas, geralmente por zonas de cisalhamento pré-cambrianas (Hasui *et al.* 1978a, Riccomini *et al.* 1989, Saadi 1993).

Segundo Riccomini (2005) Evidências de movimentações neotectônicas podem ser observadas em várias localidades ao longo do Rift Continental do Sudeste do Brasil (RCSB). Elas estão relacionadas a um evento compressivo de direção NWSE, do Pleistoceno tardio a Holoceno, seguido, sucessivamente, por extensão holocena de direção E-W a NW-SE e, finalmente, compressão E-W.

Salvador (1994) em uma análise neotectônica da região do Vale do Rio Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ), compreendendo o extremo leste da Bacia de Taubaté, oeste da Bacia de Resende, bem como o alto estrutural constituído por rochas do embasamento précambriano que separa estas bacias cenozóicas, a denominada Soleira de Queluz, encerra numerosas evidências de movimentos tectônicos recorrentes, ativos até os tempos recentes. Segundo a autora, a análise morfoestrutural em conjunto com a caracterização dos depósitos sedimentares e das estruturas de caráter rúptil, permitiu o reconhecimento de três fases de movimentações neotectônicas. Estas movimentações estariam relacionadas inicialmente a esforços compressivos pleistocênicos orientados segundo NW-SE, associadas a um binário transcorrente dextral de direção E-W. As estruturas relacionadas a esta fase afetam depósitos coluviais e linhas de seixos, por vezes cavalgados por blocos de rochas do embasamento, ao longo falhas de direções preferencialmente NE a ENE.

Posteriormente, uma mudança do regime de esforços foi assinalada durante o holoceno, passando estes a extensionais, com direções E-W (WNW-ESE). Esta fase é responsável pela geração de feições marcantes, como *grabens* de direção N-S, que embutem pacotes sedimentares com espessuras superiores a trinta metros.

Finalmente famílias de juntas conjugadas, de direções ENE e WNW, seccionando depósitos coluviais, colúvio-aluviais e aluviais, registrariam nova mudança no regime de esforços durante o holoceno, agora compressivos, de direção E-W, concordante com a direção de esforços atuais obtida a partir de dados sismológicos.

Na Região de Jundiaí (SP), segundo Neves *et. al.*, (2003), os movimentos neotectônicos estão relacionados ao regime tectônico em vigor desde a última reorganização tectônica regional; portanto, a idade de início dos movimentos neotectônicos é diferente de acordo com a área considerada (Pavrides 1989, Wallace 1986, Stewart & Hancock 1994).

O soerguimento litosférico da margem continental passiva e a subsidência da bacia de Santos têm sido reconhecidos como importantes processos tectônicos do Cenozóico no Sudeste Brasileiro (Macedo 1990, Asmus & Ferrari 1978). A evolução da paisagem regional, o afeiçoamento das serras litorâneas e a deposição de pequenas bacias continentais são conseqüências deste soerguimento na área continental (Riccomini 1989, 1995, Melo *et al.* 1993, Melo 1995, Salvador & Riccomini 1995, dentre outros).

Devido aos diversos fatores apresentados, deve-se levar em consideração a possibilidade de reativação de importantes falhas e zonas de cisalhamento na área. Os movimentos neotectônicos, impostos sobre anisotropias preexistentes, gerariam feições transpressivas, transtensivas ou direcionais dependendo da relação angular entre os eixos de tensão e as feições estruturais antigas (Neves *et. al.*, 2003).

## **V.2. Sismicidade Regional**

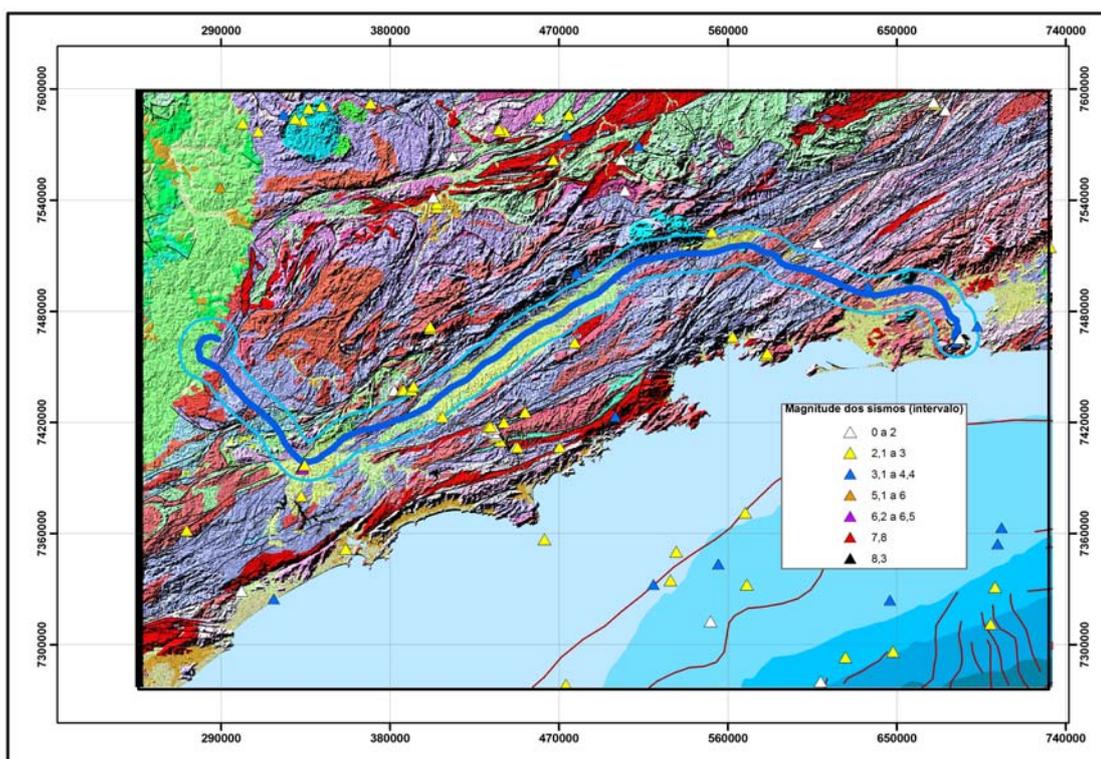
A Região Sudeste do Brasil tem sido alvo de um grande número de trabalhos a respeito de estabilidade regional e zoneamento sísmico devido a uma certa quantidade de abalos, quase todos de pequena intensidade, registrados, e a intensa ocupação populacional que permite o melhor registro destes eventos. Outro fator relevante é a instalação de várias estações sismográficas na região, a fim de monitorar sismos induzidos por preenchimento dos reservatórios acumulados por barragens.

### **V.2.1. Sismicidade dos Terrenos no Sudeste do Brasil**

Esta Região caracteriza-se, sísmicamente, pela ocorrência de vários eventos medidos por estações sismográficas, ou eventos assentados no registro histórico, quase todos de pequena magnitude. O grande número de registros

mais recentes, posteriores à década de 1970, reflete a implantação de instrumentação sismográfica no país.

Sismos de maior magnitude são raros: apenas um evento maior que 6 graus (ocorrido na Cadeia Vitória-Trindade, na Margem Continental), outro maior que 5 (em Mogi Guaçu, SP) e 13 deles entre 4 e 5 graus (parte deles em regiões vizinhas ou bem próximas à diretriz do TAV. (Figura V.2.1).



**Figura V.2.1 – Distribuição de sismos e intervalos de magnitude**

Segundo Berrocal et al. (1996), o erro associado à locação dos epicentros indicados não permite uma correlação segura entre os sismos representados e estruturas geológicas mapeadas. Efetivamente, os “clusters” sísmicos podem ser associados a duas grandes províncias sismotectônicas (Berrocal *op.cit*) que, certamente, englobam eventos de natureza geológica distintas: a Província da Bacia do Paraná (coincidente com a província estrutural homônima, Almeida et al., 1977;) que está representada principalmente por sismos induzidos por barragens e exploração de poços de água profundos; e a

Província do Embasamento Pré-Cambriano (unindo terrenos das províncias estruturais do São Francisco, Tocantins e Mantiqueira), onde se concentra praticamente toda a atividade sísmica regional. Uma terceira província, não mencionada por Berrocal *et al.* (1996), corresponde aos domínios da Margem Continental, principalmente junto à borda mais interna da bacia de Santos.

Os sismos maiores que 3.5 graus, apontados como mais importantes por Berrocal *op.cit.*, correspondem a uma pequena fração dos eventos registrados, em domínios da Província Mantiqueira e da Margem Continental, e adentram o continente aproximadamente ao longo dos limites flexurais leste e nordeste da Bacia Sedimentar do Paraná. Três eventos expressivos (entre 4 e 5 graus de magnitude) se distribuem num arco de raio pouco maior que 100km em torno de Angra dos Reis.

Entretanto, deve-se considerar que o volume de dados atualmente disponível “é insuficiente para definir zonas sismogênicas ou províncias sismotectônicas que possam ser usadas com segurança na determinação de parâmetros de sismicidade para avaliação de risco nesta região” (Berrocal *op.cit.*).

### **V.2.2. Registros de Eventos Sísmicos**

Na região Sudeste do Brasil foram registrados vários episódios sísmicos que são relevantes para a caracterização do risco sísmico na região. Genericamente, são eventos de pequena magnitude e que não caracterizam um risco maior para instalações, mas que fornecem informações importantes na caracterização do risco sísmico.

Estes eventos regionais estão listados com uma breve descrição (as de maior importância), e depois são apresentados todos que circundam a região (Tabela 01) abrangendo os estados de MG, SP, RJ e ES.

- **Sismo de 27/01/1922; localização: 22,17° S, 47,04° W**

Evento sísmico de maior magnitude registrado na área emersa do sudeste brasileiro. Estima-se que atingiu 5,1 pontos na escala Richter. Assumpção *et al.* (1979) referem-se a ele como “terremoto de São Paulo de 1922” e apontam o

município de Mogi Guaçu como localidade em que se localizou o epicentro. O mesmo evento é referido por Mito (1997) como “Sismo de Pinhal”.

Um leve abalo precursor foi sentido na noite anterior em São Paulo e Mogi Guaçu (Assumpção *op.cit.*). O evento principal teve uma intensidade de até VI MM, durou poucos segundos e foi sentido numa área de 250 mil km<sup>2</sup> (seus efeitos foram sentidos também na cidade do Rio de Janeiro e Petrópolis), e a locação de seu epicentro tem um erro da ordem de 40 km (M. Assumpção, 2002, comunicação escrita). Mito *op.cit.*, refere uma profundidade focal estimada de 20km.

- **Sismo de 24/10/1972, localização: 21,72° S, 40,53° W**

Este evento, referido como Sismo de Campos por Mito (*op.cit.*), ocorreu na Plataforma Continental ao largo do Estado do Rio de Janeiro, na bacia de Campos. Sua magnitude foi estimada em 4,8 (Berrocal *et al.*, 1984) e afetou uma área de 210 mil km<sup>2</sup>, sendo sentido em várias regiões dos estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Minas Gerais; o erro de localização do seu epicentro é de 30 km e sua profundidade é de 8 km. Sua intensidade atingiu IV MM em parte do estado do Rio de Janeiro, desde Campos até Niterói.

- **Sismo de 31/07/1861, localização: 22,6° S, 45,2° W\***

Identificado como Sismo de Lorena, SP (Mito, 1997), este sismo teve um evento precursor, segundo Berrocal *et al.* (1984). A área afetada é da ordem de 52 mil km<sup>2</sup>, atingindo os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro; a magnitude é estimada em 4,4 e a intensidade máxima de V MM no epicentro, com erro de locação de 50 km.

- **Sismo de 09/05/1886, localização: 22,66° S, 43,69° W**

Referido como Sismo de São Pedro e São Paulo (RJ) por Mito (*op.cit.*), este evento afetou uma área de 23 mil km<sup>2</sup>, com intensidade máxima epicentral de V MM e magnitude estimada de 4,3; o epicentro. Berrocal *et al.* (1984) destaca que a distribuição em planta das localidades em que o evento foi sentido

apresenta uma forma subelíptica, com eixo maior orientado a N60E em clara concordância com o *trend* da serra do Mar.

- **Sismo de 23/03/1967, localização: 23,3° S, 45° W**

O Sismo de Cunha, como é referido por Mioto (1997), foi sentido em uma área de 30 mil km<sup>2</sup>, com magnitude estimada de 4,1 e intensidade máxima epicentral de VI-VII MM (Berrocal et al., 1996).

- **Seqüência de microssismos de Monsuaba**

Entre dezembro de 1988 e fevereiro de 1989, ocorreu uma série de microssismos em Monsuaba, um distrito do município de Angra dos Reis. Os eventos mostram uma seqüência típica de pequenos choques precursoros, um choque principal com magnitude 3 e choques posteriores também de pequena magnitude (Berrocal *op.cit*). O sismo principal foi sentido com uma intensidade de V MM junto ao epicentro, rapidamente decaindo para II MM em Angra dos Reis e outras áreas a cerca de 10 km de Monsuaba (Berrocal *op.cit*).

Esta série de eventos foi muito bem instrumentada, inicialmente por sismógrafos dispostos em uma rede de 5 estações com 20 km de abertura (mas que não deu resultados significativos devido à baixa magnitude dos eventos) e, posteriormente, baixando-se a abertura da rede para 4 km. Os dados obtidos permitiram analisar a geometria e energia dos eventos, inclusive com a discriminação do mecanismo focal para o enxame de sismos (Berrocal *op.cit*).

Berrocal (*op.cit*) conclui que os sismos de Monsuaba indicam a atuação de esforços compressivos NW-SE (característicos de algumas áreas do Sudeste Brasileiro e que tais eventos não representam um real risco para obras de engenharia na área, pois a atenuação é expressiva, provavelmente em virtude do seu hipocentro bastante raso – aprox. 1 km). Ainda, acreditam os autores, os sismos estão geneticamente relacionados à evolução morfológica da serra do Mar na região.

O sismo de Monssuaba alinha-se ao abalo ocorrido em Japeri, RJ, que está posicionado ao longo de estruturas geológicas regionais de orientação NE-SW, onde foi esculpido o vale do Rio Santana, que pode ser caracterizado como um grabben, onde ocorrem diversos indícios do desenvolvimento de uma tectônica rúptil recente.

### **V.2.3. Recorrência Sísmica**

Os estudos mais detalhados de recorrência sísmica efetuados na Região Sudeste do Brasil estão localizados na área das Centrais Nucleares de Angra dos Reis e remontam ao final da década de 1970, com a publicação de um estudo sistemático da Universidade de Brasília, adotando um enfoque determinístico na avaliação de risco com o objetivo de demarcar zonas preferenciais de ocorrência de sismos – as zonas sismogênicas – que se contrapõem a zonas mais estáveis, e estudar a série histórico-temporal de eventos neste contexto.

Já no início da década seguinte, um estudo específico do IPT para as usinas nucleares de Angra (Hasui *et al.*, 1982) ampliou o horizonte metodológico até então adotado e valorizou o ambiente tectônico estrutural e a evolução tectônica, principalmente cenozóica, do Sudeste como condicionantes destes eventos e como ferramentas na sua predição e avaliação de risco, numa continuidade filosófica do que Lomnitz (1974) já havia proposto.

A primeira abordagem probabilística de sismicidade regional no país foi publicada por Assumpção (1983). O autor considerou o catálogo de sismos das regiões sul, sudeste e leste do Brasil e tratou estatisticamente os eventos maiores que 3,5 de magnitude. Como resultado, obteve intervalos de recorrência para sismos (40 anos para magnitude maior ou igual a 5; 150 anos, maior que 6; 700 anos, maior que 7) que, a despeito da extensa área de definição, podem ser aplicados preliminarmente ao risco na Região Sudeste. Nesta perspectiva, o sismo de Pinhal (Moto *op. cit*) poderia ser associado à recorrência de 40 anos e os efeitos sobre a área da via do TAV tenderiam a se manter em níveis bastante adequados de segurança.

Mioto (1984) adotou uma abordagem similar, efetuando o tratamento estatístico de intensidades para o sudeste brasileiro, mas adotando o enfoque propugnado por Hasui *et al.* (1982) de concentração de eventos ao longo das chamadas zonas sismogênicas. Nesse estudo, o autor conclui que:

- a probabilidade de que o maior sismo, no período de 5 anos, seja igual ou exceda III MM varia de 52,5 a 97,5%; o período de retorno da intensidade III MM é de 1 a 1,9 anos;
- a probabilidade de que o maior sismo, no mesmo período de 5 anos, seja igual ou exceda IV MM varia de 40 a 50%; o período de retorno da intensidade IV MM é de 2 a 2,5 anos;
- a probabilidade de que o maior sismo, em período idêntico a 5 anos, seja igual ou ultrapasse V MM varia de 15 a 37,5%; o período de retorno da intensidade V MM é de 2,7 a 6,7 anos; e
- a probabilidade de que o maior sismo, no período de 5 anos, seja igual ou maior que VI MM varia de 2,5 a 12,5%; o período de retorno correspondente à intensidade VI MM é de 8 a 40 anos.

Os estudos mais recentes de risco sísmico do sudeste brasileiro foram desenvolvidos por Berrocal *et al.* (1996), considerando magnitudes superiores a 3,0 e eventos entre as coordenadas 15 - 28S e 35 - 52W, com epicentros no embasamento cristalino.

Os intervalos de recorrência para sismos (Figura 02) conhecidos foram:

- um sismo com magnitude igual ou maior do que 4,1 pode ser esperado a cada 6 anos;
- um sismo similar ao evento de Cunha, de 1967, pode ocorrer a cada 17 anos;
- um evento da magnitude do que ocorreu em Pinhal, em 1922, pode ocorrer uma vez a cada 200 anos;

- eventos com magnitude igual ou maior do que 5,1 podem ocorrer a cada 60 anos.aproximadamente.

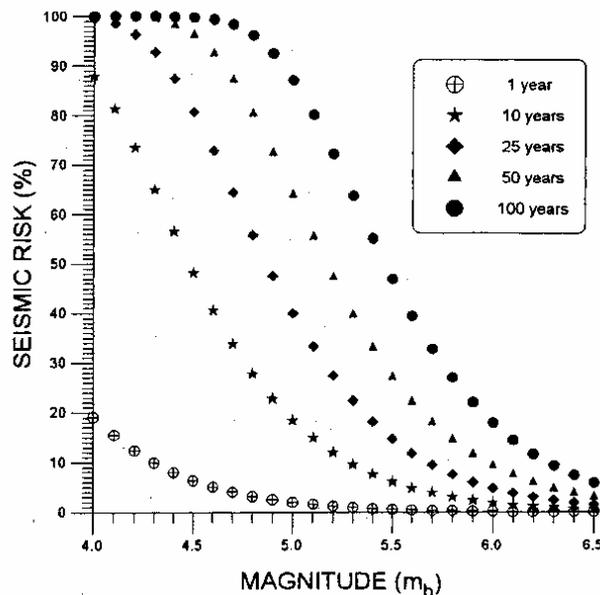


Figura V.2.2 – Risco sísmico na Província Sismotectônica do Embasamento Pré-Cambriano para valores cumulativos de magnitude e intervalos de tempo de 1 a 100 anos (Berrocal *op.cit*).

No SIG-CPRM-TAV foi incluída uma base de dados de registros sísmicos elaborada pelo Professor Marcelo Assumpção (IG/USP), a qual foi georreferenciada de forma a possibilitar a realização de diversas análises relacionadas à tectônica (estruturas) e sismos.

### V.3. Compartimentação Geomorfológica e Pedológica

O traçado em análise para a implantação do Trem de Alta Velocidade (TAV) (Rio de Janeiro – São Paulo – Campinas) caracteriza-se por uma notável diversidade fisiográfica e expressivos desnivelamentos topográficos, sendo resultantes de lentas e progressivas movimentações tectônicas da fachada atlântica do Planalto Sudeste Brasileiro durante o Cenozóico. Esta gradual movimentação de blocos da litosfera, denominada de epirogênese, apresenta idade pós-cretácica e decorre do reajuste isostático da Placa Sul-Americana

devido à abertura do Oceano Atlântico e ao soerguimento da cadeia andina (Almeida, 1967; Ab'Saber, 1972).

Na área em apreço, esta marcante atuação da tectônica Cenozóica promoveu o soerguimento das escarpas da Serra do Mar e da Mantiqueira e a depressão tectônica do Vale rio Paraíba do Sul, com a implantação das bacias sedimentares de Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo. Este cenário geomorfológico fortemente condicionado por esta tectônica rúptil cenozóica tem sido denominada de sistema de rifts da Serra do Mar (Almeida, 1976) ou Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989). O reconhecimento e o mapeamento das diversas unidades geomorfológicas do estado são de fundamental importância para avaliação do impacto decorrente de construção do Trem de Alta Velocidade. A análise de cada uma dessas unidades deve abranger processos atuantes e feições erosivas e deposicionais inerentes, com o intuito de se obter um produto de caráter aplicado a esta desafiadora obra.

A zona percorrida pelo Trem de Alta de Velocidade (TAV) apresenta grande relevância nacional sendo considerada por alguns pesquisadores – a megalópole brasileira – compreendendo um conjunto de cidades fortemente industrializadas entre as Regiões Metropolitanas do Rio de Janeiro e de São Paulo e o importante pólo regional de Campinas. Entre Rio de Janeiro e São Paulo, as principais cidades estão dispostas ao longo do Médio Vale do rio Paraíba do Sul, destacando-se: Volta Redonda; Barra Mansa; Porto Real; Resende; Lorena; Guaratinguetá; Taubaté; São José dos Campos e Jacareí, dentre as mais importantes. Entre São Paulo e Campinas, destacam-se cidades ao longo do eixo rodoviário Anhaguera-Bandeirantes, como Jundiaí, Valinhos e Indaiatuba.

Tais aspectos combinados (expressivo adensamento populacional; localização do mais importante pólo tecno-industrial do país - Becker & Egler, 1993 -; trecho de interligação das duas metrópoles nacionais) conferem um caráter geoestratégico ao TAV, sendo imprescindível sua consolidação técnica tendo em vista as implicações econômicas e logísticas em questão.

No intuito de apresentar, de forma sintética, as principais características da Geomorfologia Regional ao longo do traçado do TAV, propõe-se uma compartimentação em distintas unidades geomorfológicas:

### **V.3.1. Baixada da Guanabara**

Consiste em uma expressiva zona de acumulação flúvio-marinha pontilhada por colinas, morros e pequenos alinhamentos serranos que emolduram a denominada Zona Norte da cidade do Rio de Janeiro. A atual morfologia desta área densamente urbanizada reflete uma marcante intervenção antropogênica na configuração de uma cidade “imprensada” entre o mar e a montanha (Bernardes e Segadas-Soares, 1987) onde, num processo histórico de “conquista” do espaço urbano, brejos, mangues, alagadiços, e mesmo, porções do espelho d’água da Baía de Guanabara foram sendo sucessivamente aterrados para a expansão da metrópole (Amador, 1997). Em síntese, as paisagens naturais caracterizadas por um conjunto de planícies flúvio-marinhas e flúvio-lagunares foram radicalmente alteradas pelos processos ocupação urbana o que dificulta, sobremaneira, a caracterização geológico-geotécnica desses terrenos, sendo necessários, portanto, estudos de reconstituição histórica. Nessas áreas, dominam os Gleissolos Tiomórficos, que compreendem solos com horizonte sulfúrico e/ou materiais sulfídricos formado pela oxidação de materiais minerais ou orgânicos ricos em sulfetos. O material sulfídrico se acumula no solo ou sedimento permanentemente saturado, em áreas de água salobra. Apresentam um horizonte superficial rico em matéria orgânica (húmico), podendo ser sálicos (condutividade elétrica maior ou igual a 7dS/m a 25° C) ou solódicos (saturação com sódio entre 6 e 15%). À medida que se distancia da costa, diminui-se influência marinha nos solos, onde começa a ocorrer os Gleissolos Háplicos que são solos hidromórficos e sujeitos a freqüentes alagamentos e que ocupam as partes pior drenadas da planície. Nas partes melhor drenadas, ocorrem os Neossolos Flúvicos que são solos profundos, caracterizados pela elevada estratificação de horizontes devido aos eventos deposicionais, apresentando grandes variações de texturas e teores de carbono em profundidade. Constituem-se basicamente as áreas de terraços e aluviões melhor drenados, entretanto, não livres de inundações periódicas.

O traçado do TAV atravessa justamente essa área entre as estações da Leopoldina e do Galeão. Destaca-se, neste contexto, o aterramento do antigo Saco de São Diogo (onde se localiza, atualmente, a estação da Leopoldina) e a enseada de Inhaúma. O aeroporto do Galeão também se situa em zona de aterro, assim como boa parte da Ilha do Fundão e dos traçados da Av. Brasil e da Linha Vermelha e o Complexo da Maré. Ressalta-se ainda que o traçado do TAV atravessa também um colo (sela topográfica) ladeado pelas vertentes declivosas do morro do Telégrafo e da serra do Engenho Novo onde atualmente está localizado o Viaduto da Mangueira.

Deste modo, Baixada da Guanabara apresenta um alto grau de suscetibilidade de vulnerabilidade a eventos de inundação em toda sua extensa área aterrada ou de planícies.

### **V.3.2. Baixada Fluminense**

Consistem em importantes áreas de acumulação flúvio-marinha que preenchem o recôncavo das baías da Guanabara e de Sepetiba. Resultam de uma sucessão de eventos de regressão e transgressão do nível relativo do mar que modelaram sua morfologia original e que, posteriormente, foram profundamente modificadas pela intervenção humana. Localizam-se entre o reverso dos maciços costeiros, a sul, e as escarpas das serras das Araras e dos Órgãos e o maciço do Tinguá, a norte e a oeste. Essas baixadas, preenchidas por sedimentação recente, ocupam uma depressão tectônica denominada gráben da Guanabara (Ferrari, 1990), de idade correlata à das bacias sedimentares do médio vale do rio Paraíba do Sul. No fundo das baías, ocorrem significativas áreas de mangues, tais como os manguezais das desembocaduras dos rios Iguaçu-Estrela, na baía da Guanabara.

Freqüentemente observa-se nesses terrenos uma morfologia plano-ondulada onde se alternam colinas e morros isolados com as superfícies deposicionais das planícies. Nessas superfícies, relacionadas principalmente a sedimentos colúvio-aluvionares, ocorrem os Planossolos Háplicos que são caracterizados pela presença de um horizonte eluvial, de textura leve e pela mudança textural abrupta para o horizonte B plânico, adensado e de permeabilidade muito lenta,

sendo responsável pela manutenção de um lençol freático próximo à superfície. Embora se situem em relevo plano, em virtude de suas condições físicas e do gradiente textural elevado o horizonte superficial é muito suscetível à erosão laminar e o horizonte Bt pode desenvolver sulcos e ravinas pela ação combinada de antropismo e características internas que favorecem aos processos erosivos. Ocupam grandes áreas dos municípios de Duque de Caxias, Nova Iguaçu, Queimados e Seropédica.

À medida que essas baixadas se aproximam das escarpas serranas, nota-se um predomínio do relevo ondulado das colinas e morros isolados. Tal morfologia demonstra uma grande diversidade de ambientes deposicionais nessas baixadas (Meis *et al.*, 1975; Amador, 1980).

Nas áreas de colinas e morros isolados, principalmente em Berfold Roxo, Nova Iguaçu e Japerí, ocorrem solos muito profundos, bastante intemperizados, bem drenados, permeáveis, com estruturas granulares de textura argilosa, desenvolvidos em relevo ondulado e suave ondulado, constituindo-se a classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos. São solos de baixa fertilidade natural e com pequena capacidade de troca de cátions que apesar da textura ser predominantemente argilosa, são muito friáveis e permeáveis, o que lhes garante uma elevada resistência aos processos erosivos.

Na porção mais a oeste, Paracambi, essas colinas e morros são ocupados por solos que apresentam acúmulo de argila no horizonte subsuperficial, gradiente textural entre os horizontes A e Bt e diferença de infiltração de água marcante entre esses horizontes. Apesar de apresentarem estruturas em blocos no horizonte Bt, são solos bem drenados, porém com menor resistência aos processos erosivos se comparados aos solos mais homogêneos como os Latossolos.

Essa região caracteriza-se como a área mais degradada do estado do Rio de Janeiro e, assim como todas as outras regiões metropolitanas no Brasil, apresenta graves problemas de natureza socioambiental decorrentes do expressivo “inchaço populacional” verificado nas últimas décadas.

### V.3.3. Serra das Araras

Consiste num degrau de borda de planalto intensamente dissecado e recuado, apresentando cristas amorreadas. Está alçado por tectônica a mais de 500m de altitude, emoldurando o recôncavo da baixada de Sepetiba. A serra das Araras se individualiza da escarpa da serra da Bocaina, a oeste, e das escarpas das serras do Couto e dos Órgãos, a leste, por sua posição mais interiorana e altitudes mais modestas. Trata-se de uma unidade de relevo transicional entre os terrenos planos e colinas isoladas da baixada de Sepetiba e o relevo colinoso do médio vale do rio Paraíba do Sul. Esse trecho da serra do Mar reflete um marcante controle estrutural evidenciado pela adaptação do rio Santana e ribeirão das Lajes a uma extensa zona de cisalhamento denominada de lineamento Jacuecanga - Conrado. O lineamento, de direção SW-NE, está paralelo ao *front* da escarpa, em contraposição aos vales estruturais com direção SE-NW, ortogonais ao lineamento referido. O marcante controle estrutural, associado a uma litologia menos resistente aos processos de intemperismo e erosão (os granitos sin- e pós-tectônicos que recobrem grandes extensões das serras da Bocaina e dos Órgãos não afloram na serra das Araras, mas sim os granitóides anatóicos do batólito serra das Araras), parece ter condicionado o recuo diferencial e a degradação mais intensa desse trecho da escarpa da serra do Mar.

