

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS  
Campus de Rio Claro

**PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA O  
PLANEJAMENTO DE OBRAS E USOS: UMA ABORDAGEM  
GEOTÉCNICA E GEOAMBIENTAL**

**Norton Roberto Caetano**

**Orientador: Prof. Dr. Juercio Tavares de Mattos**

Tese de Doutorado apresentada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências - área de concentração em Geociências e Meio Ambiente, para obtenção do Título de Doutor em Geociências.

Rio Claro (SP)

2006

## **BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Juercio Tavares de Mattos (orientador)

---

Prof. Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda - UNESP

---

Prof. Dr. Carlos de Almeida Nóbrega - UNESP

---

Prof. Dr. Oswaldo Augusto Filho - EESC/USP

---

Prof. Dr. Archimedes Perez Filho - UNICAMP

---

Norton Roberto Caetano (Doutorando)

Rio Claro, 31 de Março de 2006.

Aos meus pais **Nilton Roberto Caetano** e **Therezinha Ap. Bizatto Caetano**, no sentimento de impotência em lhes agradecer por toda a minha vida, dedico.

## AGRADECIMENTOS

Essa é uma parte muito importante da tese que nem sempre recebe a merecida atenção. Aqui é necessário lembrar de todos os que ajudaram, direta ou indiretamente, sob pena de posterior dor de consciência. Vamos lá!

Agradeço a Deus: Pai, Filho e Espírito Santo. Ele foi quem me revelou a maravilha e a riqueza de sua criação: a natureza, mais propriamente o meio físico. Foi Ele quem me deu a aptidão para observá-la e amá-la.

Mas quem me ensinou a interagir com ela foi o mui querido Dr. Juercio Tavares de Mattos. Este homem, distinto e respeitado pesquisador, em 1995 acreditou em um jovem no 1º ano do curso de Engenharia Civil. Veja professor, depois disso e por causa de mais ninguém hoje o senhor forma um Doutor.

Não que esteja consumado, pois esse é o 1º passo de muitos que ainda preciso caminhar, mas todos sabem que o tempo desde o nascimento até o primeiro passo é a fase mais delicada de uma criança. Justamente nessa fase foi que o Dr. Juercio me acompanhou. Sua ajuda é necessária, seus conselhos são sabedoria, sua técnica é verdade, sua companhia é prazer!

Também gostaria de agradecer ao Dr. Jairo Roberto Jiménez-Rueda, por sua rigidez e honestidade técnica e científica. Com as marcas de um verdadeiro gênio, incompreendido por muitos, ele marca quem o conhece, por amor ou ódio. Ajudou sobremaneira nesse trabalho, com equipamentos, conhecimentos e conselhos, além dos trabalhos de campo.

O que enxerguei, devo a esses dois pesquisadores (Dr. Juercio e Dr. Jairo) e também ao Dr. Ohara. Agora entendo a frase de Isaac Newton: “Enxerguei longe porque subi no ombro de gigantes”. Realmente o horizonte se mostra mais amplo quando esses homens lhe levantam.

Também devo o horizonte que vejo aos meus professores Dr. Fúlfaro, Dr. Fowler, Dra. Margarita, Dr. Zuquette e Dr. Nóbrega pela paciência que tiveram com esse engenheiro intrometido nas geociências.

À Dra. Paulina Setti Riedel por me ajudar no início do curso nas questões burocráticas e por me emprestar e discutir trabalhos técnicos.

Ao Alan, técnico do laboratório de geotecnia, por me ensinar a prática dos ensaios de LL/LP, densidade dos sólidos e granulometria conjunta, além das planilhas digitais. Ao Dr. Carlos Nóbrega por ceder o laboratório de geotecnia nos fins de

semana, feriados e período noturno. Só assim foi possível o atual encaminhamento desse trabalho.

À Dra. Margarita e ao técnico Leandro por me fornecerem o carbonato de sódio para ensaios de granulometria e pelas discussões a esse respeito.

Ao Dr. Elias pelos conselhos. Hoje sou muito mais profissional do que quando o conheci! Também pela infra-estrutura do laboratório de quantificação em geociências, por confiar em mim e me colocar no grupo de pesquisa da ANP.

Aos meus amigos do projeto “Mapa Pedológico do Gasoduto Bolívia-Brasil”: Fabiano, Juliano, Cristiane e Patrícia. Também a Dra. Gilda e ao técnico Cesário.

Aos meus amigos da “pós”. A galera sempre se ajuda com discussões, material, companhia, conversas, festas, dicas, etc. Especialmente cito os *caras* Eduardo Kelusodi (angolano), Daniel (CE), Julião (vô), Maurício (rep), Paulinho (INPE), Lukinha (CE), Artur (Pira), Eymar (Jaburu), André (pateta), Augusto (Floripa, também pela hospedagem) e as *minas* Márcinha (Limeira), Andréa (minera), Ana Paula (CE), Ediléa (MA), Damaris (japinha), ao casal Cesinha e Claudinha.

À minha querida Susana Belén Corvalan agradeço pela companhia, carinho, baladas, viagens, cinemas, além da esperança do reencontro e da alegria do dia-a-dia. Também pela ajuda no trabalho de campo, com o ArcGIS 9.0 e outras tantas discussões técnicas.

Aos meus pais Nilton R. Caetano e Therezinha Ap. Bizigatto Caetano. Foram vocês que me estimularam a todo momento, me fizeram acreditar que era possível, me chamaram, me ouviram, me organizaram, me deram chance, conforto, carinho, companhia. Enfim, fico devendo mais essa, com a certeza de que não tenho como pagar. Portanto fica apenas o humilde reconhecimento por parte de seu filho, de que sem vocês não seria possível. Ainda pela ajuda nos trabalhos de campo.

Aos meus irmãos pelo companheirismo, viagens, brigas, etc. Especialmente ao Nattan pelas discussões e softwares, ao Nanton por me acompanhar nos trabalhos de campo e ao Necton por não me encher o saco...

À galera da Educação Física pelos momentos e ensinamentos de saúde na academia e no futebol: Isaac, Eri e toda a galera.

Aos meus irmãos em Cristo do ministério de música “Luz Divina”, aos atuais: Moises, Danilo, Renan, Paulino, Diego e Elisa; e aos antigos: Alexandre, Guilherme, Luciano, Maiara, Elisabeth, Cuica e Josiane. Ao povão do grupo, especialmente: Marcela, Leila e Renata, Carlinha, Dani, Anderson e Jair Jr. Ao povo do TLC,

especialmente: Carlão, Ana Claudia e Andressa, Robson, Eliseu, Anderson(full) e Flavio.

Aos meus amigos do coração, pela companhia, baladas e encontros: Renato (toida), Laurisse, Anelise e Carol, Simoso e Vanessa, Sergio e Néia, Ana Cláudia e Mayumi.

A Me. Nadia Zuim e ao Dr. Moacir Rodrigo, pela cessão do laboratório de química e a técnica Aline para a determinação da densidade e umidade natural das amostras de solo. Também aos meus alunos da FIMI e da FMPFM por me ensinarem respeito e audácia, além de crescermos juntos nos conhecimentos sobre o meio físico, especialmente em nossa região.

**“Deus é amor”**

João, ano 95.

**“O amor nunca vai acabar”**

Paulo de Tarso, ano 56.

## SUMÁRIO

ÍNDICE .....	i
ÍNDICE DE TABELAS .....	iv
ÍNDICE DE FIGURAS .....	vi
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
I INTRODUÇÃO .....	1
II FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	9
III PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS TESTADOS NA FOLHA MOJI-GUAÇU .....	37
IV DISCUSSÃO DOS RESULTADOS .....	77
V CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	134
VI CONCLUSÕES .....	147
VI REFERÊNCIAS .....	151

## ÍNDICE

### ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

RESUMO

ABSTRACT

I INTRODUÇÃO .....	1
1.1 Justificativa .....	3
1.2 Objetivos e metas .....	3
1.3 Área de estudo .....	4
II FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
2.1 Interpretação de imagens .....	9
2.1.1 Uso e cobertura da terra.....	9
2.1.2 Geologia .....	10
2.2 Mapeamento geoambiental.....	11
2.2.1 Unidades geoambientais .....	11
2.2.2 Deformações dúcteis (morfoestruturas).....	13
2.2.3 Deformações rúpteis (fraturamentos) .....	15
2.3 Métodos expeditos de campo .....	16
2.4 Geotecnia e mapeamento geotécnico .....	19
2.5 Física e mecânica dos solos .....	22
2.6 Mecânica das rochas .....	23
2.7 Geologia de engenharia .....	24
2.8 Sensoriamento remoto .....	24
2.9 Sistema de informações geográficas (SIG) .....	29

2.10 Planejamento de obras .....	31
2.11 Uso e cobertura da terra.....	34
2.12 Áreas de uso restrito .....	35
III PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS TESTADOS NA FOLHA MOJI-GUAÇU....	37
IV DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	77
4.1 Mapeamento geoambiental.....	77
4.1.1 Unidades geoambientais .....	77
4.1.2 Deformações dúcteis.....	83
4.1.3 Fraturamento.....	89
4.2 Uso e cobertura da terra / Declividade .....	95
4.3 Trabalhos de campo.....	99
4.4 Ensaio de laboratório .....	108
4.4.1 Ensaio geotécnicos .....	108
4.4.2 Ensaio de comportamento espectral na faixa do visível .....	114
4.5 Integração dos dados .....	119
4.5.1 Mecânica e física de solos .....	119
4.5.2 Morfoestrutura/morfometria e coberturas de alteração intempérica .....	126
4.5.3 Fotointerpretação e caracterização dos maciços rochosos .....	130
4.5.4 Cortes transversais no terreno.....	132
V CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	134
5.1 Mapeamento geoambiental.....	134

5.2 Trabalhos de campo.....	136
5.3 Ensaaios geotécnicos.....	137
5.3.1 Granulometria.....	137
5.3.1.1 Defloculante.....	138
5.3.2 Limites de consistência.....	140
5.3.3 Ensaio de desagregação.....	141
5.4 Comportamento espectral no visível.....	141
5.5 Contribuições ao planejamento de obras.....	142
5.5.1 Unidades geoambientais.....	142
5.5.2 Morfoestruturas.....	144
5.5.3 Fraturamento.....	144
5.6 a Questão da amostragem.....	144
VI CONCLUSÕES.....	147
VII REFERÊNCIAS.....	151

## ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

### ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Caracterização das propriedades texturais de imagens orbitais.....	10
<b>Tabela 2</b> – Relação entre comportamento em campo, RCU e E. ....	18
<b>Tabela 3</b> – Comparação semântica entre os termos característica e propriedade.....	20
<b>Tabela 4</b> – Informações técnicas do ETM+/Landsat-7.....	26
<b>Tabela 5</b> - Informações técnicas do CCD/CBERS-2.....	26
<b>Tabela 6</b> – Comparação entre imagens de satélites e fotos aéreas .....	29
<b>Tabela 7</b> - Comparação entre informações analógicas e digitais.....	29
<b>Tabela 8</b> – Uso e cobertura da terra com suas respectivas descrições adaptadas de Pereira <i>et al</i> (1989). ....	63
<b>Tabela 9</b> – Faixas de declividade e relevo típico encontrado. ....	64
<b>Tabela 10</b> – Características das unidades geoambientais .....	79
<b>Tabela 11</b> – Áreas correspondentes aos diferentes usos e coberturas da terra na área de estudo.....	97
<b>Tabela 12</b> – Classes de declividade, com suas respectivas ocorrências em área.....	98
<b>Tabela 13</b> – Resultados dos ensaios de campo. ....	105
<b>Tabela 14</b> – Litologias, UG, valor de RMR, classe de maciço rochoso e resistência mecânica. ....	107
<b>Tabela 15</b> – Características das amostras inconsolidadas analisadas. ....	111
<b>Tabela 16</b> – Classificação dos materiais inconsolidados analisados. ....	112
<b>Tabela 17</b> – Classes de pegajosidade e as respectivas faixas de valores de IP (%). ....	121
<b>Tabela 18</b> – Classes de consistência seca e as respectivas faixas de valores de densidade natural ( $\rho_{nat}$ ). ....	122
<b>Tabela 19</b> – Classes de plasticidade e as respectivas faixas de valores de limite de liquidez (LL). ....	123
<b>Tabela 20</b> – Correlações entre a morfoestrutura/morfometria e o comportamento do meio físico. ....	127
<b>Tabela 21</b> – Comportamento físico-químico-estrutural das morfoestruturas. ....	128

<b>Tabela 22</b> – Relação dos algumas propostas de mapeamentos e número de pontos de amostragem.....	145
---	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Localização da área de estudo, com a composição das bandas 3, 4 e 5 do ETM+/Landsat-7, com os filtros azul, verde e vermelho, respectivamente. ....	6
<b>Figura 2</b> – Diagrama triangular de textura, segundo Souza (1994).....	17
<b>Figura 3</b> - Comportamento espectral de alguns alvos, adaptada de Kennie e Matthews (1985). .....	27
<b>Figura 4</b> – Esquema da área de estudo com detalhe para a Estação Experimental Moji-Mirim. .....	35
<b>Figura 5</b> – Diagrama geral de fluxo de trabalho.....	37
<b>Figura 6</b> – Diagrama de fluxo de trabalho para o mapeamento geoambiental.....	38
<b>Figura 7</b> – Densidades texturais adotadas para a porção sedimentar da área de estudo.....	41
<b>Figura 8</b> – Densidades texturais adotadas para a porção ígnea da área de estudo.....	42
<b>Figura 9</b> – Densidades texturais adotadas para a porção metamórfica da área de estudo. ....	43
<b>Figura 10</b> – Densidade textural adotada para a porção de sedimentos inconsolidados aluviais da área em estudo (densidade textural nula).....	44
<b>Figura 11</b> – Esquema da equivalência dos elementos de textura com a Permeabilidade, segundo Soares <i>et al</i> (1981). ....	46
<b>Figura 12</b> – Esquema da equivalência dos elementos de textura com a Tropicidade, segundo Soares <i>et al</i> (1981). ....	47
<b>Figura 13</b> – Esquema da equivalência das formas de encosta com a Alterabilidade, segundo Soares <i>et al</i> (1981).....	48
<b>Figura 14</b> – Esquema do comportamento de um material rúptil (a) e um material plástico (b). .....	48
<b>Figura 15</b> – Esquema da equivalência da densidade de traços de juntas com a plasticidade/ruptibilidade do material, segundo Soares <i>et al</i> (1981).....	49
<b>Figura 16</b> - Esquema da equivalência dos tipos de encosta com a assimetria de relevo da área, segundo Soares <i>et al</i> (1981). ....	50
<b>Figura 17</b> – Mapa da rede de drenagem contida na carta topográfica (a), e após adensamento (b). ....	52
<b>Figura 18</b> – Carta de densidade de drenagem a partir da drenagem original (a) e a partir da drenagem complementada (b). ....	53
<b>Figura 19</b> – Feições de drenagem: radiais, lineares, anelares e assimetria, seu grau e ordem de estruturação, adaptado de Soares <i>et al</i> (1981). ....	54

<b>Figura 20</b> – Esquema em corte transversal da conformação do substrato (morfoestrutura)...	55
<b>Figura 21</b> – Esquema em corte transversal de alto estrutural (morfoestrutura) e baixo topográfico (superfície do terreno).....	56
<b>Figura 22</b> – Esquema em corte transversal de alto estrutural (morfoestrutura) e alto topográfico (superfície do terreno).....	57
<b>Figura 23</b> – Esquema em corte transversal de baixo estrutural (morfoestrutura) e baixo topográfico (superfície do terreno).....	57
<b>Figura 24</b> – Esquema em corte transversal de baixo estrutural (morfoestrutura) e alto topográfico (superfície do terreno).....	57
<b>Figura 25</b> – Esquema do fluxo de trabalho para a campanha de campo. ....	65
<b>Figura 26</b> – Corte escolhido na UG32 para análise de campo. ....	66
<b>Figura 27</b> – Foto da amostragem indeformada na UG6. ....	67
<b>Figura 28</b> – Foto da realização do ensaio de consistência seca na UG34. ....	68
<b>Figura 29</b> – Foto do ensaio de plasticidade na amostra UG40. ....	68
<b>Figura 30</b> – Foto da análise mineralógica da fração areia na amostra UG48a. ....	69
<b>Figura 31</b> – Foto das 36 amostras ensaiadas na determinação dos limites de plasticidade (LP) e liquidez (LL). ....	74
<b>Figura 32</b> – Ensaio de desagregação para a amostra UG32. ....	75
<b>Figura 33</b> – Carta de unidades geoambientais.....	78
<b>Figura 34</b> – Esquema e símbolos da classificação para resistência a erosão, tropia, permeabilidade, assimetria de relevo e plasticidade/ruptibilidade, segundo Mattos (2002). ....	80
<b>Figura 35</b> – Carta morfoestrutural .....	84
<b>Figura 36</b> – Distribuição das morfoestruturas associadas a morfometria na área de estudo...	85
<b>Figura 37</b> – Visualização tridimensional da morfoestrutura. ....	86
<b>Figura 38</b> – Pedreira abandonada na UG34, detalhe para o aspecto colunar do maciço.....	87
<b>Figura 39</b> – Visualização tridimensional de parte do vale do rio Moji-Guaçu. ....	88
<b>Figura 40</b> – Carta de fraturamento (lineamentos estruturais e traços de juntas). ....	89
<b>Figura 41</b> – Carta de densidade de lineamentos estruturais. ....	91
<b>Figura 42</b> – Carta de densidade de traços de juntas. ....	91

<b>Figura 43</b> – Diagrama de roseta para os lineamentos estruturais (a) e para os traços de juntas (b). .....	92
<b>Figura 44</b> – Diagrama de roseta para a rede de drenagem complementada com auxílio das curvas de nível e imagem ETM+/Landsat-7, banda Pan. ....	93
<b>Figura 45</b> – Zonas de variação de máximos de juntas 1 e 2. ....	94
<b>Figura 46</b> – Carta de uso e cobertura da terra, 21/06/00. ....	96
<b>Figura 47</b> – Carta de declividade. ....	99
<b>Figura 48</b> – Ficha de campo com os dados da unidade geoambiental 53. ....	101
<b>Figura 49</b> – Esquema da área com a delimitação das UG e indicação dos pontos de campo. ....	102
<b>Figura 50</b> – Fração areia da amostra UG15. ....	103
<b>Figura 51</b> – Fração areia da amostra UG48a. ....	104
<b>Figura 52</b> – curva granulométrica das 36 amostras analisadas. ....	109
<b>Figura 53</b> – Curva granulométrica das coberturas (a) de alteração dos basaltos, (b) de alteração dos granitos e gnaisses, (c) de depósitos fluviais e (d) de depósitos coluviais. ....	110
<b>Figura 54</b> - Umidade natural (w), limites de plasticidade (LP) e de liquidez (LL). ....	113
<b>Figura 55</b> – Comportamento espectral do visível, para as 39 analisadas. ....	115
<b>Figura 56</b> – Comportamento espectral do visível, para as amostras com alto teor de matéria orgânica. ....	116
<b>Figura 57</b> – Comportamento espectral do visível, para as amostras vermelhas escuras (alto teor de óxidos/hidróxidos de metais). ....	117
<b>Figura 58</b> – Comportamento espectral do visível, para as amostras coluviais/aluviais avermelhadas. ....	118
<b>Figura 59</b> – Comportamento espectral do visível, para as amostras coluviais/aluviais amareladas. ....	119
<b>Figura 60</b> – Correlação entre a porosidade encontrada em campo e porosidade (a) e índice de vazios (b) medidos em laboratório. ....	120
<b>Figura 61</b> – Correlação entre a pegajosidade em campo e o índice de plasticidade (IP). ....	120
<b>Figura 62</b> – Correlação entre a consistência seca e a densidade natural (a) e a densidade dos sólidos (b). ....	121
<b>Figura 63</b> – Correlação entre plasticidade e LL (a) e entre plasticidade e LP (b). ....	122

<b>Figura 64</b> – Diagrama triangular de textura, subdividido segundo Souza (1994), com os resultados das 36 amostras indicados segundo a respectiva granulometria. ....	124
<b>Figura 65</b> – Modelo de diagrama triangular de textura, subdividido segundo o comportamento do material observado em campo. ....	125
<b>Figura 66</b> – Distribuição do RQD vs densidade de lineamentos estruturais .....	130
<b>Figura 67</b> - Distribuição do RQD vs densidade de traços de juntas para as amostras de origem sedimentar.....	131
<b>Figura 68</b> - Distribuição do RQD vs densidade de lineamentos estruturais para (a) as amostras de origem ígnea e (b) as amostras de origem metamórfica.....	131
<b>Figura 69</b> – Esquema em perfil ao longo do paralelo 22°20'37''S, desde o meridiano 46°52'30''W até o 46°48'45''W.....	132
<b>Figura 70</b> – Esquema em perfil ao longo da SP340, desde o km162+400 norte até o km165+200 norte.....	133

## RESUMO

O crescimento e adensamento populacionais fazem com que sejam explorados cada vez mais recursos naturais e disponibilizada uma maior infra-estrutura para viabilizar este mesmo desenvolvimento. Necessita-se de mais áreas para implantação de rodovias, aterros sanitários, dutovias, loteamentos, entre outras obras e usos. Sendo assim os profissionais da geologia de engenharia encontram-se frente aos desafios de avaliar áreas, suas condicionantes e limitações para a implantação destas obras e usos. O presente trabalho tem o objetivo de sistematizar um conjunto de procedimentos e técnicas que possibilitem alcançar dados e informações necessárias e úteis ao planejamento destas obras e usos. Para testar o procedimento adotou-se a área inserida na carta topográfica IBGE 1:50.000, folha Moji-Guaçu, entre paralelos 22°15'S a 22°30'S e os meridianos 46°45'W a 47°00'W. O procedimento consiste em três fases: (1) fotointerpretação e SIG, (2) trabalhos de campo e (3) trabalhos de laboratório. Na primeira etapa de fotointerpretação são usadas imagens do ETM+/Landsat-7, segundo o mapeamento geoambiental, para a obtenção das unidades geoambientais e suas características, da morfoestrutura e do fraturamento da área (traços de juntas e lineamentos estruturais). A informação de uso e cobertura da terra é obtida a partir do mapeamento semi-automático das imagens ETM+/Landsat-7 e verificação das imagens CCD/CBERS-2. A informação de declividade do terreno é obtida automaticamente a partir da altimetria, disponível na carta topográfica IBGE. A segunda etapa consiste em visitar em campo as unidades geoambientais, a fim de se realizar ensaios expeditos de física de solos e mecânica de rochas, além de se coletar amostras indeformadas e deformadas para análises em laboratório. A terceira etapa consiste em ensaiar as amostras coletadas em campo segundo os métodos tradicionais da mecânica de solos, a fim de se caracterizar o material. As informações obtidas nessas três fases, quando reunidas, processadas ou integradas, geram importantes subsídios aos planejadores de obras de infra-estrutura. Os resultados denotam que o procedimento adotado possui repetitividade e reprodutibilidade, além de alta confiabilidade, rapidez e baixo custo relativo, mostrando-se adequados ao planejamento e definição de obras de infra-estrutura.

**Palavras chave** – mapeamento geotécnico e geoambiental, geologia de engenharia, sensoriamento remoto, obras de infra-estrutura, usos e equipamentos urbanos, procedimento metodológico.

## ABSTRACT

The population growth made the explored natural resources more and more a larger infrastructure to make possible this same development. More areas are needed for highways implantation, sanitary embankments, pipes, divisions into lots, between other workmanships and uses. Being the geotechnical professionals is like this front to the challenges of evaluating areas, its limitations for the implantation workmanships and uses. The the objective of the present work is systematizing a group of techniques that result in necessary and useful information to the planning workmanships and uses. To test this procedure the area it was adopted understood among parallel 22°15'S to 22°30'S and the meridians 46°45'W to 47°00'W. This is the area on the topographical map IBGE 1:50.000 " Moji-Guaçu ". The procedure consists of fotointerpretation of images ETM+/Landsat-7, according to the geoenvironment mapping, to obtaining the geoenvironmental units and its characteristics, the morfostructure map and the fractures map (lines of strikes and structural lineaments). The information of land use and land cover is obtained starting from the semiautomatic mapping of the images ETM+/Landsat-7. Those information, when gathered, processed or integrated, it generate important subsidies to the planners of infrastructure works. The results denotes that the adopted procedure can be repeated and reproduced, besides high reliability, speed and low relative cost, being shown appropriate to the planning and definition infrastructure workmanships and uses.

**Key words** – geotechnical and geoenvironment mapping, engineering geology, remote sensing, infrastruture workmanship planning, methodological procedure.

## I INTRODUÇÃO

Com a crescente concentração populacional em centros urbanos, que por sua vez tornam-se cada vez maiores, chegando a se conurbar, há conjuntamente um incremento da atividade modificadora do meio.

Em grandes cidades necessita-se de mais e maiores áreas para disposição de resíduos sólidos, barragens para captação d'água e geração de energia elétrica, linhas de transmissão de eletricidade, vias de acesso rodoviárias e ferroviárias, terraplenagens para loteamentos e parques industriais, retificações de canais fluviais, aeroportos, implantação de dutos de água, gás e óleo, escavações, túneis, vias, mineração, além da construção de aterros, poços, fossas e tanques, fundações, indústrias, postos de combustíveis, cemitérios, usinas, estações, terminais, depósitos, entre outros.

No meio rural são necessárias agroindústrias, usinas, criadores, abatedores, campos de agricultura, construção de agrovilas, entre outros. E em nível regional é necessária a construção de rodovias, dutos, ferrovias, linhas de transmissão, barragens, minerações, canalizações, infra-estrutura de turismo, irrigação, disposição de resíduos, depósitos subterrâneos, entre outros.

A implantação de qualquer destas obras requer uma série de estudos multidisciplinares. Nestes, devem ser abordados aspectos do meio físico, biológico e sócio-econômico, a fim de se definir o traçado ou localização ótimos, do ponto de vista técnico, econômico e de atendimento à população.

Fornasari Filho *et al* (1992), apresenta uma abordagem metodológica para análise de impactos ambientais na implantação das obras supracitadas, em locais onde o meio apresente restrições, resulta na possibilidade eminente de desencadear diversos processos de alteração do meio físico. Dentre os quais pode-se destacar: erosão por água e eólica, escorregamento, rastejo, alteração na drenagem superficial e sub-superficial, mudança das interações físico-químicas no material de cobertura e na água, emissão de partículas e gases, deposição de sedimentos, inundação, alteração na pedogênese, subsidência, queda de blocos, indução de sismos e alteração na umidade do ar.

Para subsidiar a realização dos estudos necessários para a implantação de usos ou obras de infra-estrutura, podem ser utilizados produtos de sensoriamento remoto como fotos aéreas ou imagens de satélites (Bell, 1993).

Para a realização destes estudos, neste contexto, vislumbra-se a necessidade de:

- Definir uma linguagem apropriada para uso de informações geológicas e geotécnicas que seja acessível aos engenheiros e planejadores de obras;
- Estabelecer a influência espacial (área de validade) dos ensaios geotécnicos em uma unidade, entre duas adjacentes e duas distantes, para cada diferente parâmetro;
- Elaborar novas estratégias de coleta e tratamento de dados de campo;
- Definir quais tipos de imagens de satélite são as mais adequadas para estudos do meio físico aplicado a engenharia e um método sistemático para sua utilização.
- Definir condições de uso do sistema de informação geográfica (SIG) e valida-las em propostas dessa natureza;

Diante das necessidades encontradas e acima citadas, elabora-se as seguintes premissas:

1. Com a sistemática de mapeamento geoambiental define-se as unidades geoambientais e estas indicarão a influência espacial (área de validade) de diversos ensaios geotécnicos;
2. As imagens mais adequadas pela sua relação custo/benefício para estudos desta natureza são as provenientes de sensores orbitais multiespectrais e que possuem resolução espacial em torno de 20 metros;
3. O SIG, em estudos direcionados do meio físico a obras de engenharia, pode ser utilizado como uma ferramenta para gerenciar as diversas informações concernentes, de modo a armazená-las, processá-las, integrá-las e difundí-las;
4. A determinação de parâmetros geotécnicos, como erodibilidade, índices físicos, resistência à compressão, granulometria, limites de plasticidade e de liquidez, RQD (*Rock Quality Designation*) e RMR (*Rock Mass Rating*), podem ser obtidos, satisfatoriamente para o objetivo do estudo, com ensaios expeditos de campo e de laboratório.
5. Existe uma correlação entre o mapeamento geoambiental e as características geomecânicas do maciço.
6. Existe correlação entre os ensaios de física de solos (realizados em campo) e os ensaios da mecânica dos solos (realizados em campo ou laboratório).
7. As informações básicas para planejamento de obras de engenharia podem ser obtidas através dos métodos apresentados.