São áreas ocupadas com solos que apresentam acúmulo de argila no horizonte subsuperficial, gradiente textural e profundidade efetiva inferior a 1,5m, constituindo-se a classe dos Argissolos Vermelho-Amarelos. Essas diferenças internas do solo, tanto de textura quanto de estrutura, propiciam infiltração diferencial de água que somadas as declividades elevadas em que ocorrem tornam esses solos muito suscetíveis aos processos erosivos. Nesse mesmo ambiente, ocorrem os Cambissolos Háplicos que são solos rasos e pouco profundos, com grande influência da rocha formadora, normalmente observado por fragmentos de rochas em seu perfil e pela proximidade do saprolito. São solos muito suscetíveis aos processos erosivos muito devido a significância da relação silte/argila, caracterizando a baixa de coesão e adesão das partículas do solo. Nas partes mais declivosas, observam-se solos com profundidades,

geralmente, iguais ou inferior a 50cm até a rocha matriz, com presença de calhaus e matacões em superfície compreendendo a classe dos Neossolos Litólicos. São muito suscetíveis à erosão em virtude não só da espessura reduzida como também do relevo acidentado em que ocorre. A associação com Afloramentos de Rocha, nessa condição de relevo acidentado, é quase sempre obrigatória.

Esta unidade apresenta um alto potencial de vulnerabilidade a eventos de erosão e movimentos de massa, tanto pelo relevo escarpado submetido a um forte controle litoestrutural, quanto pelo desmatamento generalizado ocorrido. Trata-se, portanto, do trecho da escarpa da serra do Mar com a cobertura florestal mais devastada no estado do Rio de Janeiro. Esse fato deve-se às altitudes relativamente modestas da escarpa da serra das Araras, tornando-se, portanto, no principal eixo de comunicação entre a metrópole carioca e o vale do Paraíba, sendo atravessada pela Estrada de Ferro Rio - São Paulo e pela Via Dutra (BR-116). Os núcleos urbanos de Paracambi e Japeri situam-se junto ao sopé, no recôncavo da baixada de Sepetiba.

#### **V.3.4. Médio Vale do rio Paraíba do Sul Fluminense**

Consiste numa extensa zona colinosa, de morfologia convexo-côncava com topografia uniforme e topos nivelados de baixa amplitude de relevo (entre 50 e 100 metros) em cotas que variam de 400 a 600m de altitude. O nível de base regional, caracterizado pelo rio Paraíba do Sul, que corta a depressão longitudinalmente, registra cotas entre 300 e 380m, entre as cidades de Três Rios e Itatiaia. A unidade desenvolve-se a partir de um marcante controle tectônico, no qual essa superfície encontra-se deprimida entre as cadeias montanhosas das serras do Mar e da Mantiqueira, configurando-se como um vasto hemigráben.

Estão inseridas, nessa depressão, as bacias tafrogênicas de Resende e Volta Redonda e o maciço intrusivo de morro Redondo.

O mapeamento dos depósitos quaternários ao longo do traçado do TAV revelou, todavia, uma intensidade diferencial dos processos erosivo-

deposicionais nesta unidade. Entre Pirai e Volta Redonda, os processos geomorfológicos são pouco expressivos, sendo documentados por exíguas e delgadas planícies de inundação predominantemente arenosas. Dominam solos muito profundos, superior a 2m, de textura média e argilosa, variando de 35 a 50% no teor de argila e com ausência de gradiente textural. São solos porosos, muito friáveis e permeáveis que compreendem a classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos. Essas características conferem a esses solos uma maior resistência à erosão quando comparados a outros solos nessa mesma condição ambiental. Ocorrem associados aos Argissolos Vermelho-Amarelos, também muito profundos, eutróficos, com saturação por bases superior a 50%, representando uma melhor fertilidade natural, porém mais suscetíveis aos processos erosivos devido à presença de gradientes texturais no perfil do solo. Normalmente, apresenta textura média (35 – 45% de argila) no horizonte superficial e argilosa (50 – 60%) no horizonte B subsuperficial. Essa pequena diferença de textura leva a uma infiltração diferenciada que auxilia no desenvolvimento dos processos erosivos nesses solos.

Entre Volta Redonda e Resende, por sua vez, os processos geomorfológicos atingem grandes magnitudes, sendo documentados por ocorrência generalizada de ravinamentos e voçorocamentos; geração de concavidades estruturais; entulhamento de fundos de vales com espessos depósitos alúvio-coluvionares e rampas de colúvio e fenômenos de capturas de drenagem, coalescência de rampas e destruição de divisores. Estudos em escala de detalhe vêm dissecando esses processos na região, podendo estar condicionados pela dinâmica da água subterrânea sobre as linhas de fraqueza do substrato geológico (Coelho Netto, 1999; Coelho Netto, 2003, dentre outros) ou por reativações neotectônicas de estruturas antigas (Mello et al., 1999, dentre outros).

Nessa região, dominam os Argissolos Vermelho-Amarelos eutróficos, de melhor fertilidade natural, desenvolvidos em relevo ondulado e suave ondulado. São solos muito profundos, com espessuras superiores a 2m e com horizonte subsuperficial argiloso. Apesar de apresentarem estruturas em blocos, são solos bem drenados, permeáveis, sendo normalmente ocupados com

pastagem. Ocorrem associados aos Latossolos Vermelho-Amarelos que compreendem solos mais pobres, porém mais porosos e friáveis devido à presença de estruturas granulares mesmo em solos argilosos com mais de 50% de teor de argila no solo.

A atividade econômica mais importante da região, assim como todo o médio vale do rio Paraíba do Sul, é a pecuária leiteira, caracterizando a paisagem regional por uma zona de extensas pastagens de uso extensivo. A implantação da Via Dutra (BR-116) na década de 1940, atravessando o médio vale do rio Paraíba do Sul, consolidou a região como eixo de passagem entre Rio de Janeiro e São Paulo, promovendo o desenvolvimento de atividades industriais.

### **V.3.5. Bacia de Resende**

Consiste numa bacia sedimentar tafrogênica, alongada na direção WSW-ENE, de idade eocênica (Melo *et al.*, 1985), constituída por tabuleiros e colinas tabulares e alongadas de baixa amplitude de relevo e uma extensa planície fluvial do rio Paraíba do Sul. A bacia encontra-se embutida no relevo colinoso da depressão interplanáltica do médio vale do rio Paraíba do Sul por processos de subsidência tectônica. A gênese da bacia é posterior à dos maciços intrusivos vizinhos de Itatiaia e morro Redondo, visto que o pacote sedimentar apresenta tanto sedimentos oriundos do embasamento cristalino, quanto de rochas alcalinas (Amador, 1975). Trata-se de um hemigráben basculado para norte, bruscamente delimitado por uma falha normal e seccionado por altos estruturais de direção SSW-NNE, enquanto a borda sul da bacia mantém um contato erosivo. Dominam solos característicos do Terciário, como os Latossolos Amarelos que compreendem solos muito profundos, superior a 2m, de textura média e argilosa (35 – 45% ou >45% do teor de argila) e que apresentam baixo teor de ferro. O intemperismo é avançado, com predominância de argila tipo 1:1 e sesquióxidos de ferro e alumínio, com baixa quantidade de minerais primários e baixa saturação por bases. Apesar de serem argilosos são muito permeáveis e bem drenados, devido a sua condição estrutural predominantemente granular. Além desses, nas partes mais baixas da bacia, ocorrem solos desenvolvidos a partir de eventos deposicionais, caracterizando os Neossolos Flúvicos e Cambissolos Flúvicos, ambos

eutróficos, saturação por bases superior a 50%. São solos profundos e muito profundos, superior a 2 – 3m, com estratificação de camadas de diferentes texturas e estruturas. A proximidade das drenagens tornam esses solos mais sujeitos a variação do lençol freático sendo suscetíveis à inundação, principalmente nos períodos mais chuvosos.

A bacia de Resende estende-se entre as localidades de Itatiaia e Quatis, sendo atravessada longitudinalmente pelo rio Paraíba do Sul. Para ela convergem importantes tributários, como os rios Pirapetinga, Sesmarias e Barreiro de Baixo. O nível de base do rio Paraíba do Sul registra, nesse trecho, cerca de 390m de altitude, enquanto as colinas tabulares atingem cotas entre 430 e 460m e as colinas do substrato pré-cambriano sustentam cotas superiores a 500m.

Atravessada longitudinalmente pela Via Dutra (BR-116), a bacia de Resende, devido a suas extensas áreas planas ou suave onduladas, tem sido o principal local de implantação do pólo industrial do médio vale do rio Paraíba do Sul, concentrado nos municípios de Resende e Porto Real. Situam-se nessa área também os núcleos urbanos de Itatiaia, Floriano e Quatis.

### **V.3.6. Alto Estrutural de Queluz**

Consiste numa seção estrangulada do Médio Vale do rio Paraíba do Sul entre Itatiaia (RJ) e Cruzeiro (SP), situada em zona limítrofe entre os Estados do Rio de Janeiro e São Paulo, sendo caracterizada por um relevo dissecado de morros com desnivelamentos topográficos ligeiramente superiores e declividades mais acentuadas em relação aos terrenos colinosos do Médio Vale do rio Paraíba do Sul e imprensados, a norte, pelo Maciço Alcalino do Itatiaia. Sobre essas rochas desenvolvem solos pouco profundos, com espessura inferior a 1m e rasos menores que 50cm. São solos com relação silte/argila elevada, indicando uma influência significativa do silte na textura e também da rocha-mãe nas características do solo. Compreende a classe dos Cambissolos e quando o horizonte A encontra-se assentes diretamente sobre a rocha caracteriza os Neossolos Litólicos. Esta unidade subdivide o “graben do Paraíba do Sul” e individualiza duas bacias sedimentares distintas: as bacias

de Resende e Taubaté. Este fato decorre de soerguimento de blocos em forma de horst, de forma ortogonal à direção das bacias sedimentares num evento tectônico posterior à implantação das bacias (Almeida et al., 1976; Salvador & Riccomini, 1993). Os processos geomorfológicos também são bastante expressivos nesta porção soerguida, tal como observado no mapeamento dos depósitos quaternários onde se registram uma significativa sedimentação de depósitos aluviais e alúvio-coluvionares. No flanco sul do Maciço do Itatiaia destacam-se possantes rampas de colúvio e depósitos de tálus que dissecam as íngremes vertentes deste maciço. Nessas feições de rampas, normalmente observam-se solos com pequeno desenvolvimento pedogênico ou quando melhor desenvolvidos apresentam gradientes texturais. Nos depósitos de tálus, comumente encontra-se solos pedregosos e rochosos, com gradientes texturais, de profundidade variada, entre 1 a 3m, compreendendo a classes dos Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos Háplicos. Esta unidade apresenta um alto potencial de vulnerabilidade a eventos de erosão e movimentos de massa, principalmente na vertente que drena o Maciço do Itatiaia e a Serra da Mantiqueira. O caráter estrangulado do rio Paraíba do Sul, imprensado entre as ombreiras dos morros inseridos no Alto Estrutural possibilitou a construção da Usina Hidrelétrica do Funil. A estrada de Ferro Rio - São Paulo e a Via Dutra (BR-116) atravessam essa unidade necessitando de importantes obras de engenharia como taludes de corte de estrada devido aos terrenos localmente acidentados. Os núcleos urbanos de Engenheiro Passos, Queluz e Lavrinhas situam-se nesta unidade.

### **V.3.7. Médio Vale do rio Paraíba do Sul Paulista**

De forma similar ao Médio Paraíba Fluminense, esta unidade compreende os terrenos colinosos de baixa a média amplitude de relevo embutidos entre as serras do Mar e da Mantiqueira, no Estado de São Paulo. Trata-se de uma extensa zona geomorfológica caracterizada por colinas, morrotes e morros baixos com vertentes convexo-côncavas de gradiente suave a médio e topos arredondados ou alongados e subnivelados, apresentando desnivelamentos locais de até 100 metros. Esse relevo foi caracterizado por Ab'Saber (1966) em

todo o médio vale do rio Paraíba do Sul como a área-tipo do domínio morfoclimático dos mares de morros.

O Médio Vale do rio Paraíba do Sul Paulista consiste, portanto, numa extensa zona colinosa, com topografia uniforme e topos nivelados de baixa amplitude de relevo em cotas que variam de 600 a 750 metros de altitude, com desnivelamentos locais entre 50 e 100 metros e estende-se de Cruzeiro até Guararema, sendo delimitado, a leste, pelo alto estrutural de Queluz e, a oeste, pelo alto estrutural de Arujá. No interior desta unidade está alojada a Bacia Sedimentar de Taubaté. Predominam solos muito profundos, superior a 3m, porosos, muito permeáveis, com pouca diferenciação entre os seus horizontes e de texturas variando desde média (35 – 45%) até muito argilosa (>56% teor de argila). Compreendem a classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos associados a solos mais avermelhados como é o caso dos Latossolos e Argissolos Vermelhos, onde a relação hematita/gohetita é mais significativa.

Caracterizada como uma depressão tectônica, o Médio Paraíba encontra-se encerrado a sul-sudeste, pela escarpa da serra do Mar, representada pelas serras de Quebra-Cangalha e do Jambeiro. Estas serras consistem, em direção oeste, num prolongamento escarpado mais baixo que a serra da Bocaina e delimitam a borda sul da Depressão Interplanáltica do Médio Vale do rio Paraíba do Sul (Dantas, 2001). Enquanto que os topos do Planalto da Bocaina estão alçados acima da cota 1.500 metros, os topos das serras de Quebra-Cangalha e do Jambeiro atingem cotas entre 1.000 e 1.200 metros. Mesmo assim, perfazem terrenos acidentados com desnivelamentos totais de até 500 metros em direção ao Vale do Paraíba. Com base na análise do Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo (Ponçano et al., 1981), verifica-se que no interior do Vale do Paraíba, entre Cruzeiro e Guaratinguetá, o domínio colinoso apresenta características morfológicas muito similares aos do Vale do Paraíba Fluminense. Entre Guaratinguetá e Guararema, o relevo torna-se mais movimentado apresentando colinas e morros baixos dissecados com sedimentação aluvionar mais restrita.

Esta unidade apresenta um moderado a alto grau de suscetibilidade a eventos de erosão, sendo variável conforme a disposição dos condicionantes lito-estruturais que regulam os processos erosivo-deposicionais.

Atravessada longitudinalmente pela Via Dutra (BR-116), o Médio Vale do rio Paraíba do Sul Paulista, assim como a bacia de Taubaté, devido a suas extensas áreas planas ou suave onduladas, tem sido o principal local de implantação do pólo industrial do médio vale do rio Paraíba do Sul, concentrado nos municípios de Guaratinguetá, Taubaté e São José dos Campos. Empresa e instituições de tecnologia de ponta como Embraer, INPE, Petrobras, Volkswagen, Engesa, Avibras, Votorantin Celulose Papel (VCP) e ITA estão aí instalados. A extensa planície de inundação do rio Paraíba do Sul, por sua vez, é largamente utilizada para rizicultura. Situam-se nessa região os núcleos urbanos de Cachoeira Paulista, Lorena, Pindamonhangaba, Aparecida-Guaratinguetá, Taubaté, Caçapava, São José dos Campos e Jacareí.

#### **V.3.8. Bacia de Taubaté**

Assim como a Bacia de Resende, esta unidade consiste numa bacia sedimentar alongada na direção WSW-ENE, de idade Paleógena, todavia, muito mais ampla que a anterior. Trata-se de um rift, bruscamente delimitado por falhas normais e seccionado por altos estruturais de direção ortogonal à bacia (Vidal *et al.*, 2004). A configuração morfológica compreende um conjunto de amplos tabuleiros e colinas tabulares de baixas amplitudes de relevo (no máximo, 30 metros de desnivelamento), sendo os primeiros preponderantes no setor oeste, entre Jacareí e Taubaté. No setor leste, entre Pindamonhangaba e Cachoeira Paulista, predomina colinas tabulares, devido a um processo de dissecação ligeiramente mais acentuado (Ab'Saber & Bernardes, 1958). Em ambos os setores, dominam solos bem drenados, caracterizados pela ocorrência de horizonte B latossólico de cores vermelho-amareladas. São solos muito profundos (> 3m) e bastante intemperizados, o que se reflete na baixa capacidade de troca de cátions. As características físicas são de boa drenagem interna, boa aeração e ausência de impedimentos físicos à mecanização e penetração de raízes. Compreendem a classe dos Latossolos Vermelho-Amarelos.

A Bacia de Taubaté encontra-se embutida no relevo colinoso do médio vale do rio Paraíba do Sul Paulista por processos de subsidência tectônica. Na porção central da bacia, destaca-se uma expressiva sedimentação quaternária documentada pela extensa planície de inundação do rio Paraíba do Sul que apresenta uma largura média em torno de 3 a 7 quilômetros. Ocorrem solos mal drenados, com lençol freático elevado por longos períodos durante o ano, apresentando horizonte glei subjacente ao horizonte A húmico. Esses Gleissolos Melânicos, estão associados aos Organossolos que são constituídos por material orgânico e que apresentam horizonte O ou H hístico com teor de matéria orgânica elevada, com espessura mínima de 40cm. Pela situação de várzeas alagáveis onde se encontram, são grandes os riscos de inundação por cheias ou por acumulação de água de chuvas em alguma parte do ano. Mesmo assim, nessa região, são utilizados com arroz irrigado, capineiras e pastagens, além de olericultura em pequenas áreas.

As superfícies tabulares são dissecadas, em geral, por uma rede de drenagem paralela de baixa densidade, formando vales encaixados em “U”, ou em colinas tabulares, principalmente quando a densidade de drenagem torna-se maior, próximo ao contato com o domínio colinoso, embasado pelo substrato pré-cambriano. Frequentemente, sobre os topos planos dos tabuleiros, observam-se pequenos lagos temporários em zonas deprimidas da superfície tabular. Em geral, essas incipientes formações lacustres estão associadas à ocorrência descontínua de um substrato pouco permeável dentre os sedimentos de idade Paleógena da Formação Resende ou Tremembé. Nessa região, além dos Latossolos é comum observar ocorrência de solos com argilas de maior atividade, tendo uma maior expansibilidade e contratibilidade, caracterizando os Argissolos eutróficos ou Luvisolos.

A bacia de Taubaté estende-se entre as localidades de Cachoeira Paulista e Jacareí, sendo atravessada longitudinalmente pelo rio Paraíba do Sul. O nível de base do rio Paraíba do Sul registra, ao longo de todo este segmento, cerca de 500 a 600 metros de altitude, enquanto as colinas tabulares atingem cotas entre 550 a 650 metros.

O contato entre a planície do rio Paraíba do Sul com o nível dos tabuleiros pode ser tanto suave, na ordem de pouco metros de desnivelamento, até nítido, com rebordos erosivos de vinte a trinta metros de desnivelamento, como observado no sítio urbano de São José dos Campos. As colinas do substrato pré-cambriano, por sua vez, sustentam cotas entre 50 a 100 metros acima do nível dos tabuleiros.

Essa unidade apresenta um baixo grau de suscetibilidade a eventos de erosão e movimentos de massa, tendo em vista a ocorrência de extensas áreas planas e baixas amplitudes de relevo. Por outro lado, a espriada várzea do rio Paraíba do Sul apresenta um moderado a alto grau de suscetibilidade a eventos de inundação. Todavia, os taludes gerados pela incisão fluvial dos vales em “U”, típicos em rochas sedimentares Cenozóicas podem acarretar em movimentos de massa locais.

### **V.3.9. Alto Estrutural de Arujá**

Consiste numa segunda seção estrangulada do Médio Vale do rio Paraíba do Sul entre Guararema e Arujá e Mogi das Cruzes, sendo caracterizada por um relevo dissecado em colinas e morros baixos, similar ao da porção oeste do Médio Vale do Paraíba Paulista. Todavia, ressalta-se ao aumento gradativo das cotas em direção a São Paulo devido à diferença entre os níveis de base da bacia do rio Paraíba do Sul (posicionado em cotas em torno de 500 metros) e o da bacia do rio Tietê (em torno de 700 metros). Este desnível de 200 metros entre as duas bacias é facilmente transposto por um pequeno degrau estrutural situado nas cabeceiras do rio Parateí, no atual divisor de drenagem. Ressalta-se ainda a ocorrência restrita de alguns alinhamentos serranos, com destaque para a serra do Itapeti, a sul e, a norte, de serras alinhadas junto à cidade de Santa Isabel e a represa de Jaguari. Nessas áreas os solos são pouco evoluídos, caracterizados pela presença de horizonte B incipiente, de caráter distrófico, com argila de baixa atividade. São medianamente profundos a rasos, inferior a 1m, apresentando seqüência de horizontes A, Bi e C, com pequena diferenciação entre eles. Em geral verifica-se forte influência do material de origem em suas características, o que evidencia a pouca evolução desses solos expressa também pelo fraco desenvolvimento pedogenético do horizonte

B, ou mesmo pelo grau de intemperização pouco avançado, inferido pela presença na fração grosseira de conteúdos de minerais primários de fácil intemperização, ou ainda por teores de silte relativamente elevados. Esses Cambissolos estão sempre associados a solos mais rasos com horizonte A assentes diretamente sobre a rocha a menos de 50cm de profundidade. É comum observar também ocorrência de pedregosidade e rochósidades nesses solos. São solos muito suscetíveis aos processos erosivos não somente pela suas características, mas também pelo relevo em que ocorrem.

O divisor de drenagem entre as bacias dos rios Paraíba do Sul e Tietê suscitou uma ampla discussão geomorfológica, principalmente no que concerne a notável anomalia de drenagem representada pelo “cotovelo de Guararema”, desenhado pelo rio Paraíba do Sul. Ab’Saber (1957) afirma que as bacias dos rios Paraitinga e Paraibuna compunham, preteritamente, a bacia do alto rio Tietê e que foram posteriormente capturadas pelo rio Paraíba do Sul devido à ativação do horst composto pelo alto de Arujá e o conseqüente rebaixamento do nível de base do rio Paraíba do Sul em decorrência do afundamento tectônico de seu vale e conseqüente aumento da competência erosiva deste rio.

Esta unidade separa as Bacias de Taubaté e de São Paulo, sendo que o degrau topográfico produzido pelas cabeceiras do rio Parateí, devido a condições locais de maior declividade, podem apresentar, localmente, uma maior propensão aos processos erosivos.

### **V.3.10. Planalto Paulistano**

Esta unidade estende-se por uma vasta área do médio-alto rio Tietê onde encontra-se embutida a Bacia de São Paulo e assenta-se a Região Metropolitana de São Paulo (Ponçano et al., 1981). Almeida (1958) descreve uma grande diversidade de formas de relevo neste planalto submetidas a um nítido controle litológico: neste sentido, os relevos mais acidentados constituídos por morros e serras alinhadas em cristas estão sustentados por granitos e quartzitos; os relevos de colinas e morros baixos, por sua vez, estão embasados gnaisse e xistos. Desenvolvem solos profundos, bem drenados,

porém com gradientes texturais, compreendendo a classe dos Argissolos Vermelho-Amarelos. São solos que em condição de declive podem apresentar maior suscetibilidade à erosão devido à diferença de infiltração provocada pela diferença textural entre as camadas do solo. Devido a grande urbanização e conseqüente movimentação de terras, a classificação dos solos fica comprometida na maior parte dos casos.

O trecho a ser percorrido pelo TAV está compreendido entre as cidades de Arujá e Guarulhos, situado no médio-alto curso do rio Tietê e na franja leste da Região metropolitana de São Paulo, atravessa um relevo de morros dissecados gradando, em direção a oeste, para colinas suaves na medida em que se aproxima de Guarulhos e da Bacia de São Paulo. Esta unidade apresenta um moderado a alto grau de suscetibilidade à erosão logo a montante das cabeceiras do rio Parateí, próximo das cidades de Arujá e Santa Isabel, devido ao relevo movimentado. Todavia, próximo à cidade de Guarulhos, em ambiente colinoso, o grau de suscetibilidade à erosão é baixo.

### **V.3.11. Bacia de São Paulo**

Assim como as bacias de Resende e Taubaté, esta unidade consiste numa bacia sedimentar de idade Paleógena, também pertencente ao Rift Continental do Sudeste do Brasil (Riccomini, 1989). Esta unidade é constituída por colinas tabulares e alongadas, de baixa amplitude de relevo, estando recortada pelas extensas planícies fluviais dos rios Tietê e tributários. A geometria desta bacia é bastante irregular sendo, freqüentemente, seccionada por altos do embasamento. A bacia de São Paulo apresenta, portanto, um formato alveolar localizado no alto vale do rio Tietê, alçada a 700 metros de altitude e encontra-se embutida no relevo de colinas e morros do Planalto Paulistano, onde se assenta grande parte da metrópole paulista. É comum a presença de solos muito profundos, porosos, permeáveis e com características intermediárias com Latossolos, com os quais os Argissolos se encontram freqüentemente associados. São predominantemente cauliníticos, com argila de baixa atividade, bem drenados, de textura média/argilosa ou argilosa/muito argilosa.

Essa unidade apresenta um baixo potencial de vulnerabilidade a eventos de erosão e movimentos de massa, tendo em vista ao predomínio de terrenos planos ou suave ondulados e de baixas amplitudes de relevo. Entretanto, as planícies de inundação do rio Tietê e sua rede tributária apresentam um alto grau de suscetibilidade a inundação, principalmente nas áreas urbanizadas e de solo impermeabilizado.

Assim como na Baixada Fluminense, estes terrenos de colinas suaves e tabulares da Bacia de São Paulo encontram-se densamente urbanizados. Portanto, as mesmas questões socioambientais analisadas para a periferia da Região Metropolitana do Rio de também são pertinentes para esta Unidade.

### **V.3.12. Planalto de Jundiaí**

Esta unidade, denominada por Ponçano *et al.*, (1981) estende-se por uma expressiva do médio vale do rio Tietê a norte da Região Metropolitana de São Paulo. O traçado do TAV atravessa esse planalto seguindo o eixo delineamento pelas rodovias Anhanguera-Bandeirantes, entre as cidades de Franco da Rocha e Valinhos, este nas cercanias de Campinas. Todavia, podem-se caracterizar dois compartimentos distintos neste planalto:

Entre Franco da Rocha e Jundiaí, destaca-se um relevo de colinas e morros dissecados, posicionado em cotas entre 700 e 800 metros, com desnivelamentos locais entre 50 e 100 metros. Este relevo ondulado está intercalado com alinhamentos serranos isolados. Destaca-se, neste contexto, a serra da Cantareira (que atinge cotas entre 1.000 e 1.200 metros) e a serra do Japi (que atinge cotas entre 1.200 e 1.250 metros). Estes alinhamentos serranos apresentam direção estrutural WSW-ENE, concordante com a direção das estruturas do embasamento cristalino e podem representar um prolongamento ocidental da serra da Mantiqueira. Almeida (1964) denominou este compartimento de Serrania de São Roque.

Ocorrem solos rasos ou muito rasos, inferior a 50cm de espessura, possuindo horizonte A assentado diretamente sobre a rocha. A pequena espessura do solo, a presença de rochosidade e a grande suscetibilidade à erosão muito

devido ao relevo forte ondulado e montanhoso, são as limitações mais comuns para este tipo de solo. É muito baixa a capacidade de retenção d' água, no entanto, em regiões onde a pluviosidade é maior, ocorre uma condição de moderada sustentabilidade da vegetação de floresta. Se a vegetação for retirada, a ocorrência de um substrato rochoso a pequena profundidade, associado ao relevo muito movimentado, torna estas áreas muito vulneráveis aos processos erosivos.

Entre Jundiá e Valinhos, já cercanias de Campinas, destaca-se um relevo de colinas dissecadas e morros baixos, sem a presença dos terrenos acidentados das serras e posicionado em cotas um pouco mais baixas, entre 650 e 750 metros. A morfologia torna-se mais suave e as cotas progressivamente mais baixas na medida em que se aproxima dos terrenos sedimentares da Bacia do Paraná. Desenvolvem solos com horizonte B textural e argila de atividade baixa e apresenta caráter distrófico (saturação por bases inferior a 50%). É comum nesses solos a presença de cerosidade entre as unidades estruturais, indicando, portanto, translocação de argila, caracterizando os Argissolos Vermelho-Amarelos.

São, via de regra, utilizadas com pastagem, sendo que a maioria desses solos encontra-se sob vegetação secundária da floresta estacional subcaducifólia. São solos que, ao contrário dos Latossolos, nas condições atuais, bastante erodíveis, principalmente por decorrência das suas características físicas intrínsecas, baixa velocidade de infiltração, alto gradiente textural, entre os horizontes superficial e subsuperficial, que somadas ao tipo de relevo facilitam uma velocidade maior do escoamento superficial da água e conseqüentemente uma energia maior de transporte de material sólido.

De maneira geral, esta unidade apresenta um baixo a moderado grau de suscetibilidade à erosão em todo o ambiente colinoso, sendo elevado, entretanto, nos alinhamentos serranos isolados ou em sua zona de piemonte.

### **V.3.13. Depressão Periférica Paulista**

Esta unidade, com denominação consagrada por Almeida (1964) e Ab'Saber (1969), caracteriza-se por um conjunto de terrenos relativamente mais baixos do que o relevo de colinas e morros do planalto de Jundiaí e o front escarpado das cuestas de Botucatu, tendo sido esculpidas por eventos de circundesnudação Cenozóicos no rebordo Bacia do Paraná. O traçado do TAV abrange apenas uma porção desta unidade no limite com os terrenos de substrato cristalino nos arredores da cidade de Campinas e estão embasados por rochas sedimentares (em especial, siltitos, argilitos e folhelhos do Grupo Tubarão), de idade Permo-Carbomífera.

O relevo dominante consiste de colinas amplas e suaves, posicionadas em cotas entre 600 e 650 metros, com baixos desnivelamentos locais entre 30 e 50 metros. Dominam solos muito profundos (>3m) e mesmo com teores elevados de argila, superior a 45%, apresentam elevada porosidade. Em sendo a capacidade do solo de armazenar e transmitir líquido diretamente relacionada com geometria do sistema poroso, esses Latossolos apresentam excelente permeabilidade interna, excessiva ou muito rápida, garantindo a maior resistência aos processos erosivos quando comparados aos solos associados a eles como é o caso dos Argissolos Vermelho-Amarelos. Esta unidade apresenta um baixo grau de suscetibilidade à erosão em todo o ambiente colinoso

### **V.4. Domínios Geológico-Geotécnicos**

Representam, do ponto de vista regional, os grandes compartimentos geológico-geotécnicos identificados ao longo da faixa de 20km de largura que tem como eixo a linha do traçado referencial do TAV.

#### **V.4.1. Domínio de Terrenos Sedimentares Flúvio-marinhos e Flúvio-lagunares da Baixada Litorânea (D-I)**

São terrenos planos, próximos à orla marinha, argilo-arenosos e/ou argilosos orgânicos (manguezais). Podem ser moles a muito moles, altamente

compressíveis, com baixa capacidade de suporte em fundações de aterros e obras de arte.

#### **V.4.2. Domínio de Colinas da Baixada Fluminense (D-II)**

São terrenos suavemente ondulados constituídos por colinas sustentadas por rochas cristalinas e por depósitos colúvio-aluvionares entulhando as áreas planas entre as elevações. Os solos de cobertura dessas elevações são coluvionares argilo-arenosos e / ou residuais silto-arenosos. As áreas planas entre as elevações podem conter solos argilo-arenosos e/ou solos moles argilosos, orgânicos, saturados. Nas elevações é alta a erodibilidade dos solos residuais silto-arenosos (saprolíticos). 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.

#### **V.4.3. Domínio da Serra das Araras (D-III)**

Formados por terrenos muito movimentados de relevo escarpado e / ou montanhoso, sustentado por rochas cristalinas. Apresenta ocorrência significativa de coberturas de solos transportados constituídos por depósitos coluvionares e depósitos de tálus com blocos e matacões, ambos capeando solos residuais silto-arenosos. 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 plataforma 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 coluvionares e corpos de tálus. Problemas executivos para tubulões 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 fraturamento, zonas de cisalhamento, deslocamento por tensões residuais, lençóis suspensos e outros fatores exigem máxima atenção na abertura, na sustentação e na manutenção dos túneis.

#### **V.4.4. Domínio de Colinas e Morros Sustentados por Rochas Cristalinas do Vale do Paraíba, do Planalto Paulista e da Baixada Litorânea no Sopé da Serra das Araras (D-IV)**

Terrenos de relevo suave ondulado a ondulado. Os solos que capeiam essas elevações são coluvionares argilo-arenosos e / ou residuais silto-arenosos. O maciço rochoso subjacente pode aflorar em áreas de ocorrência de litologias mais resistentes. Os talwegues dos vales e alvéolos podem estar entulhados por depósitos colúvio-aluvionares mais arenosos, com várzeas de solos argilosos orgânicos moles. Alta erodibilidade dos solos residuais saprolíticos nas colinas e morros. Riscos de ruptura exigem baixa inclinação de taludes. Raros problemas em fundações de aterros e obras de arte. Os solos siltosos são difíceis de compactar. Grande heterogeneidade horizontal e vertical nos estágios de alteração de rocha. Nos talwegues dos vales e alvéolos o lençol freático pode estar próximo da superfície e os terrenos eventualmente podem ter baixa resistência se forem argilosos, moles.

#### **V.4.5. Domínio das Bacias Sedimentares – Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo (D-V)**

Terrenos formados por elevações de pequena amplitude (colinas e tabuleiros) sustentadas por rochas sedimentares terciárias com alternância de camadas arenosas e/ou siltosas e/ou argilosas que podem conter argilo-minerais expansíveis. Estes últimos também podem ser encontrados nos solos superficiais, residuais ou transportados. Minerais argilosos expansíveis podem causar desmoronamento superficial das camadas argilo-arenosas com instabilização dos taludes. Esse fenômeno exige proteção confinante. Instabilizações também podem estar associadas a lençóis suspensos ou lençol freático. Alta erodibilidade de camadas arenosas. Os aterros não devem utilizar

esses solos, tanto pela dificuldade de compactação como pelo comportamento dos minerais expansíveis. Boa capacidade de suporte em fundações profundas. Túneis em rocha branda; expansividade das argilas deverá ser considerada no dimensionamento da sustentação estrutural.

#### **V.4.6. Domínio das Planícies Aluviais (D-VI)**

Representado pelas planícies preenchidas por sedimentos inconsolidados depositados pelos rios que correm na Baixada Fluminense vindos da serra em direção ao mar, pelo rio Paraíba do Sul e por seus afluentes, e pelos rios que cortam o Planalto Paulista. Os sedimentos são de granulométricas diversas, variando desde camadas argilosas (orgânicas ou não) muito moles, até cascalho grosso. Várzeas alagadas e turfeiras podem ocorrer com certa frequência. Camadas moles (argilosas), com baixa capacidade de suporte para fundações de aterros e de obras de arte, são encontradas com frequência. Fundações de grande porte deverão ser assentadas em camadas consistentes. Podem ocorrer turfeiras ao longo do Vale do Paraíba com problemas de combustão espontânea lenta, de difícil controle. Principalmente no Vale do Paraíba as camadas de areia são intensamente exploradas para produção de material para a construção civil. As cavas muito profundas decorrentes das lavras poderão se tornar instáveis com a vibração produzida pelo TAV, ocorrendo desmoronamentos. O lençol freático nesses aluviões encontra-se quase sempre próximo à superfície.

#### **V.4.7. Domínio da Bacia do Paraná (D-VII)**

Terrenos de relevo suavemente ondulado, colinoso, sustentado por rochas sedimentares (arenitos e / ou folhelhos). Boa estabilidade em taludes de corte, onde os arenitos apresentam suscetibilidade à erosão e os folhelhos, empastilhamento. Ambos são materiais de difícil compactação. Eventualmente podem ocorrer solos colapsíveis. Boas características para fundações de obras de arte. Solos superficiais de escavabilidade boa a moderada (1ª / 2ª categorias). Comportamento típico de rochas brandas em escavação de túneis. De uma forma geral não devem apresentar problemas especiais de

estabilidade, salvo por combinação desfavorável de fraturamentos verticais e sub-verticais nos folhelhos.

### **V.5. Unidades Geológico-Geotécnicas Mapeadas na Escala 1:10 000**

Os terrenos ao longo da diretriz do traçado referencial da via do TAV apresentam diferenciados comportamentos e propriedades geotécnicas, os quais refletem as interações entre os condicionantes do meio-físico, tais como as litologias e sua evolução tectônica; os tipos de solos do ponto de vista pedológico resultantes do intemperismo e pedogênese do substrato rochoso; as coberturas inconsolidadas compreendendo todo o pacote intemperizado que capeia o substrato rochoso; a compartimentação geomorfológica regional que pode condicionar, potencializar e acelerar os problemas geotécnicos relacionados com a dinâmica das vertentes, sendo inúmeros e de diferentes tipologias os registros de eventos de movimentos de massa nas áreas de relevo acidentado.

As unidades geológico-geotécnicas definidas e caracterizadas neste mapeamento refletem uma tendência de comportamento dos terrenos frente às solicitações para a implantação do empreendimento sob o ponto de vista da geologia de engenharia, além dos problemas específicos relacionados aos solos expansíveis, solos colapsíveis e terrenos cársticos.

Foram definidas 26 unidades geológico-geotécnicas cuja denominação e siglas adotadas foram estabelecidas com a finalidade de possibilitar, da forma mais direta possível, a identificação de algumas características geotécnicas específicas e definidoras da unidade.

Tomando como exemplo a Unidade Geotécnica Solo Residual de Solo Sedimentar – Formação Tremembé (Ug\_Sr\_Sed\_tr), indica um predomínio de solos residuais oriundos de sedimentos relacionados com a Formação Tremembé. Já a Unidade Geotécnica Rocha Vulcânica Básica (Ug\_R\_vul\_b) refere-se a ocorrência predominante de rochas vulcânicas sãs ou pouco alteradas da Formação Serra Geral, não descartando a ocorrência subordinada de solos em diferentes estágios de intemperismo.

Algumas unidades representam associações de diferentes tipologias de litologias. Nesses casos, a denominação adotada refere-se a um ou dois tipos de rocha predominantes, não relacionando todo o conjunto de litologias. A Unidade Geotécnica Solo Residual do Grupo São Roque, abrange todo o conjunto de distintas litologias de baixo grau metamórfico que incluem metaconglomerados, metarcóseos, fragmentos de rochas vulcânicas, e sedimentos marinhos, sendo representada no presente trabalho pela predominância de solos residuais dessa unidade lito-estratigráfica.

### **V.5.1. Mar raso sobre argila mole**

Representado pelo trecho de mar raso, que nas fases de maré vazante praticamente desaparece, e que recobre sedimentos inconsolidados compostos predominantemente por argilas moles, areias fofas e argilas orgânicas de baixa capacidade de suporte depositadas por influência marinha e flúvio-marinha ao longo dos canais de drenagem próximos à costa e ao longo da mesma, principalmente no entorno das Ilhas do Fundão e do Governador. Intercala-se com planícies aluviais, praias, manguezais, e ilhotas rochosas. Não foi considerada unidade geotécnica, mas caracterizado neste capítulo por se tratar de uma material a ser trabalhado durante as obras de construção (Figura V.5.1).



**Figura V.5.1 – Vista geral da área de deposição de argilas moles sobre mar raso.**

Em geral, as camadas de argilas chegam a atingir cerca de 10 m de espessura, podendo alcançar 40 a 50m, estando muita das vezes submersas.

### **V.5.2. Unidade Geotécnica Aterro sobre Mangue, Restinga e Solo Residual - Ug\_AtM**

São terrenos de composição altamente heterogênea constituídos por entulhos e materiais naturais de todos os tipos (solo, areia, saibro e blocos rochosos) provenientes de escavações diversas, lançados indiscriminadamente sobre corpos d'água (mar, lagos, lagoas) e alagadiços com o objetivo de atender à expansão urbana (Figura V.5.2). A espessura das camadas dos aterros é extremamente variável, dependendo da topografia do topo rochoso.



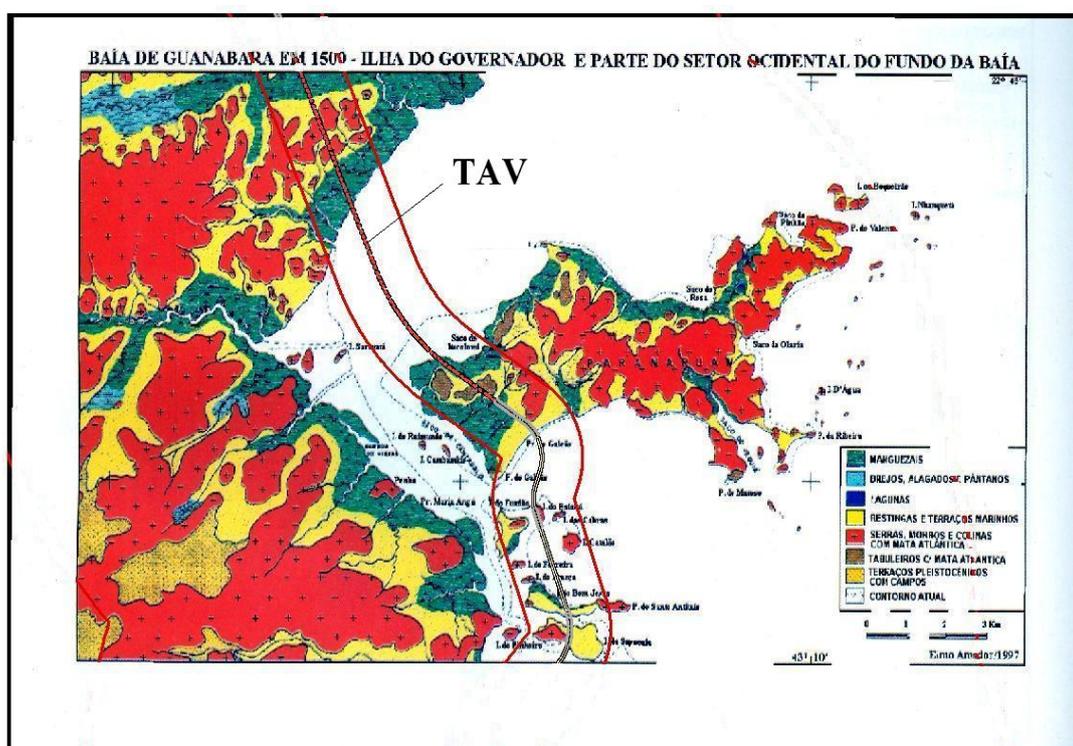
**Figura V.5.2 – Vista geral da área de aterro sobre mangues. Cidade do Rio de Janeiro**

Esta unidade compreende relevo que varia de plano a suave ondulado, com amplitudes entre 0 e 50 metros e declividades entre 0 e 3%. Predominam solos heterogêneos provenientes de aterros.

A heterogeneidade dos materiais constituintes dificulta a escavabilidade, que pode variar de fácil a difícil (1ª, 2ª e 3ª categorias), dependendo de sua origem. A capacidade de suporte tende a variar de baixa a alta. A susceptibilidade à instalação de processos erosivos e a movimento de massa apresenta-se baixa.

O risco de inundação é moderado a alto e apresenta como problema geotécnico específico à ocorrência de solos compressíveis, principalmente quando sobre mangue.

Em geral, o risco geológico apresenta-se baixo, entretanto muitas das fundações dos aterros foram executadas sem critérios técnicos sobre solos muito moles, com o nível freático muitas vezes próximo à superfície, e sem a retirada da vegetação, estando tais fundações, por isto, sujeitas à ocorrência de rupturas e recalques.

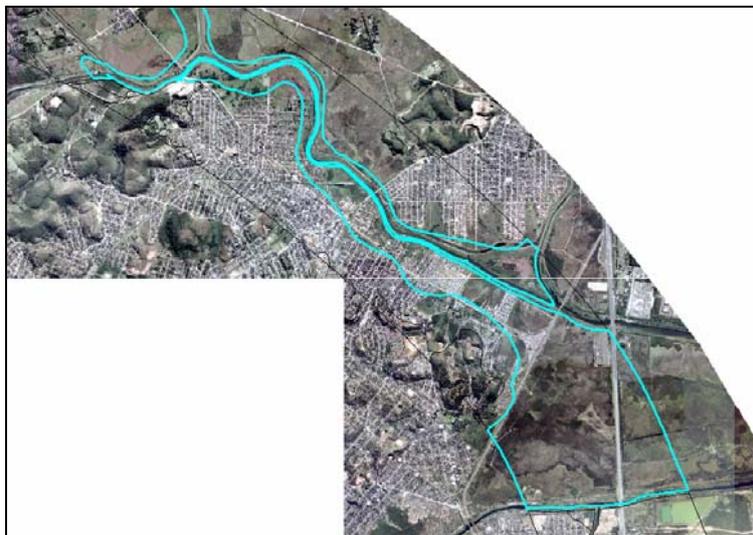


**Figura V.5.2a – Aspecto original da Baía de Guanabara, Ilha do Governador e ilhas que viriam a constituir a Ilha do Fundão em 1500 segundo Amador, podendo-se observar as áreas aterradas.**

### V.5.3. Unidade Geotécnica Flúvio-Marinho - Ug\_FM

Unidade composta por sedimentos de origem fluvial e marinha retrabalhados em regime estuarino, conforme a variação das marés, à orla da baía de Guanabara, incluindo a desembocadura dos rios. Esses depósitos são constituídos de sedimentos finos, siltico-argilosos ou argilo-siltosos, ricos em

matéria orgânica e bioclastos, drenados por água salobra, constituindo os manguezais e áreas alagadiças sob a influência da maré. Em geral, apresentam espessura superior a 3 m, podendo alcançar 50 m (Figura V.5.3). Em alguns pontos ocorrem afloramentos do substrato rochoso sob a forma de ilhotas.



**Figura V.5.3 - Vista geral da unidade Geotécnica Flúvio-Marinho.**

Esta unidade compreende relevo praticamente plano e declividades entre 0 e 3%. Predominam solos dos tipos Neossolos Flúvicos, Gleissolos Melânicos Tiomórficos e Organossolos subordinados.

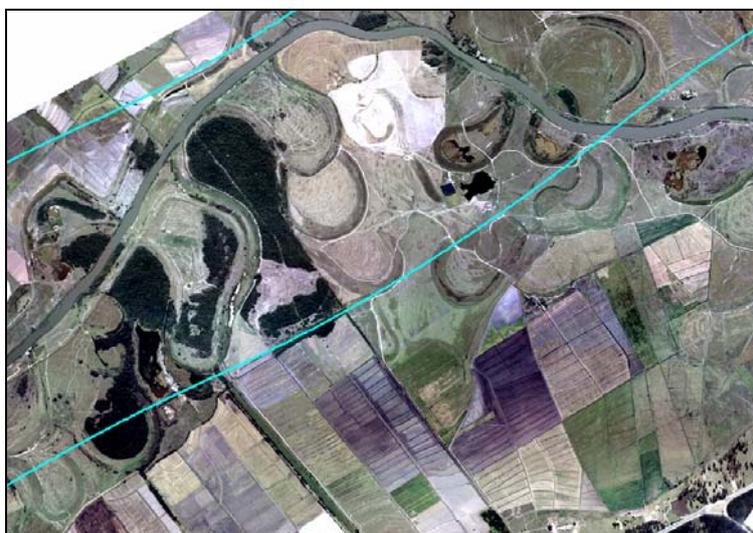
Os materiais em geral são de fácil escavabilidade (1ª categoria), com escavações dificultadas pela elevada saturação dos terrenos e inundações diárias por variação das marés, devendo-se atentar para eventuais ocorrências de afloramentos de rocha sã do substrato (3ª categoria). Apresenta muito baixa a baixa capacidade de suporte para qualquer tipo de fundação.

O risco de inundação é alto e pode apresentar solos compressíveis como problema geotécnico específico.

Risco geológico alto, com maior probabilidade de ocorrer problemas associados a recalques das fundações e aterros. A intervenção nesta unidade pode provocar o desequilíbrio na taxa de erosão e deposição de sedimentos, promovendo o assoreamento dos cursos d'água e manguezais.

#### **V.5.4. Unidade Geotécnica Depósito Aluvionar - Ug\_AI**

Consiste de material recente proveniente da ação fluvial depositado ao longo da rede de drenagem, em planícies de inundação e em terraços, representado por sedimentos de textura arenosa e argilosa, com presença de cascalheiras e solo orgânico, eventualmente. Apresentam-se dispostas sob a forma de camadas e/ou lentes nas margens dos rios ou em subsuperfície, com extensão variando de alguns metros a dezenas de quilômetros, com espessura variável podendo atingir cerca de 30 m, como por exemplo, na calha do rio Paraíba do Sul entre os municípios de Piedrahangaba e Caçapava. Algumas destas áreas são intensamente exploradas economicamente, com extração de areia e cascalho (Figura V.5.4, 5 e 6).



**Figura V.5.4 - Vista geral da unidade Geotécnica Depósito Aluvionar.**

Localmente, há o desenvolvimento de expressivas áreas de turfeiras, algumas exploradas economicamente, localizadas no médio curso do Rio Paraíba do Sul, no município de Caçapava, Resende e em diversos outros locais dessa planície fluvial (Figura V.5.7).

Esta unidade compreende relevo plano, localmente suave ondulado. As amplitudes variam entre 0 e 20 metros e as declividades entre 0 e 3%. Predominam solos dos tipos Neossolos Flúvicos com Gleissolos Melânicos e Organossolos subordinados.

A capacidade de suporte é variável, de muito baixa nas camadas argilosas a média/alta nas demais. A escavabilidade é fácil (1ª categoria) nos locais de maior espessura de material arenoso, entretanto poderão existir dificuldades de escavação pela baixa coesão do material e do nível d'água raso. Nos níveis argilosos e/ou com presença de material orgânico há o risco maior de ocorrer recalques em fundações, aterros, infraestruturas subterrânea e pavimentos viários.

A suscetibilidade à inundação é muito alta a alta, enquanto que a suscetibilidade à erosão varia de moderada a alta, pelo processo de solapamento ao longo das margens e terraços arenosos. Localmente, ocorrem eventos de rupturas associados ao solapamento das margens dos rios, como por exemplo, no município de Jacareí (Figura V.5.8).

Apresenta risco geológico baixo a moderado, dependendo da composição textural do sedimento. Nas áreas de turfeiras além da elevada compressibilidade do terreno há ainda o risco de combustão espontânea.



**Figura V.5.5 – Depósito aluvionar de pequeno porte.**



**Figura V.5.6 – Depósito aluvionar de grande porte com exploração de areia e cascalho.**



**Figura V.5.7 – Turfeiras em meio à planície de inundação.**



**Figura V.5.8 – Solapamento de margem de rio.**

### V.5.5. Unidade Geotécnica Alúvio-Colúvio - Ug\_AI-Co

Consiste de sedimentos holocênicos de origem continental, provenientes das encostas, depositados por eventos de enxurrada e retrabalhados em ambientes fluviais. Incluem depósitos elúvio-coluvionares de natureza argilo-arenosa, formando rampas nos sopés das encostas, e ocorrem interdigitados à sedimentos aluviais areno-argilosos depositados ao longo das calhas dos rios e nos alvéolos. Ocorre recobrimdo indistintamente unidades litológicas de origem e idades diversas (gnaisse / Complexo Rio Negro, granitóide / Suíte Serra dos Órgãos, depósitos flúvio-lagunares, rochas sedimentares da Bacia de Resende, gnaisse / Complexo Embu) (Figura V.5.9).



**Figura V.5.9 - Vista geral da Unidade Geotécnica Alúvio-Colúvio.**

A unidade apresenta relevo plano a suave ondulado, com amplitudes entre 0 e 50 metros e declividades entre 0 e 20 %. Os solos consistem de Neossolos Flúvicos e Cambissolos Flúvicos e Planossolos.

São depósitos recentes formados pelo predomínio de materiais provenientes de solo residual e camadas de areias com estratificação incipiente, intercalados com lentes irregulares e estreitas de argilas. Próximo aos talwegues pode ocorrer a presença de solos litólicos e afloramentos rochosos.

A extensão e espessura desses depósitos são extremamente variáveis, de uma maneira geral apresentam espessuras métricas (Figura V.5.10 e 11).

A escavabilidade é fácil a moderada nas encostas onde podem ocorrer materiais de primeira e segunda categorias, e fácil nas áreas planas dos talwegues, onde predominam materiais de primeira categoria. A capacidade de suporte é variável de baixa a moderada.

O risco de inundação é predominantemente moderado a alto e não foram observados problemas geotécnicos específicos.

A suscetibilidade aos processos erosivos é moderada, localmente alta, sendo possível observar a instalação de erosão laminar, sulcos e ravinamentos. Pontualmente, ocorrem escorregamentos rotacionais de pequena proporção. A suscetibilidade a movimentos de massa em geral é baixa, localmente alta nas áreas de topografia acentuada. (Figura V.5.12). Apresentam elevada suscetibilidade à erosão e movimentos de massa quando submetidos a cortes e modificações antrópicas.

O risco geológico está associado principalmente a composição textural do material e a topografia do terreno. Em geral, apresenta-se baixa nas áreas mais planas, podendo atingir alto nas áreas de declividade mais elevada.



**Figura V.5.10 – relevo plano típico da UG\_AI-Co.**



**Figura V.5.11 – Aspecto textural dos materiais constituintes da UG\_AI-Co.**



**Figura V.5.12 – Processo de ravinamento e escorregamento em material coluvionar (ao fundo) e planície colúvio-aluvionar.**

#### **V.5.6. Unidade Geotécnica Colúvio - Ug\_Co**

Consiste de depósitos holocênicos constituídos por solos e fragmentos de rochas transportados das vertentes, desagregados por processos de gravidade, enxurradas e deslizamentos. Incluem depósitos de caráter variado

e granulometria heterogênea, associados a vertentes de serras, morros e colinas, e depósitos elúvio-coluvionares de natureza argilo-arenosa formando rampas nos sopés das mesmas, caracterizando tais depósitos como áreas de amortecimento dos materiais mobilizados de montante. Recobre indistintamente unidades litológicas de origem e idades diversas e seus solos residuais associados (Embu, unidade paragnáissica e sedimentos da Formação Resende) (Figura V.5.13).



**Figura V.5.13 – Vista geral da unidade geotécnica colúvio.**

Os materiais em geral apresentam pouca classificação e selecionamento dos grãos. A espessura e extensão são extremamente variáveis, porém observa-se pacotes que variam de 0,5 m até 3m (Figura 14).

Esta unidade encontra-se em encostas de vertentes de relevos ondulados a fortemente ondulados, com amplitudes entre 0 e 100 metros e declividades entre 8 e 45 %. Os tipos pedológicos relacionados incluem os Planossolos, Latossolos, Neossolos e Cambissolos.

A unidade apresenta grande heterogeneidade de materiais, sendo comum a presença de seixos de tamanhos diversos extremamente resistentes. Devido a presença de fragmentos rochosos a categoria de escavação pode variar de fácil a moderada (1ª e 2ª categorias). Apresenta também média capacidade de suporte. O comportamento geotécnico da unidade quanto a erodibilidade,

escavabilidade, facilidade de compactação e resistência ao carregamento em fundações pode apresentar diferenças, condicionadas pela heterogeneidade dos materiais constituintes, tanto em relação às características geomecânicas como em relação aos métodos construtivos a serem adotados no empreendimento.

A suscetibilidade aos processos erosivos é moderada sendo mais elevada nos trechos dos terrenos próximos às serras, com relevo forte ondulado. Localmente pode ocorrer a instalação de erosão laminar, sulcos e ravinas.

A suscetibilidade a movimentos de massa em geral é moderada, passando a muito alta em condições de declividade maior. Os depósitos apresentam elevada permeabilidade e são muito susceptíveis a novas mobilizações, principalmente quando são alteradas as condições de equilíbrio deposicional. Alguns desses depósitos estão sujeitos a uma lenta, porém contínua mobilização (rastejo).

O risco de inundação é baixo. O risco geotécnico apresenta grau baixo a moderado, localmente alto em função da declividade do terreno e taxa de mobilização dos pacotes de sedimentos.

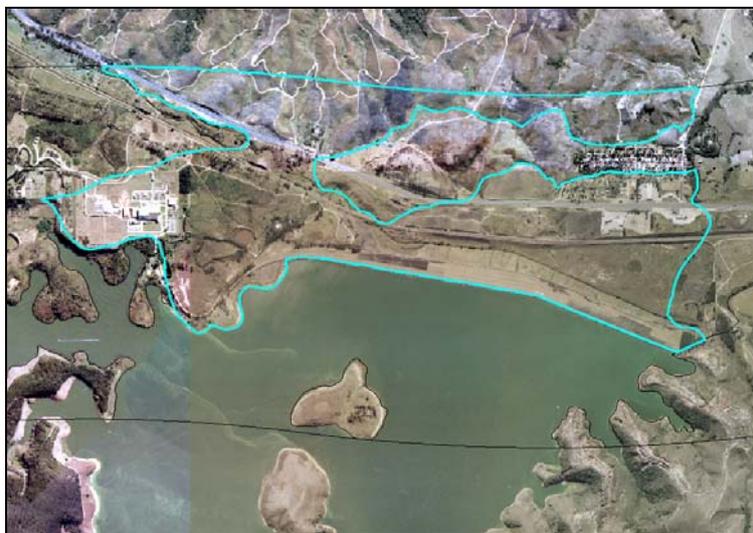


**Figura V.5.14 – Camada de colúvio recobrimdo solo residual. Nota-se a presença de linhas de pedras marcando o limite entre as duas unidades geotécnicas.**

### V.5.7. Unidade Geotécnica Tálus - Ug\_Talus

Unidade representada por sedimentos holocênicos continentais proveniente das vertentes que se deslocam, na base das encostas de elevadas amplitudes e fortes declividades ou nos sopés das escarpas serranas e reversos montanhosos. Depósitos deste tipo são identificados principalmente na Serra das Araras, do Mar e nas demais serras e morros nas regiões de planalto.

No caso da Serra do Mar, a gênese desses depósitos está relacionada aos processos morfogenéticos condicionantes do desmantelamento e recuo da escarpa voltada para o mar, e formação do Vale do Paraíba na vertente interior (Figura V.5.15).



**Figura V.5.15 – Vista geral da Unidade Geotécnica Tálus.**

Nesses depósitos ocorrem materiais incoerentes e heterogêneos, mal selecionados, com granulometria variando desde grandes blocos e matacões, até as frações mais finas, de areia silte e argila. A espessura e extensão dos pacotes de tálus são extremamente variáveis.

Uma importante área de tálus está localizada na base da serras sustentadas pelo Complexo Alcalino de Itatiaia, próxima ao reservatório da represa do Funil (FURNAS Centrais Elétricas), entre os municípios de Itatiaia e Resende. Neste local ocorre uma interdigitação entre a sedimentação coluvionar, material proveniente das encostas serranas e sedimentos da bacia sedimentar Terciária

de Resende, e solos rasos, que recobrem as rochas do embasamento cristalino.

Diferentemente dos depósitos recentes da Serra das Araras e demais elevações da área, a formação do tálus de Itatiaia está relacionada a eventos tectônicos antigos, de idade terciária, decorrentes de falhamentos pós-intrusivos, que ressaltaram morfologicamente as rochas alcalinas do maciço de Itatiaia, resultando na formação de espesso depósito de tálus na base da encosta e fundo de vale.

A unidade encontra-se em encostas de vertentes de relevos ondulados a fortemente ondulados, com amplitudes em geral superiores a 100 metros e declividades entre 8 e 45 %. O tipo pedológico predominante é o dos Cambissolos. A distribuição espacial da unidade resulta da energia do processo de mobilização, das áreas mais elevadas até as áreas de amortecimento e deposição dos materiais.

As dificuldades de escavação são decorrentes da sua heterogeneidade, podendo conter materiais de fácil a difícil remoção (1ª, 2ª e 3ª categorias), em locais muito próximos no terreno. Podem conter também blocos e matacões enterrados, comprometendo a execução das obras para implantação de fundações de pontes e viadutos. A capacidade de suporte é em geral média, localmente baixa.

Apresenta áreas com susceptibilidade a erosão moderada a alta com a instalação de sulcos, ravinas e voçorocas. O potencial para a ocorrência de movimentos de massa é alto, extremamente favorável ao desenvolvimento de escorregamentos rotacionais e rastejos. Os depósitos de tálus são quase sempre porosos e permeáveis, de muito baixa estabilidade nas encostas, com o equilíbrio precário facilmente rompido por qualquer intervenção, resultando em movimentos de massa.

O risco de inundação é baixo e não foram observados problemas geotécnicos específicos.

O risco geológico é alto, devido ao fato de alguns desses corpos apresentarem uma lenta, porém continuada mobilização, a medida que seu peso aumenta, em movimento gradativo, através de rastejamento ou *creeping*. Quando na presença de água e intensas chuvas a saturação elevada pode acelerar o processo de movimentação natural, provocando deslizamentos rápidos envolvendo um grande volume de material.