A presente pesquisa busca testar e compreender a causa das 7 premissas apresentadas acima e seu efeito no entendimento do meio físico para o planejamento de obras e usos.

## 1.1 Justificativa

Os parâmetros ambientais (meios físico, biótico e sócio-econômico) levados em consideração no planejamento de usos e obras de infra-estrutura variam, apesar de haver exigências, diretrizes e normas técnicas de respaldo técnico e acadêmico, ficando a critério de cada equipe de planejamento decidir sobre quais variáveis devem ser estudadas, de acordo com o tempo e recursos disponíveis.

No entanto, trabalhos como os de Fornasari Filho *et al* (1992), Zuquette (1993), DNER (2004), Guimarães (1997), e nos diversos casos apresentados por Oliveira e Brito (1998), deixam claro um rol comum de propriedades do meio físico, necessárias ao planejamento de praticamente todas as obras e usos.

Estudos de planejamento de obras ou usos devem também considerar a legislação ambiental. Quando isso não ocorre, há atrasos nas fases de licenciamento ambiental e prejuízo aos empreendedores.

Ainda, mesmo quando existem estudos do meio físico para implantação de obras ou usos, freqüentemente ocorrem imprevistos de origem geológico-geotécnica. Estas são chamadas por Vaz *et al* (2002), de condições geológicas diferentes (CGD). Seu diagnóstico e posterior resolução, tornam a promover atrasos no cronograma e adicionais ao orçamento.

Vislumbra-se uma necessidade urgente de pesquisa e elaboração de uma sistemática de estudo do meio físico que seja realizado de forma ágil e econômica, que considere a legislação ambiental, que forneça aos planejadores uma descrição (paramétrica ou qualitativa) das propriedades do meio físico, necessárias ao planejamento e ao dimensionamento de obras de infra-estrutura e que estas informações sejam claras aos engenheiros e planejadores.

Diante das necessidades identificadas acima, são traçados os objetivos e metas da presente pesquisa.

## 1.2 Objetivos e metas

A presente pesquisa tem como objetivo desenvolver uma sistemática de caracterização geotécnica e geoambiental, que correlacione ambas, sob a ótica do dueto tempo/custo otimizado, para aplicação em múltiplos usos, especialmente voltada para o planejamento de obras de infra-estrutura.

Considerando que o trabalho tem um cunho metodológico, fez-se necessário estabelecer algumas metas para que a metodologia fosse desenvolvida e tivesse aplicação imediata. As metas relacionadas ao método de mapeamento são as seguintes:

- Realizar o mapeamento geoambiental: unidades geoambientais, deformações rúpteis (lineamentos estruturais e traços de juntas) e deformações plásticas (altos e baixos estruturais);
- Realizar o mapeamento do uso e cobertura da terra;
- Realizar o mapeamento da declividade;
- Realizar ensaios expeditos de campo: física de solos e mecânica de rochas;
- Realizar ensaios de mecânica dos solos: granulometria, limites de Atterberg e índices físicos.

E as metas que se relacionam com as integrações e testes complementares ao mapeamento são as seguintes:

- Estudar as características de imagens de satélite, visando escolher os produtos que satisfaçam as necessidades de trabalho;
- Estabelecer correlações entre as informações do mapeamento geoambiental e da geomecânica dos maciços rochosos;
- Estabelecer correlações entre as informações dos ensaios de física de solos e os ensaios de mecânica dos solos;
- Executar a sistemática proposta em escala compatível com as necessidades do planejamento de obras de infra-estrutura;
- Elaborar um banco de dados geográfico digital georreferenciado (BDGDG) em um sistema de informação geográfica (SIG), que permita fácil acesso aos usuários.

É oportuno esclarecer que a presente pesquisa não trata das fases posteriores ao planejamento (ante-projeto e projeto), portanto o enfoque é de entendimento regional do meio. Apesar de haver ensaios geotécnicos convencionais (pontuais), aqui eles são usados para complementar a análise.

### **1.3 Área de estudo**

A área de estudo escolhida para aplicação e teste dos procedimentos metodológicos (interpretativos e correlativos), cuja apresentação e discussão encontram-se no Capítulo III, localiza-se na baixada Mojiana, dentro da Depressão Periférica Paulista, centro/leste do

Estado de São Paulo. Compreendendo as cidades de Moji-Mirim, Moji-Guaçu, Estiva Gerbi e Itapira, é delimitada pelos paralelos 22°15'S a 22°30'S e meridianos 46°45'W a 47°00'W.

A área foi escolhida devido a grande gama de paisagens encontradas: planícies de rios, colinas, morros e serras; que são formadas por embasamentos de rochas ígneas (granitos, basaltos), metamórficas (gnaisses, migmatitos) e sedimentares (arenitos, siltitos e argilitos), onde há coberturas de alteração intempérica (CAI) monossialíticas, bissialíticas e alíticas. Além da proximidade e o pré-conhecimento da área.

Há uma controvérsia na grafia dos nomes dos municípios de Moji-Mirim e Moji-Guaçu, no entanto o autor adota a forma de escrita baseado em IBGE (1972).

Nesta região existem alguns mapeamentos e estudos regionais e locais do meio físico, como Carpi Jr. (2001), Cottas (1998), CPRM (2002), São Paulo (2002), Lepsch *et al* (1999) e Oliveira *et al* (1999).

A área esta inserida no regime climático da transição entre o muito úmido subtropical e o úmido tropical, com estações secas marcantes (Mu-Cw e U-Cw), com precipitação média anual próxima de 1400mm, temperaturas médias no verão girando em torno de 24°C e as temperaturas mínimas próximas de 16°C (Setzer, 1976).

Segundo Hasui *et al* (1989) a área de estudo localiza-se no Escudo Atlântico, no contato entre as Províncias da Mantiqueira (complexos gnáissicos, granitóides e de alto grau) e do Paraná, na Bacia do Paraná (coberturas fanerozóicas, com seqüências supracrustais vulcano-sedimentares). A área também situa-se na zona de influência do cinturão de transcorrência dúctil Ouro Fino (dextral), com direções entre N30E e N65E.

Segundo IPT (1981a), a área situa-se regionalmente na transição entre dois domínios geomorfológicos: Depressão Periférica e Planalto Atlântico, sendo os limites desses terrenos, coincidentes com o contato do Embasamento Cristalino e a Bacia Sedimentar do Paraná.

Segundo Almeida (1964), os terrenos constituídos pelo Embasamento Cristalino possuem predominância de morros de topos arredondados, vertentes com perfis retilíneos, presença de serras restritas, com alta densidade de drenagem, enquanto os terrenos pertencentes à Depressão Periférica possuem um relevo com formas suavizadas, levemente onduladas constituídos por colinas amplas.

A Figura 1 apresenta um esquema de localização da área de estudo, com a composição da imagem ETM+/Landsat-7, bandas 3, 4 e 5, com os filtros azul, verde e vermelho, respectivamente.

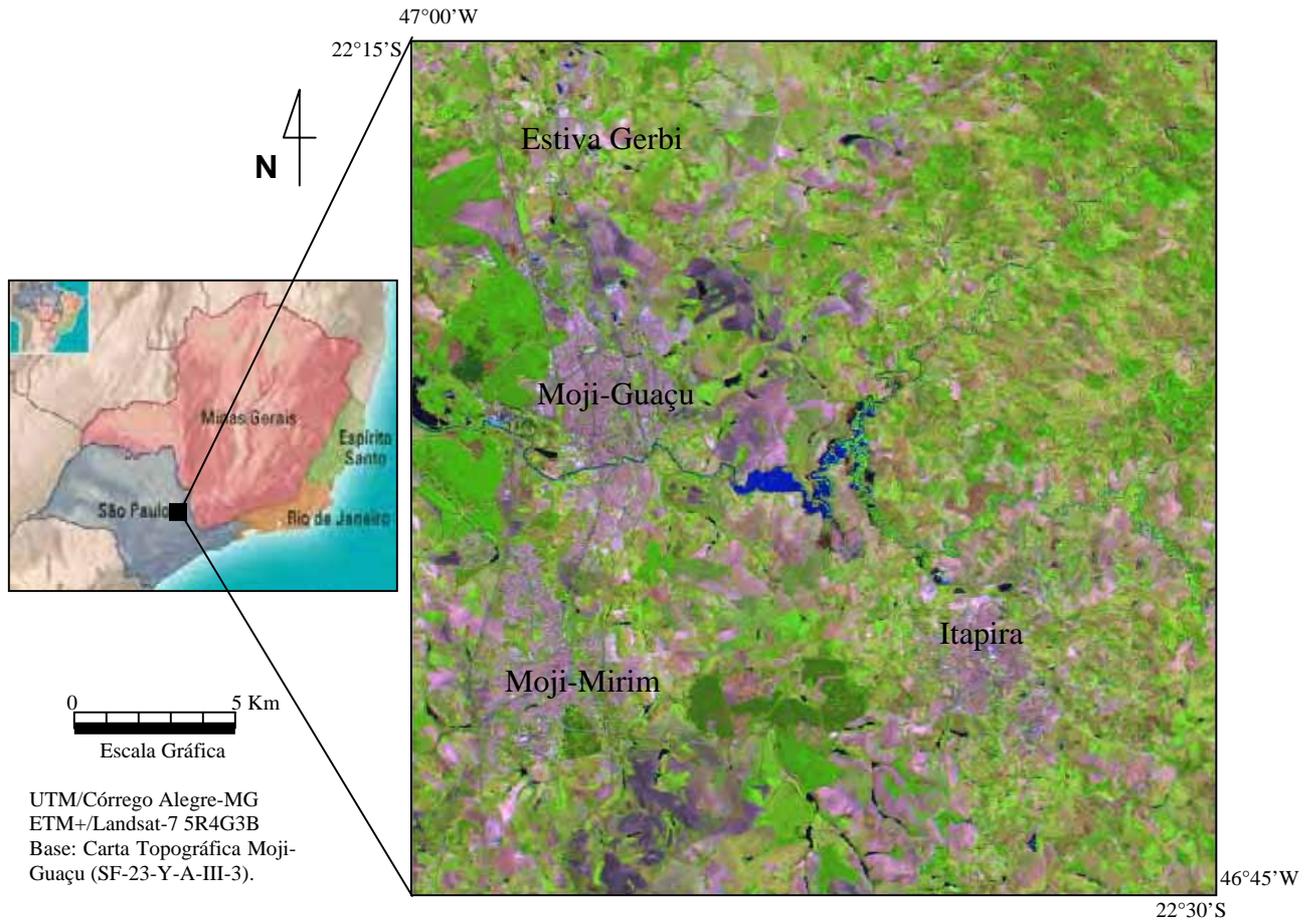


Figura 1 – Localização da área de estudo, com a composição das bandas 3, 4 e 5 do ETM+/Landsat-7, com os filtros azul, verde e vermelho, respectivamente.

A leste da área de estudo, encontram-se rochas metamórficas de alto grau, pertencentes ao Grupo Amparo, descritas inicialmente por Ebert (1968) e cartografadas por CPRM (2001). Estas são ortognaisses e migmatitos ortoderivados, de idade aproximada 3024Ma (arqueano).

A leste da área também encontram-se metassedimentos pertencentes ao grupo Itapira e a Formação Eleutério (Ebert, 1971). Estes são metaconglomerados, metarcósios e metarenitos com idade mínima transamazônica (Artur, 1980). Wernick e Penalva (1973), descreveram as litologias dos grupos Amparo e Itapira, suas relações formacionais e deformacionais. Estas Formações foram cartografadas por CPRM (2001) como granitos, granitóides foliados, ortognaisses cálcio-alcalinos e ortognaisses migmatíticos, de idade aproximada 630Ma.

Ebert (1974), estudando o falhamento na região entre Itapira-SP e Jacutinga-MG, identificou movimentos de transcorrência e empurrões locais. Há duas importantes falhas que condicionam o comportamento estrutural da região: as falhas de Jacutinga, com direções de N45-55W, e Ouro Fino com direções de N50-70E.

Há diversos afloramentos localizados de rochas intrusivas básicas na área de estudo, os quais foram cartografados por CPRM (2001). Estes correspondem a batólitos (intrusões verticais) e derrames (*sills*), introduzidos no pacote sedimentar. Estes são predominantemente basaltos sem vesículas ou amígdalas, de idade aproximada 130Ma (jurássico/cretáceo). A intrusão destes corpos ocasionou uma forte deformação rúptil na área, condicionando uma estruturação EW (Hasui *et al*, 1989).

Na porção sedimentar (oeste) da área de estudo predominam rochas do Grupo Tubarão, descritas por Landim (1970) e cartografadas por CPRM (2001). Este grupo divide-se em: Formação Itararé (arenitos, siltitos e folhelhos de ambiente glacio-marinho, com idade 295Ma), Formação Tatuí (siltitos, arenitos finos e calcáreos de ambiente marinho, com idade 267Ma) e Formação Aquidauana (arenitos, siltitos e folhelhos de ambiente glacial, fluvial e lacustre, com idade 295Ma).

Segundo Almeida (1964), os sedimentos da Formação Itararé assentam-se diretamente sobre o embasamento cristalino. Segundo Saad (1977) esta Formação é constituída predominantemente de arenitos finos e grosseiros de cores amarela, vermelha e cinza claro, enquanto que a parte média é representada por arenitos finos, siltitos e lamitos de cores cinza escuro e amareladas. Os arenitos frequentemente feldspáticos ou mesmo arcozianos formam corpos que exibem diversas estruturas sedimentares como marcas ondulares, marca de sola, estratificação cruzada, estratificação gradacional, entre outras além de estruturas devidas a deformação plástica contemporâneas à deposição.

Na seqüência sedimentar aparecem abaixo dos arenitos e siltitos por vezes apontados como loessitos ou argilitos. Esses sedimentos finos podem se apresentar bem estratificados ou maciços (IPT, 1981b).

Segundo Almeida (1964), do ponto de vista litológico a formação Aquidauana é constituída por arenitos muito finos a grosseiros, lamitos arenosos vermelhos com estratificação plano-paralela. As litologias da Formação Aquidauana permitem considera-las como tendo sido depositadas em lago peri-glacial no Permo-Carbonífero (Landim *et al*, 1980).

Os sedimentos da formação Aquidauana apresentam-se em geral interdigitados nos do grupo Itararé, enquanto que na parte norte da área, assentam-se diretamente sobre a formação Tatuí (IPT, 1981b).

Segundo Landim *et al* (1980) as rochas do sub-grupo Tatuí marcam o início do ciclo pós-glacial e está representado por siltitos e arenitos muito finos de cor marrom-avermelhado e por siltitos de cores claras amareladas e esverdeadas intercalando corpos de arenitos. Nota-

se também lamitos com lentes de calcários e camadas de calcários que ocorrem nos arenitos médios (IPT, 1981b). A Formação Tatuí corresponde às formações Rio Bonito e Palermo que formam o grupo Guatá nos estados sulinos (Cavalcante, 1979).

Há também sedimentos mais recentes, não consolidados, com idades Terciárias e Quaternárias, correlatos a Formação Rio Claro, descritos por Bjornberg *et al* (1964), Fulfaro e Suguio (1968) e Penteadó (1976). Estes são representados por colúvios arenosos, areno-argilosos ou argilo-arenosos.

Os sedimentos aluviais desenvolvem-se, na Depressão Periférica Paulista, junto às escarpas basálticas no vale do rio Moji-Guaçu sob a forma de taludes de baixo declive e amplas planícies aluviais ao longo dos principais vales conseqüentes. Tais depósitos são representados litologicamente por material componente de rochas vizinhas, conglomerados quartzosos, brechas, seixos, arenitos finos e grosseiros com intercalação de camada delgada de argilitos (Candido, 2004).

Segundo Oliveira (1992), os solos presentes na porção centro-oeste da área de estudo são latossolos vermelhos, vermelho-amarelos, amarelos ou vermelho-escuros. Sendo que os vermelho-escuros ocorrem em manchas isoladas e são provenientes de alteração direta dos basaltos, enquanto que os vermelhos, vermelho-amarelos e amarelos são predominantemente colúvios.

Também segundo Oliveira (1992), os solos presentes na porção leste da área de estudo são podzólicos vermelhos ou amarelos. Localmente, nas encostas mais íngremes dos morros cristalinos, ocorrem litossolos. Segundo CPRM (2001) ocorrem solos de alteração de granitos e gnaisses.

Nos vales dos rios e ribeirões ocorrem depósitos recentes, arenosos a argilosos, inconsolidados e com alto teor de matéria orgânica (CPRM, 2001). Que são classificados por Oliveira (1992) como gleissolos ou organossolos, em função da quantidade de matéria orgânica presente.

## II FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão apresentadas as bases teóricas da presente pesquisa, em conjunto com eventuais outros trabalhos de aplicações.

### 2.1 Interpretação de imagens

No que se segue serão discutidos as bases para interpretação de imagens de satélites com vistas ao uso e cobertura da terra e para aplicação em geologia de engenharia.

#### 2.1.1 Uso e cobertura da terra

Pereira *et al* (1988) realizaram um mapeamento do uso e cobertura da terra no município de São José dos Campos – SP, utilizando imagens TM/Landsat-5. Com estes conhecimentos, Pereira *et al* (1989) propuseram um sistema de classificação do uso e cobertura da terra.

O presente trabalho emprega o sistema de Pereira *et al* (1988), incluindo também os processamentos digitais nas imagens de satélite propostos por Pereira *et al* (1994), que são: registro da imagem em um sistema cartográfico de referência (georreferenciamento), segmentação e classificação. Compara-se a imagem classificada automaticamente com as imagens originais, contrastadas, e após a verificação em campo, realiza-se o mapeamento do uso e cobertura da terra final.

Penido (1998), também utilizou o sistema de classificação do uso e cobertura da terra proposto por Pereira *et al* (1989), a fim de realizar um mapeamento do uso e cobertura da terra, visando a identificação de melhores áreas a serem utilizadas para construção do trecho oeste do rodoanel, na grande São Paulo.

Para o planejamento de obras de engenharia, especialmente as lineares, o uso e a cobertura da terra, são um fator importante, principalmente quando o traçado deseja atender a interesses regionais sócio-econômicos. Assim sendo, alguns tipos de uso e cobertura da terra devem ser evitados, como as matas densas, áreas urbanizadas, pedreiras, entre outras.

### 2.1.2 Geologia

Com a identificação de diferentes densidades de textura de imagem, é possível estabelecer a ordenação dos elementos de textura e qualifica-las em função da intensidade de organização (grau de estruturação) e da complexidade de organização (ordem de estruturação). A Tabela 1 apresenta um resumo destes princípios.

Tabela 1 – Caracterização das propriedades texturais de imagens orbitais

<b>Propriedade Textural</b>	<b>Caracterização</b>
Elemento de Textura	Tipo de elemento textural a ser analisado (relevo, drenagem, nível de cinza)
Densidade de Textura	Quantidade de elementos texturais por unidade de área da imagem (qualitativo).
Arranjo Textural	Distribuição dos elementos texturais no espaço, segundo um padrão de arranjo (retangular, anelar).
Grau de Estruturação	Evidência de organização espacial dos elementos texturais em função do seu arranjo.
Ordem de Estruturação	Complexidade de organização dos elementos texturais. É dado em função da sobreposição de estruturas.

Deve-se ressaltar que o conceito de estrutura é a lei que define a ordenação ou não dos elementos de textura, podendo apresentar arranjo paralelo, radial ou anelar, por exemplo. Já o conceito de forma é baseado pelo padrão estrutural assumido pelos elementos estruturais. Por exemplo: formas radiais de drenagem e lineares de relevo.

No capítulo III, item “2.5 Traçado da rede de drenagem” é discutido a estruturação da drenagem, em seus diferentes graus e ordens e a conformação de formas radiais, lineares, anelares e assimétricas. A Figura 20 apresenta exemplos dessas drenagens.

A delimitação das zonas homólogas é realizada com base na densidade de textura na imagem (Rivereau, 1970). É importante frisar que a repetição dos elementos texturais, com o mesmo grau e ordem de estruturação, permite definir zonas homólogas que, quando interpretadas passarão a constituir-se em unidades geoambientais.

A interpretação proposta por Soares *et al* (1978) trata de atribuir as propriedades de densidade textural, tropia, permeabilidade, plasticidade/ruptibilidade e alterabilidade do maciço à cada zona homóloga. Portanto, uma zona homóloga com as cinco propriedades acima listadas, definidas em seus limites, passa a ser uma unidade geoambiental.

Na fase de interpretação das imagens é possível estabelecer uma correlação entre a textura na imagem e as características e propriedades geotécnicas dos materiais que são

imageados. Desse modo, pode-se fazer inferências das propriedades destes alvos a partir da análise de sua textura. Sendo assim destacam-se alguns fatores que controlam a textura e a estrutura dos elementos nas imagens, como:

- Morfogenéticos – responsáveis pela modelação das formas do relevo e da drenagem. São o clima, a tectônica, a dinâmica da superfície e o tempo de duração do evento;

- Litológicos – relacionados às propriedades físico-químicas dos materiais rochosos e/ou dos inconsolidados. São a erodibilidade, permeabilidade, plasticidade/ruptibilidade e alterabilidade;

- Deformacionais – correspondem às feições expressas no relevo e na drenagem e são resultantes das deformações impostas ao material rochoso. Como foliações, acamamentos, fraturamentos, tropia, assimetria, feições lineares, lineamentos estruturais, entre outras.

## **2.2 Mapeamento Geoambiental**

O mapeamento geoambiental divide-se em três partes, as quais serão exploradas a seguir.

### **2.2.1 Unidades Geoambientais**

O mapeamento geoambiental contempla a avaliação e caracterização de fatores físicos dos materiais do meio físico (rochas e coberturas de alteração intempérica). Tem como meta o fornecimento de informações do meio físico para orientar e elucidar a tomada de decisões na implementação de alternativas de desenvolvimento regional, compatível com a sustentabilidade e vulnerabilidade dos sistemas ambientais. Este método pode fornecer importantes subsídios para a definição de prioridades em obras de engenharia (Ohara, 1995).

Santos (1994), coloca no *conceito da imanência das características físicas* que “diferentes materiais geológicos submetidos a processos e solicitações semelhantes demonstrarão comportamentos diferenciados, em dependência das características físicas intrínsecas destes materiais (granulometria, mineralogia, textura, estrutura, índices de resistência, coesão, entre outros)”.

Ou seja, em um mesmo ambiente climático, materiais diferentes (coberturas inconsolidadas ou rochas) comportar-se-ão de maneira diferente. Desse modo, apresentando-se com formas (feições) diferentes na superfície, sendo que essas formas dependem diretamente das características desses materiais.

As diferentes formas que o relevo assume podem ser identificadas por observações em campo. No entanto quando a área é muito grande para observação em campo, pode-se utilizar o recurso de se observar a imagem da área, obtida por fotos aéreas ou imagens de satélites.

Bell (1993), concorda que para subsidiar a realização de estudos do meio físico, podem ser utilizados produtos de sensoriamento remoto como fotos aéreas ou imagens de satélites.

O elemento primário da análise em uma imagem da superfície terrestre, seja foto aérea ou imagem de satélite, é o que Guy (1966) chama de “elemento textural” e define como sendo “o menor elemento identificável na imagem contínuo, homogêneo e passível de repetição”. Petri (1972) denomina esse mesmo elemento de “feição unitária” e a define como o menor elemento a ser distinguido individualmente na imagem.

A partir da observação desse elemento de textura Guy (1966) propôs o reconhecimento de padrões de relevo e drenagem em fotos aéreas, Rivereau (1970), as transcreveu, Soares e Fiori (1976), as adaptaram para condições brasileiras, Soares *et al* (1978), as usaram para atribuição de características físicas aos materiais mapeados em imagens de satélite, Veneziani e Anjos (1982), as usaram para interpretação em imagens de satélite com fins geológicos, fazendo uso do par luz/sombra.

Dessa forma, Rivereau (1970) desenvolveu o método sistemático, Ohara (1995), desenvolveu técnicas de mapeamento do meio físico e Vedovello (2000), propôs uma sistemática para mapeamento geotécnico-geoambiental.

Guy (1966), definiu como elemento de textura do relevo ou drenagem a menor superfície contínua, homogênea e passível de repetição identificável em uma imagem. A repetição destes elementos texturais, com o mesmo grau e ordem de estruturação, permite definir zonas fotogeológicas homólogas.

Segundo Soares e Fiori (1976), em uma zona fotogeológica homólogas encontram-se características geológicas e geotécnicas semelhantes. Também afirmam que é possível a correlação entre a textura na imagem e as características e propriedades geotécnicas dos materiais que são imageados. Desse modo, pode-se fazer inferências das propriedades físicas destes alvos a partir da análise de sua textura.

Segundo Soares *et al* (1978), a delimitação das zonas fotogeológicas homólogas, é realizada com base na disposição espacial de seus elementos (ordem, distribuição, forma, estrutura, densidade e arranjo) e nas propriedades em comum de ruptibilidade, colapsibilidade, alterabilidade, permeabilidade, anisotropia e relação de simetria.

Onde ruptibilidade, qualidade de rúptil, relaciona-se com a rigidez do maciço e é observada em termos do fraturamento. A colapsibilidade, qualidade de colapso, relaciona-se com a possibilidade de ocorrência de abatimentos. A alterabilidade, qualidade de alterável, relaciona-se com o resultado final do processo de intemperismo e é observada em termos de forma de encosta. A permeabilidade, qualidade de permeável, relaciona-se com as porosidades primária e secundária dos maciços e é observada em termos de densidade de drenagem e fraturamento. A anisotropia relaciona-se com a orientação das formas e é observada na geometria do relevo e da drenagem. Enfim a simetria relaciona-se com o litotipo e é observada no conjunto de encostas.

O proposto por Rivereau (1970), baseia-se na análise dos elementos de relevo e drenagem, na qual realiza-se (1) um reconhecimento (fotoleitura), posteriormente (2) uma identificação (fotoanálise) e por fim (3) uma dedução das feições representadas na imagem de satélite (fotointerpretação).

Utilizando os conceitos acima descritos, diversos autores desenvolveram e adaptaram sistemáticas de análise do meio físico para múltiplos usos, as quais podem ser observadas em Vedovello (1993), Ohara (1995), Okida (1996), Crepani *et al* (1999), Franzoni (2000), Rodrigues (2000) e Vedovello (2000). Estes trabalhos buscam um prognóstico para a área.

Uma outra corrente de pensamento é colocada por Zuquette (2002), que considera que devem ser analisados os sistemas de terreno (parcela do meio físico formada por um conjunto de *landforms*, relacionados em termos de gênese e litologia, mas diferentes em outros conjuntos) e as unidades de terreno (parcela do meio físico representado por um *landform* ou uma associação de *landforms* homogêneos). As unidades de terreno devem refletir características diferentes das outras de um mesmo sistema. A unidade é definida de acordo com o relevo, gênese e composição.

Zuquette (1993) prevê que nas áreas formadas por *landforms* homogêneos, pode-se extrapolar as características do terreno para o *landform* e para seus semelhantes. Também sugere que os resultados das amostragens podem ser extrapolados ao nível de homogeneidade dos *landforms*.

### **2.2.2 Deformações dúcteis (morfoestruturas)**

O método de análise morfoestrutural desenvolve-se mediante a análise sistemática da rede de drenagem, estabelecendo feições de assimetrias e/ou simetrias, além de anomalias radiais, anelares e feições lineares, que permitem definir a sua tendência direcional aparente e

identificar as feições estruturais existentes: os altos estruturais (positivas) e os baixos estruturais (negativas).

Assim, esta técnica, aplicada a bacias recobertas e/ou a relevos aplainados, seja por pedimentação ou peneplanação, permite realizar inferências relacionadas ao arcabouço tectônico, aspectos geoquímicos, fisiográficos, geopedológicos e aplicações em diversos ramos das engenharias civil, sanitária e ambiental (Soares *et al*, 1981).