#### **V.5.8. Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar - Ug\_Sr\_Sed**

Esta unidade reúne as rochas sedimentares das bacias sedimentares do Paraná, São Paulo e Resende. Engloba as espessas camadas de folhelhos, por vezes intercaladas a arenitos, do Grupo Itararé da Bacia do Paraná; e os diamictitos, conglomerados, arenitos, argilito e siltitos das Formações Resende e São Paulo, ambas ocorrendo nas bacias sedimentares de Taubaté, São Paulo e Resende (Figura V.5.16).



**Figura V.5.16 – Vista geral da Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar.**

Esta unidade compreende relevo predominantemente tabular ou suave ondulado a ondulado, com amplitudes entre 0 e 50 metros e declividade entre 8 e 20%. Localmente o relevo apresenta-se ondulado, com amplitudes entre 50 e 100 metros. Os tipos pedológicos predominantes são Latossolos e Argissolos, ambos Vermelho-amarelos.

Predominam os perfis espessos de solos residuais, e subordinadamente rochas alteradas, saprólitos e rochas sã, recobertos por colúvio. Os horizontes de solos residuais e rocha alterada ocorrem com variadas espessuras, sendo difícil estabelecer uma profundidade média para a posição do topo rochoso.

De uma maneira geral as espessuras do solo residual apresentam-se superiores a 3 m, enquanto a do saprólito e da rocha sã chegam a atingir 30 m. É comum a presença de colúvio com espessura inferior a 0,5 m, capeando a unidade (Figuras V.5.17 e 18).

O grau de alteração dos materiais varia de rocha sã a muito alterado (A1 - A4), nos locais com afloramento de rocha, e extremamente alterado nos saprólitos (A5). O grau de coerência varia igualmente de muito resistente a branda para as rochas sã e muito branda a extremamente branda para os saprólitos (C5).

A categoria de escavação, quando na presença de solo residual e saprólito, é fácil a moderada (1ª e 2ª categorias), sendo dificultada nos trechos onde ocorrem solos litólicos associados a afloramentos de rocha. A capacidade de suporte dos terrenos é média a alta, pontualmente baixa.

A suscetibilidade aos processos erosivos é moderada, com setores podendo apresentar susceptibilidade alta e baixa. Comum a presença de significativas áreas com intenso ravinamento e deslizamentos planares localizados, como nos municípios de Resende e Itatiaia (RJ) e Jacareí (SP)

A suscetibilidade a movimentos de massa em geral é baixa, pontualmente moderada, com o desenvolvimento de voçorocas, rastejos e deslizamentos rotacionais bastante expressivos, nos municípios de Cachoeira Paulista, Jacareí e Guarulhos (SP).

Especificamente nos terrenos ocupados pelos folhelhos do Grupo Itararé, no município de Campinas (SP), há a formação de solo residual espesso, com perfil de 8 a 20 m, localmente com rocha alterada a sã, exploradas economicamente, com 20 a 30 m de espessura, recoberto por e colúvios de 0,3 a 10 m de espessura. Apresenta capacidade de suporte média a alta, categoria

de escavação laminável a escarificável, susceptibilidade a erosão baixa, sem indício de movimento de massa (Figura V.5.18).

O risco de inundação é predominantemente baixo, com áreas de alto risco localizadas. Em trechos de maior energia dos rios, há a ocorrência de solapamento das margens dos rios, associados a processos de erosão hídrica ao longo da rede de drenagem.

Predominam terrenos com risco geológico baixo, porém localmente variando de alto a moderado, principalmente nas regiões de encostas íngremes onde pode ser observada a instalação de processos erosivos e de movimento de massa.



**Figura V.5.17 – Solo residual sobre rocha sedimentar.**



**Figura V.5.18 – Lente de arenito em meio a folhelhos alterado.**

#### **V.5.9. Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar (Formação Pindamonhangaba) - Ug\_Sr\_Sed\_pi**

Esta unidade está presente na bacia sedimentar de Taubaté, sendo constituída por conglomerado basal com granodecrescência ascendente; gradando para arenitos progressivamente mais finos; no topo ocorrem siltitos com camadas de arenitos conglomeráticos que gradam para siltitos e argilitos. Ocorrência de níveis de paleossolos argilosos desenvolvidos sobre sedimentos flúvio-lacustres da Formação Pindamonhangaba (Figura V.5.19).



**Figura V.5.19 – Vista geral da Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar - Formação Pindamonhangaba.**

A unidade compreende formas de relevo suave onduladas a onduladas, com amplitude entre 0 e 100 metros e declividades entre 3 e 8%. Predominam nesta unidade Latossolos Amarelos e Vermelhos.

Há o predomínio de solos residuais espessos (Sr), dispostos em camadas que ultrapassam os 3 m de profundidade, com ocorrências localizadas de rocha alterada (Ra) em perfis em torno dos 4 m. Em geral, ocorrem com variadas espessuras, sendo difícil estabelecer uma profundidade média para a posição do topo rochoso.

Os materiais presentes nesta unidade apresentam grau de alteração variando de medianamente alterado a muito alterado (A3-A4). Há o predomínio de materiais de fácil a moderada escavação (1ª e 2ª categorias). Apresenta capacidade de suporte média, sendo muito baixa quando relacionada aos níveis argilosos dos paleossolos (Figura V.5.20).

Tanto a susceptibilidade a erosão quanto ao movimento de massa são baixos, com eventos localizados de erosão, laminares e ravinamentos. Em geral o risco a inundação é baixo.

O risco geológico desta unidade é classificado como alto devido à presença de solos argilosos porosos que, quando saturados sofrem adensamento por pressão das camadas superiores, tornando-os colapsíveis sob o aumento da pressão, e sujeitos a movimentação nas encostas. Estes solos são identificados nos municípios de Pindamonhangaba, Tremembé, São José dos Campos e Taubaté, sendo destacados como problemas geotécnicos específicos da unidade.



**Figura V.5.20 – Folhelhos alterados da Fm. Pindamonhangaba.**

#### **V.5.10. Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar (Formação Tremembé) - Ug\_Sr\_Sed\_tr**

Engloba as rochas sedimentares da Formação Tremembé, que ocorre nas bacias de Taubaté e São Paulo. Reúne rochas calcárias dolomíticas; ritmitos formados pela alternância de folhelhos pirobetuminosos e margas; e argila verde maciça, fossilíferos, e localmente arenitos arcoseanos (Figura V.5.21).



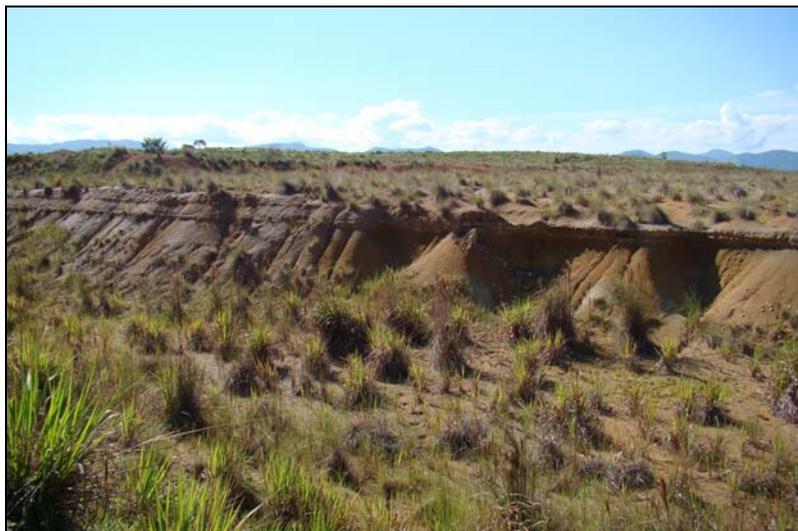
**Figura V.5.21 – Vista geral da Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar - Formação Tremembé.**

A unidade apresenta relevo suave ondulado a ondulado, com amplitude entre 0 e 50 metros e declividades entre 3 e 8%. Predominam nesta unidade Latossolos Amarelos e Vermelhos.

A unidade é representada por solos residuais de espessura superior a 3 m, ricos em argilominerais com composição essencialmente mono/bissialítica e minerais como montmorilonita e esmectita, de características expansivas. A categoria de escavação pode variar de laminável a escarificável, devido a grande heterogeneidade dos materiais e a presença de espessas camadas argilosas. De uma maneira geral a capacidade de suporte é média, exceto quando sobre com maior presença de argilas expansivas (Figura V.5.22).

A susceptibilidade à erosão é moderada a alta com desenvolvimento de ravinamentos. Com relação ao movimento de massa, os principais processos que ocorrem na região são os movimentos de massa representados principalmente por escorregamento rotacional localizados, no entanto a unidade pode ser classificada com risco baixo a instalação desses processos. O risco de inundação é baixo.

O risco desta unidade é alto devido a presença dos solos expansivos que estão sujeitos a variação volumétrica quando submetidos a variações de pressões de expansão durante as fases umedecimento e ressecamento. A alternância de contrações e expansões gera fendas profundas nos solos e os tornam erodíveis, provocando o fenômeno do empastilhamento. Representa um problema geotécnico específico capaz de provocar danos estruturais às edificações sobre ele apoiadas.



**Figura V.5.22 – Solo residual desenvolvido sobre rochas da Fm. Tremembé.**

#### **V.5.11. Unidade Geotécnica Rocha Alterada Sedimentar - Ug\_Ra\_Sed**

Reúne os arenitos em corpos lenticulares, lamitos e conglomerados finos, dispostos em ciclos granodecrescentes da Formação Floriano e os diamictitos, conglomerados, lamitos arenosos, arenitos, localmente com estratificação cruzada acanalada da Formação Resende, ambos ocorrendo nas bacias sedimentares de Taubaté e São Paulo (Figura V.5.23).



**Figura V.5.23 – Vista geral da Unidade Geotécnica Rocha Alterada Sedimentar.**

A unidade apresenta relevo ondulado, com amplitude entre 0 e 50 metros e declividades entre 8 e 2%. Os tipos pedológicos predominantes são Argissolo e Latossolos vermelho-amarelos. Localmente, ocorrem solos Aluvionares.

Os processos de alteração promoveram sobre estes litotipos a formação de solo residual raso, cuja espessura atinge cerca de 3 m, sobreposto à rocha alterada de espessura de difícil determinação sem o auxílio de investigações geotécnicas (Figura V.5.24).

As formações rochosas, quando aflorantes, apresentam-se levemente alteradas a muito alteradas (A2-A4). A categoria de escavação varia de escarificável para os solos, a escarificável e detonável para os setores com rocha alterada. Apresenta média a alta capacidade de suporte.

A susceptibilidade à erosão é moderada com a ocorrência de ravinamentos incipientes, principalmente quando sobre os materiais provenientes da Formação Resende. Os eventos associados aos movimentos de massas são localizados, representados por escorregamentos planares pontuais e de pouca expressão.

O risco de inundação é baixo e não foram observados problemas geotécnicos específicos, tais como solos expansíveis, solos colapsíveis, solos compressíveis, subsidência cárstica, dentre outros.

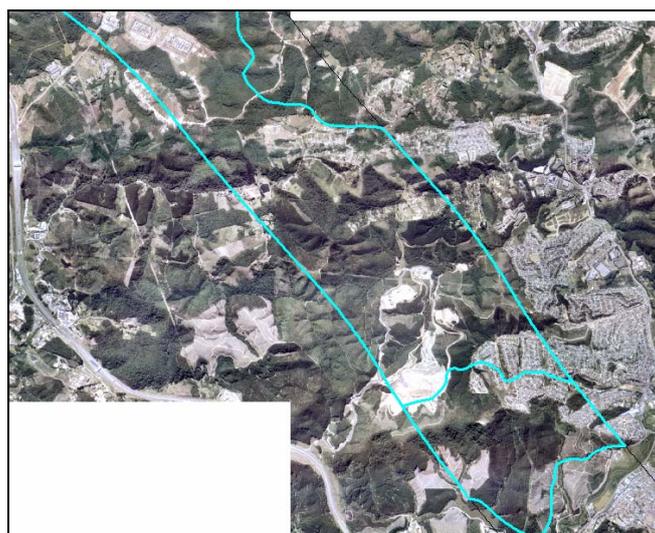
Predominam terrenos com risco geológico baixo, porém localmente variando para moderado. Nas regiões de encostas íngremes são observadas a instalação de processos erosivos e de movimentos de massa.



**Figura V.5.24 – Arenitos alterados da Fm. Resende.**

#### **V.5.12. Unidade Geotécnica Solo Residual do Grupo São Roque - Ug\_Sr\_Sr**

Nesta unidade foram agrupadas as rochas metassedimentares de baixo grau pertencentes ao Grupo São Roque. Compreende a unidade carbonática da Formação Pirapora do Bom Jesus, representadas na área por Calcifilito, Metacalcário dolomítico; e a unidade silto-arenosa da Formação Estrada dos Romeiros (Figura V.5.25).



**Figura V.5.25 – Vista geral Unidade Geotécnica Solo Residual do Grupo São Roque.**

A unidade apresenta relevo ondulado, com amplitude entre 50 e 100 metros e declividades entre 8 e 2%. Os tipos pedológicos predominantes são Argissolos Vermelho-amarelos.

Nos materiais originados sobre esta unidade há o predomínio de solo residual espesso de 5 a 10 m, com a ocorrência restrita de rocha alterada com espessuras médias de 5 a 20 m e saprólitos de 1 a 2 m. As rochas alteradas apresentam grau de alteração variando de medianamente alterada a muito alterado (A3-A4), sendo medianamente resistente a branda (C3-C4). Os solos presentes são lamináveis, enquanto que as rochas podem variar de escarificável a detonável, com relação à categoria de escavação. A capacidade de suporte apresenta-se média para os terrenos sustentados pela unidade carbonática e média a alta para os demais litotipos (Figura V.5.26).

A susceptibilidade a erosão é, em geral, baixa, localmente moderada, com o desenvolvimento de ravinamentos incipientes nas encostas. A susceptibilidade ao movimento de massa pode apresentar-se baixa a moderada, com a ocorrência de escorregamento planares e rotacionais pouco expressivos já instalados.

Nas áreas relacionadas à unidade carbonática, os afloramentos rochosos possuem grau de alteração variando de medianamente a muito alterada, resistência de medianamente a branda, capacidade de suporte alta e categoria de escavação escarificável. A susceptibilidade a erosão é baixa, localmente moderada caracterizada pelo desenvolvimento de ravinamentos incipientes desenvolvidas na porção de solo residual. A susceptibilidade movimentos de massa é localmente moderada, denotado pela ocorrência de escorregamento planares e rotacionais de pouca expressão.

O risco geológico, representado por subsidências e colapsos de terreno é moderado a alto, com a probabilidade de colapsividade do terreno provocada pela dissolução de níveis de rochas carbonáticas e de lentes em meio aos metassedimentos onde podem ocorrer o desenvolvimento de cavidades, cavernas e dolinas. Eventos associados a colapsividade do terreno foram

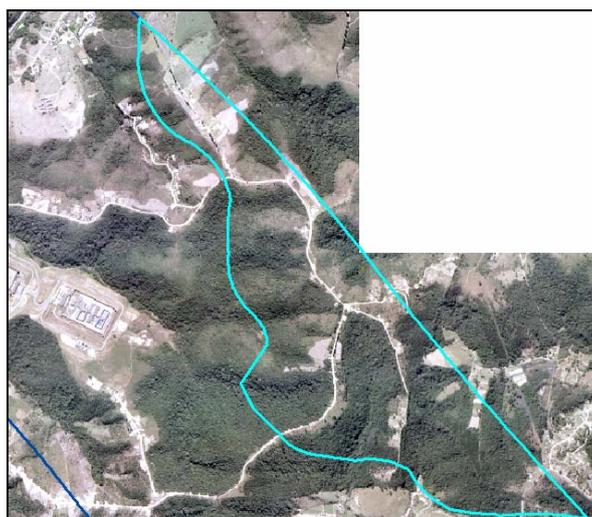
registrados no município de Cajamar (SP), com o afundamento no bairro de Lavrinhas (1986) e da fábrica da Natura (1999). O risco de inundação é baixo.



**Figura V.5.26 – Metassedimentos alterados do Grupo São Roque.**

#### **V.5.13. Unidade Geotécnica Solo Residual de Xisto - Ug\_Sr\_Xis**

Esta unidade ocorre capeando o substrato rochoso cristalino aflorando nos topos das elevações e em cortes e escavações nas vertentes das mesmas. É constituída por xistos e metapelitos do Grupo Serra do Itaberaba (Figura V.5.27).



**Figura V.5.27– Vista geral da unidade Geotécnica Solo Residual de Xisto.**

A unidade apresenta relevo ondulado, com amplitude entre 50 e 100 metros e declividades entre 8 e 2%. Predominam nesta unidade os Cambissolos.

Esta unidade apresenta horizonte de solo residual de xisto com espessura que varia entre 3 e 6 metros. Em campo, não se observam afloramentos que permitam estimar a espessura e profundidade do topo rochoso.

De maneira geral, a escavabilidade do terreno é fácil. Predominam nesta unidade materiais de primeira categoria de escavação, laminável, os quais não apresentam boa empregabilidade para fins de utilização como aterro. A capacidade de suporte da unidade é baixa a moderada.

A susceptibilidade aos processos erosivos é moderada, assim como a susceptibilidade a movimentos de massa. A unidade tem baixa susceptibilidade à inundação e não apresenta problemas geotécnicos específicos.

O risco geológico é moderado devido à susceptibilidade apresentada frente aos processos erosivos e a movimentos de massa.

#### **V.5.14. Unidade Geotécnica Solo Residual Raso de Xisto - Ug\_Sr\_r\_Xis**

Esta unidade é constituída por xistos e metapelitos do Grupo Serra do Itaberaba (Figura V.5.28).



**Figura V.5.28– Vista geral da unidade Geotécnica Solo Residual Raso de Xisto.**

A unidade apresenta relevo ondulado, com amplitude entre 0 e 50 metros e declividades entre 8 e 2%. Predominam nesta unidade os Cambissolos.

Localizada em uma região densamente ocupada do município de São Paulo, apresentam poucas exposições de afloramentos, nos quais ocorre horizonte de solo residual com espessura inferior a 3 metros, recobrindo horizontes de rocha medianamente a muito alterada (A3-A4). Devido à escassez de afloramentos não foi possível estimar, em levantamento de campo, a profundidade do maciço rochoso, nem determinar suas características quanto ao comportamento estrutural.

A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil. Predominam nesta unidade materiais de primeira e segunda categoria de escavação, laminável e escarificável. A rocha alterada apresenta resistência que varia entre mediantemente resistente a branda (C3-C4), predominando materiais de segunda e terceira categoria de escavação, escarificável e detonável.

A capacidade de suporte do horizonte de solo residual é moderada. Já a rocha apresenta capacidade de suporte alta.

No que se refere à susceptibilidade a erosão e aos movimentos de massa, tanto o horizonte de solo residual como de rochas apresentam susceptibilidades moderadas. A unidade como um todo tem baixa susceptibilidade à inundação.

Não foram constatadas em campo ocorrências de problemas geotécnicos específicos, tais como solos expansíveis, solos colapsíveis, solos compressíveis, subsidência cárstica, dentre outros.

O risco geológico é moderado devido à susceptibilidade apresentada frente aos processos erosivos e a movimentos de massa.

### V.5.15. Unidade Geotécnica Solo residual Vulcânica Básica - Ug\_Sr\_vul\_b

Esta unidade é constituída por solos residuais que capeiam o substrato rochoso constituído de basaltos da Formação Serra Geral, na Bacia do Paraná que afloram em cortes de vertentes (Figura V.5.29).



**Figura V.5.29– Vista geral da unidade Geotécnica Solo residual Vulcânica Básica.**

Nesta unidade há predomínio de relevo plano a suave ondulado, com amplitudes entre 0 e 50 metros e declividade entre 0 e 8 %. Predominam nesta unidade Nitossolos.

Localizada em uma região densamente ocupada do município de Campinas, engloba áreas periurbanas e urbanas deste, apresentando poucas exposições de afloramentos. Nos afloramentos presentes na área se observa horizonte de solo residual com espessura que varia entre 3 e 7 metros. O material constituinte desta unidade é predominantemente argiloso de boa coesão o que confere uma boa resistência à erosão causada pelo escoamento superficial das águas pluviais, e facilidade de compactação em aterros.

A escavabilidade do terreno é fácil. Predominam nesta unidade materiais de primeira categoria de escavação, laminável. A capacidade de suporte é alta e a susceptibilidade aos processos erosivos é baixa, assim como a susceptibilidade a movimentos de massa.

A unidade tem baixa susceptibilidade à inundação e não apresenta problemas geotécnicos específicos, tais como solos expansíveis, solos colapsíveis, solos compressíveis, subsidência cárstica, dentre outros.

O risco geológico desta unidade é baixo.

#### **V.5.16. Unidade Geotécnica Rocha Vulcânica Básica - Ug\_R\_vul\_b.**

Esta unidade é constituída por rochas de eventos vulcânicos mesozóicos, representado por basaltos da Formação Serra Geral, que ocorrem expostos, principalmente, em taludes de pedreiras existentes na área (Figura V.5.30).



**Figura V.5.30 – Vista geral da unidade Geotécnica Rocha Vulcânica Básica.**

Nesta unidade há predomínio de relevo plano a suave ondulado, com amplitudes entre 0 e 50 metros e declividade entre 0 e 8 %. Predominam nesta unidade solos Litólicos.

Localizada em uma região periurbana do município de Campinas, apresenta horizonte de rocha levemente alterada a sã (A2-A1), com espessura aproximada de 30 metros recoberto por horizonte de solo residual raso, com espessura entre 1 e 2 metros (Figura V.5.31).



**Figura V.5.31 – Aspecto geral do maciço da rocha levemente alterada a sã.**

A rocha apresenta resistência que varia entre extremamente resistente e resistente (C1-C2), predominando materiais de terceira categoria de escavação, detonável, os quais apresentam boa empregabilidade para uso como agregados. A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil. Predominam neste horizonte materiais de primeira categoria de escavação, laminável.

Em termos de capacidade de suporte, tanto do solo como da rocha, apresentam capacidade alta.

No maciço rochoso foram caracterizadas 03 (três) famílias de descontinuidades, todas correspondendo a fraturamentos, sendo F1 - 269/20 1SW, F2 - 120/90 e F3 - 190/90. O maciço apresenta-se muito fraturado. As fraturas são muito persistentes (10 a 20 metros), fechadas e secas e formam cunhas, caracterizando queda potencial de blocos (Figura V.5.32)



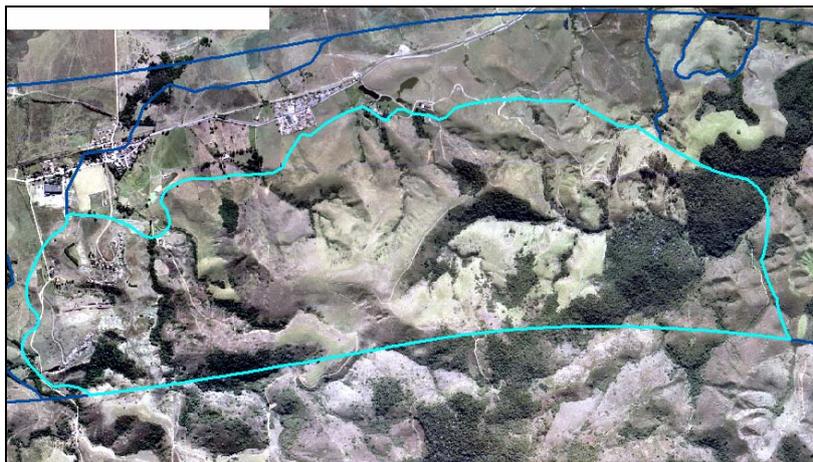
**Figura V.5.32– Detalhe do fraturamento do maciço rochoso.**

A susceptibilidade à erosão, a movimentos de massa e à inundações é baixa, não tendo sido constatada ocorrências de feições erosivas e/ou de movimentos de massa. Também não foi observada a ocorrência de problemas geotécnicos específicos. A unidade apresenta risco geológico baixo.

Na unidade ocorrem três pedreiras, encontrando-se uma ativa (Basalto Pedreira e Pavimentação Ltda.) e as outras duas desativadas.

#### **V.5.17. Unidade Geotécnica Rocha Alcalina - Ug\_R\_Alc**

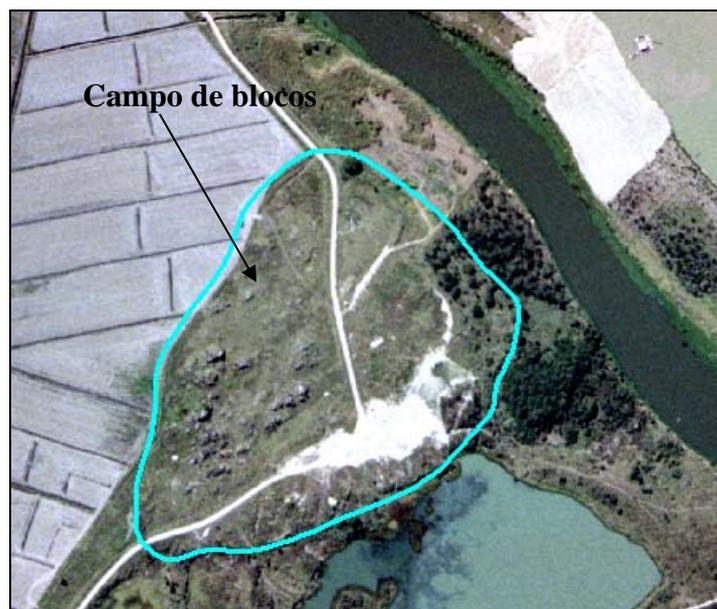
Esta unidade é constituída por rochas alcalinas meso-cenozóicas, correspondendo ao nefelina sienito da Suíte Morro Redondo e ocorrências na forma de *stocks* e *plugs* e outros corpos existentes na Bacia de Taubaté.(Figura V.5.33).



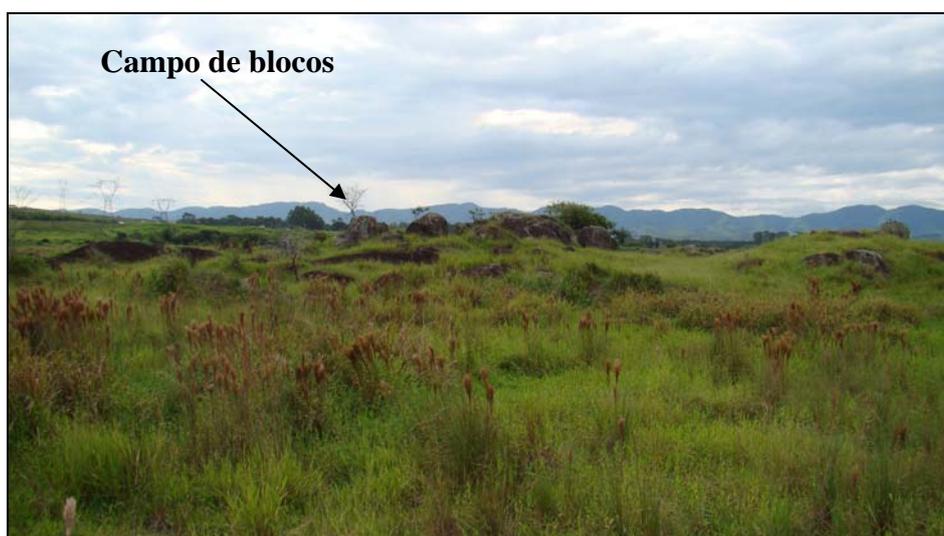
**Figura V.5.33 – Vista geral de uma das unidades Geotécnica Rocha Alcalina presente na área em estudo.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente suave ondulado a ondulado, com amplitudes entre 0 e 100 metros e declividades entre 3 e 20%. Localmente, o relevo apresenta-se montanhoso, com amplitude superior a 400 metros e declividades acima de 45%. Predominam nesta unidade solos Litólicos e Latossolos Vermelhos.

A unidade exhibe horizonte de solo residual raso, com espessura inferior a 3 metros, recobrimdo horizonte de rocha medianamente alterada (A3). No levantamento de campo, devido a ocorrência de afloramentos irregulares, descontínuos e que caracterizam campos de blocos, não foi possíveis estimar as dimensões das ocorrências. (Figuras V.5.34 e V.5.35).



**Figura V.5.34 – Vista aérea de uma das unidades Geotécnica Rocha Alcalina. Notar ocorrência de afloramentos rochosos descontínuos e campo de blocos conferindo aspecto rugoso a superfície do terreno.**



**Figura V.5.35 – Detalhe do campo de blocos presente na unidade.**

A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil. Predominam nesta unidade materiais de primeira categoria de escavação, laminável. Nos afloramentos rochosos e campos de blocos o material varia entre medianamente resistente a resistente (C2-C3), predominando materiais de terceira categoria de escavação, os quais apresentam boa empregabilidade como materiais de agregado.

A capacidade de suporte do horizonte de solo é média e na rocha é alta.

A susceptibilidade a erosão é baixa para o horizonte de rocha e moderada para o horizonte de solo. No horizonte de solo são observadas feições como ravinas, erosão laminar e voçorocas.

Quanto aos movimentos de massa, a suscetibilidade da unidade como um todo é baixa, o que é caracterizada pela ocorrência pontual de um escorregamento rotacional. No que se refere à inundação a susceptibilidade é de modo geral baixa, passando a localmente moderada.

Não foram constatadas em campo ocorrências de problemas geotécnicos específicos. A unidade apresenta risco geológico baixo.

#### **V.5.18. Unidade Geotécnica Solo Residual de Granito - Ug\_Sr\_gr**

Esta unidade ocorre capeando o substrato rochoso cristalino e aflora com maior frequência em cortes e escavações nas vertentes. É constituída de granitos, biotita granitos mega porfíricos foliados a miloníticos, granitos paragneisses e granitos gnaisses incluídos nas unidades Granito Arrozal, Granito Santa Isabel, Complexo Itu; Suíte Rio de Janeiro, Suíte Serra das Araras e Suíte Serra dos Órgãos (Figura V.5.36).