As morfoestruturas são representadas em um mapa de contorno estrutural não cotado, com as indicações dos altos e baixos estruturais (Jiménez-Rueda, 2003).

Campos (1972) define como mapa de contorno estrutural a projeção em um plano horizontal de linhas de igual elevação sobre determinado horizonte geológico. Os contornos estruturais mostram o tipo de estrutura existente em subsuperfície: anticlinal ou sinclinal. Além disso Campos (1972) observa que quanto mais recente o soerguimento, mais estreita é a relação entre alto estrutural e topográfico.

Segundo Ohara (1995), o conhecimento dos altos e baixos estruturais, quando conjugados com outros dados, como litoestruturais e pedogenéticos, pode prover subsídios para estudos de recursos hídricos, proteção ambiental, aptidão para implantação de obras de engenharia, usos agrícolas direcionados, planejamento territorial e outras aplicações.

Segundo Jiménez-Rueda *et al* (1993) o alto estrutural possui características de lixiviação intensa, exorreísmo e maior oxidação, dominando processos de hidrólise total, o que promove o desenvolvimento de um perfil de alteração laterítico completo, ocasionando com isto, intensa caulinição. Está associado a sistemas abertos, onde a circulação da água e a saída de materiais (por lixiviação) são intensas. Quando associados a zonas fraturadas, pode conduzir a processos de erosão ou reações de óxido-redução.

Os altos estruturais, por serem favoráveis à infiltração, apresentam menor tendência à retenção de água. Portanto são áreas de recarga de aquíferos e lençóis subterrâneos, onde ocorrem neossolos litólicos, cambissolos distróficos ou latossolos.

Segundo Jiménez-Rueda *et al* (1993), nos baixos estruturais são favorecidas reações de redução, é um sistema endorréico e permite menor lixiviação. Devido à sua tendência de acúmulo de água e de elementos, predominam processos de hidrólise parcial e reorganização plásmica dos colóides e elementos químicos concentrados. Isto pode promover uma formação de argilominerais de dois tipos: bissialítico (em condições climáticas mais sazonais e secas) ou monossialítico (em condições temperadas altamente pluviométricas ou tropicais).

Os baixos estruturais quando associados a zonas de fraturas tornam-se favoráveis à percolação direcionada d'água, podendo gerar argilas do grupo Kandita (por exemplo:

caulinita). Podem ser encontrados nessas áreas Argissolos eutróficos, Argissolos distróficos, Cambissolos eutróficos, Chernossolos, Gleissolos eutróficos e distróficos (Jiménez-Rueda *et al*, 1993).

Jiménez-Rueda *et al* (1998), correlacionaram a fisiografia e a morfoestrutura com diversas características morfológicas dos solos na região do pantanal sul-mato-grossense.

### 2.2.3 Deformações rúpteis (fraturamentos)

As deformações rúpteis em rochas são mais conhecidas como fraturas, as quais podem ser falhas ou juntas.

Campos (1972) define como falha uma ruptura ao longo da qual se dá um deslocamento das paredes opostas, podendo ser do tipo normal, inversa ou transcorrente. Campos (1972) define como juntas aquelas fraturas em que não há um deslocamento visível em direção paralela ao plano de fratura.

Para Loczy e Ladeira (1976) falhas são descontinuidades nas rochas, provocadas por esforços tectônicos, onde os blocos rochosos são separados e movimentam-se entre si. As juntas também são descontinuidades nas rochas, provocadas por esforços tectônicos ou gravitacionais, onde os blocos rochosos são separados, mas não se movimentam entre si. Ocorrem de forma sistemática, compondo sistemas que se entrecruzam ou isolados (discretos) e em feixes (séries).

Nas imagens orbitais ou aéreas podem ser observadas feições indicativas de fraturas, como feições lineares (lineações) de drenagem e alinhamentos de drenagem e tonais. Lineações de drenagem são pequenas feições, fortemente estruturadas e retilíneas ou curvilíneas, representados principalmente por drenagens de 1º e 2º ordem. Normalmente são indícios de traços de juntas (Veneziani e Anjos, 1982).

Campos (1972) salienta que o termo lineação é apenas descritivo e não genético. Em Sampaio (1987), encontra-se uma descrição do conceito de lineação de drenagem, para uma aplicação da obtenção e a análise dos traços de juntas na pesquisa de água subterrânea.

Alinhamentos de drenagem são feições maiores (quilométricas), estruturadas, retilíneas ou curvilíneas. Quando os alinhamentos de drenagem ou tonais apresentam um significado geológico são denominados lineamentos estruturais (Rivereau, 1970).

Crisóstomo Neto (2002), baseando-se em Veneziani e Anjos (1982), afirma que lineamentos estruturais são feições lineares, simples ou compostas, contínuas ou descontínuas da superfície terrestre, cujas partes são alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente

curvo e que difere substancialmente dos padrões de feições que lhe são adjacentes, presumivelmente refletem um fenômeno de sub-superfície.

Peter *et al* (1986) afirmam que devem ser mapeados os lineamentos paralelos ao relevo, os que truncam a drenagem, os dos grandes vales, os que possuem mais que 16km de comprimento e mesmo os tonais (por exemplo variação ou alinhamento da vegetação) devem ser considerados. Peter *et al* (1986) também recomenda cuidado ao definir lineamentos próximos a rodovias, ferrovias, represas ou divisões políticas.

Deve-se considerar que parte do fraturamento identificado nas imagens pode ser de origem recente, ou reativação de antigos pontos de fraqueza. Passarge (1931) já havia identificado a presença de importantes movimentos em sedimentos de idade terciária.

Hasui (1990) trata de “tectônica ressurgente” os movimentos recentes (desde o Terciário Superior) que reativam fraturas antigas, onde os principais movimentos são de escalonamento e basculamento de blocos. Segundo Hasui (1990), o fraturamento recente é de baixa profundidade e onde eles ocorrem de forma sistemática há um “regime tectônico presente”. Devido ao esforço necessário, as falhas transcorrentes, normais ou inversas são mais raras, mas não inexistentes no Brasil.

Etchebere (2000), usando os conceitos da tectônica ressurgente, identificou em imagens TM/Landsat-5 e fotografias aéreas, do Planalto Ocidental Paulista (próximo ao rio do Peixe), várias pequenas “escarpas” de falha junto ao leito de rios, evidências de movimentos de basculamento.

Facincani (2000), também usando esses conceitos e realizando fotointerpretação em imagens TM/Landsat-5, promoveu uma compartimentação lito-estrutural e associou-a a ocorrência de processos erosivos ativos na região de São Pedro-SP.

Peter *et al* (1986), propõe uma sistemática de obtenção e análise dos lineamentos estruturais e suas conseqüências para diversas questões da engenharia, como barragens d’água, cortes e aterros.

### **2.3 Métodos expeditos de campo**

Os métodos expeditos de campo para os materiais inconsolidados, assim como referidos na presente pesquisa, são uma reunião dos ensaios de física e morfologia de solos que permitem uma caracterização do comportamento mecânico do mesmo.

Diversas características morfológicas das coberturas de alteração intempérica apresentam relação com a física e a química destas, as quais podem ser inferidas com ensaios expeditos de campo.

Souza (1994), compilou algumas análises morfológicas que permitem um conhecimento qualitativo da cor, textura, estrutura, coesão, consistências seca, úmida e molhada, cimentação e porosidade.

Jiménez-Rueda (2003), relaciona os resultados destas análises morfológicas com a composição química, granulometria, gênese, paleoambiente, plasticidade, pegajosidade, resistência à compressão, susceptibilidade a erosão, expansibilidade, colapsividade, porosidade e permeabilidade.

Souza (1994) recomenda o uso de um diagrama triangular de textura na identificação da granulometria aproximada dos materiais inconsolidados. A Figura 2 apresenta esse diagrama com as porcentagens de areia, silte e argila, subdividido segundo as classes de textura identificáveis em campo.

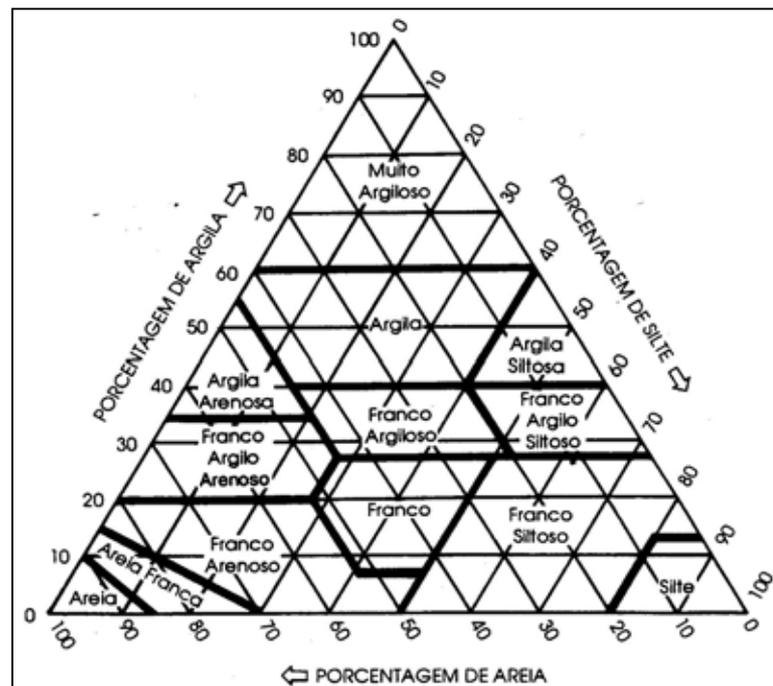


Figura 2 – Diagrama triangular de textura, segundo Souza (1994).

A Tabela 2 apresenta um resumo, baseado em estudos de Vaz (1996), Marques Filho e Geraldo (1998), Hoek (2000) e Bell (1993), comparando o comportamento do material rochoso sob a ação de martelo e canivete e sua respectiva resistência a compressão uniaxial (RCU) e seu módulo de elasticidade (E).

Bell (1993), estabelece relações entre a permeabilidade e a porosidade de materiais inconsolidados com sua granulometria. Também estabelece relações entre o espaçamento e a abertura de fraturas com a permeabilidade do maciço e a velocidade de escoamento.

Bieniawski (1989), propôs um sistema de classificação geomecânica chamado *Rock Mass Rating* (RMR). Com algumas simplificações este método pode ser usado expeditamente, retornando parâmetros importantes do maciço como: coesão, ângulo de atrito, módulo de elasticidade, além de considerações para implantação de fundações, túneis, minas e escorregamentos.

Tabela 2 – Relação entre comportamento em campo, RCU e E.

Comportamento do material frente a solicitação	Vaz (1996) Resistência Compressão Uniaxial (RCU) [MPa]	Marques Filho e Geraldo (1998) (RCU) [MPa]	Bell (1993) (RCU) [MPa]	Hoek (2000) (RCU) [MPa]	Bell (1993) Módulo de Elasticidade (E) [GPa]	Marques Filho e Geraldo (1998) (E) [GPa]
Material inconsolidado	<2	-	<1,25	-	-	-
Desagrega com a mão, esfarela com o martelo	2-5	-	1,25-5	0,25-1	<5	-
Desagrega com martelo, canivete sulca	5-10	<10	-	1-5	-	<1
Desagrega com martelo, canivete risca fundo	10-20	-	5-12,5	-	5-15	-
Fragmenta com martelo, canivete risca	20-30	10-30	-	5-25	-	1-5
Fragmenta com martelo, que penetra levemente, canivete raspa	30-50	30-60	12,5-50	25-50	15-30	5-20
2 golpes do martelo para partir, bordas cortantes	50-100	60-120	50-100	50-100	30-60	20-50
Vários golpes para partir, bordas cortantes	100-200	>120	>100	100-250	>60	>50
Só lasca, som de sino	>200	-	-	>250	-	-

O RMR é um parâmetro que se baseia na somatória de pesos atribuídos para as propriedades de RCU – resistência à compressão uniaxial (MPa), RQD (*Rock Quality Designation*), espaçamento das descontinuidades, condição e orientação das descontinuidades e condição de umidade.

O RQD procura refletir a condição de densidade volumétrica do fraturamento existente no maciço e segundo Deere *et al* (1967), pode ser determinado diretamente a partir de sondagens com amostragem de corpos de prova ou indiretamente a partir da equação 1.

$$\text{RQD} = 100 \cdot e^{-0,1 \cdot f} \cdot (0,1 \cdot f + 1) \quad (1)$$

Onde,

f – número médio de descontinuidades por metro.

Portanto, os métodos expeditos de campo para as rochas, como referidos na presente pesquisa, são uma reunião de ensaios que permitem inferir as propriedades do material e que possibilitarão o cálculo do RMR e do RQD.

## 2.4 Geotecnia e Mapeamento Geotécnico

Geotecnia é uma especialização da engenharia civil, em interface com outros engenheiros, geólogos, geógrafos, ecólogos e outros profissionais interessados em parâmetros dos materiais inconsolidados ou das rochas.

A geotecnia busca o entender o comportamento, por meio de modelos e representações de propriedades do meio físico e engloba três campos do conhecimento: mecânica dos solos, mecânica das rochas e geologia de engenharia.

O objetivo da mecânica dos solos é o de observar, analisar e representar o comportamento mecânico desses materiais inconsolidados, em função das solicitações que o mesmo sofre ou sofrerá. A mecânica das rochas é análoga, sendo o material de estudo as rochas. E o objetivo da geologia de engenharia é o diagnóstico da natureza e da dinâmica dos fenômenos envolvidos na relação solicitação-meio físico.

No trato das informações do meio, diversos autores tem usado as expressões “característica”, “propriedade”. A Tabela 3 apresenta duas descrições desses termos, segundo o dicionário Koogan-Larousse da língua portuguesa e do Dicionário escolar da língua portuguesa.

De acordo com essas definições, conclui-se que o termo “propriedade” refere-se às informações do meio. E o termo “característica” refere-se às classes ou quantidades de uma propriedade.

Tabela 3 – Comparação semântica entre os termos característica e propriedade.

	<b>Dicionário Koogan – Larousse da língua portuguesa</b>	<b>Dicionário escolar da língua portuguesa</b>
<b>Característica</b>	O que constitui o caráter distintivo, a particularidade de uma pessoa ou uma coisa.	Aquilo que distingue.
<b>Propriedade</b>	O que distingue particularmente uma coisa de outra do mesmo gênero (propriedade da esfera: ter os pontos da superfície equidistante do centro). Qualidade inerente aos corpos (porosidade). Virtude particular, qualidade especial (propriedade purgativa de algumas plantas).	Qualidade do que é próprio, qualidade especial,

Acertado isso, segundo Rodrigues (1996), na prática do mapeamento geotécnico deve-se obedecer as etapas lógicas a seguir:

- a) Definir as propriedades do meio que interessam ao objetivo.
- b) Isola-las e definir como obter-las.
- c) Identificar onde obter-las.
- d) Mapear-las e definir quais unidades usar.
- e) Caracteriza-las e definir que parâmetros utilizar.
- f) Classificar-las e definir classes de interesse.
- g) Zonear-las e definir sua distribuição no espaço.

Zuquette (1993), analisando as propriedades do meio que devem ser obtidas, depois processadas e por fim analisadas, considera que elas podem ser do tipo:

- a) Sintática: cada profissional entende a palavra com diferentes interpretações.
- b) Semântica: termo técnico específico, só entendido por especialistas.
- c) Pragmática: está associado a um sistema de referência, ou a um intervalo.
- d) Numérica: é a informação quantificada.
- e) Gráfica: são os gráficos.

As propriedades do meio físico, de uma maneira geral, podem ser divididas em 2 tipos:

1. Absoluto: são parâmetros numéricos quantitativos ou formas definidas.
2. Relativo: são parâmetros qualitativos.

Segundo Zuquette (1981), a obtenção e a integração de propriedades do meio físico, necessários ao mapeamento geotécnico, deve seguir uma hierarquia: geomorfologia, litologia, pedologia, água superficial e subterrânea, arranjo tridimensional, amostragem em campo, ensaios em laboratório e definição da unidade geológica-geotécnica (cartografia).

No intuito facilitar as interpretações do meio em laboratório, Ebert e Penteadó (1995) também tratam de representações tridimensionais, em ambiente computacional, com o objetivo de melhorar a visualização das estruturas geológicas.

Na prática da cartografia, Vedovello (1993) define que mapa é um documento cartográfico onde são registradas as informações naturais e/ou classificadas, tenta registrar o que há na natureza. E carta é o documento cartográfico que apresenta os resultados de uma análise baseada em informações naturais e/ou classificadas, é a interpretação do dado natural.

Pejon e Zuquette (1993), Zuquette *et al* (1993), Caetano *et al* (2002), Ohara *et al* (2002) e Ohara *et al* (2003) discutem formas de obtenção e integração de informações do meio físico para planejamento de obras e usos.

Segundo Zuquette (1981), o mapeamento geotécnico busca propriedades do meio físico (rocha, materiais inconsolidados, relevo, água e clima), para se resolver algum problema. É um processo que deve passar por caminhos racionalmente determinados. Baseia-se em propriedades do meio físico de interesse para a engenharia e não em informações estratigráficas ou cronológicas.

Godoy (1989) divide o mapeamento em duas fases: (1) onde são levantados dados descritivos sobre os materiais e algumas informações básicas sobre seu comportamento mecânico e (2) onde são perfurados poços de monitoramento e ensaiadas amostras em laboratório.

O produto do mapeamento geotécnico, para ser devidamente utilizado, deve ter como características: qualidade técnica e visual, funcionabilidade, precisão cartográfica e temática, além de formato (Zuquette, 1993).

Segundo Zuquette (1987), a elaboração de cartas geotécnicas para avaliação da viabilidade de projetos básicos segue-se da sobreposição, hierarquização e/ou combinação de propriedades do meio físico. Para Vedovello (2000), a análise dos condicionantes geológicos, geotécnicos e ambientais para estudo das potencialidades da área resulta em uma carta de aptidão física.

Para Zuquette (1993) uma Carta de Zoneamento Geotécnico (CZG), é o resultado de uma análise das propriedades do meio físico, considerando as suas variações espaciais; cada unidade representa uma classificação quanto ao comportamento natural do meio. E uma carta de viabilidade é uma interpretação para aplicação da CZG, visando subsidiar a tomada de decisão administrativa, técnica ou econômica.

## 2.5 Física e mecânica dos solos

O material terroso, solto, sem consolidação, que recobre a superfície da terra pode ser chamado por várias designações, depende do interesse que se tem por ele. O termo “solo” pode ser utilizado quando se define o processo pedológico pelo qual o material esteve ou está exposto (Toledo *et al*, 2000), normalmente os profissionais da agronomia utilizam essa designação. O termo “material inconsolidado” pode ser utilizado quando se definem suas propriedades mecânicas (Souza e Zuquette, 1991), normalmente os profissionais da geotecnia utilizam essa designação. O termo “cobertura de alteração intempérica” deve ser utilizado quando se definem a gênese, a morfologia e a física desses materiais (Jiménez-Rueda, 2003), normalmente os profissionais do mapeamento geoambiental e da ecologia utilizam essa designação.

Segundo Pastore e Fontes (1998), a seqüência lógica do procedimento para caracterização completa das coberturas de alteração intempérica é: (1) descrição, (2) caracterização e (3) classificação. A descrição é feita com base em observações e análises táteis-visuais em campo, diretamente no perfil onde aflora a cobertura. A caracterização é feita com base em ensaios geotécnicos de laboratório e a classificação pode ser feita de acordo com as diversas formas existentes.

Os ensaios táteis e visuais que, segundo Souza (1994), devem ser realizados na fase de descrição das coberturas são: as consistências seca, úmida e molhada (plasticidade), pegajosidade, textura e porosidade, além da observação da cor, contato entre horizontes, estrutura, cimentação e existência de superfícies foscas, de fricção e de compressão.

A classificação pode ser genética, geológica, pedológica (EMBRAPA, 1999), textural ou granulométrica (ABNT, 1984), ou seguir um sistema de classificação como o unificado ou SUCS (Vargas, 1978 e ASTM, 1983), o sistema HRB – *Highway Research Board* (AASHTO, 1973), ou o MCT (Nogami e Villibor, 1981).

Os sistemas SUCS e HRB baseiam-se na granulometria, nos limites de consistência (plasticidade e liquidez) e na densidade natural do material. Embora apresentem limitações para materiais encontrados no Brasil (Nogami e Villibor, 1981), são muito utilizados na prática da engenharia geotécnica.

A erodibilidade, um importante parâmetro geotécnico de uma cobertura, pode ser estimada por um ensaio *Inderbitzen* (DNER, 1979). Viana *et al* (2002), correlacionaram os resultados obtidos pelo ensaio de *Inderbitzen* com ensaios de desagregação (Holmgren, 1977).

O ensaio de desagregação consiste em inserir uma amostra indeformada em um recipiente cheio d'água, onde a altura da lâmina d'água cubra totalmente a amostra. Observa-se então o comportamento da amostra frente a imersão em água, que segundo Holmgren (1977), pode ser:

- a. Sem resposta: a amostra mantém sua forma e tamanho.
- b. Abatimento: a amostra desintegra-se por hidratação, quando a saída do ar gera pressões positivas.
- c. Fraturamento: a amostra se parte em fragmentos, mantendo as faces externas. Há a expansão osmótica quando a concentração de íons na amostra é maior que na água, essa troca força a expansão e o fraturamento da amostra.
- d. Dispersão: as paredes externas da amostra tornam-se difusas, com o surgimento de uma nuvem de colóides que cresce com a dissolução da amostra. As pressões de expansão causam a separação das partículas (dispersão).

## 2.6 Mecânica das rochas

O material consolidado, encontrado em superfície (aflorante) ou subsuperfície (não aflorante) é chamado de rocha.

Para os profissionais da geologia a designação “rocha” tem relação com a gênese do material e pode ser ígnea, metamórfica ou sedimentar (Teixeira *et al*, 2000). Para os profissionais da engenharia o termo “rocha” define-se pela escavabilidade e pela resistência a compressão do material (Bell, 1993).

Ou seja, enquanto os profissionais da geologia preocupam-se com a descrição genética e petrográfica do material, os da engenharia preocupam-se com o estado de tensão e o comportamento mecânico do mesmo frente a escavações, perfurações, capacidade de suporte, percolação de fluidos, entre outras.

Barton *et al* (1974), criou uma classificação chamada Q analisando os parâmetros: RQD (*Rock Quality Designation*), número de famílias, rugosidade e alteração das descontinuidades e influência da água subterrânea.

Bieniawski (1989), criou uma outra classificação chamada RMR (*Rock Mass Rating*) analisando os parâmetros: resistência à compressão, RQD, água subterrânea, espaçamento, abertura e alteração das fraturas e SRF (*Stress Reduction Factor*)

Ambas as classificações Q e RMR correlacionam-se, pois baseiam-se em informações análogas. Essas classificações têm sido muito usadas no planejamento e mesmo no projeto de

barragens (Bieniawski e Orr, 1976), escavações (Abdullatif e Cruden, 1983), entre outras necessidades da engenharia (Bieniawski, 1979).

## **2.7 Geologia de engenharia**

As técnicas e conhecimentos oriundos da geologia, quando usados na prática da engenharia assumem a denominação de geologia de engenharia, ou geologia aplicada, ou mesmo geologia ambiental (Leinz e Amaral, 1966).

Portanto a engenharia, segundo as necessidades do planejamento ou projeto de obras ou usos, faz uso dos modelos, técnicas, equipamentos e profissionais, enfim faz uso do conhecimento geológico a respeito de área em questão.

Junto com a mecânica dos solos e das rochas, compõe a geotecnia, que é uma área de atuação em conjunto do geólogo e dos engenheiros civil, de minas, geólogo, agrimensor, entre outros.

A geologia de engenharia é uma ciência exata, pois se baseia em lógica e raciocínios dedutivos, indutivos e experimentais. Basear em raciocínios indutivos na elaboração de modelos de eventos naturais ou induzidos e depende também da acuidade do profissional (Ruiz e Guidicini, 1998).

A prática da geologia de engenharia deve conduzir à interpretação do comportamento do meio físico, frente as solicitações impostas pelo homem (obras e usos). Portanto é essencial na concepção de projetos tecnicamente e ambientalmente adequados (Ruiz e Guidicini, 1998).

## **2.8 Sensoriamento remoto**

Sensoriamento remoto é a forma de obter informação de algum objeto sem que haja contato físico com o mesmo. É o nome dado a observação da superfície terrestre por sensores aéreos ou orbitais.

O imageamento dá-se por sensores fotográficos ou não fotográficos (varredura), ativos ou passivos. Os ativos de varredura são os radares ou *lasers* (SRTM e Radarsat) e os passivos de varredura são os ópticos (ETM+/Landsat-7 e CCD/CBERS-2).

Na escolha das imagens de satélite, deve-se observar as características dos sensores orbitais ópticos que as produzem, dentre as quais destaca-se as 4 resoluções da imagem. A seguir elas são descritas e exemplificadas, partindo do exposto por Moreira (2001).

- Resolução Espacial  $\Rightarrow$  é o conteúdo de informação contida em uma unidade de mapeamento em metros. É também a menor porção identificável do terreno na imagem, em metros. Tradicionalmente conhecida como a mínima distância entre dois objetos que um sensor consegue distinguir no terreno. A escolha da resolução espacial tem relação direta com a escala de trabalho e o nível de detalhe exigido (ex: ETM/Landsat-7, banda Pan, possui resolução espacial de 15 metros);

- Resolução Espectral  $\Rightarrow$  relaciona-se com a quantidade de bandas (faixas) e a região do espectro eletromagnético em que o sensor capta informação. Existem sensores do tipo pancromático (uma banda, ex. HRVIR/Spot-4 pan), multiespectral (diversas bandas, ex: ETM/Landsat-7, com 8 bandas) e hiperespectral (dezenas ou centenas de bandas, ex: AVIRIS – *Airborne Visible Infrared Imaging Spectrometer*). Quanto à região do espectro eletromagnético em que é obtida a imagem de satélite, considera-se as faixas de (a) microondas, com comprimentos de onda da ordem de centímetros, onde operam os radares, (b) ópticos, com comprimentos de onda nas faixas do visível (0,4 a 0,7 $\mu$ m) e do infravermelho (0,7 a 12 $\mu$ m), onde operam a maioria dos sensores.

- Resolução Radiométrica  $\Rightarrow$  é a quantização em *bits*, ou níveis de intensidade do sinal eletromagnético identificáveis pelo sensor. A maioria opera em 8 *bits* (ex: ETM+, CCD), ou seja, uma escala de 256 níveis de intensidade. Na imagem isso resultará em uma escala de 256 tons de cinza, desde 0 (preto) até 255 (branco);

- Resolução Temporal  $\Rightarrow$  é o intervalo de tempo entre passagens consecutivas do satélite pelo mesmo ponto da Terra (ex: ETM+ é de 16 dias). Importante para acompanhamento de fenômenos dinâmicos da cobertura terrestre, como o uso e cobertura, queimadas, entre outros.

Além das resoluções dos sensores, ressalta-se a importância da época (mês) de aquisição da imagem, que certamente trará implicações sobre a cobertura de nuvens, o azimute e o ângulo de elevação solar (Rodrigues e Liu, 1991).

Propostas de utilização de sensoriamento remoto na abordagem de problemas relacionados à engenharia são encontrados em Kennie e Mathews (1985), Singhroy (1986), Elifrits e Hatheway (1986), Maillard e Cavayas (1989), Fiset *et al* (1998), Penido (1998) e Caetano (2002).

A Tabela 4 fornece algumas características técnicas sobre o ETM+/Landsat-7 e a Tabela 5 fornece algumas características técnicas sobre o CCD/CBERS-2.

Tabela 4 – Informações técnicas do ETM+/Landsat-7.

		<b>Resolução Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolução Radiométrica (bits)</b>	<b>Resolução Temporal (dias)</b>	<b>Resolução Espacial (metros)</b>
<b>Faixa do Espectro<sup>1</sup></b>	<b>B</b>	0,45-0,52	8	16	30
	<b>G</b>	0,52-0,60	8	16	30
	<b>R</b>	0,63-0,69	8	16	30
	<b>NIR</b>	0,76-0,90	8	16	30
	<b>SWIR</b>	1,55-1,75	8	16	30
	<b>SWIR</b>	2,08-2,35	8	16	30
	<b>TIR</b>	10,4-12,5	8 ou 9	16	60
	<b>Pan</b>	0,50-0,90	8	16	15

Tabela 5 - Informações técnicas do CCD/CBERS-2.

		<b>Resolução Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>Resolução Radiométrica (bits)</b>	<b>Resolução Temporal (dias)</b>	<b>Resolução Espacial (metros)</b>
<b>Faixa do Espectro</b>	<b>B</b>	0,45-0,52	8	26	20
	<b>G</b>	0,52-0,59	8	26	20
	<b>R</b>	0,63-0,69	8	26	20
	<b>NIR</b>	0,77-0,89	8	26	20
	<b>Pan</b>	0,51-0,73	8	26	20

Dependendo do comprimento de onda, a luz reflete, é absorvida ou emitida pelos alvos, na superfície terrestre, de maneira diferente. Desse modo, para se estudar diferentes alvos, deve-se conhecer como eles se comportam ao longo do espectro magnético. A Figura 3 apresenta o comportamento espectral<sup>2</sup> de alguns alvos encontrados na superfície da Terra.

Em cada faixa do espectro eletromagnético há o destaque de alguns alvos em relação aos outros. A seguir são apresentados as principais faixas do espectro e os alvos que são mais facilmente identificados (Moreira, 2001).

<sup>1</sup> B - azul; G - verde; R - vermelho; NIR - infravermelho próximo; SWIR - infravermelho médio; TIR - infravermelho termal; Pan - pancromática (abreviaturas em língua inglesa).

<sup>2</sup> Comportamento espectral é a propriedade de um alvo em refletir determinados comprimentos de onda da luz. É representado pela relação entre a reflectância do alvo e o comprimento de onda da luz (Mather, 1999).

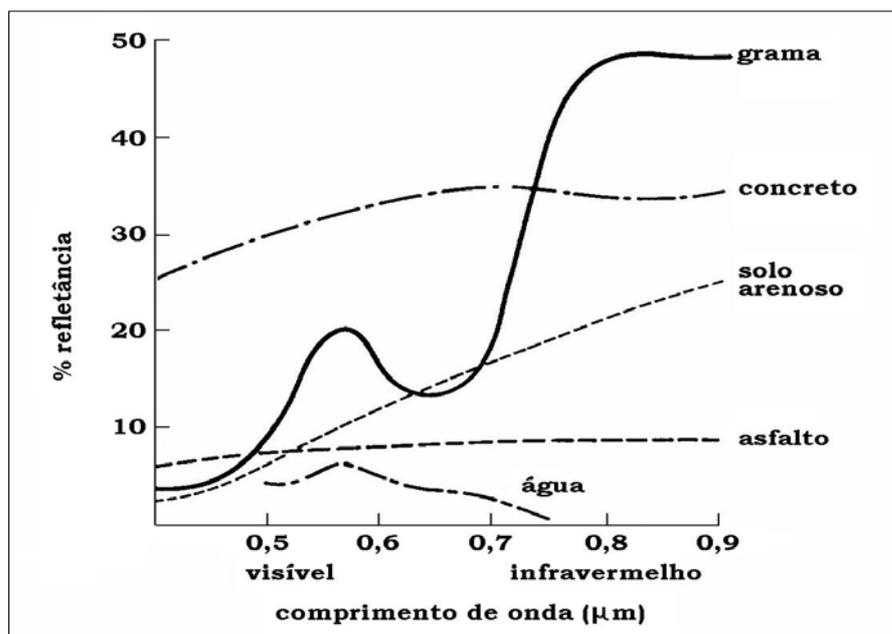


Figura 3 - Comportamento espectral de alguns alvos, adaptada de Kennie e Matthews (1985).

- Azul (0,4 a 0,5μm) ⇒ apresenta grande penetração em corpos d'água, sendo particularmente interessante para estudos de estimação da profundidade em corpos d'água. Permite detalhar a turbidez da água e o traçado de correntes em corpos d'água. Adequada para mapeamento de águas costeiras. Tem muita sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial.

- Verde (0,5 a 0,6μm) ⇒ apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão na água, sendo utilizada para estudos de qualidade da água e mapeamento de correntes em corpos d'água. Adequada para mapeamento de vegetação e áreas onde ocorrem atividades antrópicas.

- Vermelho (0,6 a 0,7μm) ⇒ apresenta contraste entre áreas cobertas com vegetação e solo exposto, bem como discrimina diversos tipos de vegetação. É a banda mais utilizada para delimitação de áreas urbanas e identificação de sistemas viários. É também adequada para mapeamentos de uso da terra e estudos de qualidade da água.

- Infravermelho Próximo (0,7 a 1,2μm) ⇒ apresenta contraste entre solo exposto e corpos d'água, permitindo o mapeamento de rios de médio e grande porte, lagos, lagoas, reservatórios e áreas úmidas. Muito utilizada para mapeamentos de geologia e fisiografia, devido à percepção de relevo. Também usado para mapear a vegetação que foi queimada e permite ainda a visualização de áreas ocupadas por macrófitas aquáticas (aguapé). Muito sensível à absorção da radiação por óxidos de ferro e titânio, que são comuns nas coberturas de alteração intempérica tropicais, os quais sofreram forte intemperismo.

- Infravermelho Médio (1,2 a 3,5 $\mu$ m)  $\Rightarrow$  permite observar o teor de umidade nas plantas e detectar uma possível deficiência hídrica na vegetação, causada por falta d'água. Utilizada para obter informações sobre a umidade da cobertura de alteração intempérica superficial, podendo sofrer perturbações se ocorrerem chuvas pouco antes da cena ser imageada pelo satélite. Também muito utilizada para verificação do relevo, em áreas montanhosas, com solo nu ou vegetação esparsa.

- Infravermelho Termal (9 a 12 $\mu$ m)  $\Rightarrow$  também chamado de infravermelho distante, capta a radiação emitida pelos corpos, portanto tem ligação direta com a temperatura dos mesmos. Utilizada portanto para se obter a temperatura aproximada de oceanos e outros corpos d'água, áreas urbanas e na delimitação de matas em processo de queimada. A informação é perturbada após períodos de chuvas.

Em qualquer uma das faixas do espectro descritas acima, a presença de nuvens impossibilita ou dificulta a análise. Assim como uma imagem com muita sombra (baixo ângulo de elevação solar), prejudica a interpretação do uso e cobertura da terra, mas auxilia na interpretação geológica. Desse modo, para cada interesse específico, há um produto ou passagem mais adequada.

Zuquette e Nakasawa (1998), propuseram que para estudos de planejamento e viabilidade, as cartas podem ser apresentadas na escala 1:50.000. Portanto compatível com a resolução espacial das imagens de satélites disponíveis no mercado.

A Tabela 6 apresenta uma breve comparação entre as características de imagens de sensores remotos orbitais e fotos aéreas.

Tabela 6 – Comparação entre imagens de satélites e fotos aéreas

<b>Imagens ETM+/Landsat7 e CCD/CBERS-2</b>	<b>Fotos Aéreas</b>
Baixa resolução espacial	Alta resolução espacial
Alta precisão cartográfica	Média precisão cartográfica
-	Problemas em áreas de grande variação altimétrica
-	Deformação das bordas
Escala fixa em toda cena	Escala variável na mesma cena
-	Estereoscopia
Pouco espaço em ambiente digital	Muito espaço em ambiente digital
Fácil manipulação em SIG	Avançada manipulação em SIG
Baixo custo relativo	Alto custo relativo
Obtenção das imagens em curto prazo	Obtenção das fotos aéreas é demorada
Possibilidade de escolha da data da cena	-
Várias cenas disponíveis	-
Grande área coberta pela cena	Pequena área coberta pela cena (mosaicos)

## 2.9 Sistema de informações geográficas (SIG)

Burrough (1986), definiu um SIG como sendo “um conjunto de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e apresentar dados espaciais do mundo real”.

Logo após, Cowen (1988) definiu um SIG como sendo “um sistema de suporte a decisão que envolve dados referenciados espacialmente para resolver um problema ambiental”.

Desde os primórdios, os mapas sempre foram cartografados de maneira analógica (em papel). Para representar estes mapas em meio digital, as áreas da ciência que elaboram e se utilizam deste material (Geografia, Geologia, Engenharia, Cartografia, Agrimensura, Geodésica, entre outras) encontravam-se diante de um desafio, para desenvolver um conjunto de ferramentas computacionais que, de forma segura e precisa, gravasse e representasse a localidade e as características dos fenômenos naturais e antrópicos.

A Tabela 7 apresenta uma breve comparação entre a cartografia de informações do meio físico em papel (forma analógica) e em meio digital (inseridas em um SIG).

Tabela 7 - Comparação entre informações analógicas e digitais.

<b>Informações em Formato Analógico</b>	<b>Informações em Formato Digital em um SIG</b>
Baixa resistência do material (papel)	Material dificilmente se degrada (CD)
Dificuldade de intercâmbio	Intercâmbio via rede interna ou <i>internet</i>
Difícil atualização	Atualização disponível em tempo real
Grande demanda de tempo na confecção	Agilidade na confecção dos mapas
Deformação das dimensões dos mapas	-
-	Recuperação dos dados em computador
Dificuldade de reprodução	Facilidade de reprodução
-	Associação de banco de dados multimídia ao mapa

Os SIG nasceram a partir da necessidade da cartografia computadorizada, ou seja, um sistema computacional que suportasse o arranjo de informações em uma base cartográfica. Isso tornou-se possível e acessível, devido à evolução dos *softwares* e *hardwares* disponíveis para os usuários de computadores pessoais.

Frente à demanda para cartografar diversos tipos de mapas (temáticos, cadastrais, topográficos, entre outros), elaborou-se o modo digital como uma forma complementar ao tradicional em papel para realizar seu transporte, cópia, atualização, modificação, tratamento e comparação.

Pode-se dizer que o SIG executa as mesmas funções que um CAD. O ganho no sistema CAD é a agilidade na digitalização e edição de vetores. Enquanto que o ganho no SIG é o suporte de vários formatos (matriz, vetor, tabela), onde todos podem estar relacionados e georreferenciados.

Em um SIG há a opção de sobrepor planos de informação e trabalhar com diferentes representações computacionais como imagens (*pixel*), temáticas (vetorial e classes), numéricas (matriz), redes (topologia arco-nó) e cadastrais (vetorial e objetos) sobrepostas e georreferenciadas<sup>3</sup> (Câmara *et al*, 2004a). Ainda há a opção de converter um plano de informação temático (vetores) em um numérico (matriz) e vice-versa.

Através do SIG, pode-se realizar interpolações estatísticas de dados (Camargo *et al*, 2004), álgebra de mapas (Câmara *et al*, 2004b), operações de processamento de imagens (Mather, 1999), análise espacial de fenômenos (Câmara *et al*, 2004c) e manter relações de topologia (vizinhos).

Dentre tantas outras aplicações dos SIG, Burrough e McDonnell (1998) citaram: “A necessidade de dados e análises espaciais não estavam restritas a cientistas da terra (...) engenheiros civis necessitavam planejar traçados de estradas e canais, estimar o custo destas construções, incluindo volumes de cortes e aterros...”.

Câmara e Davis (2004) citaram três principais maneiras de operar-se um SIG:

- 1) Como ferramenta para produção de mapas;
- 2) Como suporte para análise espacial de fenômenos;
- 3) Como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação de informações espaciais.

Medeiros e Câmara (2004) alertaram para que os estudos ambientais fossem realizados por uma equipe multidisciplinar. Pois, não é possível compreender o que ocorre na natureza,

---

<sup>3</sup> Georreferenciado é quando um mapa está registrado em uma determinada projeção cartográfica, por exemplo na Universal Transversa de Mercator (UTM), Córrego Alegre - MG.

sem investigar todos os processos envolvidos. Dessa maneira é necessária uma ferramenta com a qual possa-se visualizar, de modo rápido e integrado, todas estas informações e que auxilie na análise das mesmas. Essa ferramenta disponível na atualidade é o SIG.

## **2.10 Planejamento de obras**

A resolução SMA 50, de 25 de julho de 1997 define que as áreas de interesse ambiental (AIA) são prioritárias para a proteção e a manutenção do ambiente e as lista. Nessas áreas são proibidas ou restringidas ações como: indústrias, obras de terraplenagem, abertura de canais, escavações e grandes obras de urbanização, atividades geradoras de erosão ou assoreamento, atividades que ameacem as espécies animais e/ou vegetais ou que ameacem as nascentes d'água.

O código florestal define áreas como de preservação permanente as margens dos rios e planícies associadas e os topos dos morros (lei 4.771 de 15 de setembro de 1965, lei 7.803 de 18 de julho de 1989 e resolução COMANA 4 de 18 de setembro de 1985), além da própria mata atlântica (IBAMA nº 18 de 04 de maio de 1976)

Também são áreas protegidas os parques, as áreas de proteção ambiental (APA) e áreas tombadas (resolução nº40 de 06 de junho de 1985 e artigos 196 e 197 da constituição estadual)

A resolução SMA 42, de 29 de dezembro de 1994, determina que para obras em geral (mais especificamente para sistemas de transporte rodoviário, de drenagem e de tratamento e disposição final de resíduos), deve ser elaborado um Diagnóstico Ambiental Preliminar, que consiste em caracterizar e mapear a área de influência do empreendimento, o uso e ocupação da terra, a vegetação e a susceptibilidade a processos de dinâmica superficial, visando identificar conflitos no uso do terra e da água, remoção da cobertura vegetal, alteração do regime hídrico e da dinâmica superficial.

No planejamento de obras a SMA 42, de 29 de dezembro de 1994, também prevê a classificação, caracterização e vazão dos principais corpos d'água (decreto estadual 10.755, de 22 de novembro de 1977), além do clima (pluviosidade, vento).

Abrão e Oliveira (1998), Francis e Rocha (1998), Mello e Ponçano (1998), Stein e Giraldo (1998), Nogueira Jr. e Marques (1998), Tressoldi e Consoni (1998), Carvalho e Prandini (1998), Redaelli e Corello (1998), Frazão e Paraguassu (1998), Marques Filho e Geraldo (1998), Abrahão e Velloso (1998) e Rodrigues e Lopes (1998), compilados em Oliveira e Brito (1998), além de Zuquette (1993), Guimarães (1997), Penido (1998) e DNER

(2004) relacionam as propriedades dos materiais e as condicionantes do meio físico que devem ser estudadas para planejamento de linhas de transmissão, dutovias, obras subterrâneas, obras marítimas e costeiras, canais e hidrovias, disposição de resíduos, expansão urbana, escavações, estabilidade dos taludes de corte, aproveitamento dos materiais rochosos para construção civil, barragens e reservatórios, fundações e rodovias, além da atividade de mineração, que se relaciona com obras de escavação, terraplenagem, pavimentação, fundações e drenagem. São elas:

a) Quanto ao material inconsolidado: Gênese (tálus, colúvio, elúvio, dunas, alteração), descrição, distribuição, espessura, perfil de alteração, presença de matacões e de minerais expansivos, compressibilidade, erodibilidade, sedimentologia, resistência mecânica (coesão e ângulo de atrito), permeabilidade, pH, resistividade, colapsividade, expansibilidade, capacidade de troca de cátions (CTC), porcentagem de matéria orgânica, geoquímica (óxidos, hidróxidos, fosfatos, carbonatos), mineralogia, granulometria, índices físicos (de vazios, porosidade, densidade, umidade natural), absorção d'água, limites de liquidez e de plasticidade, deformabilidade (E), compactação, CBR, abrasão Los Angeles e adensamento.

b) Quanto ao material rochoso: Descrição, litologia, distribuição, profundidade, composição, origem, metamorfismo, estratigrafia, tectônica, geoquímica, estruturas (fraturas, acamamento, estratificação, dobras e foliação), resistência mecânica (tração, compressão, flexão, cisalhamento e abrasão), ocorrência de veios e intrusões, densidade, classificação geomecânica, presença de minerais expansivos, porosidade, escavabilidade, plasticidade, coesão, ângulo de atrito, permeabilidade, fraturas (direção, mergulho, intemperismo, água, espaçamento, abertura e preenchimento), sismicidade, dureza, tenacidade, perfurabilidade, velocidade de propagação de ondas sônicas longitudinais, impedância, empolamento, *Rock Quality Designation* (RQD), mineralogia, granulometria, absorção d'água, reatividade potencial, abrasão Los Angeles, esmagamento, dilatação térmica linear, deformabilidade ( $\epsilon$ ) do maciço, alterabilidade e grau de alteração. Além de contatos litológicos, estruturas e falhas regionais (fotointerpretação), heterogeneidades, zonas de cisalhamento, zonas cársticas e de subsidência.

c) Quanto à presença de água: Corpos d'água (número e largura) e dinâmica da água superficial (velocidade, vazão, declividade, profundidade, cota e largura máxima dos corpos d'água, rugosidade do canal, tempo de concentração e coeficiente de deflúvio), água subterrânea (N.A. e sua variação, carga, gradiente e condutividade hidráulicas, permeabilidade, transmissividade, coeficientes de armazenamento, velocidade e direção do

fluxo), hidrogeologia e profundidade marinha. Além de identificação de zonas de recarga e distribuição de aquíferos, dispersão, retardamento e geoquímica.

d) Quanto ao relevo: Altimetria, declividade, fisiografia (serras, planícies de inundação e escarpas), fisiografia da costa e do oceano e geomorfologia.

e) Quanto ao clima: Precipitação (distribuição, intensidade e quantidade), temperatura, ventos e dinâmica das ondas.

f) Quanto aos processos do meio físico: Susceptibilidade a movimentos de massa (rastejo, corridas, queda de blocos e deslizamentos), instabilidades ou deslocamentos intoleráveis, fluxo de água, pressão alta e umidade, gases ou águas agressivas, expansão, oxidação de sulfetos e formação de gases letais, alta temperatura e águas termais, inundação, erosão, subsidência, assoreamento, estabilidade de taludes, escavabilidade, empastilhamento, presença de matacões ou laterita e materiais de construção (saibro, cascalho, areia, pedra).

g) Quanto aos aspectos sócio-econômicos: Uso e cobertura da terra (vegetação, cursos d'água, lagos, áreas urbanas) e áreas de uso restrito.

Para o planejamento das obras e atividades humanas citadas acima, observa-se que algumas propriedades dos materiais e condicionantes do meio físico são comuns a maioria delas. Portanto em um trabalho de mapeamento, deseja-se identificar e caracterizar justamente essas propriedades e condicionantes, são elas:

- Quanto ao material inconsolidado: Gênese (tálus, colúvio, elúvio, dunas, alteração), descrição, distribuição, espessura, presença de matacões e de minerais expansivos, erodibilidade, resistência mecânica, mineralogia, granulometria, índices físicos (de vazios, porosidade, densidade, umidade natural), limites de liquidez e de plasticidade.
- Quanto ao material rochoso: Descrição, litologia, distribuição, profundidade, origem, tectônica, estruturas (fraturas, acamamento, estratificação, dobras e foliação), resistência à compressão, densidade, classificação geomecânica, escavabilidade, fraturas (direção, mergulho, intemperismo, água, espaçamento, abertura e preenchimento), *Rock Quality Designation* (RQD), deformabilidade ( $\epsilon$ ) do maciço, alterabilidade e grau de alteração. Além de contatos litológicos, estruturas e falhas regionais (fotointerpretação), zonas de cisalhamento, zonas cársticas e de subsidência.
- Quanto à presença de água: Corpos d'água (número e largura), água subterrânea (N.A. e sua variação, permeabilidade e direção do fluxo). Identificação de zonas de recarga e distribuição de aquíferos.

- Quanto ao relevo: Altimetria, declividade, fisiografia (serras, planícies de inundação e escarpas) e geomorfologia.
- Quanto ao clima: Precipitação (distribuição, intensidade e quantidade), temperatura.
- Quanto aos processos do meio físico: Susceptibilidade a movimentos de massa (rastejo, corridas, queda de blocos e deslizamentos), fluxo de água, expansão, inundação, erosão, subsidência, assoreamento, estabilidade de taludes, escavabilidade, empastilhamento, presença de matacões ou laterita.
- Quanto aos aspectos sócio-econômicos: Uso e cobertura da terra (vegetação, cursos d'água, lagos, áreas urbanas) e áreas de uso restrito.

## 2.11 Uso e cobertura da terra

Pereira *et al* (1988) realizaram um mapeamento do uso e cobertura da terra no município de São José dos Campos – SP, utilizando imagens TM/Landsat-5. Com estes conhecimentos, Pereira *et al* (1989) propuseram um sistema de classificação do uso e cobertura da terra.

O presente trabalho emprega este sistema de classificação para mapeamento do uso e cobertura da terra, incluindo também os processamentos digitais nas imagens de satélite propostos por Pereira *et al* (1994).

O sistema de classificação do uso e cobertura da terra, como proposto por Pereira *et al* (1989), é apresentado no item 4.2 deste trabalho. Os processamentos digitais propostos por Pereira *et al* (1994) são: registro da imagem em um sistema cartográfico de referência (georreferenciamento), segmentação e classificação. Compara-se a imagem classificada automaticamente com as imagens originais, contrastadas, e após a verificação em campo, realiza-se o mapeamento do uso e cobertura da terra final.

Penido (1998), também utilizou o sistema de classificação do uso e cobertura da terra proposta por Pereira *et al* (1989), a fim de identificar as áreas mais adequadas para construção do trecho oeste do rodoanel, na grande São Paulo.

Para o planejamento de rodovias, o uso e a cobertura da terra, são um fator importante, principalmente quando o traçado deseja atender a interesses regionais sócio-econômicos. Assim sendo, alguns tipos de uso e cobertura da terra devem ser evitados, como as matas densas, as áreas densamente urbanizadas e as pedreiras.

## 2.12 Áreas de uso restrito

Além das margens de corpos d'água e os topos de morros, na área de estudo há apenas uma área de uso restrito: a “Estação Experimental Moji-Mirim”, também conhecida localmente como “horto” com 145,65ha, sob responsabilidade do Instituto Florestal do Estado de São Paulo.

A Figura 4 apresenta um esquema da área de estudo com as bandas 3, 4 e 2 do CCD/CBERS-2, com os filtros azul, verde e vermelho respectivamente e com a delimitação da Estação Experimental Moji-Mirim.

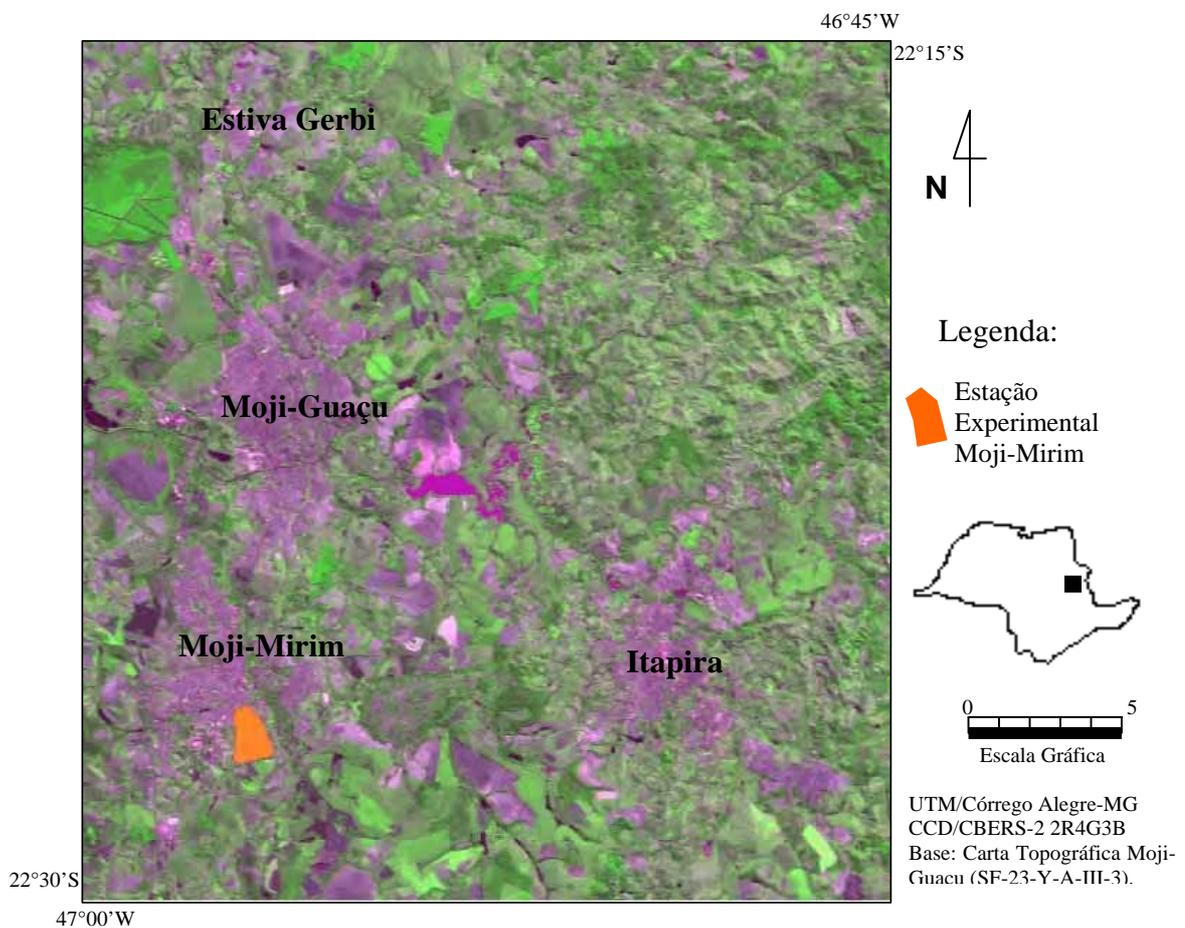


Figura 4 – Esquema da área de estudo com detalhe para a Estação Experimental Moji-Mirim.

No município de Moji-Guaçu, a oeste da área de estudo há a “Estação Experimental Fazenda Campininha” com 2.706,28ha e a “Estação Ecológica Moji-Guaçu” com 980,71ha, que também respondem ao Instituto Florestal. As finalidades destas áreas de uso restrito são a educação ambiental, a pesquisa e a produção de sementes e mudas.

As áreas de uso restrito foram obtidas junto ao Instituto Florestal da Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo diretamente no site [www.ambiente.sp.gov.br/apas/apas.htm](http://www.ambiente.sp.gov.br/apas/apas.htm).

Para um melhor entendimento das áreas protegidas por lei, a seguir são apresentados alguns conceitos e definições legais.

- Conceito de Unidade de Conservação (UC)

O conceito de conservação implica na interferência do homem para que os ecossistemas e/ou as espécies sobrevivam. A conservação vai além da criação de parques e áreas de proteção ambiental, pois pressupõe algum manejo (Miranda, 1995). De acordo com Silva e Fornasari Filho (1992), a conservação da natureza é realizada através do uso racional dos recursos e processos naturais, visando uma utilização contínua dos recursos renováveis (flora e fauna) e um rendimento máximo dos não renováveis (ar, água e material terroso).

- Conceito de Uso Sustentável

O termo uso sustentável vem do conceito de desenvolvimento sustentável, que pode ser entendido como a necessidade de se reduzir ao mínimo os danos aos ecossistemas e aos recursos naturais, atendendo simultaneamente às demandas atuais e à possível utilização desses recursos pelas gerações futuras (Mattos, 1996).

Nesta categoria de uso são proibidas ou restringidas ações como: indústrias, obras de terraplenagem, abertura de canais, escavações e grandes obras de urbanização, atividades geradoras de erosão ou assoreamento, atividades que ameacem as espécies animais e/ou vegetais ou que ameacem as nascentes d'água.

- Conceito de Proteção

O termo proteção implica na regulamentação das atividades do homem para que os ecossistemas naturais e as espécies vegetais e animais sofram um impacto mínimo (Miranda, 1995).

No entanto há casos particulares, onde faltam áreas propícias para implantação de obras/usos/serviços, nos quais são feitas concessões por parte da legislação, permitindo-se a atuação nestas áreas de proteção, logicamente com um controle ambiental e sócio-econômico apropriado, como apresentaram Ferreira (1993), Penido (1998), Ferreira *et al* (1999), Motta (1999) e Da-Ré e Arcari (1999).