**Figura V.5.36 – Vista geral de unidades Geotécnica Solo Residual de Granito que ocorrem na área em estudo.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente suave ondulado a ondulado, com amplitudes entre 0 e 50 metros e declividades entre 3 e 20%. Localmente, o relevo apresenta-se fortemente ondulado, com amplitude entre 50 e 100 metros e declividades entre 8 e 20%. Predominam nesta unidade Latossolos e Argissolos Vermelho-amarelos. Localmente, nas áreas de baixadas, ocorrem Gleissolos Háplicos associados aos Neossolos Flúvicos.

A unidade apresenta horizonte de solo residual espesso, com afloramentos localizados de saprólito e de rocha muito alterada a sã (A4-A1) (Figuras V.5.37, V.5.38 e V.5.39). O horizonte de solo residual exibe espessura que varia entre 10 e 40 metros. O horizonte de saprólito tem espessura média de 2 metros; e a rocha aflora com espessura que varia entre 10 (rocha muito alterada) e 5 metros (rocha sã). Os afloramentos de saprólito ocorrem na unidade do Granito Arrozal e de rocha alterada a sã nas unidades Santa Izabel e Suíte Serra das Araras.



**Figura V.5.37 – Horizonte de solo residual da Ug\_Sr\_gr.**



**Figura V.5.38 – Horizonte de rocha alterada da Ug\_Sr\_gr.**



**Figura V.5.39 – Detalhe de rocha levemente alterada da Ug\_Sr\_gr.**

A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil. Predominam nesta unidade materiais de primeira e segunda categoria de escavação, laminável e escarificável. As rochas da unidade apresentam resistência que varia de extremamente resistente a branda (C1-C4), predominando materiais de segunda e terceira categoria de escavação, escarificável e detonável, os quais apresentam boa empregabilidade para uso como agregados.

A capacidade de suporte nos horizontes de solo e saprólito é média e alta na rocha. A susceptibilidade à erosão no horizonte de solo é moderada a alta de modo geral, caracterizada pela ocorrência de feições como erosão laminar, sulcos e ravinas. Localmente, nas unidades do Complexo Itu e da Suíte Serra

dos Órgãos, a susceptibilidade à erosão é baixa. A rocha apresenta susceptibilidade moderada a baixa, sendo moderada nas porções de rocha muito alterada.

No que se refere aos movimentos de massa, o horizonte de solo apresenta susceptibilidade moderada a baixa, sendo localmente alta na unidade Suíte Serra das Araras. Nesta última são observadas ocorrências de escorregamento rotacional e queda de blocos.

De modo geral a unidade apresenta susceptibilidade à inundação baixa e não apresenta problemas geotécnicos específicos, tais como solos expansíveis, solos colapsíveis, solos compressíveis, subsidência cárstica, dentre outros.

A unidade apresenta risco geológico variável, sendo baixo na unidade litológica do Complexo Itu e localmente na Suíte Será dos Órgãos; moderado nas unidades do Granito Arrozal e Santa Izabel; e alto nas unidades Suíte Rio de Janeiro, Suíte Serra dos Órgãos, Suíte Serra das Araras e Corpo Granito Taipas.

#### **V.5.19. Unidade Geotécnia Solo Residual raso de granito - Ug\_Sr-r\_gr**

A unidade é constituída solos residuais rasos e ocorre capeando o substrato rochoso cristalino constituído por biotita granitos dos corpos Quebra Cangalha e Terra Nova, que afloram com maior freqüência em cortes e escavações nas vertentes (Figura V.5.40).



**Figura V.5.40 – Vista geral de uma das unidades Geotécnicas Solo Residual Raso de Granito presente na área em estudo.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente ondulado, com amplitudes entre 0 e 50 metros e declividades entre 8 e 20%. Localmente, o relevo apresenta-se suave ondulado, com amplitude entre 50 e 100 metros e declividades entre 3 e 8%. Predominam nesta unidade Argissolos vermelho-amarelos. Localmente, nas áreas de baixadas, ocorrem Gleissolos associados aos Neossolos Flúvicos.

Esta unidade exhibe horizonte de solo residual raso (com blocos de rocha), com espessura inferior a 3 metros, recobrendo a rocha medianamente a muito alterada (A3-A4) (Figuras V.5.41 e V.5.42). Observa-se cortes em rocha com alturas da ordem de 20m.



**Figura V.5.41– Afloramento do horizonte de rocha da Ug\_Sr\_r\_gr.**



**Figura V.5.42– Afloramento de rocha alterada da Ug\_Sr\_r\_gr.**

A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil a moderada. Predominam nesta unidade materiais de primeira e segunda categoria de escavação, laminável e escarificável. Os trechos rochosos apresentam resistência que varia de muito resistente a branda (C2-C4), predominando materiais de segunda e terceira categoria de escavação, escarificável e detonável, os quais apresentam boa empregabilidade para uso como agregados.

A capacidade de suporte do solo é média e da rocha é caracterizada como média a alta.

No horizonte de rocha da unidade Terra Nova foram identificadas 03 (três) famílias de descontinuidades, sendo F1 a foliação milonítica (310/71 SW) e F2 e F3 fraturas (320/70NW e 260/45NW). O maciço apresenta intensa milonitização (Figura V.5.43), encontrando-se muito fraturado, com fraturas abertas preenchidas por solo, persistência de 1 a 3 metros e secas (Figura V.5.44).



**Figura V.5.43 – Detalhe da foliação milonítica no horizonte de rocha medianamente alterada.**



**Figura V.5.44 – Aspecto muito fraturado do maciço no horizonte de rocha medianamente alterada.**

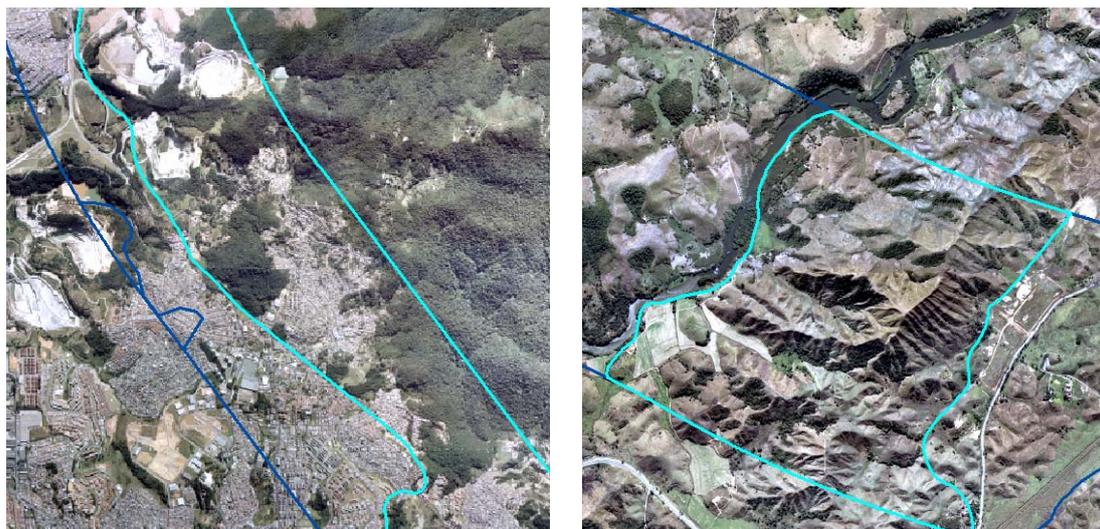
A susceptibilidade a erosão no horizonte de solo é alta na unidade Quebra Cangalha, o que é denotado pela ocorrência de ravinamentos, já na unidade Terra Nova a susceptibilidade é baixa.

A susceptibilidade ao movimento de massa é moderada a alta no horizonte de solo da unidade Quebra Cangalha e baixa no horizonte da unidade Terra Nova. Na unidade Quebra Cangalha verificou-se ocorrências de rastejos e escorregamentos rotacionais.

De modo geral a susceptibilidade à inundação é baixa e não existem evidências de problemas geotécnicos específicos.

#### **V.5.20. Unidade Geotécnica Rocha Granitos - Ug\_R\_gr**

A unidade é constituída, predominantemente, por rochas do embasamento cristalino pré-Cambriano. São granitos e monzogranitos do Corpo Arrozal e Complexo Granítico Cantareira; granitos e paragneisses da Suíte Serra das Araras; e biotita granitos megaporfíricos foliados a miloníticos da Suíte Rio de Janeiro. Essas rochas estão expostas, principalmente, em taludes naturais existentes nas vertentes das elevações, e em cortes nos maciços para a construção de estradas e túneis abertos (Figura V.5.45).



**Figura V.5.45 – Vista geral de corpos da Unidade Geotécnica Rocha de Granito que ocorrem na área em estudo.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente ondulado a forte ondulado, com amplitudes superiores a 100 metros e declividades até 45%. Localmente, o relevo apresenta-se suave ondulado com amplitude até 50 metros, ou escarpado com amplitudes superiores a 200m. As declividades estão entre 3 e 8% para as formas suave onduladas e superiores a 45% para formas escarpadas. Predominam nesta unidade afloramentos de rochas associados a solos Litólicos, Latossolos e Argissolos vermelho-amarelos.

Esta unidade exhibe horizonte de solo residual raso, com espessura inferior a 3 metros, recobrimdo a rocha sã a medianamente alterada (A1-A3). A rocha aflora com altura média de 10 metros (Figuras V.5.46 e V.5.47).

A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil. Predominam nesta unidade materiais de primeira categoria de escavação, laminável. A rocha apresenta resistência que varia de extremamente resistente a resistente (C1-C3), predominando materiais de terceira categoria de escavação, detonável, os quais apresentam boa empregabilidade para uso como agregados.

A capacidade de suporte nos horizontes de solo e rocha é alta, excetuando-se no Complexo Granítico Cantareira onde a capacidade de suporte é média.



**Figura V.5.46 – Afloramento de rocha da Ug\_R\_gr**



**Figura V.5.47 – Detalhe de afloramento da Ug\_R\_gr em área urbana.**

A susceptibilidade a erosão no horizonte de solo é baixa a moderada, sendo localmente muito alta no Complexo Granítico Cantareira, o que é denotado pela ocorrência de ravinamentos.

A susceptibilidade ao movimento de massa é de modo geral baixa, sendo moderada a alta na Suíte Rio de Janeiro. Como evidência de movimento de massa foi constatado, em campo, apenas a ocorrência de escorregamento planar pontual, de pequenas dimensões (Complexo Granítico Cantareira) e queda potencial de blocos na Suíte Serra das Araras.

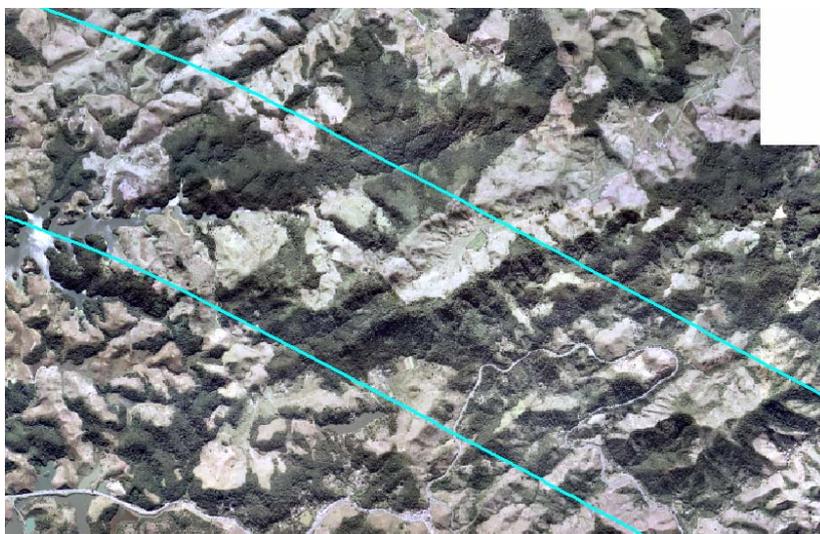
No que se refere à inundação a susceptibilidade é baixa e não há ocorrências de problemas geotécnicos específicos nesta unidade.

A unidade apresenta risco geológico variável, sendo alto nas unidades das Suítes Rio de Janeiro e Serra das Araras, moderado no Complexo Granítico Cantareira e baixo no Corpo Granítico Arrozal.

No Complexo Granítico Cantareira foi constatada a ocorrência de campo de blocos.

#### **V.5.21. Unidade Geotécnica Solo Residual de Granitos e Gnaisses - Serra das Araras - Ug\_Sr\_sa**

Esta unidade consiste de solos residuais principalmente, que ocorrem capeando o substrato rochoso cristalino que sustenta as elevações existentes ao longo da faixa de interesse da diretriz da via no trecho ao longo da escarpa da Serra das Araras. A unidade é constituída por granitos e gnaisses da Suíte Serra das Araras (Figura V.5.48).



**Figura V.5.48 – Vista geral de uma porção da Unidade Geotécnica Solo Residual de granitos e gnaisses - Serra das Araras.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente ondulado a fortemente ondulado, com amplitudes de até 600 metros e declividades entre 8 e 45%. Predominam

nesta unidade afloramentos de rochas associados aos Cambissolos, Latossolos e Argissolos vermelho-amarelos.

A unidade apresenta horizonte de solo residual, recobrando a rocha muito alterada a sã (A4-A1) (Figuras V.5.49 e V.5.50). O horizonte de solo residual exhibe espessura que varia entre 15 e 30 metros e na rocha muito alterada a sã varia entre 2 e 10 m.

A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil. Predominam nesta unidade materiais de primeira categoria de escavação, laminável. A rocha apresenta resistência que varia de muito resistente a branda (C2-C4), predominando materiais de segunda e terceira categoria de escavação, escarificável e detonável, os quais apresentam bom empregabilidade para uso como agregados.

A capacidade de suporte do horizonte de solo é média a alta e na rocha é alta.



**Figura V.5.49 – Afloramento de horizonte de solo residual da Ug\_Sr\_sa.**



**Figura V.5.50 – Afloramento de rocha levemente alterada a sã recoberto por solo residual da Ug\_Sr\_sa.**

As rochas granítico-gnáissicas apresentam 03 (três) famílias de descontinuidades, sendo F1 a foliação (40/55 NW, 315/24 NW, 234/23 NW E 96/44 SW) e F2 e F3 faturas (146/90, 110/8 NE, 200/34 NE, 304/86 NE, 45/82 SE, 32/23 NW, 270/53 NW, 160/74 NE, 140/65 SW, 320/84 SE, 175/74 SE, 90/38 SW, 105/45 SW, 140/49 NW, 312/84 NE). O maciço encontra-se pouco a muito fraturado (Figura V.5.51), as fraturas apresentam persistência que variam entre <1 a 3 metros, fechadas, exibem contato rocha/rocha, com presença de gotejamento, umidade e jorro (Figura V.5.52).



**Figura V.5.51 – Detalhe do aspecto de fraturamento do maciço da Ug\_Sr\_sa.**



**Figura V.5.52 – Fraturamento com presença de umidade e gotejamento.**

No ponto ASRJ-076 (Trecho II Rio de Janeiro) o maciço encontra-se muito fraturado, devido à presença de Zona de Cisalhamento com largura aproximada de 500 metros (Figura V.5.53). Nesta o fraturamento apresenta-se verticalizado, com persistência entre 10 e 20 m. As fraturas são fechadas, contato rocha/rocha, e apresentam gotejamento.



**Figura V.5.53- Zona de Cisalhamento com intenso fraturamento presente na Ug\_Sr\_sa.**

A susceptibilidade a erosão é baixa, localmente moderada caracterizada pela ocorrência de rastejo, sulco e ravinas. A ocorrência destas feições está vinculada a retirada de vegetação e exposição total do solo.

A unidade de solo apresenta alta susceptibilidade a movimentos de massa, o que é caracterizado pela ocorrência de escorregamentos rotacionais e planares. Tais escorregamentos ocorrem como característica marcante da unidade. Muito comumente estas feições são deflagradas pelo processo de rastejo. Também é característica desta unidade a queda potencial de blocos.

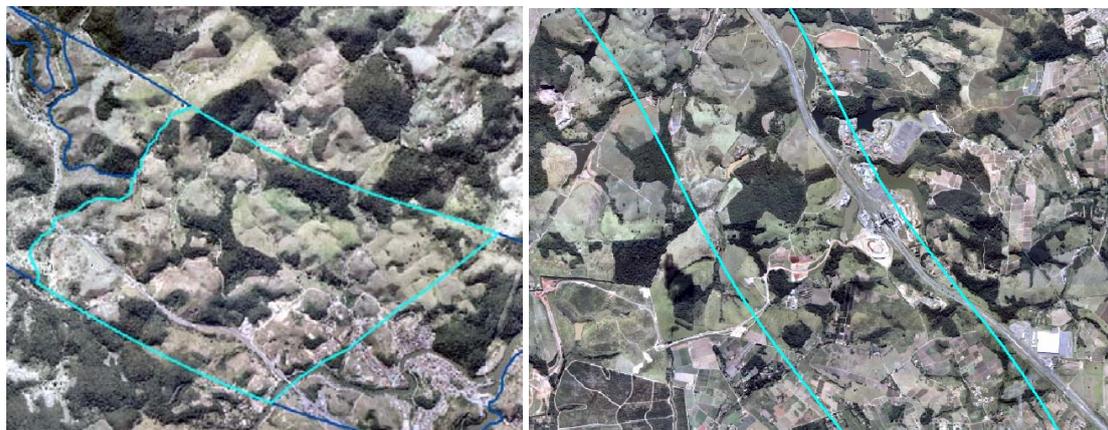
De modo geral a unidade apresenta susceptibilidade à inundação baixa, e não exhibe ocorrências de problemas geotécnicos específicos.

A unidade apresenta risco geológico muito alto, relacionados com rupturas e processos dinâmicos de encostas..

#### **V.5.22. Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaiss - Ug\_Sr\_gn**

A unidade é constituída por solos residuais principalmente, provenientes de gnaisses bandados das Unidades Andrelândia, Gnaiss Bandado e Varginha-

Guaxupé; biotita gnaisses da Unidade paragnáissica Embu; e gnaisses com intercalações de carbonatos do Complexo Paraíba do Sul (Figura V.5.54).



**Figura V.5.54 – Vista geral de corpos da Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaiss que ocorrem na área em estudo.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente suave ondulado a ondulado, com amplitudes entre 0 e 50 metros e declividades entre 3 e 2%. Predominam nesta unidade Latossolos e Argissolos vermelho-amarelos.

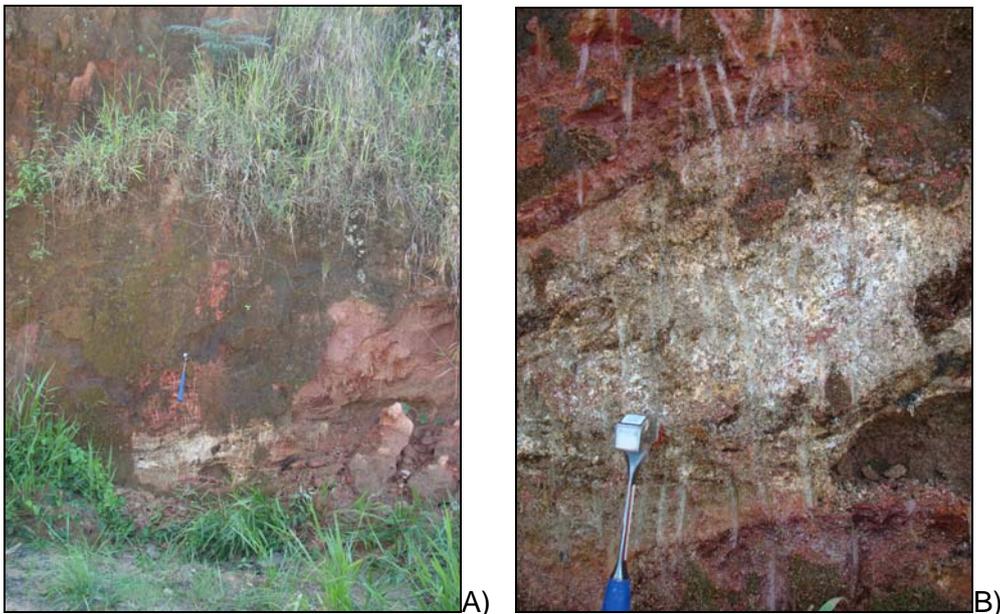
A unidade apresenta horizonte de solo residual, recobrando rocha medianamente a muito alterada (A3-A4) (Figuras V.5.55 e V.5.56 a e b). O horizonte de solo residual exhibe espessura que varia entre 4 e 30 metros e na rocha muito alterada a sã varia entre 2 e 10 metros. O horizonte de solo residual é recoberto, de forma pontual, por colúvio pouco espesso, 0,5 metros.

A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil. Predominam nesta unidade materiais de primeira e segunda categoria de escavação, laminável e escarificável. A rocha apresenta resistência que varia de muito resistente a resistente (C2-C3), predominando materiais de terceira categoria de escavação, detonável. Os materiais desta unidade, a exceção dos pertencentes ao Complexo Paraíba do Sul, apresentam boa empregabilidade para uso como agregados.

A capacidade de suporte do horizonte de solo é média, sendo localmente alta nas unidades Embu, Gnaiss Bandado e Varginha-Guaxupé.



**Figura V.5.55 – Afloramento típico do horizonte de solo residual da Ug\_Sr\_gn.**



**Figura V.5.56 - Afloramento de horizonte de rocha alterada da Ug\_Sr\_gn. B – Detalhe do horizonte de rocha alterada.**

No horizonte de rocha da unidade Varginha-Guaxupé o maciço apresenta 3 famílias de descontinuidades, sendo F1 a foliação (240/65NW, 300/64NW, 170/82NW, 140/65NW, 120/69NW, 330/74NW), e F2 e F3 fraturas (120/55NW, 350/22SW, 60/62NW, 150/12NW, 75/74NW). O Horizonte encontra-se variando entre pouco a moderadamente fraturado, com descontinuidade entre 1 e menor que 3 metros, sem preenchimento e secas (Figura V.5.57).

Na unidade Gnaiss Bandado a foliação apresenta atitude de 335/25 NW.



**Figura V.5.57 – Aspecto do fraturamento no horizonte de rocha alterada da Ug\_Sr\_gn.**

Na rocha alterada do Complexo Paraíba do Sul foram caracterizadas 3 famílias de descontinuidades, sendo F1 a foliação (240/85SE, 260/40SW) e F2 e F3 fraturas (110/72NE, 140/8NW)). O maciço encontra-se pouco fraturado (F2), as fraturas exibem persistência que varia entre 1 e 10 metros, contato rocha/rocha, sem preenchimento, e secas.

Na unidade Embu, foram caracterizadas 03 (três) famílias de descontinuidades, F1 (320/78 NE) F2 (10/65 SE) e F3 (60/62 NW), sendo todas fraturas. O maciço encontra-se muito fraturados. As fraturas são menores < 1 metro, preenchidas por veios de quartzo e ocorrem secas.

A susceptibilidade a erosão é de modo geral moderada a alta, sendo localmente baixa no Complexo Varginha-Gaxupé. Observou-se, em campo, a ocorrência de erosão laminar, sulcos, ravinas e voçorocas no Complexo Paraíba do Sul e na Unidade Embu.

A susceptibilidade a movimentos de massa é baixa a moderada, sendo localmente alta na Unidade Gnaisse Bandado. Nesta foram observadas ocorrências de rastejo e escorregamentos rotacionais.

De modo geral a unidade apresenta susceptibilidade à inundação baixa, e não exhibe ocorrências de problemas geotécnicos específicos.

A unidade apresenta risco geológico baixo a moderado, sendo localmente alto no gnaisse bandado.

#### **V.5.23. Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaisse e Migmatito - Ug\_Sr\_gn\_mig**

A unidade é constituída por solos residuais principalmente, proveniente de biotita gnaisses migmatíticos a graníticos do Complexo Rio Negro Indiviso e unidade paragnáissica Embu; biotita granitos foliados da Suíte Rio Turvo e do Complexo Taquaral; ortognaisses granulíticos do Complexo Rio Negro; migmatitos da unidade ortognáissica migmatítica Varginha-Guaxupé; biotita granitos foliados do corpo Campo Alegre 2; ortognaisses bandados da unidade Juiz de Fora; gnaisse aluminosos da unidade Sillimanita Gnaisse Bandado; e granitos e granodioritos do Complexo Quirino e Suíte Serra do Órgãos (Figura V.5.58).



**Figura V.5.58 – Vista geral de corpos da Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaisse e Migmatito que ocorrem na área em estudo.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente suave ondulado a ondulado, com amplitudes entre 0 e 100 metros e declividades entre 3 e 20%. Predominam nesta unidade a Latossolos e Argissolos vermelho-amarelos. Localmente, ocorrem solos de aterro e Planossolos.

A unidade apresenta horizonte de solo residual, recobrindo o saprólito e a rocha que varia de levemente a muito alterada (A2-A4) (Figuras V.5.59, V.5.60, V.5.61 A e B). O horizonte de solo residual exhibe espessura que varia entre 1 e 18 metros, o saprólito varia entre 0 e 6 metros e a rocha varia entre 1,5 e 15 metros. O horizonte de solo residual ocorre recoberto por colúvio (Figura V.5.62). Este apresenta espessura média entre 0,5 e 1 metros, chegando localmente a 3 metros.



**Figura V.5.59– Afloramento típico de horizonte de solo residual da Ug\_Sr\_gn\_mig.**



**Figura V.5.60– Detalhe do horizonte de saprólito da Ug\_Sr\_gn\_mig.**



A)



B)

**Figura V.5.61 - A) Detalhe da muito alterada da Ug\_Sr\_gn\_mig. B) Afloramento de rocha levemente alterada da Ug\_Sr\_gn\_mig.**



**Figura V.5.62 – Horizonte de colúvio que ocorre recobrando o horizonte de solo residual da Ug\_Sr\_gn\_mig.**

A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil. Predominam nesta unidade materiais de primeira e segunda categoria de escavação, laminável e escarificável. A rocha apresenta resistência que varia de resistente a branda (C2-C4), predominando materiais de segunda e terceira categoria de escavação, escarificável e detonável, os quais apresentam boa empregabilidade para uso como agregados.

A capacidade de suporte do horizonte de solo é moderada a alta, sendo localmente baixa na unidade paragnáissica Embu. A capacidade de suporte da de rocha é mutio alta.

No horizonte de rocha do Complexo Quirino foram caracterizadas três famílias de descontinuidades, sendo F1 – foliação (252/70 NW, 100/58NW, 80/46NW, 260/0, 100/84NE, 102/84NE) e F2 e F3 fraturas (175/89SW, 2/90NE, 272/74NW, 340/62NW, 134/69NW, 80/79SE). O maciço apresenta-se variando entre extremamente a medianamente fraturado. As fraturas apresentam persistência que variam entre < 1 a 10 metros, contato rocha/rocha, fechadas por vezes apresentando abertura pequena, com preenchimento de solo (Figura V.5.63). É observada a ocorrência de gotejamento, umidade e localmente jorro.

No horizonte de rocha do Complexo Rio Negro foram caracterizadas 02 (duas) famílias de descontinuidades, sendo F1 a foliação (110/58SW) e F2 fatura (250/76NE). O maciço encontra-se pouco fraturado. As fraturas são pouco persistentes (<1m), fechadas, exibem contato rocha/rocha, com presença de gotejamento.



**Figura V.5.63 – Detalhe das famílias de descontinuidades presentes na unidade de rochas Ug\_Sr\_gn\_mig.**

Pontualmente, o maciço encontra-se muito fraturado, devido a presença de Zona de Cisalhamento (Figura V.5.64), que é bem caracterizada pela presença de **boudins** (Figura V.5.65). A família F2 passa a apresentar abertura variando entre pequena e moderada, com preenchimento por solo.



Figura V.5.64 – Zona de Cisalhamento presente na Ug\_Sr\_gn\_mig.



Figura V.5.65 – Detalhe de *boudins* presente na unidade de rocha da Ug\_Sr\_gn\_mig.

A susceptibilidade a erosão é moderada a alta, o que é denotada pela ocorrência de sulcos, ravinas e voçorocas. Localmente, a susceptibilidade é caracterizada como baixa nas unidades dos Complexos Rio Negro, Varginha-

Guaxupé e Quirino. Nestes ocorrem feições pouco expressivas de ravinamento.

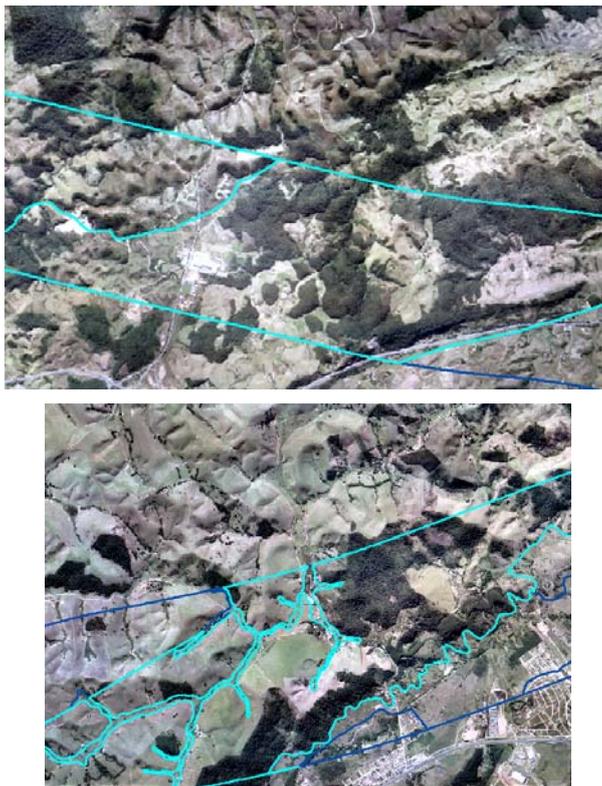
A susceptibilidade a movimentos de massas de maneira geral é baixa, sendo localmente de moderada a alta nas unidades Paragnáissica Embu, Gnaiss Bandado, Corpo Campo Alegre 2 e Suíte Rio Turvo.

A susceptibilidade à inundação é baixa e não foram constatados problemas geotécnicos específicos, tais como solos expansíveis, solos colapsíveis, solos compressíveis, subsidência cárstica, dentre outros.