### III PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS TESTADOS NA FOLHA MOJI-GUAÇU

Neste capítulo serão apresentados os procedimentos metodológicos necessários ao planejamento de usos e obras de infra-estrutura. Estes procedimentos foram testados na área da carta topográfica IBGE, folha Moji-Guaçu (SF-23-Y-A-III-3), escala 1:50.000.

Os procedimentos metodológicos e a aplicação dos mesmos na folha topográfica Moji-Guaçu são apresentados conjuntamente, teoria aliada à prática.

As etapas do procedimento metodológico, necessárias ao planejamento de usos e obras de infra-estrutura, são esquematizadas no diagrama de fluxo de trabalho (DFT) apresentado na Figura 5, e serão descritas a seguir.

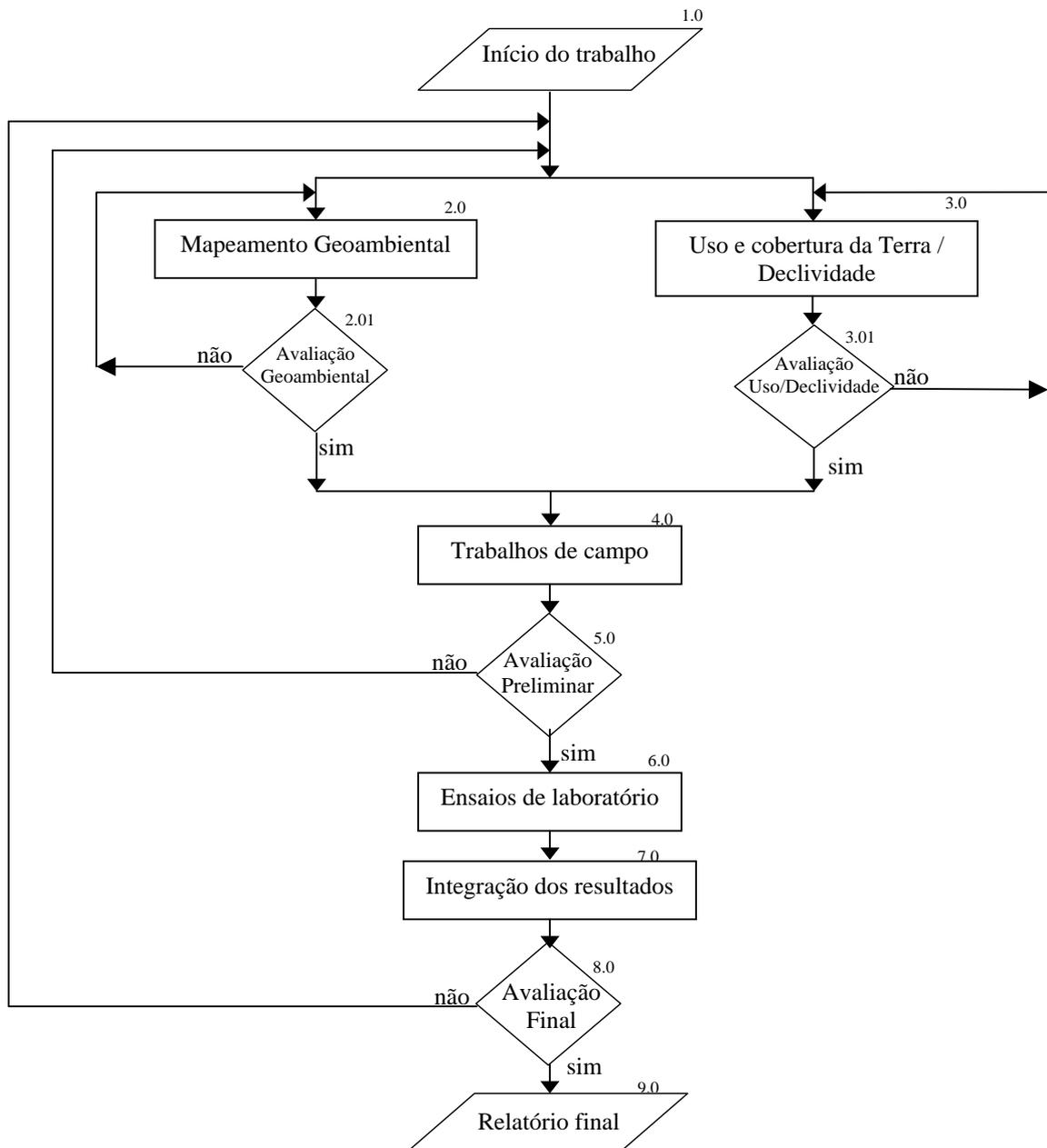


Figura 5 – Diagrama geral de fluxo de trabalho

## 1.0 INÍCIO DO TRABALHO

Nesta fase inicial deve-se estabelecer as hipóteses de trabalho, definir os objetivos e metas, ajustar o cronograma de trabalho, listar os materiais necessários à realização do mesmo e definir os resultados esperados.

## 2.0 MAPEAMENTO GEOAMBIENTAL

São necessários três passos principais para realização do mapeamento geoambiental de uma área: (1) caracterização das unidades geoambientais, (2) das morfoestruturas e (3) do fraturamento.

Essas etapas são detalhadas e esquematizadas no diagrama de fluxo de trabalho (DFT) apresentado na Figura 6, e serão descritas a seguir.

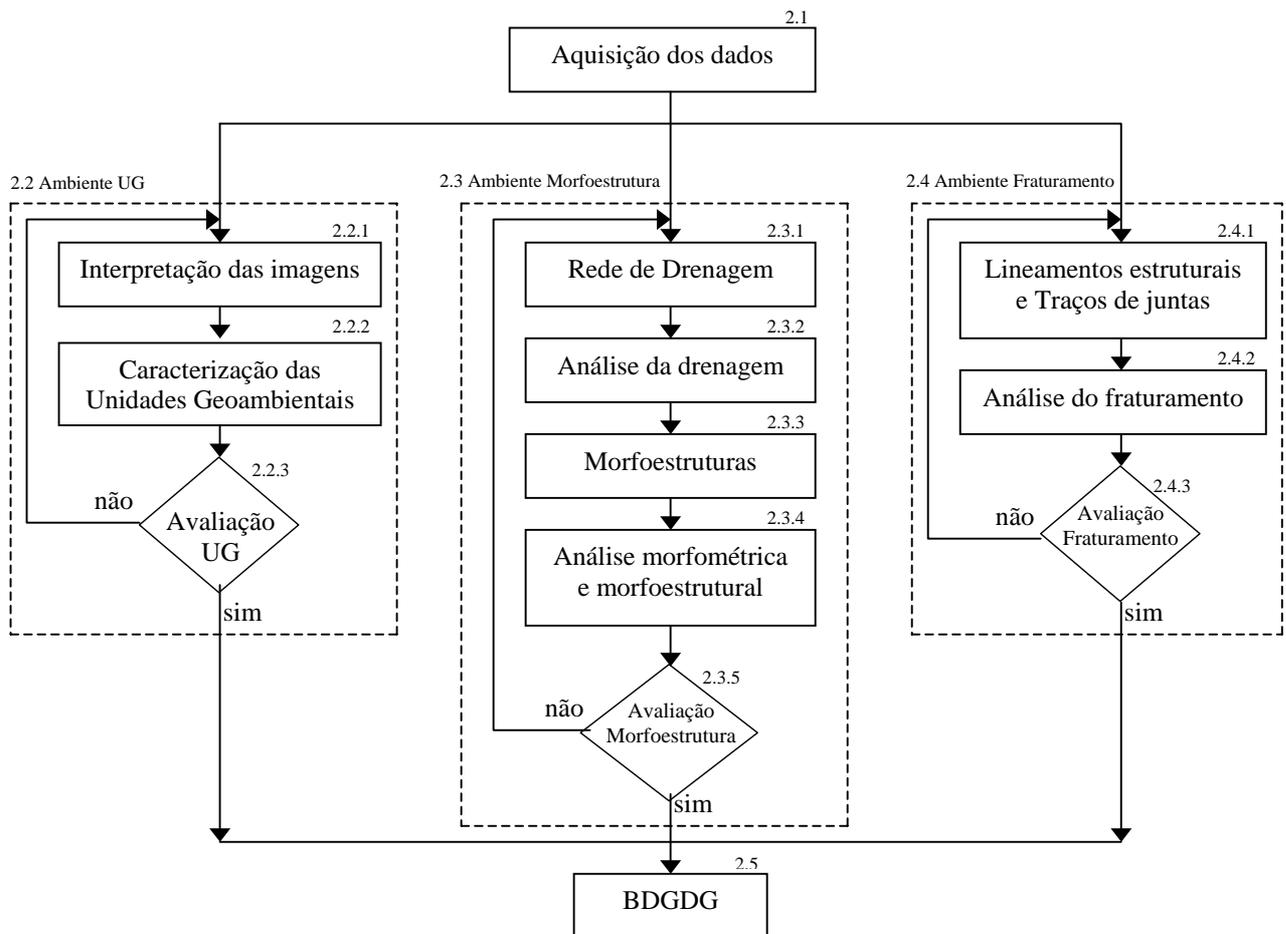


Figura 6 – Diagrama de fluxo de trabalho para o mapeamento geoambiental.

## 2.1 Aquisição de dados

Foram reunidos os materiais básicos para as análises:

a) Carta topográfica IBGE, na escala 1:50.000, folha Moji-Guaçu, nos formatos analógica (papel) e digital (matriz e vetor). Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), datum vertical: marégrafo Imbituba-SC e datum horizontal Córrego Alegre-MG.

b) Imagem ETM+/Landsat-7, órbita 219, ponto 76, de 21/06/2000, na projeção UTM/SAD-69, bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7 e Pan, em formato digital (matriz), adquirida via *internet*. As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do ETM+/Landsat-7 foram adquiridas com *pixel* de 25m e a banda Pan, com *pixel* de 12,5m.

c) Imagem CCD/CBERS-2, órbita 155, ponto 125, de 24/07/04, na projeção UTM/SAD-69, bandas 1, 2, 3 e 4, em formato digital (matriz). Estas imagens foram adquiridas via *internet* com *pixel* de 20m.

## 2.2 Ambiente UG

No ambiente UG serão apresentados os procedimentos para interpretação das imagens do ETM+/Landsat-7, para a caracterização das unidades geoambientais (UG) e a respectiva avaliação.

### 2.2.1 Interpretação de imagens

A interpretação das imagens orbitais para a caracterização do meio físico, também denominada de fotointerpretação, tem como base a análise de elementos de relevo e de drenagem, das formas resultantes e de suas propriedades. Esses elementos são analisados nas imagens a partir de suas características espectrais e radiométricas traduzidas pelo arranjo dos elementos texturais na forma de diferentes texturas.

O princípio metodológico da interpretação foi discutido nos itens 2.1.2 e 2.2.

A seqüência lógica de extração de dados (zonas homólogas) pelo método sistemático faz com que se analise na imagem as características de textura, estrutura e forma da feição, atribuindo-se a ela, na etapa de fotointerpretação, um significado de acordo com o objetivo da análise.

Assim busca-se identificar ou deduzir os materiais e os processos do meio físico presentes na área de estudo, alcançando após a fotointerpretação um diagnóstico do meio.

Este diagnóstico é a base dos estudos posteriores, como planejamento de obras, manutenção, ocupação ou conservação.

Para o presente, estabeleceu-se em ambiente digital a delimitação das zonas homólogas com base na textura, estrutura e forma dos elementos de relevo e drenagem (Rivereau, 1970). Foram definidos quatro intervalos de densidade de textura: baixo, moderado, alto e muito alto. Estes quatro intervalos foram definidos para a porção sedimentar (Figura 7), outros quatro para a porção metamórfica (Figura 8) e ainda outros quatro para a porção ígnea (Figura 9). Para os sedimentos inconsolidados de origem fluvio-lacustre presentes na área de estudo, adotou-se o termo “densidade textural nula”, pois apresentam-se sem pares “luz/sombra” nas imagens (Figura 10).

A Figura 7 apresenta, como exemplo, trechos da imagem do ETM+/Landsat-7, banda Pan, como exemplo das quatro densidades texturais adotadas para a porção sedimentar da área em estudo.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 7 – Densidades texturais adotadas para a porção sedimentar da área de estudo.

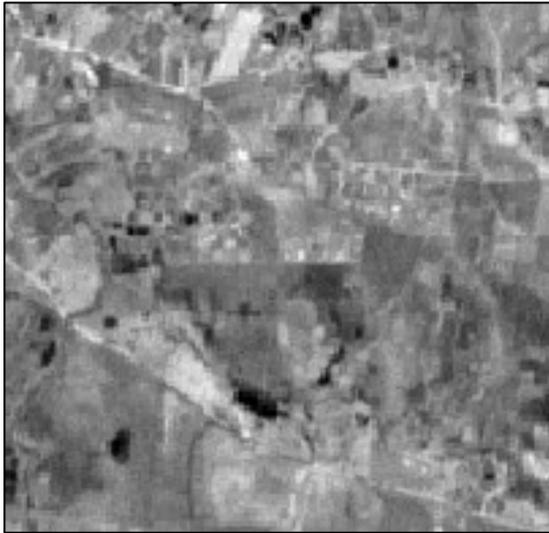
(a) Baixa

(b) Moderada

(c) Alta

(d) Muito Alta

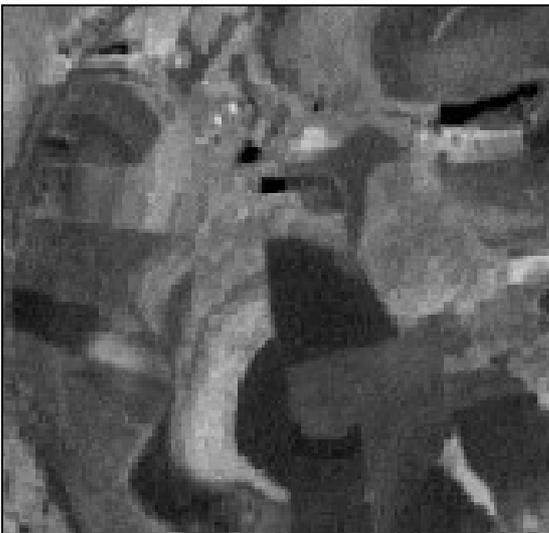
A Figura 8 apresenta, como exemplo, trechos da imagem do ETM+/Landsat-7, banda Pan, como exemplo das quatro densidades texturais adotadas para a porção ígnea da área em estudo.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 8 – Densidades texturais adotadas para a porção ígnea da área de estudo.  
(a) Baixa (b) Moderada (c) Alta (d) Muito Alta

A Figura 9 apresenta, como exemplo, trechos da imagem do ETM+/Landsat-7, banda Pan, como exemplo das quatro densidades texturais adotadas para a porção metamórfica da área em estudo.

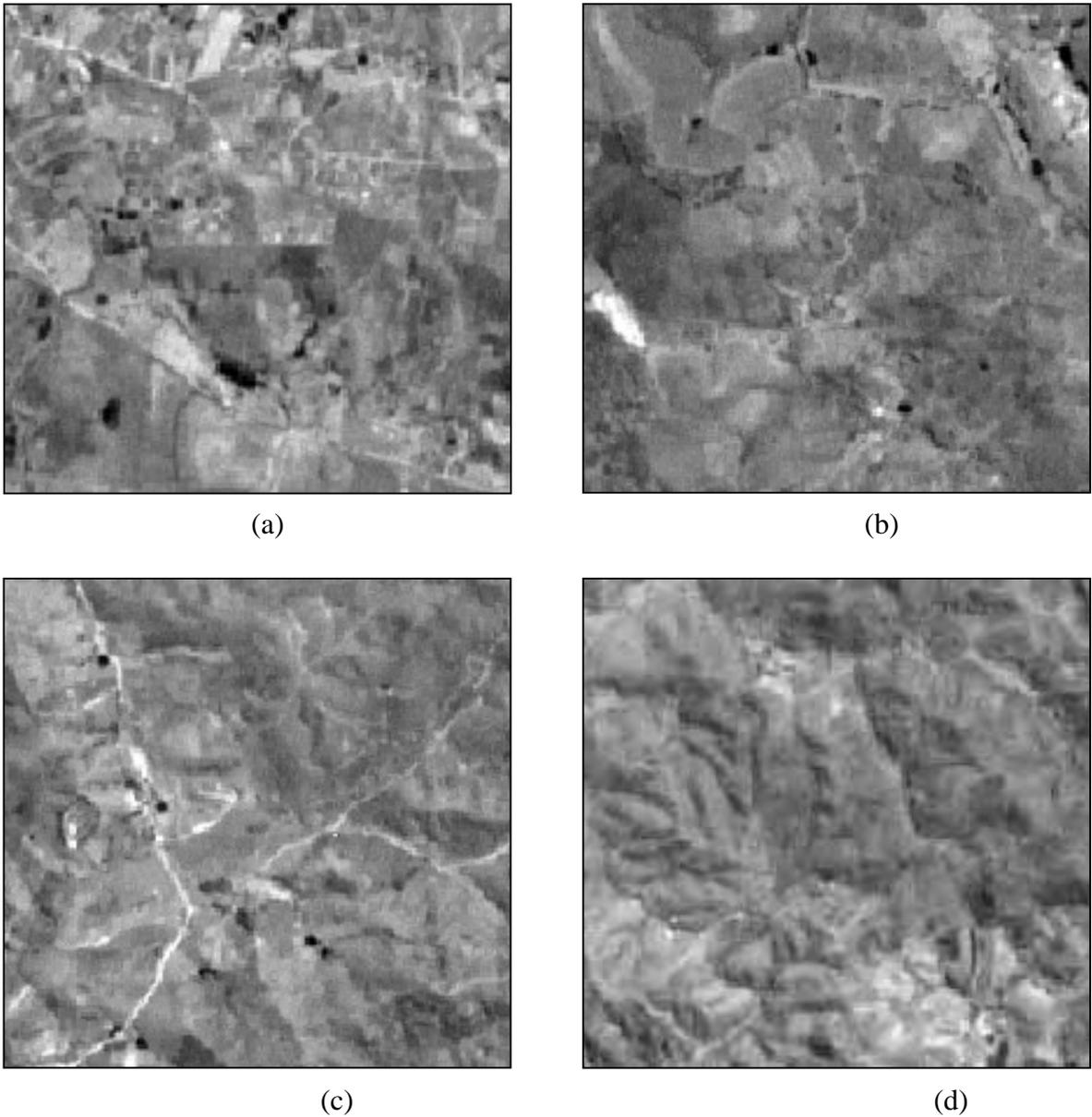


Figura 9 – Densidades texturais adotadas para a porção metamórfica da área de estudo.  
(a) Baixa (b) Moderada (c) Alta (d) Muito Alta

A Figura 10 apresenta, como exemplo, trechos da imagem do ETM+/Landsat-7, banda Pan, como exemplo da densidade textural adotada para a porção de sedimentos inconsolidados aluviais da área em estudo.

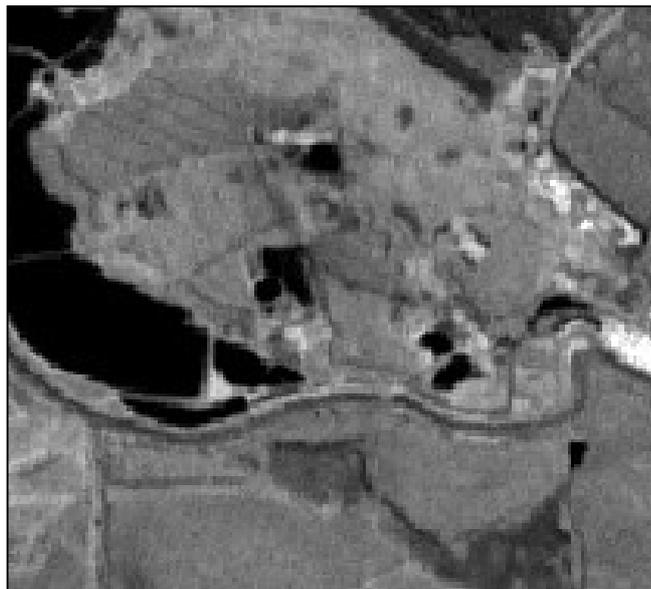


Figura 10 – Densidade textural adotada para a porção de sedimentos inconsolidados aluviais da área em estudo (densidade textural nula)

### 2.2.2 Unidades Geoambientais

O mapeamento geoambiental, nesse trabalho, contempla a análise, avaliação e a compartimentação do meio físico visando a identificação de unidades geoambientais (UG). Essas unidades são individualizadas com base na textura de imagem e, posteriormente é realizada uma equivalência com suas propriedades e fatores físicos. Estes são escolhidos previamente em função da necessidade de compartimentação.

Para o presente trabalho realizou-se o mapeamento geoambiental a partir da interpretação de imagens do ETM+/Landsat-7, banda Pan. Os limites das UGs identificadas na imagem foram traçados em ambiente digital em um SIG.

O produto do mapeamento geoambiental, o qual baseia-se na análise do arranjo textural de elementos de relevo e de drenagem, é a “carta de unidades geoambientais”, que por sua vez abarca informações morfogenéticas, litológicas e deformacionais.

Sendo assim, os limites entre as UGs podem ser por contatos entre litologias, por variação na cobertura de alteração intempérica (CAI), por estruturas geológicas ou por mudança na intensidade dos processos do meio físico (erosão, alteração, sedimentação) atuantes na área.

Portanto, os limites entre unidades geoambientais podem ser:

- Abruptos: quando há variação na textura da imagem e os limites são perfeitamente identificáveis. Por exemplo: quebras negativas ou positivas de relevo, fraturas e contatos litológicos.

- Graduais: variações de textura são sutis ou mesmo havendo grande variação na textura, esta se dá de forma gradual. Por exemplo: contato entre rochas sedimentares ou entre sedimentos não consolidados.

Vale ressaltar que qualquer uma dessas mudanças denota variações nos aspectos do relevo ou de drenagem e, portanto, na textura da imagem.

Tendo sido estabelecido o limite das UGs, para cada uma delas foram associadas 7 propriedades: Litotipo, Densidade Textural, Permeabilidade, Tropa, Alterabilidade, Plasticidade/Ruptibilidade e Assimetria de relevo.

As propriedades das unidades geoambientais são atribuídas conforme diversos aspectos da morfologia e morfometria da área. O procedimento para a realização da equivalência das propriedades às unidades geoambientais encontra-se em Mattos (2002).

A interpretação dos Litotipos e da Densidade Textural encontram-se nas Figuras 7, 8, 9 e 10. Já as Figuras 11, 12, 13, 15 e 16 apresentam um esquema da interpretação realizada na definição das propriedades Permeabilidade, Tropa, Alterabilidade, Plasticidade/Ruptibilidade e Assimetria de Relevo, respectivamente.

Os termos Permeabilidade, Tropa, Alterabilidade, Plasticidade/Ruptibilidade e Assimetria de Relevo, usados como propriedades das UG, foram inicialmente definidos por Soares *et al* (1978) e têm sido usados por diversos outros autores como Ohara (1995), Vedovello (2000), Rodrigues (2000), Cardoso (2002), Moreira (2003), Oliveira (2004) e Jiménez-Rueda *et al* (2005).

A propriedade Permeabilidade, ou qualidade de permeável, relaciona-se à capacidade de infiltração das águas precipitadas no terreno. A Permeabilidade deve-se principalmente à porosidade primária (intergranular) em materiais sedimentares e à porosidade secundária (fraturas), em materiais cristalinos (metamórficos ou ígneos).

Portanto em áreas de rochas sedimentares a análise baseia-se na densidade da rede de drenagem: quanto maior a densidade de drenagem menor a Permeabilidade. Já em áreas de rochas metamórficas e ígneas a análise baseia-se na densidade de traços de juntas (elementos de drenagem fortemente estruturados), quanto maior a densidade de traços de juntas maior a permeabilidade.

A Figura 11 apresenta um esquema da equivalência da Permeabilidade com as feições interpretadas na imagem (densidade de drenagem e traços de juntas). Petri (1972) já usava essa equivalência da drenagem com a Permeabilidade.

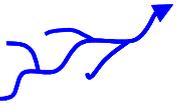
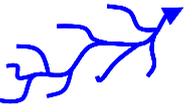
<b>Permeabilidade</b>	<b>Áreas Sedimentares Densidade de drenagem</b>	<b>Área Cristalinas Densidade de traços de juntas (Feições lineares de 1º ordem)</b>
Muito permeável	Muito baixa 	Muito alta 
Permeável	Baixa 	Alta 
Pouco permeável	Moderada 	Moderada 
Não permeável	Alta 	Baixa 

Figura 11 – Esquema da equivalência dos elementos de textura com a Permeabilidade, segundo Soares *et al* (1981).

A propriedade Tropa relaciona-se com a orientação ou não das formas de relevo e drenagem. Materiais ígneos são isotrópicos, portanto não apresentam orientação das formas de relevo e drenagem. Já materiais metamórficos são anisotrópicos devido a sua foliação, gnaissificação ou xistosidade, e apresentam drenagem e relevo alinhados. As rochas sedimentares apresentam tropia quando fraturadas. A anisotropia das formas pode também ser resultado de intenso fraturamento.

Desse modo, áreas de relevo com cristas alongadas de diversos tamanhos e drenagem unidirecional são classificadas como “muito orientada”. Áreas com pequenas lineações de relevo e drenagem bidirecional, com alta angularidade são classificadas como “orientadas”. Já áreas sem lineações de relevo e drenagem bidirecional com baixa angularidade são classificadas como “pouco orientadas”. E enfim, áreas com relevo isotrópico e drenagem dendrítica são classificadas como “não orientada”.

A Figura 12 apresenta um esquema da equivalência qualitativa da Tropa com as feições interpretadas na imagem (orientação das formas de relevo e drenagem).

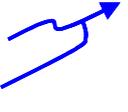
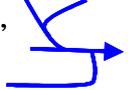
<b>Tropia</b>	<b>Relevo</b>	<b>Drenagem</b>
Muito Orientado (mO)	Cristas alongadas, pequenas a grandes 	Unidirecional 
Orientado (O)	Cristas alongadas, pequenas 	Bidirecional, alta angularidade 
Pouco Orientado (pO)	Cristas alongadas esparsas 	Bidirecional, baixa angularidade 
Não Orientado (nO)	Isotrópico	Mais de 2 direções, dendrítico 

Figura 12 – Esquema da equivalência dos elementos de textura com a Tropia, segundo Soares *et al* (1981).

A Alterabilidade, ou qualidade de alterável, dos maciços relaciona-se com a susceptibilidade do mesmo se alterar química e fisicamente sob a ação dos agentes intempéricos (clima, tempo, organismos).

Como o instrumento de análise é a imagem do objeto, obtida por sensores remotos orbitais, o que se observa não é a dinâmica, mas o resultado do processo de alteração ocorrido.

A classificação segundo a Alterabilidade versa sobre o domínio deste processo em relação à erosão, ou seja, em áreas onde predomina a Alterabilidade, a Resistência à Erosão é baixa, pois se forma um espesso manto de alteração intempérica.

Em contraponto, áreas onde há baixa Alterabilidade, a Resistência à Erosão é alta. Nesse caso praticamente não se formam coberturas de alteração intempérica, normalmente ocorrem litossolos.

Para classificação da Alterabilidade é observada a forma das encostas (Figura 13).

- Em encostas convexas a Alterabilidade é muito alta.
- Em encostas côncavo/convexas a Alterabilidade é alta.
- Em encostas côncavo/retilíneo/convexas a Alterabilidade é moderada.
- Em encostas côncavas a Alterabilidade é baixa.

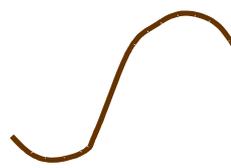
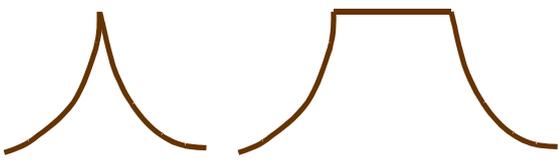
Alterabilidade	Forma da Encosta
Muito alta alterabilidade (mA)	Convexa 
Alta alterabilidade (aA)	Côncava/Convexa 
Moderada alterabilidade (mA)	Côncava/Retilínea/Convexa 
Baixa alterabilidade (bA)	Côncava 

Figura 13 – Esquema da equivalência das formas de encosta com a Alterabilidade, segundo Soares *et al* (1981).