O risco geológico de modo geral é baixo a moderado, sendo pontualmente alto na Suíte Rio Turvo e Suíte Serra dos Órgãos

#### **V.5.24. Unidade Geotécnica Solo Residual Raso de Gnaiss e Migmatito - Ug\_Sr\_r\_gn\_mig.**

A unidade é constituída por solos residuais rasos principalmente, provenientes de biotita gnaisses da Unidade Embu paragnáissica e do Complexo Rio Negro Indiviso; biotita gnaisses bandados da Unidade Biotita gnaiss bandado; granitos porfiróides foliados do Corpo Granito Resgate, Suíte Campinho, Corpo Campo Alegre 2 e Suíte Rio Turvo; ortognaisses bandados a miloníticos da Unidade ortognaiss, Complexo Juiz de Fora; e xistos, localmente migmatíticos do Grupo Serra do Itaperebá e Unidade de xistos Embu (Figura V.5.66).



**Figura V.5.66 – Vista geral de corpos da Unidade Geotécnica Solo Residual Raso de Gnaiss e Migmatito que ocorrem na área em estudo.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente ondulado, com amplitudes entre 50 e 100 metros e declividades entre 8 e 20%. Localmente, o relevo apresenta-se fortemente ondulado e montanhoso, com amplitude entre 50 e 100 metros e declividades entre 8 e 20% para as formas fortemente onduladas; e entre 20 e 45% para formas montanhosas. Predominam nesta unidade solos Litólicos, Latossolos e Argissolos Vermelho-amarelos.

A unidade apresenta horizonte de solo residual raso, recobrindo a rocha que varia de levemente a muito alterada (A2-A4) (Figuras V.5.67 e V.5.68). O horizonte de solo residual exhibe espessura que varia entre 1 e 3 metros e na rocha, constatada em afloramentos em campo, exposições entre 0,8 e 10 metros. O horizonte de solo residual ocorre recoberto por colúvio com espessura média entre 1 e 3 metros.



**Figura V.5.67 – Afloramento de horizonte raso de solo residual da Ug\_Sr\_r\_gn\_mig.**



**Figura V.5.68 – Afloramento de rocha levemente alterada da Ug\_Sr\_r\_gn\_mig.**

Pontualmente, na unidade de Gnaiss Bandado, ocorre saprólito com espessura média de 1 metro (Figura V.5.69).

A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil. Predominam nesta unidade materiais de primeira e segunda categoria de escavação, laminável e escarificável. A rocha apresenta resistência que varia de resistente a branda (C2-C4), predominando materiais de segunda e terceira categoria de escavação, escarificável e detonável, os quais apresentam boa empregabilidade para uso como agregados.

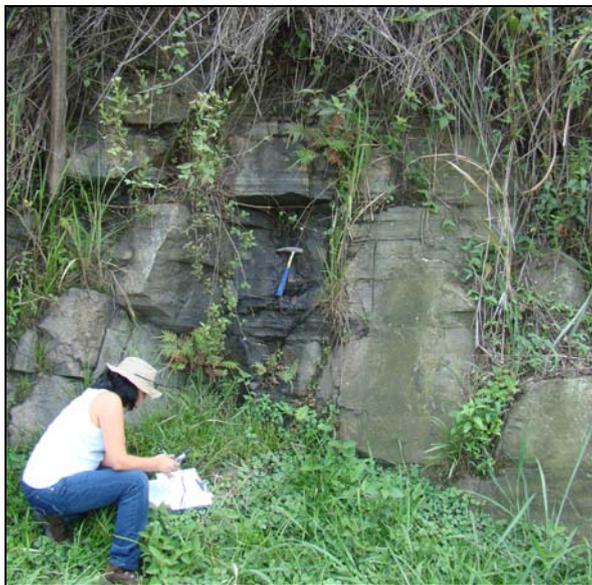


**Figura V.5.69 - Detalhe dos horizontes de saprólito e rocha muito alterada da Ug\_Sr\_r\_gn\_mig.**

A capacidade de suporte é predominantemente média, sendo localmente baixa na Unidade Embu paragnáissica e no Complexo Juiz de Fora; e localmente alta no Corpo Granito Resgate, na Unidade Biotita Gnaiss Bandado, na Suíte Rio Turvo e em um corpo da Unidade Embu paragnáissica.

Pontualmente, na Unidade de Biotita Gnaiss bandado, foram caracterizadas duas famílias de descontinuidades, sendo F1 a foliação (65/37NE, 100/58SW) e F2 fratura (2/90NE) (Figura V.5.70). Neste ponto, o maciço encontra-se muito fraturado, com fraturas pouco persistentes (<1 metro), exibindo contato rocha/rocha, sem preenchimento, e com presença de umidade. Neste ponto, também se observa ocorrência localizada de zonas de intensa deformação,

caracterizadas pela presença de *boudins* no pacote de rocha alterada (Figura V.5.71).



**Figura V.5.70 - Detalhe das famílias de discontinuidades presentes na Ug\_Sr\_r\_gn\_mig**



**Figura V.5.71– Detalhe de ocorrência de *boudins* no horizonte de rocha alterada.**

A susceptibilidade a erosão é de modo geral baixa a moderada, sendo localmente de moderada a alta nas Unidades Embu paragnaissica e

Ortognaisse Juiz de Fora, nos Corpos Resgate, Campo Alegre 2, no Grupo Serra do Itaperebá, no Complexo Rio Negro e nas Suítes Rio Turvo e Campinho. Nesta ocorrem intensos processos ravinamentos, com formações de voçorocas.

A susceptibilidade a movimentos de massa é predominantemente moderada a alta, o que é caracterizado pelo grande número de deslizamentos e escorregamentos rotacionais. Localmente a susceptibilidade é caracterizada como baixa no Grupo Serra do Itaperebá, na Unidade de xisto Embu, no Complexo Rio Negro e na Unidade Biotita Gnaiss Bandado.

A susceptibilidade à inundação é baixa e não foram constatadas ocorrências de problemas geotécnicos específicos. O risco geológico é predominantemente moderado a alto, sendo localmente baixo no Corpo Campo Alegre 2, nas Unidades Embu paragnáissica e Xisto Embu, e no Complexo Rio Negro.

#### **V.5.25. Unidade Geotécnica Saprólito de Gnaiss e Migmatito - Ug\_Sap\_gn\_mig**

A unidade é constituída por saprólitos principalmente, de ortognaises e granitóides foliados da Suíte Serra dos Órgãos; e biotita gnaisses da Unidade Embu e Paragnaises do Complexo Rio Negro (Figura V.5.72).



**Figura V.5.72 – Vista geral de corpos da Unidade Geotécnica Saprólito de Gnaiss e Migmatito que ocorrem na área em estudo.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente suave ondulado a ondulado, com amplitudes entre 0 e 50 metros e declividades entre 3 e 20 %. Predominam nesta unidade Latossolos e Argissolos vermelho-amarelos.

A unidade apresenta horizonte de solo residual, recobrimdo horizonte de saprólito e rocha que varia de levemente a muito alterada (A2-A4) (Figuras V.5.73 A e B e V.5.74 A e B). O horizonte de solo residual exhibe espessura que varia entre 3 e 4 metros, o saprólito varia entre 2 e 8 metros e na rocha varia entre 3 e 6 metros. O horizonte de solo residual ocorre recoberto por colúvio. Este apresenta espessura média entre 1 e 3 metros.

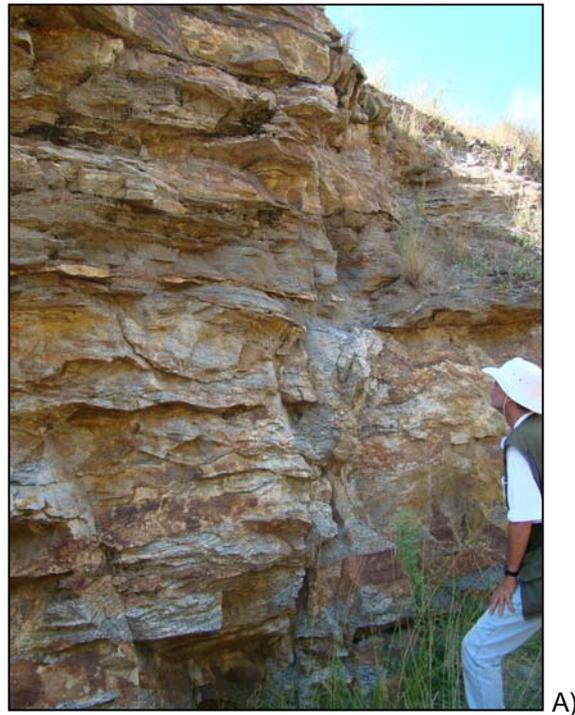


A)



B)

**Figura V.5.73 A – Afloramento dos horizontes de solo residual raso e saprólito da Ug\_Sap\_gn\_mig. B) Detalhe do horizonte de saprólito.**



**Figura V.5.74 A – Afloramento de rocha medianamente a muito alterada da Ug\_Sap\_gn\_mig. B – Detalhe da rocha levemente alterada.**

A escavabilidade do terreno nos horizontes de solo e saprólito é fácil. Predominam nestas unidades materiais de primeira categoria de escavação, laminável. A rocha apresenta resistência que varia de muito à medianamente resistente (C1-C3), predominando materiais de terceira categoria de escavação, detonável, os quais apresentam boa empregabilidade para uso como agregado.

A capacidade de suporte é predominantemente média alta, sendo localmente baixa na Suíte Serra dos Órgãos.

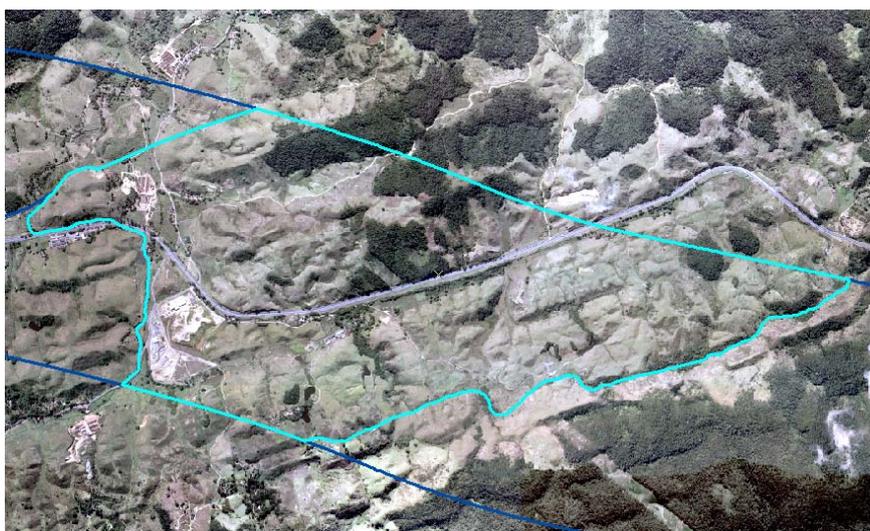
A susceptibilidade a erosão é baixa, sendo localmente moderada a alta na Unidade Embu paragnaissica e Suíte Serra dos Órgãos. Nestas ocorrem ravinamentos e algumas voçorocas.

A susceptibilidade a movimentos de massa é predominantemente baixa, sendo localmente moderada na Unidade Embu paragnaissica, onde ocorrem rastejos, deslizamentos e escorregamentos rotacionais.

A susceptibilidade à inundação é baixa e não foram constatadas ocorrências de problemas geotécnicos específicos. O risco geológico é predominantemente moderado, sendo localmente baixo no Complexo Rio Negro e alto na Suíte Serra dos Órgãos.

#### **V.5.26. Unidade Geotécnica Rocha Alterada de Gnaiss e Migmatito - Ug\_Ra\_gn\_mig**

Esta unidade é constituída de rocha alterada da Unidade Embu, do Complexo Rio Negro e do Complexo Quirino (Figura V.5.75).



**Figura V.5.75 – Vista geral da Unidade Geotécnica Rocha Alterada de Gnaiss e Migmatito.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente suave ondulado a ondulado, com amplitudes entre 0 e 100 metros e declividades entre 3 e 20%. Localmente, o relevo apresenta-se fortemente ondulado, com amplitude entre 50 e 100 metros e declividades 20 e 45%. Predominam nesta unidade solos Litólicos, Latossolos e Argissolos Vermelho-amarelos.

A unidade apresenta horizonte de solo residual raso, recobrimdo rocha que varia de levemente a muito alterada (A2-A4) (Figuras V.5.76 e V.5.77). O horizonte de solo residual apresenta espessura média de 5 metros, chegando localmente a 20 metros. A rocha aflora em cortes com alturas entre 5 e 10 metros.

A escavabilidade do terreno no horizonte de solo é fácil. Predomina nesta unidade materiais de primeira categoria de escavação, laminável. A rocha apresenta resistência que varia de resistente à branda (C1-C3), predominando materiais de segunda e terceira categoria de escavação, escarificável e detonável, os quais apresentam boa empregabilidade para uso como agregados.



**Figura V.5.76 - Afloramento de horizontes de solo residual raso e rocha alterada da Ug\_Ra\_gn\_mig.**



**Figura V.5.77 – Detalhe do horizonte rocha alterada da Ug\_Ra\_gn\_mig.**

A capacidade de suporte da unidade é predominantemente média a alta.

A unidade apresenta 03 (três) famílias de descontinuidades, sendo F1 – foliação (252/70 NW, 100/58NW, 80/46NW, 260/0, 100/84NE, 102/84NE) e F2 e F3 fraturas (175/89SW, 2/90NE, 272/74NW, 340/62NW, 134/69NW, 80/79SE). O maciço apresenta-se variando entre extremamente a medianamente fraturado. As fraturas apresentam persistência que variam entre < 1 a 10 metros, contato rocha/rocha, fechadas por vezes apresenta abertura pequena, com preenchimento de solo. É observada a ocorrência de gotejamento, umidade e localmente jorro.

A susceptibilidade a erosão é moderada a alta, caracterizada pela ocorrência de sulcos, ravinas e *piping* (Figura V.5.78).



**Figura V.5.78 – Afloramento com ocorrência de erosão por *piping* (dimensões: 1,5 m largura / 2 m altura).**

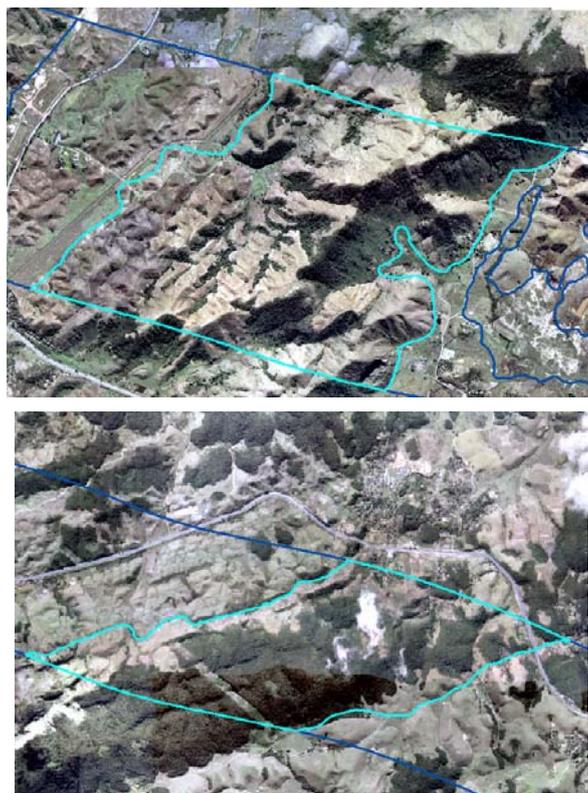
A susceptibilidade a movimentos de massa é moderada, denotada pela ocorrência de rastejos, escorregamentos rotacionais e quedas de blocos potenciais. Os escorregamentos apresentam dimensões médias de 10m de largura por 15 m de comprimento. Localmente, a área apresenta susceptibilidade a movimentos de massa baixa.

A susceptibilidade à inundação é baixa e não foram constatados problemas geotécnicos específicos, tais como solos expansíveis, solos colapsíveis, solos compressíveis, subsidência cárstica, dentre outros.

A unidade apresenta risco geológico moderado

#### **V.5.27. Unidade Geotécnica Rocha Gnaiss e Migmatito - Ug\_R\_gn\_mig.**

A unidade é constituída por biotita gnaisses da Unidade Embu paragnaisse e do Complexo Rio Negro; e granitos foliados do Complexo Quirino (Figura V.5.79).



**Figura V.5.79 – Vista geral de corpos da Unidade Geotécnica Rocha de Gnaiss e Migmatito que ocorrem na área em estudo.**

Nesta unidade o relevo é predominantemente suave ondulado a fortemente ondulado, com amplitudes entre 50 e 100 metros e declividades entre 3 e 45%. Predominam nesta unidade solos Litólicos, Latossolos e Argissolos Vermelho-amarelos.

Esta unidade exhibe horizonte de solo residual raso, com espessura inferior a 3 metros, recobrimdo horizonte de saprólito e rocha levemente a medianamente alterada (A2-A3).

A escavabilidade do terreno nos horizontes de solos e saprólito é fácil. Predominam nestas unidades materiais de primeira e segunda categoria de escavação, laminável e escarificável. A rocha apresenta resistência que varia de extremamente resistente a resistente (C1-C3), predominando materiais de terceira categoria de escavação, detonável. Esse material apresenta boa empregabilidade para uso como agregado.

A capacidade de suporte é alta, sendo localmente moderada nos horizontes de solo e saprólito.

A susceptibilidade a erosão é baixa, sendo localmente moderada a alta nos horizontes de solo e saprólito, onde ocorrem ravinamentos e voçorocas. A susceptibilidade a movimentos de massa é de maneira geral baixa a moderada, o que é caracterizado por escorregamentos planares pontuais.

A susceptibilidade à inundação é baixa e não foram constatados problemas geotécnicos específicos, tais como solos expansíveis, solos colapsíveis, solos compressíveis, subsidência cárstica, dentre outros.

O risco geológico da unidade é moderado.

## **V.6. Condicionantes e Processos Geológico-Geotécnicos**

### **V.6.1. Solos Colapsíveis**

A distribuição espacial no Brasil de solos metaestáveis ou colapsíveis, ainda não é bem conhecida. Entretanto, esses solos ocorrem predominantemente na região do semi-árido brasileiro, onde foram descritas e estudadas por diversos pesquisadores. Segundo Aragão (1982), os solos colapsíveis são caracterizados como solos não saturados, que apresentam acentuado rearranjo de suas partículas e uma grande redução de volume quando submetidos a cargas ou ao umedecimento. Esses solos apresentam elevado índice de vazios devido a uma estrutura fofa, com baixo grau de saturação, cuja redução de volume por ocasião de precipitações resulta em sérios problemas de recalques em fundações.

As regiões áridas e semi-áridas, caracterizadas por pequenas precipitações anuais e elevada evaporação, com prolongados períodos de estiagem, alternados com curtos períodos de precipitações intensas. Esses condicionantes favorecem a formação de estruturas porosas, geradas pela lixiviação dos materiais mais finos, e não saturadas devido às elevadas temperaturas e evaporação anual. A fraca estrutura desses solos é mantida

por cimentos delgados de argila, silte, óxido de ferro ou carbonato, que não resistem ao umedecimento ou a carregamentos.

As propriedades geomecânicas que definem um solo colapsível são encontradas em diferentes tipos de formações superficiais, incluindo solos aluviais, colúvios, solos residuais, e também aterros compactados.

Na região sudeste são mais raros os registros de processos de subsidência relacionados com a colapsividade do solo, cuja distribuição espacial é pouco conhecida.

As fortes chuvas ocorridas no final de 1999 e início de 2000, que atingiram todo o Vale do Paraíba, resultaram em afundamentos nas ruas e surgimento de trincas em moradias causadas por recalques diferenciais que surgiram após o rompimento de tubulações de águas pluviais e esgoto, que atingiram as ruas Salvador Faria Albernaz, Condessa Vimieiro, e Bento Soares da Mota, no Bairro Imaculada, na cidade de Taubaté.

Com a finalidade de caracterizar os processos condicionantes dos afundamentos e a caracterização geotécnica dos terrenos foram realizadas investigações e ensaios geológico-geotécnicos, onde destaca-se o trabalho de Diniz e Santoro (2004), que executaram sondagens a percussão (SPT), coleta de amostras indeformadas e deformadas, e ensaios de caracterização dos índices físicos dos solos, os quais forneceram importante contribuição para o entendimento dos condicionantes geológicos e do comportamento geotécnico relacionados com a colapsividade desses solos.

Segundo os autores acima citados, ocorrem em todo o município de Taubaté páleo-solos argilosos relacionados aos sedimentos fluvio-lacustres da Formação Pindamonhangaba. Esses páleo-solos foram caracterizados como intensamente lixiviados, lateríticos, de textura areno-argilosa, cuja fração argilosa é composta por gibsitina ferruginosa.

Pedologicamente os páleo-solos são classificados como Latossolos vermelho-amarelos resultantes do intemperismo e pedogênese dos sedimentos da Formação Pindamonhangaba, Grupo Taubaté. Essa Formação é constituída

por sedimentos arenosos com intercalações argilosas e, na base, uma camada silto-arenosa com seixos. No Bairro Imaculada o horizonte de Latossolos alcança uma espessura de 15 a 20m.

As sondagens SPT indicaram que os Latossolos são muito pouco resistentes à penetração (focos) até os 14 ou 15m, condicionados pela alta porosidade. Em profundidades maiores os Latossolos e os sedimentos da Formação Pindamonhangaba tornam-se mais resistentes até as profundidades finais em torno de 20m.

Os pesquisadores acima citados concluíram que os Latossolos da formação Pindamonhangaba apresenta colapsividade até profundidades entre 5,7 a 8m. Em profundidades maiores, até 11m, apesar de ainda ser classificado como poroso e fofo esse material não apresenta comportamento colapsível, podendo sofrer desestruturação apenas sob condições de elevados carregamentos.

Ainda segundo esses autores, o processo de colapsividade do solo em Taubaté foi causado pela desestruturação dos horizontes mais superficiais dos Latossolos constituídos de argilos-minerais e óxidos de ferro e alumínio, que com a infiltração das águas das chuvas torrenciais de 2000, resultante da ruptura das tubulações de esgoto e águas pluviais, condicionou o adensamento dos mesmos.

A distribuição espacial das ocorrências dos paleossolos da Formação Pindamonhangaba passíveis de sofrer processos de desestruturação ainda não é bem conhecida. Por esse motivo, optou-se nesse trabalho, em considerar a totalidade dos sedimentos e materiais provenientes do intemperismo dos sedimentos dessa formação como integrantes da Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar (Formação Pindamonhangaba) - (Ug\_Sr\_Sed\_pi).

### **V.6.2. Solos Expansíveis**

Em cortes em taludes ao longo da Rodovia Carvalho Pinto onde afloram sedimentos relacionados principalmente com a fácies lacustre da Formação Tremembé, desenvolve-se processos de ruptura que em diversos períodos

ocasionaram o fechamento total ou parcial das pistas de rodagem e exigiram grande esforço dos técnicos e pesquisadores envolvidos na manutenção da rodovia no entendimento do processo de ruptura e na definição de medidas eficazes de contenção desses taludes.

Litológicamente o sistema lacustre da Formação Tremembé é representado principalmente por folhelhos pirobetuminosos, argilitos e níveis calcíticos. Os folhelhos apresentam elevada fissilidade e contem esmectita, importante argilo-mineral de estrutura 2:1 de alta capacidade de troca catiônica e elevada expansão quando em contato com fluídos.

Segundo Campanha (1994) as esmectitas ocorrem em outros estratos da Formação Tremembé em distintos sistemas deposicionais representados por: sedimentos de matriz lamítica e diamictítica; lamitos arenosos e areníticos esverdeados; argilas esverdeadas; folhelhos castanho-escuros e margas (sistema lacustre); e lamitos e siltitos arenosos de coloração esverdeada (sistema fluvial).

As características mineralógicas das esmectitas condicionam os processos de variação volumétrica e dos índices físicos dos estratos argilosos que resultam nas rupturas e instabilizações dos taludes de corte. As propriedades geotécnicas desses materiais são determinadas pelas características específicas desses argilo-minerais conforme descrito por Sengik (2005). *As unidades cristalográficas (camadas) desses minerais são caracterizadas por uma lâmina octaédrica intercalada no perneio de duas lâminas tetraédricas. Três grupos gerais são exemplos com estrutura cristalográfica básica. Dois deles, esmectita e vermiculita são minerais do tipo expansível, enquanto as terceiras, micas de granulação finas (ilita), são do tipo não expansível.*

Deste modo, por constituírem materiais problemáticos, do ponto de vista da geologia de engenharia com relação à estabilidade de taludes de cortes ao longo de rodovias e ferrovias, e a recalques diferenciais em fundações de obras de arte e de aterros, os sedimentos da Formação Tremembé foram incluídos na Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar (Formação Tremembé) - (Ug\_Sr\_Sed\_tr) como forma a delimitar, de acordo

com a exposição dessa unidade geológica ao longo da faixa do traçada referencial de 2,0km do TAV, trechos passíveis de ocorrerem os problemas geotécnicos acima descritos.

### **V.6.3. Subsidiência Cárstica**

O traçado referencial do TAV, nas proximidades do Município de Cajamar, ao norte da Cidade de São Paulo, corta solos e litologias relacionadas aos metassedimentos do Grupo São Bento. Essa unidade litoestratigráfica é constituída, originariamente, de materiais sedimentares que refletem a evolução geológica desses terrenos e seus ambientes deposicionais, e que atualmente, condicionam o desenvolvimento de processos de subsidiências no terreno em função da dissolução de carbonatos existentes nesses sedimentos, que resultaram em danos materiais expressivos na região, conforme descrito por Santos (2008): *Em 12 de agosto de 1986, o bairro Lavrinhas, em Cajamar, município integrante da Região Metropolitana de São Paulo, foi afetado por fenômenos de colapso e subsidiência de grandes proporções, especialmente impactantes por ocorrerem em plena área urbana. Cerca de 60 dias após os primeiros sinais, na principal área atingida três casas haviam sido tragadas em uma cratera de cerca de 30 metros de diâmetro e 15 metros de profundidade, enquanto recalques e trincas afetaram dezenas de outros imóveis até distâncias de 400 metros do local.*

*Em 1999, no município de Cajamar - SP, parte das edificações da moderna fábrica da Natura (Cosméticos) sofreu danos estruturais advindos de afundamentos em suas fundações.*

Ainda de acordo com o autor, terrenos calcários com feições cársticas, ou seja, rochas calcárias que apresentam feições superficiais (cavernas, lapas, drenagens intermitentes, sumidouros e ressurgências, dolinas - depressões de relevo circunscritas, vales secos...) e subterrâneas (cavernas, fendas, vazios e canais subterrâneos intercomunicantes) originadas de processos lentos de dissolução química da rocha calcária.

As rochas calcárias são rochas carbonáticas, em que predominam os carbonatos de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e magnésio ( $\text{MgCO}_3$ ), que as compõem em diferentes proporções, formando então os calcários calcíferos (mais ricos em carbonato de cálcio) e os calcários dolomíticos (mais ricos em carbonato de magnésio). As águas de chuva ( $\text{H}_2\text{O}$ ) interagem com o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) do ar produzindo um ácido fraco, o ácido carbônico ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Essas águas assim levemente acidificadas, ao encontrar um maciço calcário fraturado, penetram por essas discontinuidades e vão lentamente, através do tempo geológico, dissolvendo a rocha e produzindo vazios que podem evoluir para grandes fendas, cavernas e canais por onde fluem as águas interiores.

O principal fenômeno cárstico de interesse da engenharia é o afundamento, brusco ou lento, de terrenos. Esses afundamentos, que podem destruir por completo edificações de superfície, colocando em risco patrimônios e vidas humanas, são decorrentes do colapso de um teto de caverna (que pode estar a dezenas de metros de profundidade) ou da contínua migração de solo para o interior de fendas ou cavernas subterrâneas, o que, com o tempo, vai também determinar um afundamento em superfície. Em boa parte do território brasileiro, por decorrência de seu clima tropical úmido, as rochas calcárias cársticas estão cobertas por uma camada de solos de espessura variada, os chamados carstes cobertos, o que torna muito comum o abatimento decorrente da migração de solo para o interior de fendas e cavernas.

Quase sempre a aceleração de um processo de afundamento de terreno em regiões cársticas está associada a algum tipo de interferência humana no lençol freático, especialmente a um seu rebaixamento mais intenso decorrente de uma excessiva exploração de água subterrânea através de poços profundos.

O processo de subsidência de Cajamar foi anteriormente, investigado e detalhado no trabalho de Nakazawa, Prandini e Diniz (1995), que caracterizou os mecanismos de dissolução com a elaboração de modelo interpretativo da evolução do processo de colapso de solo ocorrido naquele município.

Entre outras conclusões os autores observam que o processo de dissolução alarga as fraturas existentes na rocha, criando cavidades tanto no solo, como no contato solo/rocha. A intercalação de calcários com rochas não carbonáticas e/ou com seus solos de alteração é considerada como uma configuração que aumenta o alcance das águas de dissolução. A água de percolação e mais especificamente as suas oscilações de nível (resultante do bombeamento por poços tubulares, por exemplo) e, conseqüentemente, as variações de pressão e velocidade de fluxo, aliadas às forças resultantes da gravidade, formam um dos conjuntos principais de agentes da deflagração e evolução de cavidades que, por colapso de porções de rocha ou solo, podem-se refletir na superfície por afundamentos, formando, por exemplo as dolinas que caracterizam as regiões cársticas.

Mesmo considerando a excelência dos trabalhos acima citados, realizados na cidade de Cajamar, a distribuição dos terrenos carbonáticos do Grupo São Roque ao longo do traçado referencial do TAV não é bem conhecida. Assim, a Unidade Geotécnica Solo Residual do Grupo São Roque (Ug\_Sr\_Sr) proposta no presente trabalho, abrange os metasedimentos relacionados ao Grupo São Roque. Os metasedimentos areníticos desse grupo também podem apresentar suscetibilidade para processos de dissolução. Assim durante a etapa de definição dos métodos e locais a serem prospectados com levantamentos geofísicos por métodos elétricos e sondagens mecânicas, a região do entorno de Cajamar concentrou expressivo número investigações, com a finalidade de se buscar delimitar melhor os terrenos carbonáticos e assim minimizar a incerteza frente a possíveis processos de subsidência e colapso de solo que possam ocasionar danos ao TAV.