A Plasticidade/Ruptibilidade do maciço relaciona-se com o módulo elástico ( $\epsilon$ ) dos materiais constituintes. Materiais rígidos expostos a esforços tendem a se romper, já materiais plásticos tendem a se deformar antes de se romper. A Figura 14 representa o comportamento de um material rúptil (a) e de um material plástico (b), em um esquema de diagrama tensão-deformação.

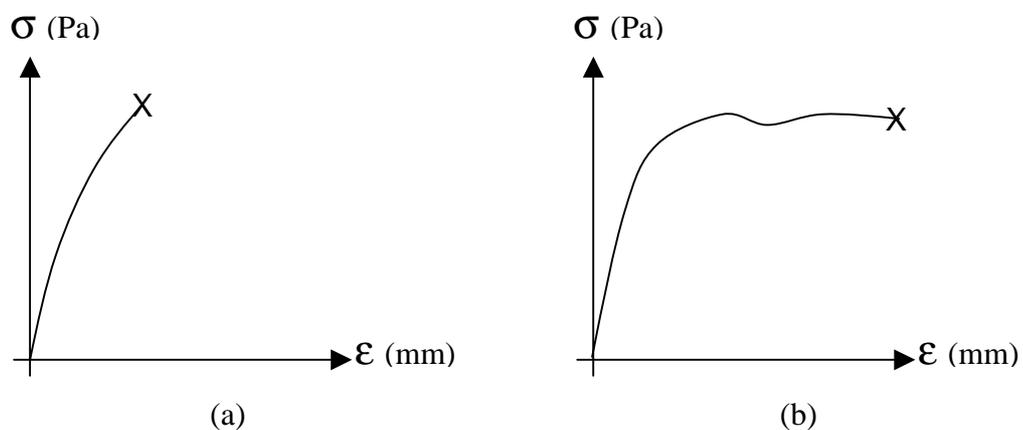


Figura 14 – Esquema do comportamento de um material rúptil (a) e um material plástico (b).

Para a caracterização da plasticidade/ruptibilidade de uma unidade geoambiental deve-se observar o fraturamento da área, em termos dos traços de juntas, ou seja, a densidade de traços de juntas.

Quanto maior a densidade de traços de juntas, mais fraturado e, portanto mais rúptil é o comportamento do material (Figura 15). Há casos em que inexistem traços de juntas na área observada, neste caso deve-se classifica-la como “não fraturada”, essa área caracteriza-se por um comportamento dúctil.

Plasticidade/ Ruptibilidade	Densidade de Traços de Juntas	
Muito fraturada (mF)		> 50% dos elementos de drenagem são traços de juntas
Fraturada (F)		Entre 10% e 50% dos elementos de drenagem são traços de juntas
Pouco fraturada (pF)		< 10% dos elementos de drenagem são traços de juntas
Não fraturada (nF)	Ausência de traços de juntas	

Figura 15 – Esquema da equivalência da densidade de traços de juntas com a plasticidade/ruptibilidade do material, segundo Soares *et al* (1981).

A assimetria de relevo, observada em uma imagem, é o resultado da disposição espacial dos corpos em superfície (Figura 16), podendo variar desde simétrico até assimétrico, em função do grau de deformação que o corpo sofreu.

Para Petri (1972) quando o mergulho das camadas é de baixo ângulo a vertente mais longa denota o mergulho da camada ou estrato e a vertente mais curta um plano de fratura.

Relevos com uma vertente horizontal a sub-horizontal e outra vertical a sub-vertical, com rampas de comprimento muito diferentes e angularidade maior que 90° são “fortemente assimétricos”. Relevos com comprimento de rampa diferentes e angularidade entre 80° e 90° são “assimétricos”. Relevos com comprimento de rampa pouco diferentes e angularidade

entre  $70^\circ$  e  $80^\circ$  são “moderadamente assimétricos”. Por fim, relevos que apresentam vertentes com aproximadamente a mesma declividade e mesmo comprimento de rampa são classificados como “simétricos”.

A identificação não se baseia somente na declividade das encostas, já que a percepção da declividade é precária em imagens de satélite, mas também no comprimento das vertentes. Vertentes de igual comprimento denotam relevos simétricos, do mesmo modo, quanto maior a diferença entre os comprimentos das vertentes mais, assimétrico é o relevo.

Rochas metamorfozadas, quando tectonizadas, geralmente apresentam relevos simétricos em superfície e rochas sedimentares normalmente apresentam forte assimetria.

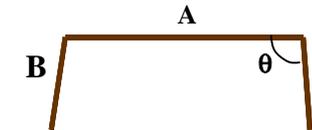
Assimetria de relevo	Tipos de encosta	
Fortemente assimétrico (fA)		$A \gg B$ $\theta > 90^\circ$
Assimétrico (A)		$A >> B$ $80^\circ < \theta < 90^\circ$
Moderadamente assimétrico (mA)		$A > B$ $70^\circ < \theta < 80^\circ$
Simétrico (S)		$A = B$ $\theta < 70^\circ$

Figura 16 - Esquema da equivalência dos tipos de encosta com a assimetria de relevo da área, segundo Soares *et al* (1981).

As unidades geoambientais delimitadas foram numeradas por ordem de tamanho, da maior para a menor (algarismos romanos). Por exemplo: “UG11”, corresponde à unidade geoambiental onze.

As características de cada unidade geoambiental foram armazenadas em um plano de informação cadastral em ambiente digital.

### **2.2.2 Avaliação UG**

Nesta etapa, de acordo com as prerrogativas adotadas, avalia-se a qualidade dos produtos gerados: carta de unidades geoambientais. Os questionamentos devem ser de cunho técnico quanto aos limites entre as unidades e às características atribuídas às mesmas.

Os procedimentos contidos no item “2.2 Ambiente UG”, foram repetidos até que não houvesse mais nada a acrescentar. Tendo-se avaliado criticamente o desenvolvido, iniciam-se as etapas referentes ao “ambiente morfoestrutura”.

## **2.3 Ambiente Morfoestrutura**

No ambiente morfoestrutura são apresentados os procedimentos para obtenção e análise da rede de drenagem, a definição das morfoestruturas e a análise morfométrica/morfoestrutural.

### **2.3.1 Traçado da rede de drenagem**

Para a confecção da carta da rede de drenagem da área, utilizou-se como base a rede de drenagem apresentada na carta topográfica, escala de 1:50.000, editada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Para não saturar a carta topográfica de informações e também para facilitar sua leitura, são representadas apenas as principais drenagens, normalmente aquelas que apresentam escoamento superficial.

No entanto, há muitos outros canais de drenagem, que apresentam escoamento superficial apenas em épocas de chuvas, ou mesmo somente durante as mesmas. Portanto grande parte da rede de drenagem da área, principalmente as de 1º e 2º ordem, são omitidas na carta.

O fato é que as cartas topográficas apresentam baixa densidade de informações sobre a rede de drenagem. Pelo exposto, faz-se necessário a sua complementação, a partir da análise das curvas de nível (disponíveis na própria carta) e de imagens da área.

Esse adensamento da rede de drenagem é imprescindível para se definir, com maior confiabilidade, as feições anelares e radiais, alinhamentos e assimetrias, possibilitando posteriormente, estabelecer as linhas de contorno estrutural não cotadas e elaborar as cartas morfoestruturais (altos e baixos estruturais).

A Figura 17 ilustra a diferença entre a rede de drenagem contida na carta topográfica IBGE, folha Moji-Guaçu, na escala 1:50.000, SF-23-Y-A-III-3 (Figura 17a) e a obtida pela complementação da rede de drenagem com base na análise das curvas de nível e da imagem ETM+/Landsat-7 (Figura 17b).

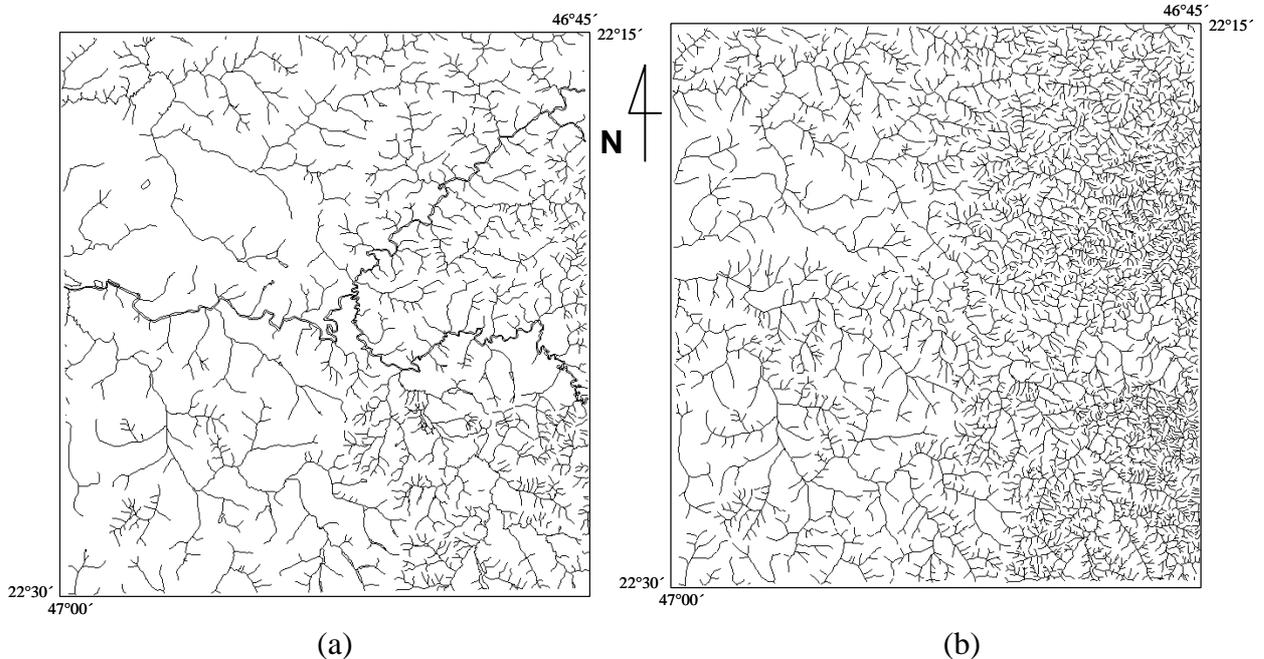


Figura 17 – Mapa da rede de drenagem contida na carta topográfica (a), e após adensamento (b).

Nota-se que as drenagens de 1ª e 2ª ordem, frequentemente não são representadas no documento cartográfico original. Como a análise do elemento textural de drenagem baseia-se principalmente nas drenagens de 1º e 2º ordem, o procedimento de complementação é vital para o sucesso da análise.

Principalmente a norte e a leste de Itapira (embasamento cristalino), a drenagem foi complementada com base em interpretação da imagem ETM+/Landsat-7, banda Pan. Já a oeste da área (sedimentos) a complementação deu-se exclusivamente pela análise das curvas de nível.

Já a Figura 18 apresenta a carta de densidade de drenagem baseada no original do IBGE, escala 1:50.000 (Figura 18a) e baseada na drenagem adensada (Figura 18b). Os valores da densidade de drenagem original variam entre 0 e 94 e os da drenagem adensada variam entre 0 e 133. Estes valores referem-se ao comprimento do vetor referente aos canais de drenagem em uma área de 1km<sup>2</sup>.

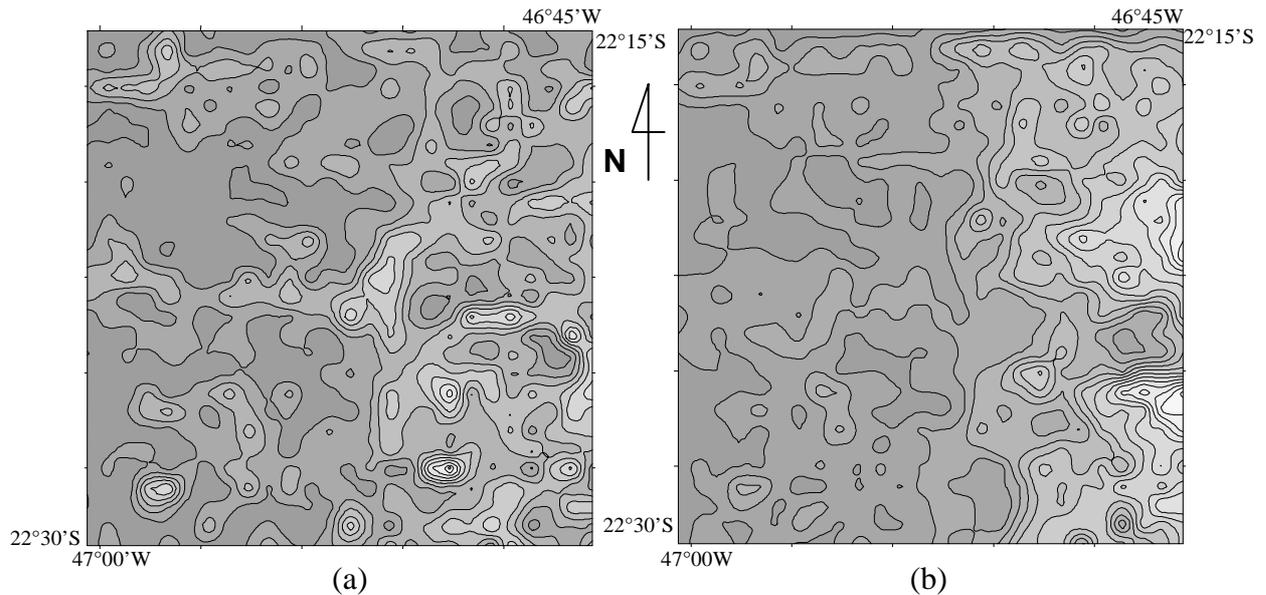


Figura 18 – Carta de densidade de drenagem a partir da drenagem original (a) e a partir da drenagem complementada (b).

### 2.3.2 Análise da rede de drenagem

A análise da rede de drenagem permite conhecer a hidrodinâmica regional, obter informações e formular interpretações sobre o arranjo estrutural (morfoestrutura e morfotectônica) regional e local, sendo fundamental para avaliações relativas sobre as condições de estabilidade e sustentabilidade das áreas inseridas no âmbito das diversas bacias afluentes. É um dos instrumentos utilizados na análise da fragilidade ambiental.

Para a análise da rede de drenagem, a informação foi reduzida a diferentes escalas, possibilitando uma visão local e regional do padrão de drenagem e evidenciando as principais feições indicadoras do arranjo morfoestrutural (lineamentos estruturais, altos e baixos estruturais).

Em meio digital, foram traçados as feições anômalas anelares e radiais, as feições de assimetria de drenagem e os alinhamentos de drenagem, segundo critérios descritos por Soares *et al* (1981), e que se baseiam principalmente na forma, grau e ordem de estruturação dos elementos da drenagem.

A Figura 19 apresenta, esquematicamente, as feições de drenagem radiais, anelares, lineares e de assimetria, além de diferentes graus e ordens de estruturação destas feições.

Feições de Drenagem	Grau de Estruturação			Ordem de Estruturação			
	Fraco	Moderado	Forte	1°	2°	3°	4°
Radiais							
Lineares							
Anelares							
Assimétricas							

Figura 19 – Feições de drenagem: radiais, lineares, anelares e assimetria, seu grau e ordem de estruturação, adaptado de Soares *et al* (1981).

### 2.3.3 Morfoestruturas

As morfoestruturas são linhas de contorno estrutural não cotadas. Elas dão uma idéia sobre a disposição das camadas estruturais em sub-superfície. Seguindo a tendência regional das assimetrias de drenagem é que se define a morfoestrutura.

As morfoestruturas foram traçadas em ambiente digital em um SIG, a partir da análise da rede de drenagem, discutida nos itens anteriores a este (2.3.1 e 2.3.2).

Nos altos estruturais as rochas apresentam-se em forma de estruturas dômicas ou antififormes (Figura 20), fruto de redobramentos flexurais. Nestes altos estruturais ocorrem sistemas de juntas discretas abertas que favorecem a percolação de fluidos. Decorrem destas condições coberturas extremamente porosas, de alta permeabilidade, colapsáveis e com argilominerais dos grupos kandita (1:1) e gibbsita ( $Al_2O_3$ ).

No ambiente de alto estrutural, sob condições climáticas tropicais, são intensificados os processos pedogenéticos de latossolização, laterização e plintificação. Devido ao intenso intemperismo, encontram-se espessos mantos de material intemperizado e de rocha alterada. Desenvolve-se nestes ambientes erosões concentradas: sulcos e ravinas; em pontos de

surgência d'água pode-se desenvolver até voçorocas. Também são comuns as corridas de massa (*debris flow*) e rastejos.

Já nos baixos estruturais as rochas apresentam-se em forma de depressões, bacias ou sinformes (Figura 20), fruto de redobramentos flexurais. Nestes sistemas fechados, de baixa percolação, devido a circulação d'água restrita é favorecida a concentração de fluidos. Decorrem destas condições coberturas saturadas em água e íons solúveis, hidromórficas, ricos em matéria orgânica e com argilas expansivas do grupo esmectita (2:1). Neste ambiente são intensificados os processos pedogenéticos de gleilização. Neste ambiente são favorecidas as expansões/contrações do material, reações de redução, alta corrosividade e alta condutividade elétrica.

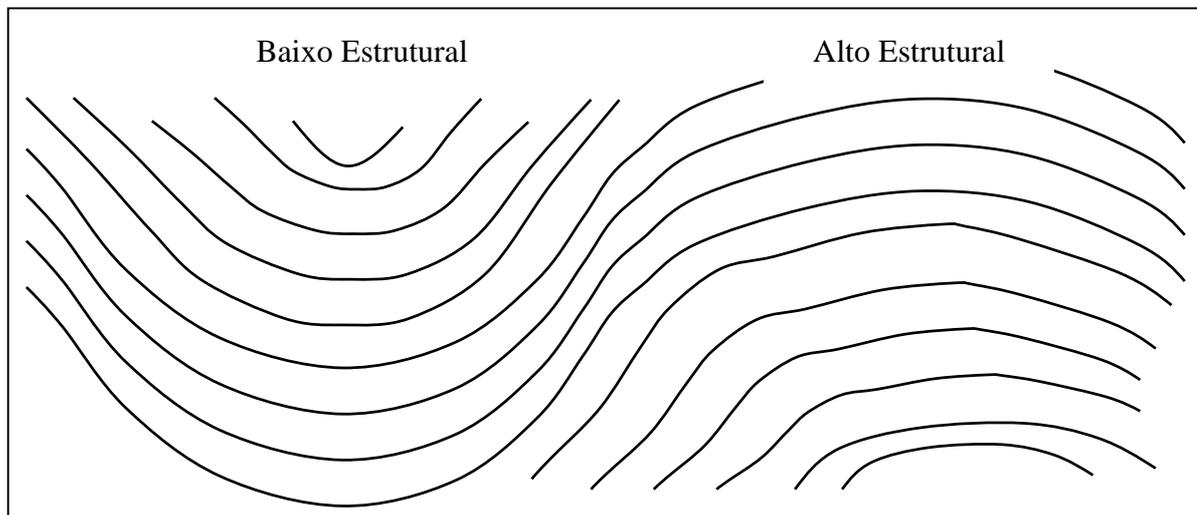


Figura 20 – Esquema em corte transversal da conformação do substrato (morfoestrutura).

Na Figura 20, o esquema apresentado indica a conformação do substrato devido a um esforço de compressão, onde as camadas foram dobradas. Obviamente há rompimentos que truncam essas feições, os quais são indicados pelos lineamentos estruturais. Em um modelo tridimensional ideal o arranjo morfoestrutural faz com que o terreno em subsuperfície assumira a forma de uma caixa de ovos, com altos e baixos se sucedendo lado a lado.

As linhas de contorno estrutural traçadas no mapa morfoestrutural não possuem cota, são apenas indicações da conformação do substrato em subsuperfície. Com o intuito de visualizar as morfoestruturas tridimensionalmente, atribui-se valores altimétricos para cada linha de contorno estrutural, onde a pseudo-cota dos altos estruturais vale 100 e a pseudo-cota dos baixos estruturais vale 0, sendo as demais intermediárias entre 0 e 100. Assim, os baixos e altos estruturais possuem a mesma cota, já que com o método utilizado não se pode afirmar nada sobre a cota vertical dos mesmos.

### 2.3.4 Análise morfoestrutural/morfométrica

É necessária a compreensão de que a morfoestrutura é uma configuração arqueada dos estratos geológicos (da foliação ou do acamamento), ou da acomodação dos blocos estruturais falhados em sub-superfície, cujos reflexos se propagam até a superfície.

Há casos onde um alto estrutural (sub-superfície), pode localizar-se topograficamente (superfície), em um vale, ou baixo topográfico (Figura 21). Como também pode localizar-se topograficamente (superfície) em um topo de um morro, ou alto topográfico (Figura 22).

Há casos também onde um baixo estrutural (sub-superfície), pode localizar-se topograficamente (superfície), em um vale, ou baixo topográfico (Figura 23). Como também pode localizar-se topograficamente (superfície), em um topo de um morro, ou alto topográfico (Figura 24).

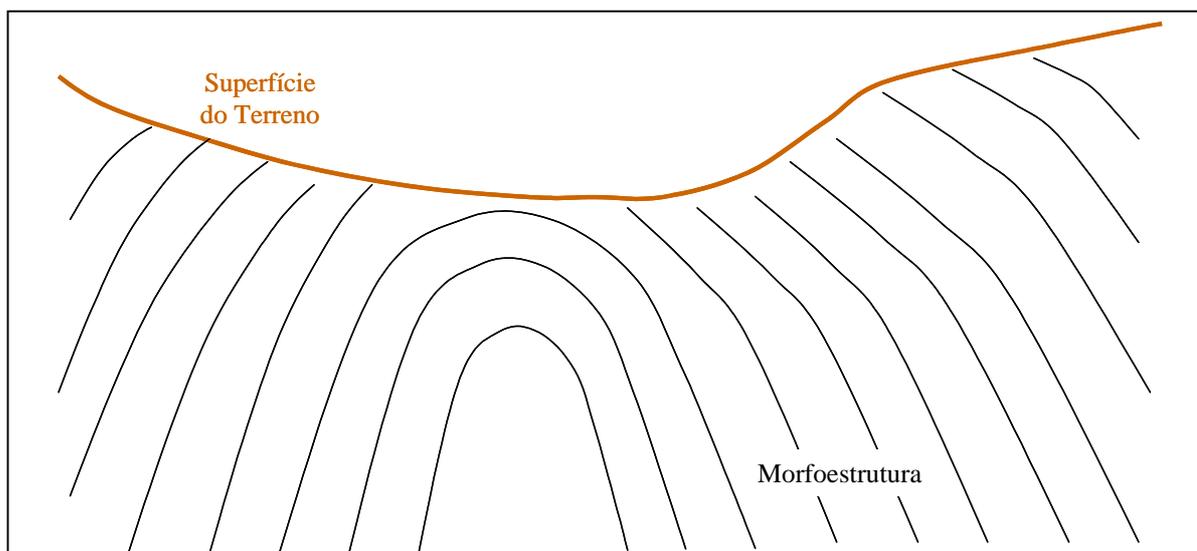


Figura 21 – Esquema em corte transversal de alto estrutural (morfoestrutura) e baixo topográfico (superfície do terreno).

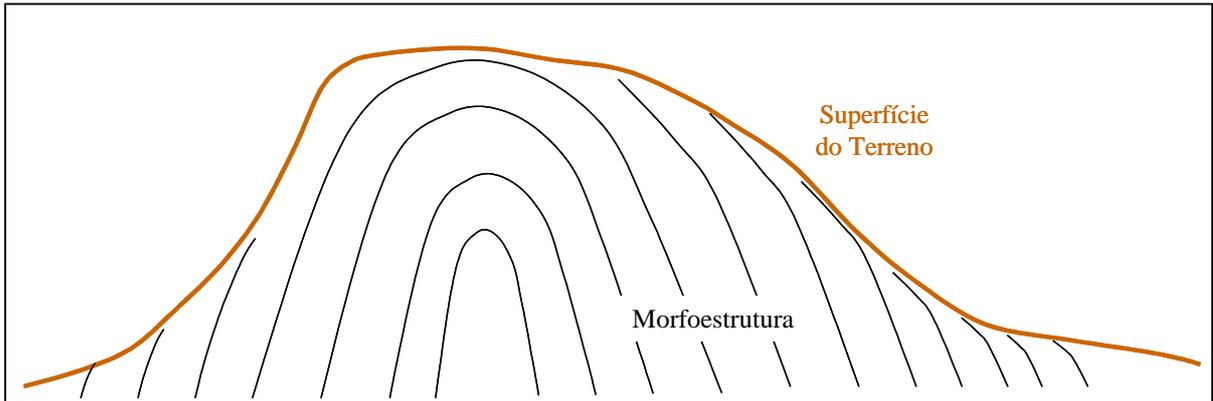


Figura 22 – Esquema em corte transversal de alto estrutural (morfoestrutura) e alto topográfico (superfície do terreno).

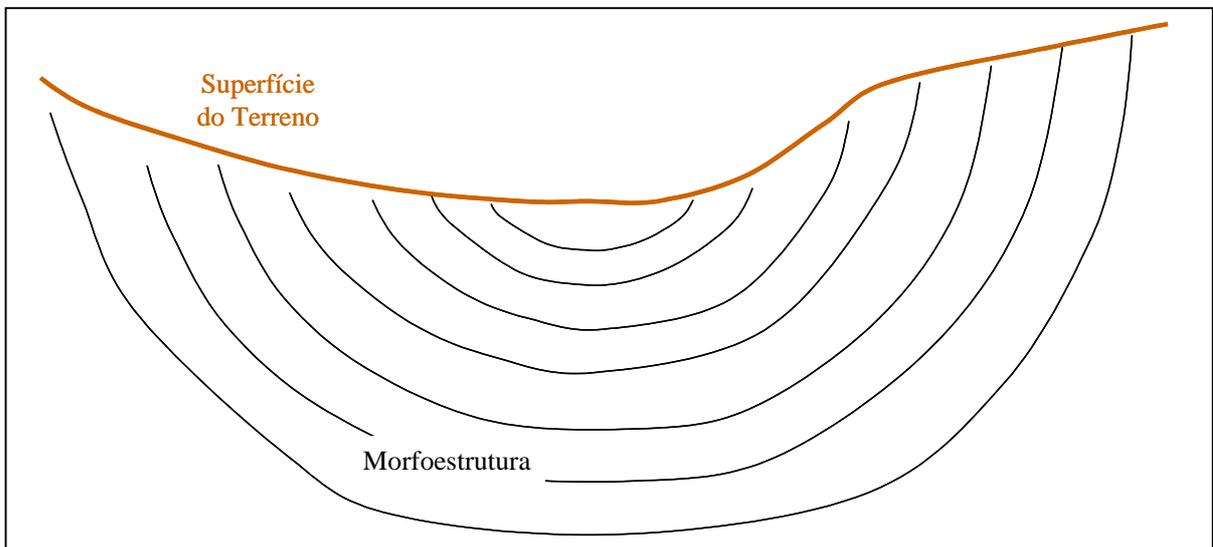


Figura 23 – Esquema em corte transversal de baixo estrutural (morfoestrutura) e baixo topográfico (superfície do terreno).

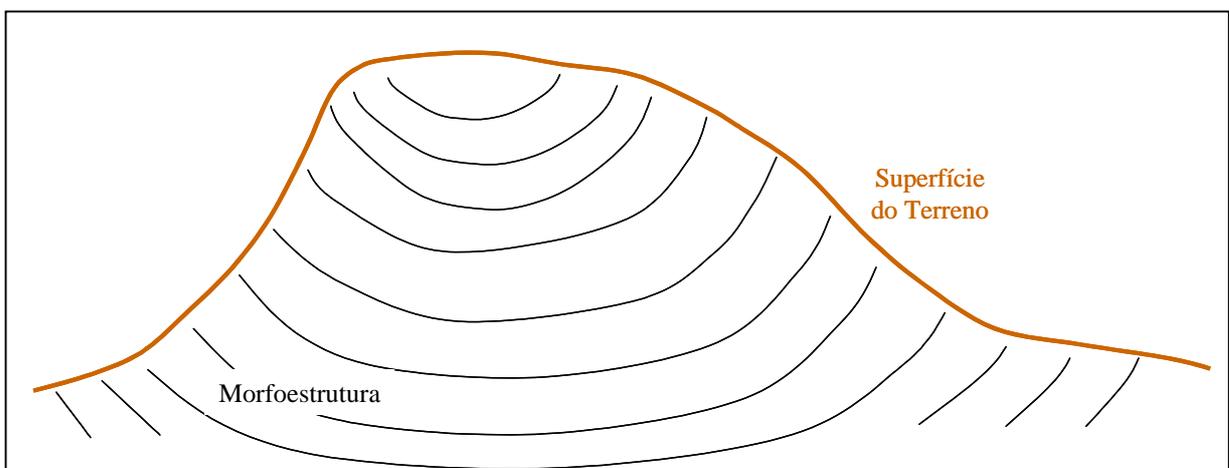


Figura 24 – Esquema em corte transversal de baixo estrutural (morfoestrutura) e alto topográfico (superfície do terreno).

Conforme Jiménez-Rueda, *et al* (1993), das combinações entre morfoestrutura e morfometria em clima tropical a subtropical, resultam as seguintes considerações:

- Alto estrutural / Alto topográfico (AA): pedogênese maior que morfogênese, forte intemperismo, fertilidade baixa, baixa erosão, argilominerais caulinita e gibbsita, intensa oxidação, hidrólise total, processos de alitização, latossolização e laterização.
- Alto estrutural / Baixo topográfico (AB): pedogênese maior que morfogênese, forte intemperismo, fertilidade baixa a média, erosão moderada a forte, argilominerais caulinita, gibbsita e esmectita, oxidação e hidrólise total/parcial, processos de alitização, latossolização, laterização, argilização e melanização.
- Baixo estrutural / Alto topográfico (BA): pedogênese maior que morfogênese, intemperismo moderado/forte, fertilidade média/alta, erosão forte/moderada, argilominerais caulinita e esmectita, hidrólise parcial/total, moderada redução, processos de argilização e latossolização.
- Baixo estrutural / Baixo topográfico (BB): morfogênese maior que pedogênese, fraco intemperismo, fertilidade alta, formação de argilominerais do esmectita (por exemplo: montmorilonita), intensa redução, hidrólise parcial/incipiente, processos de melanização, gleilização e argilização, concentração de Na, Ca, CO<sub>3</sub>, Si, Mg.

### 2.3.5 Avaliação Morfoestruturas

Nesta etapa avalia-se a qualidade dos produtos gerados: rede de drenagem, feições de drenagem (anelares, radiais, lineares, assimetrias e alinhamentos) e carta morfoestrutural (linhas de contorno estrutural não cotado, lineamentos estruturais e *trends* estruturais). Os questionamentos devem ser quanto a adequação do adensamento da rede de drenagem para a escala de análise, uso das feições anômalas de drenagem como guia na definição das morfoestruturas e validade em área dos altos e baixos estruturais.

Os procedimentos foram repetidos até que não houvesse mais nada a acrescentar. Tendo-se avaliado criticamente o desenvolvido, inicia-se a análise das deformações rúpteis (ambiente fraturamento).

## **2.4 Ambiente Fraturamento**

No ambiente fraturamento serão apresentados os procedimentos realizados para a definição dos traços de juntas e lineamentos estruturais, além das técnicas de processamento dessas informações.

### **2.4.1 Lineamentos estruturais e traços de juntas**

Utilizando-se a imagem ETM+/Landsat-7, banda Pan, segundo o método sistemático de fotointerpretação, executou-se o mapeamento dos traços de juntas e dos lineamentos estruturais. Portanto, o mapeamento do fraturamento deu-se em duas fases:

#### **a. Traços de Juntas.**

Traços de juntas, mapeados na imagem de satélite, refletem no campo zonas de concentração de juntas. Quanto maior a densidade de traços de juntas, maior a densidade de juntas no campo.

As análises feitas sobre a imagem se referem à observação de elementos texturais de drenagem na identificação de estruturas geológicas presentes (lineações e alinhamentos de drenagem). Petri (1972) também observa a equivalência entre a disposição da drenagem e os traços de juntas.

Para mapeamento dos traços de juntas foram extraídas as lineações de drenagem a partir da imagem digital ETM+/Landsat-7, banda Pan, em um sistema de informação geográfica. Considerou-se as lineações de drenagem com comprimento entre 200 e 350 metros. A escala de análise foi de aproximadamente 1:35.000. Os traços de juntas compõem o banco de dados na forma vetorial em um plano de informação temático.

#### **b. Lineamentos Estruturais.**

Altas densidades de lineamentos estruturais indicam áreas rúpteis, afetadas por sistemas regionais de fraturamento, que desenvolvem processos erosivos e de instabilidade de encostas.

Para mapeamento dos lineamentos estruturais foram extraídos os alinhamentos de drenagem e tonais a partir da imagem digital ETM+/Landsat-7, banda Pan, em ambiente SIG.

Considerou-se os alinhamentos de drenagem com comprimento maior que 1 km. A escala de análise foi de aproximadamente 1:50.000. Os lineamentos estruturais compõem o banco de dados na forma vetorial em um plano de informação temático.

### 2.4.2 Análise do fraturamento

A seguir descreve-se as análises realizadas para os traços de junta e para os lineamentos estruturais.

#### a. Traços de juntas

A partir do mapeamento dos traços de juntas, definiram-se os máximos de traços de juntas 1 e 2. Estes, são indicativos de zonas muito fraturadas, onde houve ou há grande variação de tensão, acarretando em instabilidade de taludes, percolação de água e alteração das rochas.

Os máximos de juntas são definidos analisando a densidade e a direção dos traços de juntas. A direção de juntas que possuir a maior densidade, é chamada de máximo de traços de juntas 1. Já a direção de juntas que possuir a segunda maior densidade, é chamada de máximo de traços de juntas 2.

Para o mapeamento dos máximos de traços de juntas 1 e 2, sobrepôs-se ao mapa de traços de juntas, em ambiente digital, uma folha tamanho A4, com um orifício de 15cm de diâmetro. Ou seja, tendo-se na tela do computador o plano de informação dos traços de juntas, em ambiente SIG, cola-se uma folha no monitor, com um orifício de 15cm de diâmetro.

Observando a informação constante no interior da área do orifício, são assinalados os máximos de traços de juntas 1 e 2. Após o término da análise dentro desta área, segue-se para a análise de outra parte e assim por diante até a finalização de todo o mapa.

As cartas de máximos de traços de juntas 1 e 2 fazem parte do banco de dados digital no SIG.

Tendo-se mapeado os máximos de traços de juntas 1 e 2, observaram-se zonas ou regiões onde cada um deles, ou ambos, muda de direção. Por exemplo, em uma determinada área o máximo de traços de juntas 1 estava na direção N45E, constatou-se que em uma área vizinha, o mesmo máximo de juntas encontra-se a N45W. Portanto, entre estas duas áreas há uma zona de variação de máximo de traços de juntas 1. O mesmo ocorre para o máximo de traços de juntas 2.

Quando os máximos de traços de juntas 1 e 2 variam concomitantemente, chama-se de zona de variação de máximo de traços de juntas 1-2. Em Sampaio (1987), encontra-se uma descrição do conceito e uma aplicação na pesquisa de água subterrânea, das zonas de variação de máximos de traços de juntas 1, 2 e 1-2.

Visando gerar um modelo numérico do terreno (MNT) com a informação dos traços de juntas, em ambiente SIG, utilizando o software SPRING 4.2, criou-se automaticamente

uma grade retangular, com células de 1x1 quilômetro. Dentro de cada célula foram contados automaticamente quantos traços de juntas havia. Dessa maneira foi gerada uma grade de densidade de traços de juntas. A unidade desta densidade é expressa em traços de juntas por quilômetro quadrado ( $tJ/km^2$ ). Posteriormente, utilizando interpolação linear, gerou-se uma grade retangular de 25x25 metros.

Para a análise da orientação destas estruturas confeccionou-se automaticamente um diagrama de rosetas.

#### b. Lineamentos estruturais

Visando gerar um modelo numérico do terreno (MNT) com a informação dos lineamentos estruturais, em ambiente SIG, utilizando o software SPRING 4.2, criou-se automaticamente uma grade retangular, com células de 1x1 quilômetro. Dentro de cada célula foram contados automaticamente quantos lineamentos estruturais havia.

Dessa maneira foi gerada uma grade de densidade de lineamentos estruturais. A unidade desta densidade é expressa em lineamentos por quilômetro quadrado ( $L/km^2$ ). Posteriormente, utilizando interpolador linear, gerou-se uma grade retangular de 25x25 metros.

Para se analisar a orientação dos lineamentos estruturais efetuou-se automaticamente um diagrama de rosetas.

### **2.4.3 Avaliação do Fraturamento**

Nesta etapa avalia-se a qualidade dos produtos gerados: carta de lineamentos estruturais e de traços de juntas, zonas de variação de máximos, densidade de lineamentos estruturais e de traços de juntas, além dos diagramas de rosetas. Os questionamentos devem ser quanto ao número e qualidade das feições extraídas da imagem, além da influência do azimute e ângulo de elevação solar (Rodrigues e Liu, 1991).

Os procedimentos descritos no item “2.4 Ambiente Fraturamento” foram repetidos até que não houvesse mais nada a acrescentar. Tendo-se aceito o desenvolvido, inicia-se a elaboração do banco de dados geográfico digital georreferenciado (BDGDG).

### **2.5 Banco de Dados Geográfico Digital Georreferenciado (BDGDG)**

Devido ao grande volume de material, de dados prévios e de informações obtidas durante as 3 fases do mapeamento geoambiental (unidades geoambientais, morfoestruturas e

fraturamento), adotou-se um SIG para armazenar-las. Somam-se a isso os processamentos digitais e a atualização das informações, todos realizados em ambiente SIG.

Em uma mesma base cartográfica torna-se rápida a consulta e facilitada a análise dos diversos dados e informações necessários ao planejamento de obras infra-estrutura.

As imagens CCD/CBERS-2 e ETM+/Landsat-7 foram inseridas no banco de dados geográfico digital georreferenciado, assumindo como base cartográfica a carta topográfica IBGE (1972), folha Moji-Guaçu, escala 1:50.000, UTM/Córrego Alegre-MG.

Em todas as bandas das imagens utilizadas realizou-se um contraste linear, atribuindo ao *pixel* de menor valor de nível de cinza o valor 0 e ao *pixel* de maior valor de nível de cinza o valor 255.

Utilizou-se para o reconhecimento da área as imagens ETM+/Landsat-7, nas composições coloridas 123 e 345, com os filtros azul, verde e vermelho, respectivamente. E também as imagens CCD/CBERS-2, nas composições coloridas 123 e 243, com os filtros azul, verde e vermelho, respectivamente.

Em ambiente SIG também é possível realizar semi-automaticamente o mapeamento do uso e cobertura da terra e automaticamente o da declividade, cuja descrição vêm a seguir no item 3.0 do capítulo III.

## **2.01 AVALIAÇÃO GEOAMBIENTAL**

Nesta fase devem analisados os resultados do mapeamento geoambiental de forma geral, comparando as zonas de variação de máximos com os altos e baixos estruturais e a disposição e características das UGs. Os questionamentos devem ser quanto à adequação das informações para os objetivos do estudo.

Os procedimentos desta fase foram retomados quantas vezes foi necessário até que não houvesse mais nada a ser acrescentado. Tendo-se avaliado criticamente o mapeamento geoambiental como um todo, inicia-se a análise do uso e cobertura da terra.

## **3.0 USO E COBERTURA DA TERRA / DECLIVIDADE**

Para mapeamento do uso e cobertura da terra, utilizou-se da imagem do ETM+/Landsat-7, bandas 3, 4 e 5. Nestas bandas aplicou-se uma segmentação por crescimento de regiões, com similaridade 10 e área mínima de 20 *pixels*, habilitando-se a suavização de arcos. Este procedimento é o proposto por INPE (2002).

A partir da imagem segmentada, extraiu-se automaticamente as regiões de similaridade entre os *pixels* (algoritmo *Isoseg*, com limiar de aceitação de 95%.) e efetuou-se a classificação do uso e cobertura da terra. Este procedimento permitiu distinguir as classes de interesse, apresentadas na Tabela 8.

Essa classificação digital pode incorrer em alguns erros na atribuição das classes de uso e cobertura da terra (Mather, 1999). Por isso, realizou-se um mapeamento, imputando, para cada polígono da imagem classificada, sua correspondente verdade terrestre. Obteve-se a verdade terrestre com o advento de interpretação das imagens ETM+/Landsat-7 e verificação em campo.

Adotou-se, com adaptações ao interesse do presente trabalho, o sistema de classificação de uso e cobertura da terra proposto por Pereira *et al* (1989). Na Tabela 9 são apresentados os usos e coberturas encontrados e suas descrições.

Tabela 8 – Uso e cobertura da terra com suas respectivas descrições adaptadas de Pereira *et al* (1989).

Uso e cobertura da terra	Descrição
Água	Superfície coberta por água: tanques, áreas úmidas, lagos e represas.
Área urbana	Área construída: residências, comércios, indústrias e equipamentos urbanos.
Área de expansão urbana	Loteamentos novos, áreas de terraplenagem e ocupação recente diversa.
CAI vermelha escura	CAI exposta vermelha escura, alto teor de óxidos metálicos (Fe, Ti, Al, Mg).
CAI exposta	CAI exposta independente da cor, sem nenhuma cobertura.
Reflorestamento	Áreas reflorestadas, normalmente com eucaliptos e pinus.
Eucalipto	Áreas de plantação de eucalipto para fins comerciais.
Pasto	Gramíneas e outras ervas pastáveis.
Pasto Sujo	Gramíneas, macega e pequenos arbustos.
Capoeira	Gramíneas, arbustos e pequenas árvores. Mata aberta.
Mata	Área onde as copas das árvores se tocam. Mata fechada, densa.
Cultura	Anuais ou sazonais de cana, milho, laranja, limão, citrus e outras.

Para obtenção da informação de declividade do terreno, adquiriram-se as curvas de nível e os pontos cotados na carta topográfica IBGE 1:50.000 (equidistância vertical entre isolinhas de 20 metros), em formato digital.

Como proposto por Felgueiras (2002) e INPE (2002), com as amostras (curvas de nível e pontos cotados) gerou-se automaticamente uma grade triangular (utilizando interpolador tipo Delaunay, tolerância de isolinhas e de linhas de quebra 8 metros, distância entre pontos de isolinhas 160 metros e menor aresta 0,8 metro). Por conseguinte gerou-se uma grade retangular (utilizando interpolador linear e grade de 10x10 metros).

Seguindo as recomendações de INPE (2002), a partir grade retangular de altimetria, gerou-se automaticamente uma grade retangular com valores de declividade (utilizando *pixel* de 10x10 metros e valores em porcentagem). A grade retangular de declividade foi fatiada automaticamente, segundo os valores constantes na Tabela 9.

Tabela 9 – Faixas de declividade e relevo típico encontrado.

<b>Faixa de Declividade (%)</b>	<b>Classe</b>	<b>Relevo Típico</b>
0 a 2	Plano	Plano
2 a 10	Baixa	Colinas Suaves
10 a 20	Moderada	Colinas
20 a 40	Alta	Morrotes
maior que 40	Muito alta	Morros

Portanto a informação de declividade é um plano de informação temático vetorial no BDGDG.

### **3.01 AVALIAÇÃO USO/DECLIVIDADE**

Nesta fase devem analisados os resultados do mapeamento do uso e cobertura da terra e da declividade de forma geral, verificando a existência de confusão entre classes, a data e as características da imagem utilizada, se os polígonos correspondem ao observado na imagem e no conhecimento prévio da área. Os questionamentos devem ser quanto à adequação do uso e cobertura da terra e das faixas de declividade obtidas para os objetivos do estudo.

Os procedimentos desta fase foram retomados quantas vezes foi necessário até que não houvesse mais nada a ser acrescentado. Tendo-se avaliado criticamente o mapeamento do uso e cobertura da área e da declividade, iniciam-se os trabalhos de campo.

### **4.0 TRABALHO DE CAMPO**

Como o presente trabalho trata de procedimentos metodológicos, em que o trabalho de campo é a segunda das três etapas básicas, nesse item apresenta-se os procedimentos e técnicas utilizadas para a realização do trabalho de campo.

Primordialmente o trabalho de campo precisa atingir três metas: (1) confirmar e validar o trabalho de fotointerpretação, (2) Identificar os diferentes materiais (coberturas de

alteração intempérica e rochas) e obter informações descritivas e físicas deles e (3) obter amostras deformadas e indeformadas para ensaios de laboratório.

A Figura 25 apresenta um esquema do fluxo de trabalho utilizado durante a campanha de campo.

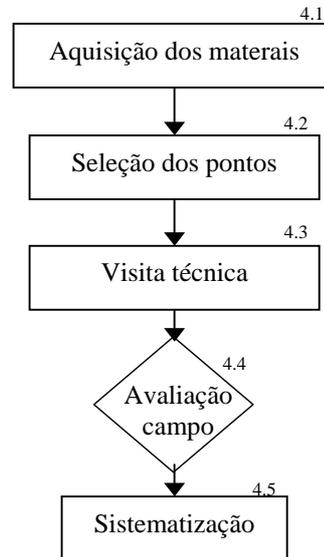


Figura 25 – Esquema do fluxo de trabalho para a campanha de campo.

#### 4.1 Aquisição dos materiais

Os materiais que devem fazer parte da campanha de campo são: trado 4”, martelo de geólogo ou análogo, enxada, caderneta de campo, ficha de campo e caneta/lápis, bússola, GPS (*global position system*), amostrador para materiais inconsolidados, lupa com aumento de 20 vezes, imã, tabela para diâmetro de partículas, máquina fotográfica, água, trena 5 a 30m, faca, fita adesiva e sacos plásticos.

#### 4.2 Seleção dos pontos

Os pontos devem ser selecionados com base na necessidade de se obter informações daquele local ou unidade geoambiental em particular. Dependendo da escala de análise e da variabilidade dos materiais, pode-se optar por mais de um ponto dentro da mesma unidade geoambiental.

No presente trabalho adotou-se a visita a vários pontos por unidade geoambiental, no entanto a análise em campo e a coleta de amostras para ensaios laboratoriais deram-se onde havia maior representatividade em área daquele material.

Normalmente observou-se pouca variação dos materiais (CAI e rochas), mas onde eles nitidamente variavam tomou-se amostras para análise. No caso foram as unidades geoambientais UG5 e UG48, para cada uma delas tomou-se amostras da CAI em dois pontos diferentes.

### 4.3 Visita técnica

Os procedimentos explicitados neste item 4.3 são amplamente conhecidos pelos profissionais das ciências da terra, no entanto pouco usados ou mesmo desconhecidos pelos profissionais de outras áreas. Como a presente pesquisa almeja apresentar um procedimento metodológico, justifica-se a descrição detalhada dos ensaios a serem executados em campo.

Busca-se, no campo, um ponto para análise em que exista um corte ou um afloramento natural, onde o material fique exposto com o mínimo de interferência antrópica possível (compactação, arado, uso de fertilizantes/agrotóxicos, drenagem direcionada).

Inicia-se a observação com o reconhecimento visual do entorno (vegetação, uso e cobertura da terra, declividade, presença de feições erosivas ou problemas de origem geotécnica). Na Figura 26 pode-se observar o ponto de análise escolhido para a UG32, em um corte de cerca de 2,5m de altura, ao lado da estrada vicinal que liga as cidades de Moji-Guaçu e Espírito Santo do Pinhal.



Figura 26 – Corte escolhido na UG32 para análise de campo.

Encontrou-se perfis somente de CAI, somente de rocha e perfis em que afluam CAI e rocha. A análise deu-se seguindo as recomendações de Jiménez-Rueda (2003), da seguinte maneira:

a. Perfil da CAI.

Tendo sido reconhecido o entorno, abria-se uma trincheira no perfil da CAI com auxílio de enxada para remover os primeiros 30 a 50cm de material exposto às intempéries. Recolhia-se amostra deformada para análise em laboratório, enquanto se acertava uma superfície para cravar o amostrador e recolher uma amostra indeformada. Na Figura 27 pode-se observar o amostrador cravado no perfil de análise da UG6.



Figura 27 – Foto da amostragem indeformada na UG6.

Depois se procedem a definição da estrutura do material, a verificação da existência de (macro) poros e superfícies foscas (*skins*) no perfil, e os ensaios táteis e visuais de física de solos, descritos a seguir:

i) Consistência seca

Colhendo-se um torrão natural do material, aparentemente seco (teor de umidade menor que o ponto de murchamento), com face até 5cm. Procedese a compressão dessa amostra entre os dedos polegar e indicador, avaliando a força relativa para desintegrar o torrão (Figura 28).



Figura 28 – Foto da realização do ensaio de consistência seca na UG34.

ii) Consistência úmida

Colhendo-se um torrão natural do material, adiciona-se água gotejando levemente apenas para umedecer a amostra. Procede-se a compressão dessa amostra entre os dedos polegar e indicador, avaliando a força relativa para desintegrar o torrão.

iii) Plasticidade

Com cerca de 20g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha, etc.), molda-se um cilindro de aproximadamente 6cm de comprimento e 0,5cm de diâmetro. Procede-se a deformação dessa amostra no intuito de se unir as duas pontas. Na Figura 29 pode-se observar a análise da plasticidade na amostra UG40.



Figura 29 – Foto do ensaio de plasticidade na amostra UG40.

iv) Pegajosidade

Com cerca de 20g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha, etc.), molda-se uma esfera de aproximadamente 1cm de diâmetro. Com os dedos polegar e indicador procede-se uma leve pressão sobre a esfera, analisando a força e a deformação relativa da amostra na descompressão.

v) Textura

Com cerca de 20g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha, etc.), observa-se a presença de areia raspando-se a amostra na palma da mão com o dedo indicador.

Com cerca de 20g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha, etc.), molda-se uma esfera de aproximadamente 1cm de diâmetro. Com o dedo indicador procede-se uma pressão sobre a esfera, esmagando-a. Observa-se a formação de estrias transversais ao movimento de esmagamento, indicação da presença de silte.

Com cerca de 20g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha, etc.), molda-se uma esfera de aproximadamente 1cm de diâmetro. Adiciona-se água na palma da mão e com o dedo polegar tenta-se fazer a amostra girar. Verifica-se a presença de argila quando a amostra gira livremente sem se deformar.

vi) Mineralogia da fração areia

Com cerca de 20g de amostra destorroada e livre de matéria orgânica (raízes, folhas, palha, etc.), promove-se a retirada da fração silte e argila por meio de lavagem com água e fricção entre a palma da mão e o dedo indicador. Seca-se a amostra retida na mão (fração areia) e se verifica a constituição mineralógica, a forma e tamanho dos grãos com o auxílio de uma lupa e imã. Na Figura 30 pode-se observar a análise mineralógica da fração areia da amostra UG48a.



Figura 30 – Foto da análise mineralógica da fração areia na amostra UG48a.

A classificação dos minerais deu-se seguindo o procedimento indicado por Neves (2002), de acordo com os modelos de Font-Altaba (1963) e Kirsch (1972), e segundo as recomendações de Jiménez-Rueda (2003).

b. Perfil de rocha (sã ou alterada)

Tendo sido reconhecido o entorno, quando o material encontrava-se alterado abria-se uma trincheira no perfil de rocha com auxílio de enxada para remover os primeiros 10cm expostos às intempéries, quando o material não apresentava alteração procedia-se diretamente as análises que se seguem. Em alguns pontos coletou-se amostras de rocha para determinação da densidade absoluta da mesma.

i) Descrição

Em uma análise visual definia-se a cor predominante do material, o tamanho dos minerais e o tamanho do afloramento.

ii) Resistência à compressão

Com o martelo golpeava-se o material observando sua resistência ao impacto, o afundamento da ponta no material e o som emitido e com auxílio de uma faca procurava-se sulcar o material.

iii) Fraturamento

Com uma bússola verificou-se as direções e mergulhos das fraturas encontradas e, com uma trena media-se o espaçamento e a persistência das mesmas.

Todas as observações e resultados obtidos em campo foram transcritos sistematicamente para uma ficha de campo.

#### **4.4 Avaliação campo**

Nesta fase deve-se avaliar se é necessário visitar mais algum ponto em campo em uma outra unidade geoambiental ainda não visitada, ou mesmo visitar outro ponto dentro de uma mesma unidade já amostrada, se é necessário repetir alguma análise, ou coletar mais amostras para análise de laboratório.

Os procedimentos descritos foram repetidos até que não houvesse mais nada a acrescentar. Tendo-se avaliado criticamente a seleção dos pontos e as visitas de campo, inicia-se a sistematização dos dados de campo.

#### **4.5 Sistematização**

Todas as informações obtidas em campo foram transferidas para planilhas digitais. Dessa maneira torna-se mais fácil a elaboração de gráficos e tabelas comparativas.

Com os dados sobre textura do material testado em campo e, usando o diagrama de textura da Figura 2, obtém-se a faixa granulométrica correspondente.

Com os dados do comportamento da rocha testada em campo frente à ação do martelo e do canivete, e usando a Tabela 2, estima-se a faixa de resistência a compressão uniaxial (RCU) e o módulo de elasticidade ( $\epsilon$ ) correspondentes.

Com os dados do fraturamento (direção, mergulho, espaçamento, persistência, abertura, preenchimento, rugosidade, alteração e umidade) obtidos nos afloramentos de rocha em campo e seguindo as recomendações de Bieniawski (1989) e Serra Jr. e Ojima (1998), obtém-se os valores de RQD (*Rock Quality Designation*) e RMR (*Rock Mass Rating*).

#### **5.0 AVALIAÇÃO PRELIMINAR**

Nesta fase devem analisados os resultados do trabalho de campo de forma geral, verificando a consistência e a dispersão dos resultados obtidos nas visitas técnicas em função das unidades geoambientais a que pertencem, das morfoestruturas que os condicionam e do fraturamento que os influenciam. Além disso, deve-se verificar a adequação dos resultados de campo ao mapeamento do uso e cobertura da terra.

Os questionamentos devem ser quanto à adequação e sistematização dos resultados obtidos para os objetivos do estudo.

Os procedimentos foram repetidos até que não houvesse mais nada a acrescentar. Tendo-se avaliado criticamente o mapeamento geoambiental, o uso e cobertura da terra e os trabalhos de campo, iniciam-se os ensaios de laboratório.

#### **6.0 ENSAIOS DE LABORATÓRIO**

Os ensaios de laboratório realizados no presente trabalho podem ser divididos em: (1) ensaios de comportamento espectral na faixa do visível e (2) ensaios geotécnicos. A seguir ambos serão descritos.

## 6.1 Comportamento espectral na faixa do visível

Segundo Ben-Dor *et al* (1998), a reflectância dos materiais terrosos pode ser obtida em laboratório, campo ou a partir de equipamentos aéreos ou orbitais. As medidas obtidas em campo são dificultadas por variações na intensidade e ângulo de iluminação, ângulo de visada e rugosidade da superfície. As tomadas a partir de equipamentos aéreos ou orbitais são dificultadas pelo baixo sinal, atenuação atmosférica, ruído (principalmente em frequências mais altas como nas faixas do visível e infravermelho próximo) e variação das condições atmosféricas (umidade, nuvens/nevoeiro, plumas de fumaça, entre outras).

As medidas de reflectância, tomadas em laboratório para definição do comportamento espectral do mesmo, devem diminuir ao máximo os problemas citados acima.

O ensaio de comportamento espectral na faixa do visível, realizado nas 36 amostras deformadas, consistiu em fotografar a amostra com uma máquina fotográfica digital, após destorroa-la, homogeneíza-la e seca-la ao ar livre.

O equipamento utilizado foi uma máquina fotográfica digital OLYMPUS Camedia D-535, 3.2Mp, na resolução 640x480 *pixels*, sem o recurso de *flash*. Cada foto é um arquivo digital de imagem (matriz), em formato \*.jpg.

Para visualizar e editar cada uma das fotos (arquivos digitais), utilizou-se um programa de edição de imagens (como o Adobe Photoshop<sup>®</sup> CS 8.0 ou o Corel PhotoPaint<sup>®</sup> 12). Nestes programas é possível realizar a separação das cores nos canais RGB (do inglês: vermelho, verde e azul).