#### **V.6.4. Cavas de Areia**

Ao longo do traçado referencial do TAV ocorrem grandes planícies fluviais, como as existentes na região da baixada fluminense e principalmente na ampla planície deposicional do Rio Paraíba do Sul, na região da Bacia de Taubaté. Nessas grandes planícies aluvionares depositou-se espesso pacote de sedimentos arenosos que consistem em importante fonte de material para



### **V.6.5. Turfeiras**

Nas amplas áreas aplainadas e saturadas, cortadas por densa rede de drenagem, que ocorrem na baixada fluminense e, principalmente, ao longo do médio curso do Rio Paraíba do Sul na região aplainada que forma a marcante estrutura da Bacia de Taubaté, ocorrem depósitos de turfa, resultantes da acumulação de matéria orgânica vegetal, constituída de musgos e plantas de ambiente paludal.

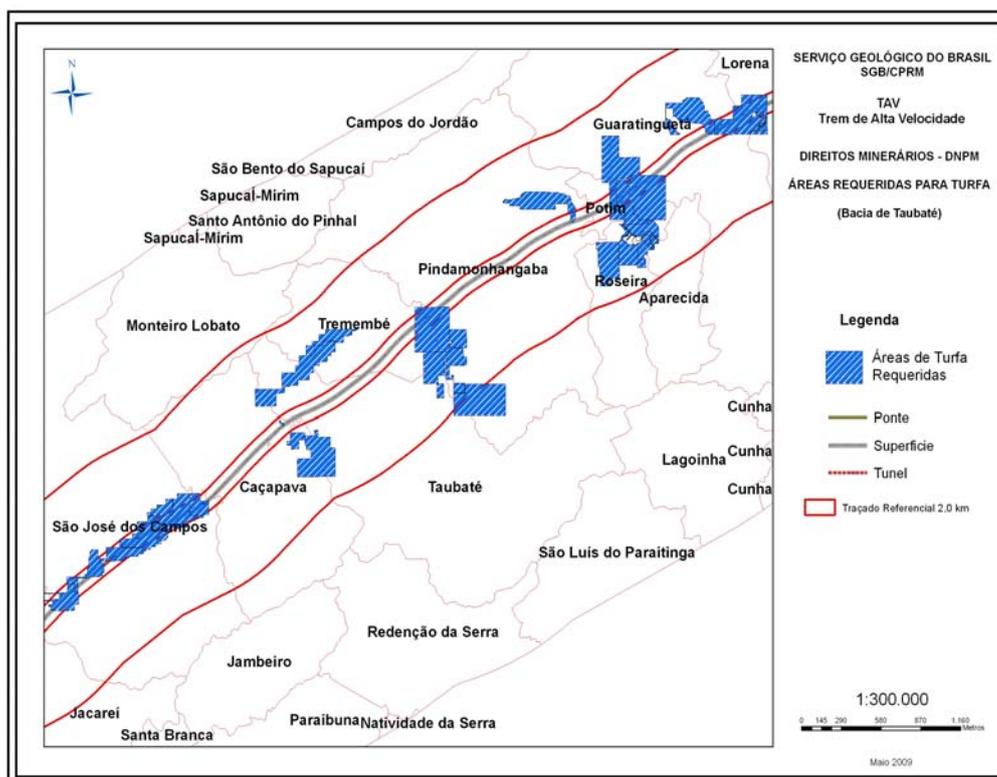
Ao longo da Bacia de Taubaté os depósitos de turfa assumem importância econômica, sendo algumas das jazidas exploradas comercialmente. Na região que se estende desde os limites do Município de Jacareí com São José dos Campos, até alcançar o município de Lorena, consta na base de dados de direitos minerários do DNPM o requerimento de 50 áreas para pesquisa e lavra de turfa, totalizando 42.288,5ha, conforme mostrado na Figura V.6.2.

De São José dos Campos até as proximidades da Cidade de Caçapava, ocorrem quatro jazidas (SJ-1A, SJ-1B, SJ-1C e SJ-2), as quais foram pesquisadas e cubadas nos anos 80 pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – CPRM. As investigações indicaram espessuras variáveis de 6,0 a 11,0m de camadas de turfa depositadas sobre argilas, principalmente, e areias.

Esse grande depósito de turfa, com extensão aproximada de 23 km de comprimento e largura variável de 2,0 a 3,0 km, ocorre limitado ao norte pela calha do Rio Paraíba do Sul e ao sul pelos limites urbanos de São José dos Campos e pela linha férrea, apresentando elevado potencial para causar danos ao empreendimento em estudo.

Um dos danos possíveis resulta das características geotécnicas do material orgânico dos horizontes subjacentes, que apresentam elevada compressibilidade, podendo resultar em recalques diferenciais importantes no terreno, e assim comprometer a operacionalidade plena e a segurança do TAV. Outro problema potencial consiste na possibilidade de ocorrência de

eventos de combustão espontânea em períodos de grande estiagem ou mesmo induzidos, constituindo-se em sério risco a segurança do empreendimento.



**Figura V.6.2 – Áreas de turfa requeridas junto ao DNPM**

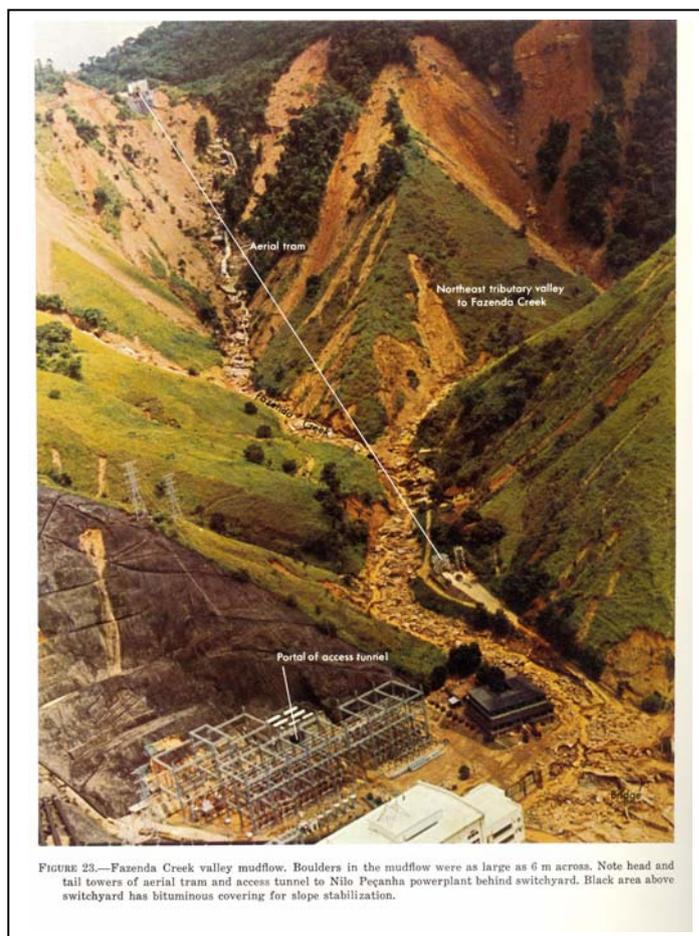
## V.7. Processos Erosivos e Movimentos de Massa

O traçado referencial do TAV, desde o Estado do Rio de Janeiro, até alcançar a região de Campinas, SP corta terrenos de muito alta suscetibilidade frente aos movimentos dinâmicos de encostas, representados por movimentos de massa de uma forma geral, e por processos erosivos.

Esses processos dinâmicos ocorrem amplamente distribuídos ao longo do traçado do TAV, principalmente nos terrenos genericamente referidos como cristalinos que englobam granitóides, gnaisses, migmatitos, rochas alcalinas entre outros, em relevos movimentados de serra, morrarias, morros alongados e colinas.

Os processos podem resultar dos fatores condicionantes naturais dos terrenos ou estarem associados a fatores antrópicos. O fator climático é fundamental no desenvolvimento dos processos de erosão e de rupturas em encostas, uma vez que a região cortada pelo TAV apresenta elevados índices pluviométricos, que na região da Serra das Araras, por exemplo, atingem médias anuais em torno de 2300mm e na região limítrofe entre o Rio de Janeiro e São Paulo, aproximadamente 1500mm.

No verão de 1967 chuvas intensas ocasionaram a ocorrência de grande número de deslizamentos planares, rotacionais, fluxos de detritos e outros processos de ruptura de encostas que resultaram em imensas perdas de vidas humanas e danos materiais.



**Figura V.7.1** – Aspecto das rupturas generalizadas nas encostas da Serra das Araras no verão de 1967 (Foto USGS).

## **V.8. Pontos e Hierarquização de Riscos Geológico-Geotécnicos**

Um dos aspectos observados e descritos durante o mapeamento de campo consistiu na avaliação dos processos de natureza geológico-geotécnica que pudessem estar já instalados ou apresentar potencial para evoluir e ocasionar algum tipo de risco à construção e operação de empreendimento. Os pontos de riscos foram avaliados de acordo com as probabilidades e graus de risco de ocorrência desses processos de instabilização (escorregamentos em encostas ocupadas e solapamento de margens de córregos).

Na base de dados de campo foram incluídos os campos Potencial de Risco (Pot\_Risco) e Sigla do Potencial de Risco (Sigla\_Risco) que contém a avaliação da suscetibilidade dos terrenos no local descrito frente aos processos dinâmicos de encosta. Assim, é possível, fazendo-se uso das ferramentas de pesquisa e recuperação (SQL), visualizar os pontos de acordo com o potencial de risco e também gerar mapas de risco a partir da classificação dos campos de informação acima referidos.

Com relação a processos relacionados com enchentes e inundações considerou-se que as amplas planícies de inundação do Rio Paraíba do Sul, tanto na baixada fluminense, quanto ao longo da bacia de Taubaté, incluídas nos Domínios das Planícies Aluviais (D-VI), apresentam alto grau de risco de eventos de inundações durante períodos de chuvas intensas ou prolongadas, principalmente na região de São Paulo.

A densa rede de drenagem dos terrenos cristalinos incluídos no Domínio de Colinas e Morros Sustentados por Rochas Cristalinas do Vale do Paraíba, do Planalto Paulista e da Baixada Litorânea no Sopé da Serra das Araras e Domínio da Serra das Araras, e que ocorre, em geral adaptada ao longo de estruturas geológicas, apresentam de alto a muito alto de risco para eventos de enchentes (subida rápida do nível d'água dentro da calha de drenagem) e eventualmente durante eventos de chuvas intensas ou prolongadas, essas

calhas de drenagem poderão sofrer processos de movimentos de massa de elevada energia, representados pelas corridas de detritos (debris-flow).

Esses processos relacionados com elevadas e prolongadas precipitações poderão comprometer a segurança e operação do TAV.

## **VI. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

Os trabalhos realizados na etapa de mapeamento geológico-geotécnico na escala 1:10 000 ao longo do traçado referencial do TAV (faixa de 2,0km de largura) foram efetuados com base em metodologia desenvolvida pelo SGB, calcada fortemente em preceitos básicos de mapeamento de geologia de engenharia e geotecnia, associados ao amplo uso de tecnologias atuais de geoprocessamento em ambiente de Sistema de Informação Geográficas – SIG.

O mapeamento geológico-geotécnico foi realizado da forma tradicional, com as vias e estradas sendo percorridas de carro, e por meio de caminhamentos, onde os afloramentos naturais e/ou cortes em rocha e solo foram descritos segundo suas características geotécnicas, morfológicas e pedológicas. Cada equipe dispunha de laptop contendo um grande acervo de dados, incluindo imagens de satélite, ortofotos, mapas diversos e referências bibliográficas. As equipes produziram ainda no campo o mapa geológico-geotécnico preliminar, com banco de dados georreferenciados associado.

Os dados digitais foram então encaminhados via email para a equipe de geoprocessamento no Escritório Rio de Janeiro do SGB, a qual realizou os ajustes e a alimentação final das bases de dados, e a integração dos trechos mapeados. A adoção de metodologias de tratamento e modelagem de dados digitais possibilitou a elaboração dos produtos que haviam sido previstos no início dos trabalhos, atendendo as exigências do cronograma vigente.

Assim, os dados disponibilizados no SIG\_CPRM\_TAV, foram estruturados de forma a possibilitar o acesso total às informações, de forma que os usuários venham a manusear, integrar e ampliar o conhecimento geológico-geotécnico da área em estudo, de acordo com a evolução das investigações e o futuro detalhamento dos estudos nas etapas posteriores do Projeto TAV.

Os dados levantados permitiram que a região estudada fosse caracterizada regionalmente do ponto de vista geológico, estrutural, geomorfológico e pedológico, de modo compatível com a escala 1:50 000, referente ao mapeamento da faixa de 20km de largura.

Do mesmo modo, também foram avaliadas e constituem parte deste relatório diversas informações relativas à sismicidade regional, consideradas de interesse ao Projeto do TAV, concluindo-se que o histórico de eventos sísmicos registrados em toda a região de interesse demonstra não haver risco dessa natureza à implantação e operação do empreendimento.

Do ponto de vista geológico-geotécnico, considerou-se necessário dividir o traçado, em função de suas características, em sete grandes domínios, os quais contêm vinte e sete unidades geológico-geotécnicas identificadas em função de suas propriedades e previsão de comportamento frente às solicitações da obra.

Os grandes domínios individualizados são:

- Domínio de Terrenos Sedimentares Flúvio-marinhos e Flúvio-lagunares da Baixada Litorânea – Domínio I
- Domínio de Colinas da Baixada Fluminense – Domínio II
- Domínio da Serra das Araras – Domínio III
- Domínio de Colinas e Morros Sustentados por Rochas Cristalinas do Vale do Paraíba, do Planalto Paulista e da Baixada Litorânea no Sopé da Serra das Araras – Domínio IV
- Domínio das Bacias Sedimentares – Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo – Domínio V
- Domínio das Planícies Aluviais Domínio VI
- Domínio da Bacia do Paraná – Domínio VII

As Unidades geológico-geotécnicas mapeadas ao longo dos cerca de 520km de extensão do traçado do TAV, compreendidas na faixa de 2km de largura, e suas respectivas siglas são:

- Mar Raso Sobre Argila Mole
- Unidade Geotécnica Aterro Sobre Mangue, Restinga e Solo Residual - Ug\_AtM
- Unidade Geotécnica Flúvio-Marinho - Ug\_FM
- Unidade Geotécnica Depósito Aluvionar - Ug\_AI
- Unidade Geotécnica Alúvio-Colúvio - Ug\_AI-Co
- Unidade Geotécnica Colúvio - Ug\_Co
- Unidade Geotécnica Tálus - Ug\_Talus
- Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar - Ug\_Sr\_Sed
- Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar (Formação Pindamonhangaba )- Ug\_Sr\_Sed\_pi
- Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar (Formação Tremembé) - Ug\_Sr\_Sed\_tr
- Unidade Geotécnica Rocha Alterada Sedimentar - Ug\_Ra\_Sed
- Unidade Geotécnica Solo Residual do Grupo São Roque - Ug\_Sr\_Sr
- Unidade Geotécnica Solo Residual de Xisto - Ug\_Sr\_Xis
- Unidade Geotécnica Solo Residual Raso de Xisto - Ug\_Sr\_r\_Xis
- Unidade Geotécnica Solo Residual Vulcânica Básica - Ug\_Sr\_vul\_b
- Unidade Geotécnica Rocha Vulcânica Básica - Ug\_R\_vul\_b
- Unidade Geotécnica Rocha Alcalina - Ug\_R\_Alc
- Unidade Geotécnica Solo Residual de Granito - Ug\_Sr\_gr
- Unidade Geotécncia Solo Residual Raso de Granito - Ug\_Sr-r\_gr
- Unidade Geotécnica Rocha Granitos Ug\_R\_gr

- Unidade Geotécnica Solo Residual de Granitos e Gnaisses - Serra das Araras - Ug\_Sr-as
- Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaiss - Ug\_Sr\_gn
- Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaiss e Migmatito - Ug\_Sr\_gn\_mig
- Unidade Geotécnica Solo Residual Raso de Gnaiss e Migmatito - Ug\_Sr\_r\_gn\_mig
- Unidade Geotécnica Saprólito de Gnaiss e Migmatito - Ug\_Sap\_gn\_mig
- Unidade Geotécnica Rocha Alterada de Gnaiss e Migmatito - Ug\_Ra\_gn\_mig
- Unidade Geotécnica Rocha Gnaiss e Migmatito - Ug\_R\_gn\_mig

Ainda do ponto de vista geológico-geotécnico, também foram considerados e avaliados neste trabalho os condicionantes e processos cujas características poderão vir a comprometer o empreendimento, tanto em aspectos construtivos, como operacionais, ou relativos à manutenção da obra. São eles:

- Solos Colapsíveis

Representam riscos de subsidências e/ou recalques, principalmente em fundações de aterros a serem construídos para suporte da via. São encontrados nas áreas de ocorrência da Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar (Formação Pindamonhangaba) - Ug\_Sr\_Sed\_pi, que, por sua vez, é uma das unidades constituintes do Domínio das Bacias Sedimentares – Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo (Domínio V).

- Solos Expansíveis

Apresentam problemas de expansividade e contração em decorrência da presença de argilo-minerais do grupo das esmectitas, com conseqüências negativas para a estabilidade dos taludes de cortes, e, também, da ocorrência de recalques diferenciais em fundações de obras

de arte e de aterros ao longo da futura via do TAV. Esses solos expansíveis são encontrados na Unidade Geotécnica Solo Residual de Rocha Sedimentar (Formação Tremembé) - Ug\_Sr\_Sed\_tr, incluída no Domínio das Bacias Sedimentares – Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo (Domínio V).

- Subsidiência Cárstica

Nas áreas de ocorrência da Unidade Geotécnica Solo Residual do Grupo São Roque - Ug\_Sr\_Sr, pertencente ao Domínio de Colinas e Morros Sustentados por Rochas Cristalinas do Vale do Paraíba, do Planalto Paulista e da Baixada Litorânea no Sopé da Serra das Araras (Domínio IV) podem-se desenvolver processos de subsidências no terreno em função da dissolução de carbonatos existentes no substrato rochoso, comprometendo, principalmente a operação do TAV.

- Cavas de Areia

São resultantes da exploração de areia e cascalho nos aluviões do rio Paraíba do Sul e nos rios de maior porte da baixada Fluminense, principalmente o Guandu na região do município de Seropédica, sendo encontradas nas áreas de ocorrência da Unidade Geotécnica Depósito Aluvionar - Ug\_AI, constituinte do Domínio das Planícies Aluviais Domínio VI. Nos locais de onde o material é retirado por meio de dragagem para utilização na construção civil são deixadas grandes escavações preenchidas pela água do lençol freático, com taludes instáveis de até 50m de altura que poderão desmoronar com a vibração provocada pela circulação do TAV, provocando recalques nos terrenos próximos.

- Turfeiras

São encontradas nas áreas de ocorrência da Unidade Geotécnica Depósito Aluvionar - Ug\_AI, constituinte do Domínio das Planícies Aluviais (Domínio VI), sendo exploradas comercialmente na Bacia de

Taubaté. Apresentam elevada compressibilidade, podendo resultar em recalques diferenciais importantes no terreno, e assim comprometer a operacionalidade plena e a segurança do TAV. Outro problema potencial desses terrenos consiste na possibilidade de ocorrência de eventos de combustão espontânea em períodos de grande estiagem ou mesmo induzidos, constituindo-se, também por esse motivo, em sério risco a segurança do empreendimento.

- Processos Erosivos e de Movimentos de Massa

Ocorrem de forma generalizada em todas as unidades geotécnicas do Domínio da Serra das Araras (Domínio III) e do Domínio de Colinas e Morros Sustentados por Rochas Cristalinas do Vale do Paraíba, do Planalto Paulista e da Baixada Litorânea no Sopé da Serra das Araras (Domínio IV). Os processos podem resultar dos fatores condicionantes naturais dos terrenos ou estarem associados a fatores antrópicos, com forte contribuição do condicionante climático, responsável pelas chuvas intensas de Verão.

Tais processos são mais notáveis quando atingem os solos residuais e solos saprolíticos resultantes da alteração das rochas cristalinas, que geralmente apresentam baixa coesão por serem de natureza silto-arenosa.

- Pontos e Hierarquização de Riscos Geológico-Geotécnicos

Durante os trabalhos de campo além dos aspectos relacionados às características geológico-geotécnicas dos materiais, observados nos 486 pontos visitados, fez-se uma avaliação da suscetibilidade dos terrenos frente aos processos dinâmicos de encostas (erosões e movimentos de massa) já instalados ou potenciais, os quais foram hierarquizados em graus de risco.

Nos trabalhos de fotointerpretação sobre as ortofotos de alta resolução foram cartografadas os processos erosivos, processos de movimentos de massa e indícios de mobilização dos terrenos. Esse conjunto de

dados associados aos pontos avaliados no campo quanto ao grau de risco, consiste em importante subsídio para a realização, futuramente, de uma setorização mais consistente e fundamentada das áreas de risco ao longo do traçado do TAV. Tal detalhamento deverá ser executado nas etapas posteriores do projeto.

As investigações geológico-geotécnicas programadas e que estão sendo realizadas ao longo do traçado referencial, por meio de sondagens mecânicas, geofísicas, e de ensaios de laboratório, servirão para dar consistência ao que foi inferido ou observado em relação aos perfis dos terrenos, bem como quantificar os dados qualitativos obtidos no mapeamento executado. Este conjunto de elementos deverá ser integrado na terceira fase dos presentes estudos, reforçando o nível de confiabilidade desta etapa do Projeto de implantação da via do TAV.

Para as etapas posteriores recomenda-se o aprofundamento dos estudos aos níveis das exigências de operacionalidade e segurança, compatíveis com tal empreendimento.

## VII. BIBLIOGRAFIA

ABGE (1995). *Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente*. BITAR, O.Y. (coord.), São Paulo, SP, ABGE, IPT, Divisão de Geologia, 247p.

ABGE (1998). *Geologia de Engenharia*, São Paulo, 573p.

AB'SABER, A. N. (1950). A Serra do Mar e a Mata Atlântica. *Boletim Paulista de Geografia*, **4**, São Paulo, p. 61-68.

AB'SABER, A. N. (1955). Contribuição à Geomorfologia do Litoral Paulista. *Revista Brasileira de Geografia*, **17**(1), Rio de Janeiro, p. 3-48.

AB'SABER, A.N. (1957). O Problema das Conexões Antigas e da Separação da Drenagem do Paraíba e do Tietê. *Boletim Paulista de Geografia*, **26**, São Paulo, p. 38-49.

- AB'SABER, A.N. & BERNARDES, N. (1958). Vale do Paraíba, Serra da Mantiqueira e arredores de São Paulo. In: *Congresso Internacional de Geografia*, **18**, Rio de Janeiro, Guia de Excursões, 4. Conselho Nacional de Geografia, 304p.
- AB'SABER, A. N. (1965). A evolução geomorfológica. In: *A Baixada Santista – Aspectos geográficos*. São Paulo. EDUSP, p. 49-66.
- AB'SABER, A.N. (1966). O Domínio dos Mares de Morros no Brasil. *Geomorfologia*, **2**, USP, São Paulo, 9pp.
- AB'SABER, A.N. (1969). A Depressão Periférica Paulista: um setor das áreas de circundenudação pós-cretácica da bacia do Paraná. *Boletim Instituto Geografia - USP*. **15**, São Paulo, p. 1-15.
- AB'SABER, A.N. (1972). Da participação das depressões periféricas e superfícies aplainadas na compartimentação do planalto brasileiro. *Geomorfologia*, **28**, São Paulo, USP. 38p.
- AB'SABER, A. N. (1977). Espaços ocupados pela expansão dos climas secos na América do Sul, por ocasião dos períodos glaciais quaternários. *Revista Paleoclimas*, **3**, São Paulo, Instituto de Geografia – Universidade de São Paulo.
- AB'SABER, A. N. (1985). A gestão do espaço natural (relembrando Caraguatatuba 1967, para compreender Cubatão, 1985). *Rev. Arquitetura e Urbanismo*, **1**. São Paulo, FAU-USP, p. 90-93.
- ABRAMENTO, M. (1988). *Resistência a cisalhamento de solos não saturados: considerações teóricas e estudo experimental sobre solo coluvionar das encostas da Serra do Mar*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 185p.
- ALEXANDRE, G.F.; MAHLER, C.F.; CRUZ, P.T. (1997). Estudo de um Solo Expansivo Encontrado na Rodovia Carvalho Pinto. *Simpósio Brasileiro de Solos não Saturados*, **3**, v.1, (ÑSAT'97), Rio de Janeiro, p. 139- 144.

- ALMEIDA, F.F.M. (1953). Considerações sobre a geomorfogênese da Serra do Cubatão. *Boletim Paulista de Geografia*, 15, São Paulo, p. 3-17.
- ALMEIDA, F.F.M. (1958). O Planalto Paulistano. In: Azevedo, A. de. *A Cidade de São Paulo*. Associação dos Geógrafos Brasileiros (AGB), São Paulo, v.1, cap. 4, p. 113-167.
- ALMEIDA, F.F.M. (1964). Fundamentos geológicos do relevo paulista. In: *Geologia do Estado de São Paulo*. Instituto Geográfico e Geológico, (IGG - Boletim, 41), São Paulo, p. 167-263.
- ALMEIDA, F.F.M. (1967). Origem e evolução da plataforma continental brasileira. DNPM. *Boletim Divisão de Geologia e Mineralogia*, 241, Rio de Janeiro. 36p.
- ALMEIDA, F.F.M. (1976). The System of Continental Rifts bordering the Santos Basin, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 48(suplemento), Rio de Janeiro, p. 15-26.
- ALMEIDA, F.F.M.; CARNEIRO, C. D. R. (1998). Origem e evolução da Serra do Mar. *Revista Brasileira de Geociências*, 28, São Paulo, p. 135-150.
- AMADOR, E.S. (1975). Estratigrafia e sedimentação da bacia de Resende – RJ. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 47(suplemento). p. 181-225.
- AMADOR, E. (1997). *Baía da Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza*. Tese de Doutorado. PPGG – Instituto de Geociências/UFRJ, Ed. Reproarte Gráfica e Editora, 539 pp.
- ARAGÃO, C.J.G. & MELO, A. C. (1982). Fundações Rasas em Solo Colapsível no Semi-Árido de Pernambuco, *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, 7, Olinda-Recife, setembro de 1982, p. 19-41.
- AUGUSTO FILHO, O. (1993). O estudo das corridas de massa em regiões serranas tropicais: um exemplo de aplicação no Município de Ubatuba. In:

*Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, 7*, Poços de Caldas. Anais. São Paulo: ABGE, v. 2.

- AVELAR, A.S. & COELHO NETTO, A.L. (1992). Fluxos d'água sub-superficiais associados a origem das formas côncavas do relevo. *Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas, 1*, Anais, COBRAE, ABMS e SBGE, Rio de Janeiro; vol.2:709-719.
- BACARO, C.A.D. (1983). Os processos de movimentos de massa e a evolução das vertentes na Serra do Mar. Dissertação de Mestrado, Depto de Geografia da FFLCH da Universidade de São Paulo, São Paulo. 165p.
- BECKER, B.K. & EGLER, C.A.G. (1993). *Brasil: uma nova potência regional na economia-mundo*. Ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 267p.
- BERNARDES, L.M.C. & SOARES, M.T.S. (1987). *Rio de Janeiro: cidade e região*. Secretaria Municipal de Cultura – Depto. Geral de Documentação – Biblioteca Carioca, **3**, Rio de Janeiro, 159p.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M.R. (1965). Significado paleogeográfico e paleoclimático dos depósitos rudáceos. *Boletim Paranaense de Geografia, 16/17*, Curitiba, 1965, p. 7-16.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M.R. (1965). Considerações a respeito dos terraços fluviais, rampas de colúvio e várzeas. *Boletim Paranaense de Geografia, 16/17*, Curitiba, 1965, p. 153-196.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. (1965). Considerações a respeito da evolução das vertentes. *Boletim Paranaense de Geografia, 16/17*, Curitiba, 1965, p. 85-116.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. (1965). Pediplanos, pedimentos e seus depósitos correlativos no Brasil. *Boletim Paranaense de Geografia, 16/17*, Curitiba, 1965, p. 117-152.
- BISTRICHI, C.A.; CAMPANHA, V.A. & SANTOS, M.C.S.R. (1991). Os mapas do meio físico como instrumento de planejamento: Folha Taubaté, um

exemplo de aplicação. In: *Congresso Brasileiro de Cartografia*, **15**, Anais, São Paulo, SBC, v. 2. p. 423-432.

CAETANO, N.R.; OHARA, T. & MATTOS, J.T. (2002) *Carta de Aptidão Física para Prolongamento da Rodovia Gov. Carvalho Pinto, Trecho Taubaté - Potim-SP*. Carta; Aptidão física para traçados de rodovias; Sensoriamento Remoto; Planejamento de rodovias; Engenharia; CNPq; Vários.

CAMBRA, M.F.E.S. (1998). *Movimentos de água na porção superior de solos sob pastagem: o papel do sistema radicular*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geografia, UFRJ.144p.

CAMPANHA, V.A. (1994). *A arquitetura deposicional da Bacia Sedimentar de Taubaté (SP) como subsídio à delimitação de zonas de produção mineral*. Rio Claro, 2v 193p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista.

CAMPANHA, V.A. & BISTRICHI, C.A. (1994). Proposta de zoneamento mineral para a área sedimentar do município de Jacareí, SP. São Paulo, SP: IPT. (Publicação IPT nº 2087).

CAMPANHA, V.A.; BISTRICHI, C.A. & SAAD, A.R. (1993). Compatibilização das zonas de produção mineral e o meio ambiente na Bacia de Taubaté, SP. In: *Simpósio de Geologia do Sudeste*, **3**, Atas, Rio de Janeiro, SBG, p. 247-251.

CAMPANHA, V.A.; SAAD, A.R.; ALMEIDA, M.A.; BISTRICHI, C.A.; BARBOUR JUNIOR, E. & ETCHEBEHERE, M.L.C. (1991). Geologia das Folhas Jacareí, Tremembé, Taubaté e Pindamonhangaba. Parte 3: Bacia de Taubaté. In: *Simpósio de Geologia do Sudeste*, **2**, Atas, São Paulo, SBG, p. 456-462.

CAMPANHA, V.A.; SAAD, A.R. & BISTRICHI, C.A. (1997). Utilização de parâmetros do meio físico no mapeamento geoambiental da porção sudoeste da Bacia de Taubaté. In: MAIA, N.B. & MARTOS, H.L. (Org.).

*Indicadores Ambientais*. 1<sup>a</sup> ed. Sorocaba: Divisão de Sistema e Documentação - Campus Luis de Queiroz/USP, v. 1, p. 81-88.

CAMPANHA, V.A.; SAAD, A.R.; BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R. & SANTOS, M.C.S.R. (1992). Potencial mineral, desenvolvimento econômico e meio ambiente no Vale do Paraíba, SP. São Paulo, SP: IPT. (Publicação IPT nº 1973).

CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y.; GIANCURSI, F.D. (1976). Estrutura da Bacia de Taubaté na região de São José dos Campos. In: Congresso Brasileiro de Geologia, **29**, Anais, v.4, Ouro Preto. SBG, p. 247-256.

CARVALHO, C. S. (1989). *Estudo da infiltração em encostas de solos insaturados na Serra do Mar*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 154p.

COELHO NETTO, A.L. (1999). Catastrophic Landscape Evolution in a Humid Region (SE Brazil): inheritances from tectonic, climatic and land use induced changes. *Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria*, Itália, **3**(3), p. 21-48.

COELHO NETTO, A.L. (2002). Água subterrânea, mecanismos de erosão e evolução de cabeceiras de drenagem na região sudeste brasileira: importância da pesquisa na interface geológica-geomorfológica-geotécnica. In: *Enc. Eng. Geotécnica e Hidrologia no Sistema Encosta-Planície Costeira/PRONEX*, **4**, Anais, Projeto no 14/97; organizado por Coelho Netto, A.L. e Lacerda, W.A.: 17 21.

COELHO NETTO, A.L. (2003). Evolução de cabeceiras de drenagem no médio Vale do Rio Paraíba do Sul (SP/RJ): bases para um modelo de formação e crescimento da rede de canais sob controle estrutural. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, **4**(2), p. 69-100.

COLTRINARI, L. (1992). Geomorfologia e dinâmica quaternária no sudeste do Brasil. *Revista do Departamento de Geografia da FFLCH/USP*, **6**, São Paulo, p. 7-16.

- CPRM (2001). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas – SIG – escala: 1:2.500.000 - CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2001.*
- CPRM (2004). *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo – Sistema de Informações Geográficas – SIG – CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2004.*
- CRUZ, O. (1975). Contribuição geomorfológica ao estudo de escarpas da Serra do Mar em Caraguatatuba-SP. In: Simpósio Internacional sobre o Quaternário. São Paulo, *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 47 (suplemento), p. 479-480.
- CRUZ, O. (1982). *Estudos dos processos geomorfológicos do escoamento pluvial na área de Caraguatatuba-SP*. Tese de Livre Docência, Depto. de Geografia FFLCH da USP. São Paulo, 151p.
- CRUZ, O. (1986). A Serra do Mar e a preservação de suas vertentes. *Revista Orientação*, 7(4), São Paulo, Depto. de Geografia FFLCH da USP, p. 39-45.
- CRUZ, O. (2000). Studies on the geomorphic processes of overland flow and mass movements in the Brazilian Geomorphology. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(3), São Paulo, p. 504-507.
- DANTAS, M.E. (2000). *Geomorfologia do Estado do Rio de Janeiro*, In: Estudo Geoambiental do Estado do Rio de Janeiro. Brasília/CPRM. Mapa. CD-ROM. 63p.
- DERSA. (1976). *Rodovia dos Imigrantes*. In: SEMINÁRIO DERSA, 1, São Paulo.
- DIAS, N.W.; DINIZ, H.N.; BATISTA, G.T & TARGA, M.S. (2004). *Caracterização do Potencial Hidrogeológico e Histórico da Utilização das Águas Subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo*. Repositório Eletrônico do departamento de ciências agrárias da

UNITAU. Disponível em: <http://agro.unitau.br:8080/dspace/handle/2315/60>  
Acesso em 17/04/2008 - arquivo em pdf.

- DINIZ, H.N. & SANTORO, J. (2004). A Ocorrência de Solos Colapsíveis no Bairro Imaculada, em Taubaté, SP: Um estudo de Caso. *Simpósio Brasileiro de Desastres Naturais*, **1**, 2004, Florianópolis, p.14-28
- DINIZ, N.C. (1998). Automação da cartografia geotécnica: uma ferramenta de estudos e projetos para avaliação ambiental. Tese (Doutorado). 2v. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Transportes. São Paulo.
- ECOVIAS. (2002). *A conquista da Serra do Mar*. Fundação Arquivo e Memória de Santos, São Paulo, 150 p.
- EIRADO, L. G. S. (2006). A interação entre os Eventos Tectônicos e a Geomorfologia da Região da Serra da Bocaina, Sudeste do Brasil. Tese (Doutorado). 1v. 273p. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, RJ.
- FELIZOLA, H. F. & BOULET, B. (1996). Evolution and opening of closed depressions developed in a quartz-kaolinitic sedimentary substratum at Taubaté basin (São Paulo, Brazil), and analogy to the slope evolution. *Geomorphology*, **16**, p. 77-86.
- FORNASARI FILHO, N. et al. (1992). Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia. (IPT. Publicação, 1972, Boletim 61). IPT. São Paulo. 165p.
- FRANCO FILHO, F.W. B. & SOUZA, J.C.S. (1994). Exploração de água subterrânea em São José dos Campos – efeitos observados ao longo do tempo. In: *Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas*, **8**, Anais, v.1, Recife: ABAS, p. 113-123.
- FÚLFARO, V.J. & PONÇANO, W.L. (1976). Escorregamentos de Caraguatatuba: expressão atual e registro da coluna sedimentar da planície costeira

adjacente. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, **1**, Anais. São Paulo: ABGE, v.2, p. 341-350.

FÚLFARO, V.J. & PONÇANO, W.L. (1974). Recent Tectonic Features in the Serra do Mar Regions State of São Paulo - Brazil and its Importance to Engineering Geology. In: *International Congress of Engineering Geology*, **2**, São Paulo. IAEG Proceedings, v. 1, p. II 7.1 - II 7.5.

GUIDICINI, G. & IWASA, O. Y. (1976). Ensaio de correlação entre pluviosidade e escorregamentos em meio tropical úmido. São Paulo: IPT, 48p. (IPT – Publicação, 1080).

GUIMARÃES, P.L. (2006). Zoneamento geoambiental como subsídio à análise dos indicadores ambientais nas áreas de dutos: caracterização geoquímica e mineralógica das frações finas das coberturas de alterações intempéricas / Patrícia Lupi Guimarães. – Rio Claro: [s.n.], 2006

HASUI, Y. & PONÇANO, W. L. (1978). Organização estrutural e evolução da Bacia de Taubaté. Recife. PE, In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, **30**, Anais, SGB, v.1 p.368-381.

HASUI, Y.; GIMENEZ, A. F. & MELO, M. S. (1978). Sobre as bacias tafrogênicas do sudeste brasileiro. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, **30**, Anais, Recife: SBG, v.1, p. 382-392.

HASUI, Y. & PONÇANO, E. W. (1978). Organização estrutural e evolução da bacia de Taubaté. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, **30**, Anais, Recife: SBG, v.1, p. 368-381.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DE ESTADO DE SÃO PAULO S/A - IPT. (1977). *Geologia da Região Administrativa 3 (Vale do Paraíba) e parte da Região Administrativa 2 (Litoral) do Estado de São Paulo*. IPT, Monografias, **1**, São Paulo.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1978). *Levantamento das condicionantes do meio físico e*

*estabelecimento de critérios normativos para a ocupação urbana dos morros de Santos e São Vicente (Carta geotécnica)*. São Paulo: IPT. (IPT – Relatório, 11.599).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.  
(1986). *Programa Serra do Mar – Levantamentos básicos nas folhas de Santos e Riacho Grande, Estado de São Paulo*. São Paulo: IPT. (IPT – Relatório 23.394., 4 v.).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.  
(1987). Diagnóstico do abatimento do terreno em Cajamar, SP e definição de medidas e diretrizes para a resolução do problema; fase 2. São Paulo. 7v. (IPT. Relatório, 25.053).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.  
(1988). Programa Serra do Mar – Estudos dos principais mecanismos de instabilização. São Paulo: IPT. (IPT – Relatório 25.957, 2 v.).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.  
(1988). *Estudo das instabilizações de encostas da Serra do Mar na região de Cubatão objetivando a caracterização do fenômeno “corrida de lama” e da prevenção de seus efeitos*. São Paulo: IPT (IPT – Relatório, 26.258).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.  
(1992). *Base físico-territorial do Estado de São Paulo para recursos hídricos – Revisão cartográfica*. 3 v. São Paulo: DAEE.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.  
(1993). Erosão e assoreamento nas bacias dos rios Tietê e Pinheiros na Região Metropolitana de São Paulo: diagnóstico e diretrizes para a solução integrada do problema. São Paulo. 4v. (IPT. Relatório, 30.796).

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.  
(1996). Carta Geotécnica de São José dos Campos, SP; escala 1:25.000. São Paulo. 2v. (IPT. Relatório, 34.645).

- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. (1997). Sistema de dados ambientais no Estado de São Paulo para atualização de carta geotécnica digital. São Paulo. 2v. (IPT. Relatório, 35.539).
- JONES, F.O. (1973). Landslides in Rio de Janeiro and the Serra das Araras escarpment, Brazil. *U.S. Geological Survey Professional Paper*, **697**. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office, p. 42.
- KOCHEM, R. (1988). “Comportamento de Túnel de Grande Diâmetro em Rocha Fraturada : Avaliação por Modelagem Numérica”, com M. Abramento, XI COBRAMSEG, Brasília, DF, Novembro de 1998 .
- KOCHEN, R. (1988). “Avaliação Numérica do Comportamento Geomecânico e do Revestimento Secundário de Túnel de Grande Diâmetro em Rocha”, com M. Abramento, XI COBRAMSEG, Brasília, DF, Novembro de 1998 .
- LOPES, J.A.U. (1986). The Evolution and Stability of Tropical and Subtropical Hillslopes and their Importance in the Engineering Geology Practice. Proceedings of V IAEG Congress, Buenos Aires, p. 2029-2038.
- MANCINI, F. (1995). *Caracterização estratigráfica e o estudo do Tectonismo de Formação Pindamonhangaba*. Dissertação (Mestre em Ciências). Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 107p.
- MEIS, M.R.M.; COELHO NETTO, A.L. & OLIVEIRA, P.T. (1981). Ritmo e variabilidade das precipitações no Vale do Rio Paraíba do Sul: o caso de Resende; *Revista Brasileira de hidrologia e Recursos Hídricos*, **3**, p. 1489-1503
- MEIS, M.R.M.; MACHADO, M.B.; CUNHA, S.B. (1975). Note on the distribution and origin of late Quaternary rampas near Rio de Janeiro, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **47** (suplemento), p. 269-275.
- MELLO, C.L.; METELO, C.M.S.; RODRIGUES, L.F. & CARMO, I.O. (1999). *Neotectonic influence on river capture systems in the Paraíba do Sul river*

*valley (southeastern Brazil)*. In: *Regional Conference on Geomorphology, Abstracts*, v.1, Rio de Janeiro, IAG/UGB, p. 37.

MELO, M.S.; RICCOMINI, C.; ALMEIDA, F.F.M.; HASUI, Y. (1985). Sedimentação e tectônica da bacia de Resende – RJ. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **57**(4), p. 467-479.

MELO, M.S.; CAETANO, S.L.V. & COIMBRA, A.M. (1986). Tectônica e sedimentação nas áreas das bacias de São Paulo e Taubaté. In: *Congresso Brasileiro de Geologia*, **34**, Anais, Goiânia: SBG, v.1. p. 321-336.

MOURA, J.R.S. & MEIS, M.R.M. (1986). Contribuição a estratigrafia do Quaternário Superior no médio vale do rio Paraíba do Sul – Bananal, SP. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **58**, Rio de Janeiro, p.89-102.

MOURA, J.R.S.; PEIXOTO, M.N.O. & SILVA, T.M. (1991). Geometria do relevo e estratigrafia do Quaternário como base a tipologia de cabeceiras de drenagem em anfiteatro, médio vale do rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Geociências*, **21**(3), São Paulo, p. 255-265.

MOUSINHO, M. R. & BIGARELLA, J. J. (1965). Movimentos de massa no transporte dos detritos da meteorização das rochas. *Boletim Paranaense de Geografia*, **16/17**, Curitiba, p. 43-84.

OHARA, T. (1995). Zoneamento Geoambiental da Região do Alto-Médio Paraíba do Sul/SP com Sensoriamento Remoto – Tese de Doutorado – UNESP – IGCE – Rio Claro – 235p.

OHARA T.; JIMÉNEZ-RUEDA J.R.; MATTOS J.T. de & CAETANO N.R. Zoneamento Geoambiental da Região do Alto-Médio Rio Paraíba do Sul e a Carta de Aptidão para Implantação de Obras Viárias.

OLIVEIRA, L. E. (1991). *Caracterização geotécnica de Latossolos do Vale do Paraíba para finalidades viárias*. Dissertação (Mestre em Ciências). Instituto Tecnológico de Aeronáutica São José dos Campos, 153p,

- PASTORE, E.L.; CELESTINO, T.B. & SANTOS, A.R. (1994). Transposição viária de regiões serranas através de túneis longos. In: *Simpósio Brasileiro de Escavações Subterrâneas*, 3, Anais, São Paulo, ABGE e outras, 14p.
- PEDROSA, C.A, & CAETANO, F.A. (2002). *Águas Subterrâneas* – Superintendência de Informações Hidrológicas – SIH, Brasília.
- PIMENTEL, J.; TEIXEIRA, C.,Z. & SILVA, F.M. (2005) Projeto APA Sul RMBH, Geotecnia, V.4, CPRM, BH, 101p.
- PIRES NETO, A.G. (1979). *Alguns exemplos da aplicação da Geomorfologia no estudo da evolução das encostas da Serra do Mar*. In: *Simpósio sobre Planejamento Urbano e Regional*, Santos - SP. Informativo ABGE, São Paulo.
- PONÇANO, W.L.; CARNEIRO,C.D.R.; ALMEIDA,M.A.; PIRES NETO,A.G. & ALMEIDA,F.F.M. 1981. *Mapa Geomorfológico do Estado de São Paulo*, IPT, São Paulo, 2v.
- PRANDINI, F.L. et al. (1976). *Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: uma resenha crítica*. São Paulo: IPT. 22p. (IPT – Publicação, 1074).
- PRANDINI, F.L. et al. (1980). *Carta geotécnica dos morros de Santos e São Vicente: condicionantes do meio físico para o planejamento da ocupação urbana*. São Paulo: IPT, 31p. (IPT – Publicação, 1153 – Monografias, 3).
- REIS, B.J.; BATISTA, G.B & DIAS, A.J. (2006). *Recuperação de Área Degradada pela Extração de Areia no Vale do Paraíba Paulista*. Disponível em: <http://www.ceivap.org.br/downloads/Beneditoeoutros.pdf>
- RICCOMINI, C. (1989). *O Rift continental do sudeste do Brasil*. Tese (Doutorado em Ciências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 256p.

- RICCOMINI, C. & COIMBRA, A.M. (1992). Geologia da bacia sedimentar. In: NEGRO JÚNIOR, A.; FERREIRA, A.A.; ALONSO, U.R. & LUZ, P.A.C. (Eds.) *Solos da Cidade de São Paulo*, ABEF/ABMS, p. 37-94.
- RICCOMINI, C.; COIMBRA, A.M.; SUGUIO, K.; MIHÁLY, P. & MATURANA, E.C. (1991). Nova unidade litoestratigráfica cenozóica da Bacia do Taubaté, SP: Formação Pindamonhangaba. *Boletim IG-USP, Publ. Esp.*, ABEF/ABMS, São Paulo, p. 141-149.
- ROCHA-LEÃO, O.M.; MORAES SILVA, T.R.; LEAL, P. LACERDA, W.A. & COELHO NETTO, A.L. (2001) Relações entre propagação de voçorocamentos em cabeceiras de drenagem e movimentos de massa em divisores topográficos, Bananal, SP. *Conferência Brasileira de Estabilidade de Encostas*, **3**, Anais, COBRAE/ABMS-RJ, p. 141-149.
- ROCHA-LEÃO, O.M.; LEAL, P.V. E COELHO NETTO, A.L. (2003) Condicionantes geo-hidroecológicos de voçorocamentos em cabeceiras de drenagem, Bananal - SP. *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, **10**, Rio de Janeiro.
- ROCHA-LEÃO, O. M. (2006). *Propagação remontante e controle de voçorocas em formações quaternárias no Médio Vale do rio Paraíba do Sul - Bananal, SP: potencialidades e limitações da revegetação no controle da erosão*. Tese de Doutorado Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- RODRIGUES, J. C. & NOGAMI, J. S. (1950). Estudo de Geologia Aplicada na Via Anchieta. In: *Congresso Nacional de Estradas de Rodagem*, **8**, DNER, Rio de Janeiro.
- RODRIGUES, J. C. & NOGAMI, J. S. (1950). Geologia do escorregamento da cota 95 da Via Anchieta. In: *Congresso Nacional de Estradas de Rodagem*, **8**, DNER, Rio de Janeiro.
- SAAD, A.R.; DEL MONTE, E.; CAMPANHA, V.A.; ZAINÉ, J.E. & BARBOUR JUNIOR, E. (1991). Potencial mineral da Região Administrativa 3 do

Estado de São Paulo, nas Folhas Jacareí, Taubaté, Tremembé e Pindamonhangaba.. In: *Simpósio de Geologia do Sudeste*, 2, Atas. São Paulo, SBG, p. 215.

SADOWSKI, G.R. (1974). *Tectônica da Serra de Cubatão*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo. 159p.

SALVADOR, E. D. (1994). *Análise neotectônica da região do vale do rio Paraíba do Sul compreendida entre Cruzeiro (SP) e Itatiaia (RJ)*. Dissertação (Mestre em Ciências), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994, 129p.

SALVADOR, E.D. & RICCOMINI, C. (1995). Neotectônica da região do Alto Estrutural de Queluz (SP-RJ, Brasil). *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, **25**(3), p. 151-164.

SANTOS, A. R. (2002). Dinâmica externa da Serra do Mar: constatações, verificações e impressões. In: *Geologia de Engenharia – Conceitos, método e prática*. São Paulo: IPT/ABGE, p.130-135. (IPT – Publicação, 2797)

SANTOS, A.R. (2002). Carta geotécnica dos Morros de Santos e São Vicente – SP. In: *Geologia da Engenharia – Conceitos, método e prática*. São Paulo: IPT/ABGE, 2002, p. 105-109. (IPT – Publicação, 2797)

SANTOS, A.R. (2004). *A grande Barreira da Serra do Mar: da Trilha dos Tupiniquins à Rodovia dos Imigrantes*. Ed. O Nome da Rosa, São Paulo, 122p.

SOUZA, N.C.D.C. de. (1992). Mapeamento geotécnico regional da Folha de Aguaí: com base na compartimentação por formas de relevo e perfís típicos de alteração. Dissertação (Mestrado). 2v. EESC/USP, São Carlos.

TABARELLI, M. & MANTOVANI, W. (1999). A riqueza de espécies arbóreas na floresta atlântica de encosta no Estado de São Paulo (Brasil). *Revista Brasileira de Botânica*, **22**(2), São Paulo, 12 p.

- TATIZANA, C. et al. (1987). Análise de correlação entre chuvas e escorregamentos na Serra do Mar, Município de Cubatão – modelamento numérico. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, **5**, Anais, v. 2, ABGE, São Paulo, p. 225-236.
- TEIXEIRA, A.H. & KANJI, M.A. (1970). Estabilização do escorregamento da encosta da Serra do Mar na área da cota 500 da Via Anchieta. In: *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, **4**, Anais, v. 1, Rio de Janeiro. p. 33-53,
- VARGAS, M. (1987). Estabilização de taludes em encostas de gnaisses decompostos. In: *Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia de Fundações*, **3**, Anais v. 1, Belo Horizonte. p. 32-55.
- VARGAS, M. (1999). Revisão histórico-conceitual dos escorregamentos da Serra do Mar. *Revista Solos e Rochas*, **22**(1) São Paulo, p. 53-83.
- VIDAL, A.C.; FERNANDES, F.L. & KIANG, C.H. (2004). Distribuição de arenitos na Bacia de Taubaté-SP. *Geociências*, **23**(1/2), p. 55-66.
- WOLLE, C.M. et al. (1978). A Slide Mechanism in the Slopes of the Serra do Mar Southern Brazil. In: *International Conference of Engineering Geology*, **3**, Proceedings IAEG.
- WOLLE, C.M. (1980). *Taludes naturais – Mecanismos de instabilização e critérios de segurança*. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 345p.
- WOLLE, C.M. (1988). *Análise dos escorregamentos translacionais numa região da Serra do Mar no contexto de uma classificação de mecanismos de instabilização de encostas*. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 406p.
- WOLLE, C.M. & CARVALHO, C.S. (1989). Deslizamentos em encostas na Serra do Mar. *Revista Solos e Rochas*, **12**, São Paulo, ABMS, p. 27-36.

- WOLLE, C.M. & HACHICH, W. (1989). Rain-induced Landslides in Southern Brazil. In: *International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering*, **12**, Rio de Janeiro. Proceedings.
- WOLLE, C.M. & PEDROSA, J.A.B. (1981). Horizontes de transição condicionam mecanismo de instabilização de encostas na Serra do Mar. In: *Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia*, **3**, Anais, v. 2, Itapema – SC. São Paulo: ABGE, p. 121-135.
- XAVIER, R.A. (2004). *Fraturas e intemperismo diferencial no controle da evolução de cabeceiras de drenagem: bacia do rio Bananal, SP-RJ*. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFRJ.

# **ANEXO I**

## **Relatório Fotográfico**

**Foto RJ-1-1**

**Município:** Duque de Caxias

**Coordenadas UTM / Z23:**

675879 / 7483400

**Descrição:** Sedimentos Flúvio-Marinhos existentes na área do rio Sarapui, próximo a rodovia Washington Luis



**Foto RJ-1-2**

**Município:** Duque de Caxias

**Coordenadas UTM / Z24:**

675583/7487043

**Descrição:** Visão panorâmica da área do baixo rio Sarapui, formada por sedimentos Flúvio-Marinhos.



**Foto RJ\_1\_8\_F35**

**Município:** Nova Iguaçu

**Coordenadas UTM / Z23:**

668132 / 7490812

**Descrição:** Unidade Geotécnica Alúvio-Colúvio



**Foto RJ\_1\_14\_F54**

**Município:** Nova Iguaçu

**Coordenadas UTM / Z24:**  
660183 / 7492000

**Descrição:** Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaiss e Migmatito, vista em saibreira.



**Foto RJ\_1\_60\_F202**

**Município:** Nova Iguaçu

**Coordenadas UTM / Z24:**  
663202 / 7491864

**Descrição:** Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaiss e Migmatito, exposta em talude de corte.



**Foto RJ\_1\_22\_F75**

**Município:** Nova Iguaçu

**Coordenadas UTM / Z24:**  
648357 / 7490338

**Descrição:** Unidade Geotécnica Saprolito de Gnaiss e Migmatito em talude de corte .



**Foto RJ\_1\_54\_F170**

**Município:** Nova Iguaçu

**Coordenadas UTM / Z24:**  
651207 / 7491792

**Descrição:** Unidade Geotécnica Saprolito de Gnaiss e Migmatito



**Foto RJ\_1\_23\_F80**

**Município:** Seropédica

**Coordenadas UTM / Z24:**  
642129 / 7488796

**Descrição:** Unidade Geotécnica Depósito Aluvionar. A atividade de extração de areia é comum nesta unidade.



**Foto RJ\_1\_40\_F137**

**Município:** Seropédica

**Coordenadas UTM / Z24:**  
631442 / 7489450

**Descrição:** Unidade Geotécnica Rocha Gnaisses e Migmatitos



**Foto RJ\_1\_40\_F132**

**Município:** Seropédica

**Coordenadas UTM / Z24:**  
631442 / 7489450

**Descrição:** Unidade Geotécnica  
Rocha Gnaisses e Migmatitos,  
Vista geral da encosta.



**Foto RJ\_1\_45\_F150**

**Município:** Seropédica

**Coordenadas UTM / Z24:**  
628408 / 7490405

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Rocha Granitos,  
Sopé da Serra das Araras.



**Foto RJ\_1\_46\_F154**

**Município:** Seropédica

**Coordenadas UTM / Z24:**  
629278 / 7491266

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Rocha Granitos



**Foto ASRJ\_50**

**Município:** Pirai

**Coordenadas UTM / Z24:**  
621229 / 7493039

**Descrição:** Unidade Geotécnica Solo Residual de granitos e gnaisses - Serra das Araras



**Foto ASRJ\_026**

**Município:** Pirai

**Coordenadas UTM / Z24:**  
610755 / 7498133

**Descrição:** Unidade Geotécnica Solo Residual de Gnaiss



**Foto ASRJ\_020a**

**Município:** Pirai

**Coordenadas UTM / Z24:**  
610755 / 7498133

**Descrição:** Unidade Geotécnica Solo Residual de Granito



**Foto ASRJ\_007b**

**Município:** Pirai

**Coordenadas UTM / Z24:**  
600476 / 7502862

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Rocha Alterada de  
Gnaiss e Migmatito



**Foto FGRJ\_006**

**Município:** Barra do Pirai

**Coordenadas UTM / Z23:**  
590328 / 7504646

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Solo Residual  
Raso de Gnaiss e Migmatito



**Foto: P18.4**

**Município:** Resende

**Coordenadas UTM / Z24:**  
556945 / 7513540

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Solo Residual de  
Rocha Sedimentar



**Foto: P46.2**

**Município:** Resende

**Coordenadas UTM / Z24:**  
544218 / 7511404

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Solo Residual  
Raso de Granito



**Foto: DSC01515**

**Município:** Pindamonhangaba

**Coordenadas UTM / Z23:**  
447739 / 7464691

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Solo Residual de  
Rocha Sedimentar - Formação  
Pindamonhangaba



**Foto: DSC01533**

**Município:** CAÇAPAVA

**Coordenadas UTM / Z23:**  
425799 / 7448479

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Solo Residual de  
Rocha Sedimentar - Formação  
Tremembé

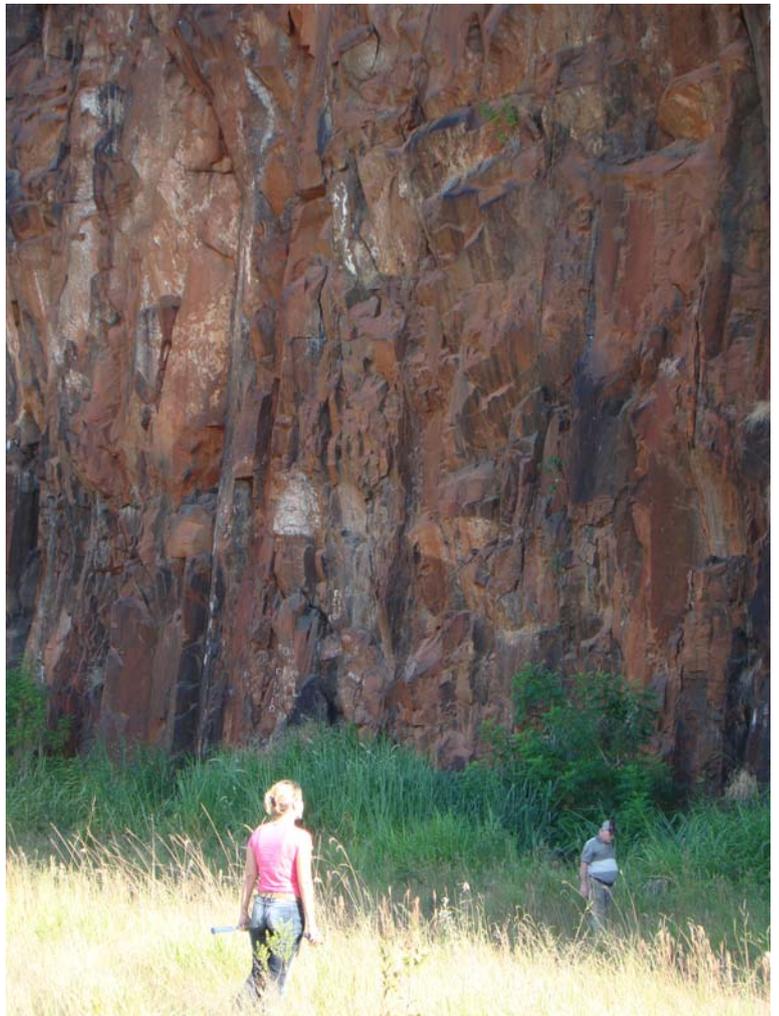


**Foto: ASSP\_079a**

**Município:** Campinas

**Coordenadas UTM / Z23:**  
283116 / 7465656

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Rocha Vulcânica  
Básica



**Foto: ASSP\_076b**

**Município:** Campinas

**Coordenadas UTM / Z23:**  
285185 / 7466381

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Solo Residual de  
Vulcânica Básica



**Foto: ASRJ\_005a**

**Município: Pirai**

**Coordenadas UTM / Z23:**  
600796 / 7501758

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Rocha Alterada de  
Gnaiss e Migmatito



**Foto: ASSP\_007**

**Município: Franco da Rocha**

**Coordenadas UTM / Z23:**  
320726 / 7420095

**Descrição:** Unidade  
Geotécnica Solo Residual de  
Xisto



**Foto: P33.6**  
**Município:** Resende

**Coordenadas UTM / Z23:**  
544747 / 7511178

**Descrição:** Ravinamento intenso em área rural



**Foto: P11.2**  
**Município:** Resende

**Coordenadas UTM / Z23:**  
555877 / 7514617

**Descrição:** Erosão fluvial intensa