Tendo-se a informação separada nos canais RGB, utilizando os mesmos programas para edição de imagens, é possível visualizar para cada canal o histograma de frequência de *pixels* em função do nível de cinza, com uma resolução radiométrica de 8bits (256 intervalos).

Dessa forma é possível analisar separadamente os picos de ocorrência nas faixas do azul, verde e vermelho. Em cada um desses canais anota-se o nível de cinza correspondente ao pico de ocorrência. E assim se constrói um gráfico de valores de pico de nível de cinza em função dos canais.

Como os níveis de cinza de uma imagem fotográfica digital, observados em cada canal R, G e B são relativos à sua reflectância (onde o valor de nível de cinza 0 é igual a 0% de reflectância e o valor de nível de cinza 255 é igual a 100% de reflectância), é possível traçar o gráfico de valores de pico de nível de cinza em função da reflectância nos canais azul, verde e vermelho.

É necessário enfatizar que as câmeras fotográficas digitais possuem um sensor que captura a imagem na faixa do visível de forma integrada e somente utilizando um programa de edição de imagens é possível realizar a separação nos canais azul, verde e vermelho.

Ou seja, ainda que computacionalmente se obtenha a imagem nos canais azul, verde e vermelho, não se pode comparar o princípio com as imagens de satélite que obtêm a imagem separadamente nos canais azul, verde e vermelho. Com as quais é possível produzir uma composição colorida.

## **6.2 Ensaios Geotécnicos**

Dentre tantos ensaios de mecânica dos solos possíveis na atualidade, que retornam parâmetros ou características importantes dos materiais analisados, destacam-se os ensaios de “caracterização”: densidade natural e dos sólidos, índices físicos, limites de Atterberg e granulometria. A obtenção destes é indicada ou necessária para quase todo o tipo de obra, na fase de planejamento (vide item 2.8).

Da mesma forma na mecânica das rochas são muitos os ensaios possíveis, no entanto destacam-se aqueles que retornam a resistência à compressão uniaxial (RCU), a densidade natural, o fraturamento, o RQD (*Rock Quality Designation*) e o RMR (*Rock Mass Rating*).

Portanto, as amostras deformadas e indeformadas coletadas em campo, a partir das coberturas analisadas, foram levadas para o laboratório de geotecnia do IGCE/UNESP, onde procedeu-se os ensaios necessários para determinação da densidade natural, densidade dos sólidos (ABNT 1980), umidade, limites de plasticidade (LP) (ABNT, 1984) e de liquidez (LL) (ABNT, 1984) e desagregação (Holmgren, 1977).

Para determinação dos limites de consistência de Atterberg (LL e LP) é necessário cerca de 300g de amostra. A Figura 31 apresenta (a) uma foto dos 36 copos plásticos de 200ml, onde foram acondicionadas as amostras para ensaio, o material que se vê é o que foi seco e peneirado, mas não foi usado na determinação dos limites de consistência.



Figura 31 – Foto das 36 amostras ensaiadas na determinação dos limites de plasticidade (LP) e liquidez (LL).

Para obtenção da densidade natural coletava-se em campo uma amostra indeformada de material inconsolidado (Figura 28), usando um anel de aço (ou anel volumétrico) com volume interno de  $87,84\text{cm}^3$ . Levando a amostra para o laboratório procedia-se a pesagem do material. Para então se determinar os outros índices físicos secava-a em estufa por pelo menos 12h se fosse arenosa ou franca, e por pelo menos 24h se fosse argilosa. Após isso se procedia novamente a pesagem.

Os índices físicos: umidade natural ( $w$ ), porosidade ( $n$ ), índice de vazios ( $e$ ), grau de saturação ( $S$ ) e peso específico aparente seco ( $\gamma_d$ ); foram obtidos com as equações fornecidas por Pinto (2002).

Foram coletadas também amostras de rocha para determinação da densidade natural das mesmas. As de origem sedimentar ou as cristalinas que apresentavam-se muito alteradas obedeceram ao mesmo princípio da determinação da densidade natural, e as de origem metamórfica ou ígnea sãs procedia-se a pesagem e imersão em água, verificando a diferença de volume. Esse é um método fácil, mas pouco preciso, portanto procedia-se no mínimo 3 determinações da densidade para cada amostra.

Os ensaios de granulometria conjunta foram executados segundo os procedimentos ABNT (1984) e seguindo as recomendações de Mojica *et al* (1973).

Segundo Mojica *et al* (1973), deve-se usar uma solução defloculante preparada com 1L de água com 35,7g de hexametáfosfato de sódio ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> e 7,94g de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). E segundo ABNT (1984), em cada amostra deve-se adicionar 120mL de solução defloculante.

Segundo Mojica *et al* (1973), as amostras devem permanecer nessa solução por pelo menos 12h. Depois devem passar por um agitador ficando nele 6 minutos as amostras arenosas, 10 minutos as francas, 15 minutos as argilosas e 20 minutos ou mais as “difíceis de deflocular”.

Já no ensaio de desagregação a amostra indeformada é inserida em um recipiente com água, de modo que a amostra fique totalmente submersa. Observa-se então a reação da amostra à imersão em água. Na Figura 32 pode-se observar que a amostra UG32, depois de 10 minutos imersa em água, sofreu abatimento total.



Figura 32 – Ensaio de desagregação para a amostra UG32.

## 7.0 INTEGRAÇÃO DOS RESULTADOS

No presente trabalho a integração dos resultados obtidos tem dois motivos:

a. Comparar os resultados obtidos em campo (física de solos) com os de laboratório (mecânica dos solos), comparar os resultados de fraturamento obtidos por fotointerpretação com os obtidos em campo, comparar a classificação das unidades geoambientais com a classificação geomecânica de Bieniawski (1989), comparar a mineralogia da fração areia e a estrutura da CAI com a morfoestrutura.

b. Conduzir a uma análise integrada das informações obtidas para o planejamento de obras de infra-estrutura.

A avaliação da capacidade sustentável do meio para implantação de obras ou usos deve ser efetuada para determinadas aplicações, como rodovias, dutos, aterros sanitários, barragens, cemitérios, loteamentos, parques ou mesmo para a definição de áreas a serem preservadas (parques e áreas de uso restrito).

Em cada obra ou uso há diferentes propriedades do meio que as influenciam de maior ou menor forma. Estas propriedades devem ser ponderadas na avaliação da capacidade sustentável do meio segundo sua influência sobre a obra ou uso.

A avaliação da capacidade sustentável do meio é uma ferramenta que subsidia os planejadores ou tomadores de decisão quanto à área a ser ocupada, quanto aos riscos que esta obra causa ao meio, quanto ao sistema de proteção da obra e quanto à manutenção da mesma.

## **8.0 AVALIAÇÃO FINAL**

Esta é a última avaliação do trabalho. Considera-se ideal não haver mais nenhuma dúvida sobre os resultados obtidos e ter-se encontrado todas as correlações possíveis entre os mesmos.

Deve-se elaborar em *check list* das etapas, verificando a adequação de cada uma para o objetivo proposto, desde o início do trabalho até o final.

## **9.0 RELATÓRIO FINAL**

Elaboração do relatório final com todas as cartas e mapas gerados, as informações obtidas e as respectivas análises e considerações. Deve fazer parte do relatório final uma cópia digital do banco de dados, elaborado em um sistema de informações geográficas

## IV DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os resultados obtidos da aplicação dos procedimentos metodológicos na área da carta topográfica IBGE, folha Moji-Guaçu, escala 1:50.000.

### 4.1 Mapeamento Geoambiental

Como o mapeamento geoambiental é composto por três fases de interpretação e análise (unidades geoambientais, morfoestruturas e fraturamento), estas serão apresentadas separadamente nos itens a seguir.

#### 4.1.1 Unidades geoambientais

A Figura 33, carta de unidades geoambientais, apresenta a delimitação das zonas homólogas, obtidas a partir da imagem ETM+/Landsat-7, banda Pan, seguindo a sistemática de Soares *et al* (1978), às quais se atribui as características de litotipo, densidade textural, permeabilidade, tropia, assimetria, plasticidade/ruptibilidade e alterabilidade.

As propriedades de cada unidade geoambiental, delimitadas na Figura 33, são apresentadas na Tabela 10. de forma abreviada. A legenda para entendimento das abreviações e seus significados é apresentada na Figura 34. Para o litotipo, definido na fotointerpretação, S significa rocha de origem sedimentar, M de metamórfica, I de ígnea e Si de sedimento inconsolidado.

As unidades geoambientais 15, 38 e 39; 22 e 54; 3 e 35; 36 e 44; e 39 e 52 têm as mesmas características, portanto elas têm equivalência em termos de fotointerpretação. No entanto elas não foram integradas, pois com as análises de campo e laboratório verificaram-se materiais e estágios de alteração diferentes entre elas.

As unidades de rochas sedimentares geralmente apresentam baixa amplitude altimétrica (30 a 80m), predomina baixa declividade (<10%) e densidade de drenagem próxima a do embasamento ígneo. A drenagem é multidirecional, com trechos lineares. As cabeceiras têm forma de anfiteatro com várias ramificações.

As unidades do embasamento ígneo distinguem-se em Basaltos e Granitos. As de Basaltos apresentam baixa amplitude altimétrica (40 a 85m), com trechos de média declividade (20 a 40%) e densidade de drenagem próxima a das rochas sedimentares. A drenagem é dendrítica, com cabeceiras em vales aprofundados (cabeça de fósforo). As de

granitos geralmente apresentam média amplitude altimétrica (55 a 110m), predomina média declividade (10 a 40%), mas com trechos de alta declividade (>40%) e densidade de drenagem pouco maior que o das rochas sedimentares. A drenagem é dendrítica, por vezes pinada.

As unidades do embasamento metamórfico geralmente apresentam alta amplitude altimétrica (50 a 220), predomina declividade entre 20 e 40%, muitos trechos de alta declividade (>40%) e densidade de drenagem muito acima do embasamento de granitos. A drenagem é retilínea e angulosa.

As unidades de sedimentos inconsolidados geralmente apresentam muito baixa amplitude altimétrica, constituídas apenas por terraços ou leitos antigos, onde predomina declividade quase nula e densidade de drenagem muito baixa. A drenagem é anastomosada, por vezes com meandros abandonados e lagoas marginais.

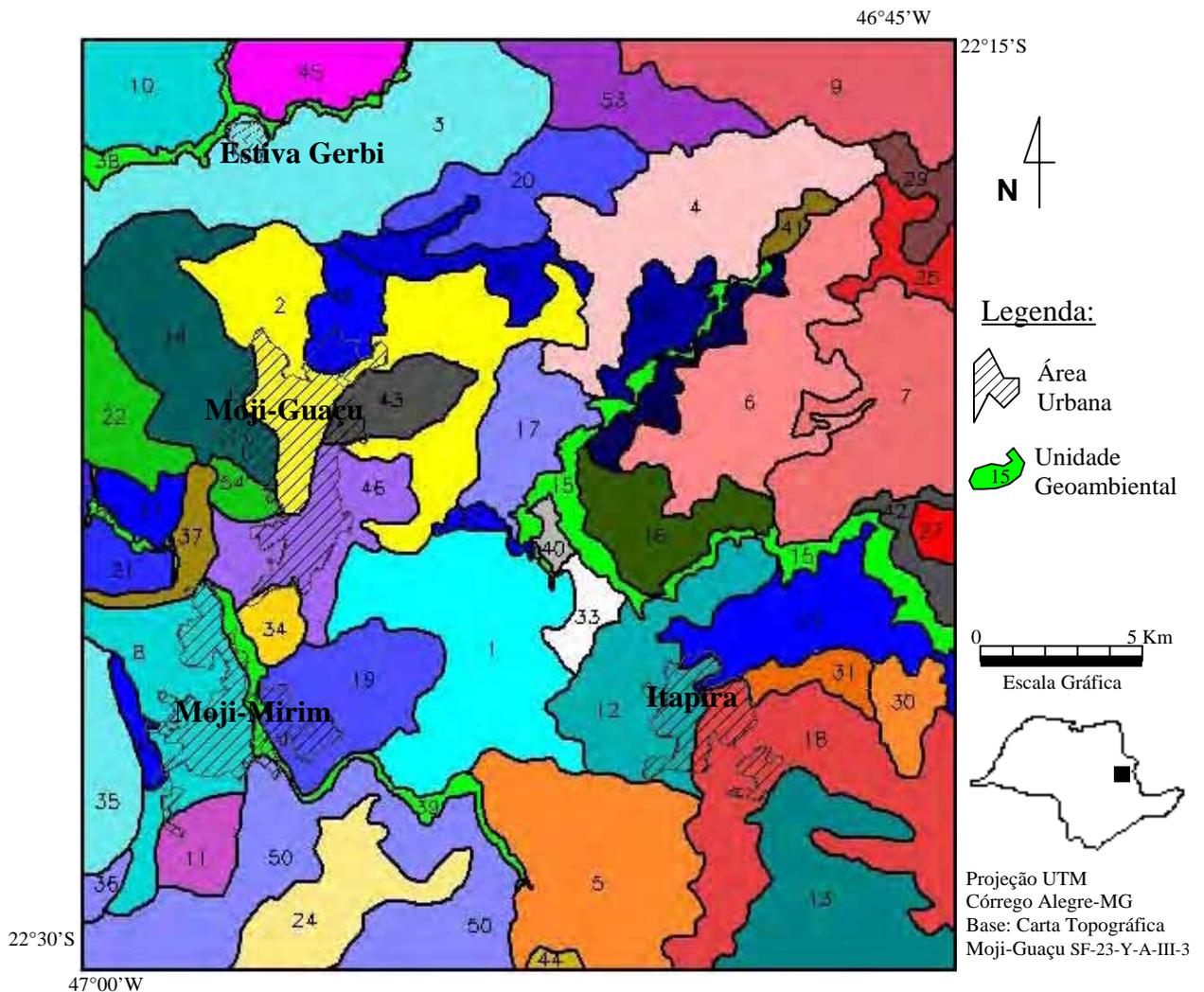


Figura 33 – Carta de unidades geoambientais.

Tabela 10 – Características das unidades geoambientais

Unidade	Litotipo	Densidade Textural	Permeabilidade	Tropia	Plasticidade/Ruptibilidade	Assimetria	Alterabilidade
1	S	Db	mP	O	F	fA	maA
2	I	Dm	pP	nO	pF	mA	aA
3	S	Dm	P	O	F	fA	maA
4	M	Da	pP	nO	pF	pA	mA
5	I	Da	pP	O	F	pA	aA
6	M	Da	P	mO	mF	S	bA
7	M	Dma	mP	O	mF	S	bA
8	S	Db	mP	pO	pF	fA	maA
9	M	Dm	pP	pO	pF	mA	mA
10	S	Dm	P	pO	pF	fA	maA
11	S	Dma	nP	O	mF	fA	maA
12	I	Dma	P	O	mF	pA	mA
13	S	Dm	pP	nO	pF	fA	maA
14	S	Db	P	nO	pF	fA	maA
15	Si	Dn	mP	nO	nF	fA	maA
16	S	Da	pP	O	mF	mA	mA
17	I	Dm	P	pO	F	pA	aA
18	S	Dma	nP	O	F	A	mA
19	S	Dma	nP	pO	F	fA	aA
20	S	Dm	P	nO	pF	fA	aA
21	S	Dm	mP	pO	F	fA	maA
22	Si	Dn	mP	nO	pF	fA	maA
23	S	Da	pP	pO	pF	fA	aA
24	I	Da	pP	nO	F	mA	aA
25	M	Dm	pP	pO	pF	mA	aA
26	I	Da	pP	pO	F	pA	aA
27	M	Dm	mP	mO	mF	pA	mA
28	S	Da	pP	pO	mF	mA	aA
29	M	Da	P	pO	mF	pA	bA
30	M	Da	mP	mO	mF	pA	bA
31	M	Dm	pP	pO	F	mA	mA
32	I	Da	pP	pO	pF	pA	mA
33	S	Dma	pP	pO	mF	mA	aA
34	I	Dma	P	nO	mF	fA	aA
35	S	Dm	P	O	F	fA	maA
36	I	Db	mP	nO	nF	fA	aA
37	I	Db	mP	nO	pF	fA	aA
38	Si	Dn	mP	nO	nF	fA	maA
39	Si	Dn	mP	nO	nF	fA	maA
40	I	Db	mP	nO	pF	pA	maA
41	M	Db	nP	nO	nF	pA	aA
42	S	Db	mP	pO	nF	fA	maA
43	S	Db	P	nO	pF	fA	maA
44	I	Db	mP	nO	nF	fA	aA
45	S	Dm	P	nO	pF	fA	maA
46	S	Da	pP	pO	F	fA	maA
47	Represa						
48	S	Db	mP	nO	F	fA	maA
49	I	Db	mP	O	F	fA	aA
50	S	Db	mP	pO	F	fA	aA
51	S	Db	mP	nO	nF	fA	aA
52	Si	Dn	mP	nO	nF	fA	maA
53	M	Db	pP	pO	pF	mA	mA
54	Si	Dn	mP	nO	pF	fA	maA

A Figura 34 apresenta um esquema geral da classificação quanto à resistência a erosão, tropia, permeabilidade, assimetria de relevo e plasticidade/ruptibilidade, relacionada com a simbologia utilizada na Tabela 10 para a caracterização das unidades geoambientais.

Nota-se que esta classificação não é paramétrica, ou seja, ela é baseada em deduções lógicas, de caráter comparativo. Assim, pode-se dizer que a classificação das unidades geoambientais baseia-se em padrões qualitativos, gerando resultados qualitativos.

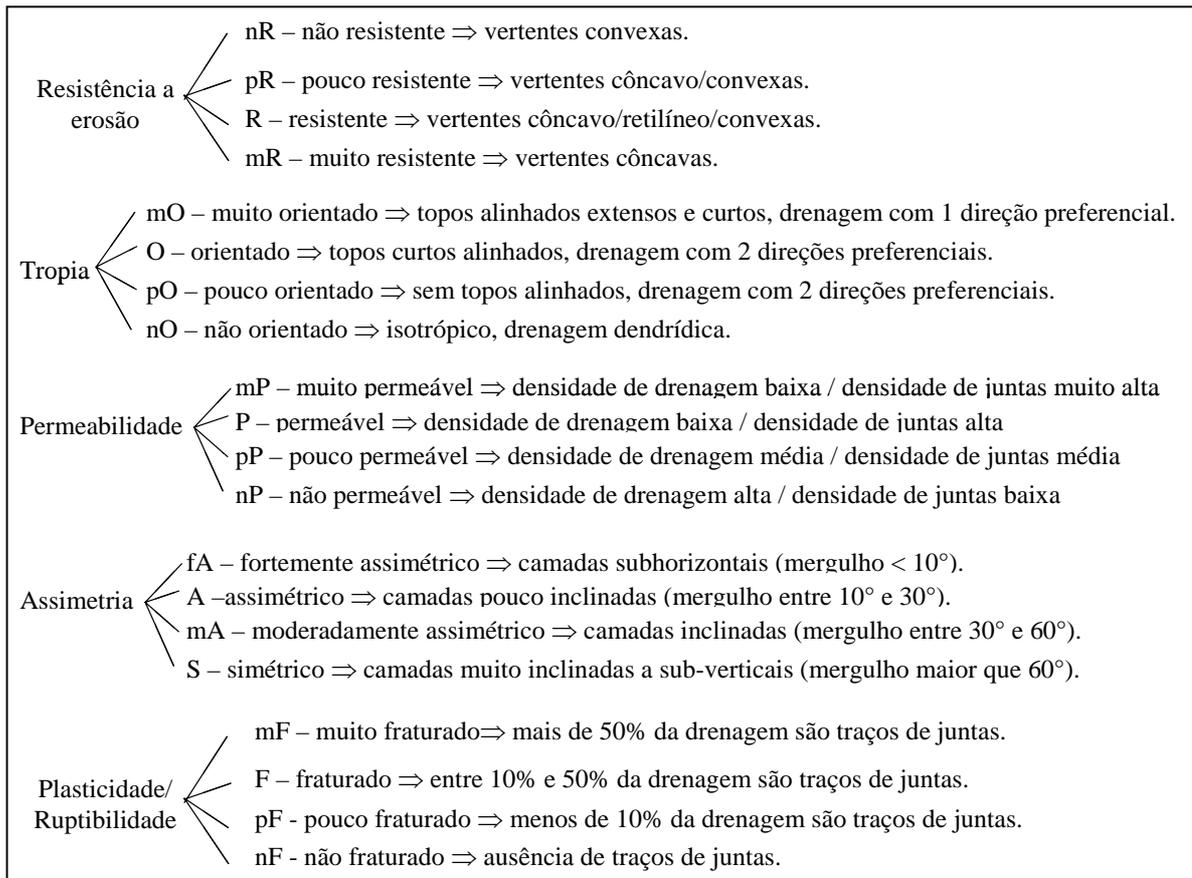


Figura 34 – Esquema e símbolos da classificação para resistência a erosão, tropia, permeabilidade, assimetria de relevo e plasticidade/ruptibilidade, segundo Mattos (2002).

Com as informações de morfometria apresentadas neste item 4.1.1 e com as características das UGs apresentadas na Tabela 10, de modo generalizado, pode-se fazer as seguintes considerações:

- UGs de rochas sedimentares: são as que melhor se adaptam às exigências para expansão urbana e obras lineares. Apresentam boa escavabilidade, baixa densidade de drenagem (pequeno número de travessias), taludes estruturalmente estáveis mas vulneráveis a erosão laminar, em áreas fraturadas podem ocorrer voçorocas, além disso o volume de cortes/aterros é pequeno e há diversas áreas de empréstimo de areia e saibro.

- UGs do embasamento ígneo: adaptam-se bem às exigências para expansão urbana e para obras de infra-estrutura, onde não exista a necessidade de cortes profundos. Apresentam média a alta capacidade de suporte, má escavabilidade, taludes estruturalmente estáveis, percolação condicionada pela direção de fraturamento, baixa a média densidade de drenagem (pequeno a médio número de travessias) e há áreas de empréstimo de matacões, saibro, areia e brita.

- UGs do embasamento metamórfico: adaptam-se localmente às exigências para expansão urbana e para obras de infra-estrutura. Apresentam média a alta capacidade de suporte, má escavabilidade, percolação condicionada pela direção de fraturamento ou foliação, média a alta densidade de drenagem (médio a grande número de travessias), taludes ou vertentes muito inclinadas estruturalmente instáveis e sujeitos a erosão direcionada, há áreas de empréstimo de matacões, saibro, areia e brita. Nas áreas de alta declividade deve-se estimular a criação de parques com plantas nativas, conforme Facincani (1995), para evitar a erosão linear (sulcos e ravinas).

- UGs de sedimentos inconsolidados: não se adaptam às exigências para expansão urbana ou obras de infra-estrutura. Apresentam-se com nível d'água subterrâneo aflorante ou sub-aflorante, baixa capacidade de suporte, muito susceptível a recalques lentos, alta fertilidade e intensa atividade biológica. Essas áreas devem ser protegidas por lei e estimulada a criação de parques.

Uma análise detalhada para cada UG cabe em estudos de viabilidade para implantação de obras e usos. Poder-se-ia explorar UG por UG, mas opta-se no presente trabalho, apenas a título de exemplo, por detalhar as UG30, UG34 e UG50.

A UG30 encontra-se a aproximadamente 2,5km, em linha reta, para leste da área urbana de Itapira. Essa UG assume importância ao se verificar que, entre 1972 e 2000, a cidade tem avançado justamente para leste. A UG30 é constituída por um embasamento metamórfico, com alta densidade de drenagem, é muito permeável, muito orientada, muito fraturada, pouco assimétrica e possui baixa alterabilidade.

Na UG30 as características “muito permeável”, “muito orientada” e “muito fraturada” devem-se a um esforço unidirecional ligado ao falhamento de Jacutinga, que provocou intenso fraturamento N30-40W. Portanto o maciço encontra-se fragilizado. Cortes e conseguinte formação de taludes na área tendem a instabilizar a forma, provocando processos erosivos concentrados, condicionados pelas estruturas presentes, ou mesmo por queda de blocos. O intenso fraturamento também faz com que a área seja vulnerável a acomodações de blocos,

gerando trincas e rachaduras em construções. No caso da agricultura deve-se tomar cuidados na contenção da erosão concentrada.

A alta densidade de drenagem na UG30 faz com que sejam necessárias muitas obras de arte especiais em caso de obras lineares. Também a impermeabilização dessa UG, provocada pelo avanço da mancha urbana, provocaria um aumento considerável na vazão de enchente (vazão máxima de projeto), favorecendo a ocorrência de inundações.

A baixa alterabilidade da UG30 denota que o processo de erosão predomina sobre o de alteração, assim sendo formam-se apenas litossolos ou neossolos litólicos, de baixa fertilidade. Em obras que exijam cortes profundos terá de ser executada perfuração ou dinamitação do maciço.

Já a UG34 localiza-se entre as cidades de Moji-Mirim e Moji-Guaçu e é conhecida como “morro vermelho”, devido ao solo de alteração de basalto. As manchas urbanas dessas duas cidades tendem para a conurbação e atualmente encontra-se em fase de implantação um loteamento chamado “Jardim dos Jequitibás” entre elas. A UG34 é constituída por um embasamento ígneo basáltico, com alta densidade de drenagem, permeável, não orientado, muito fraturado, fortemente assimétrico e com alta alterabilidade.

A alta alterabilidade do maciço, na UG34, faz com que se forme um espesso manto de intemperismo chamado de terra roxa, portanto pode-se realizar cortes com equipamentos de escavação. Devido à alta densidade de drenagem deve-se atentar para a erosão laminar. Apesar de apresentar comportamento rúptil, não há orientação, portanto espera-se um predomínio da erosão laminar sobre a concentrada.

Como a cobertura de alteração intempérica (CAI) na UG34 é rica em óxidos e hidróxidos metálicos há alta fertilidade, mas que tem sido desperdiçada pela ocupação urbana.

A permeabilidade encontrada na UG34 deve-se ao espaçamento inter-granular da CAI, portanto para alcançar a capacidade de suporte em fundações superficiais deve-se proceder a compactação da CAI, se ainda não forem satisfeitas as condições de resistência e deformação de projeto, pode-se lançar as fundações sobre a rocha.

E a UG50 localiza-se a sudoeste da área de estudo, ao sul da cidade de Moji-Mirim. Nessa unidade encontra-se implantada a SP147, em vias de duplicação e ampliação, além de agricultura de subsistência. A UG50 é constituída por um embasamento sedimentar de siltitos e arenitos, com baixa densidade de drenagem, muito permeável, pouco orientado, fraturado, fortemente assimétrico e com alta alterabilidade.

A alta permeabilidade do embasamento na UG50 deve-se ao espaçamento intergranular do arenito, que também se encontra com alta alterabilidade, o que permite a escavação com equipamentos de corte.

Como a densidade de drenagem é baixa e há pouca orientação (apesar do maciço apresentar comportamento rúptil), espera-se moderada erosão laminar e baixa erosão concentrada. Ao se executar cortes, deve-se atentar para o desencadeamento de processos erosivos laminares e escorregamentos planares devido ao fraturamento, já que as camadas são subhorizontais.

Em obras que exijam alta capacidade de suporte, para se atingir a densidade aparente de projeto, invariavelmente necessitar-se-á de compactação com equipamentos vibratórios. No entanto não se espera que o material alcance alta densidade. Nesses casos é possível o tratamento com aglomerantes, para a formação de solo-cimento, visando aumento da resistência.

#### **4.1.2 Deformações dúcteis**

Foram mapeadas 33 feições de altos e baixos estruturais, 34 lineamentos estruturais e um *trend* estrutural que condicionam as estruturas em subsuperfície. Essas feições mapeadas podem ser observadas na carta morfoestrutural (Figura 35), que também apresenta as linhas de contorno estrutural não cotadas. Com esta carta pode-se ter uma noção da disposição das camadas estruturais em subsuperfície e das deformações plásticas que ocorreram na área.

A Figura 36 apresenta a distribuição das morfoestruturas associadas a morfometria na área de estudo. A primeira indicação refere-se a morfoestrutura e a segunda a morfometria. Altos e baixos morfométricos relacionam-se com a topografia do terreno, ou seja, um alto morfométrico é uma feição de topo de morro e um baixo morfométrico é um vale.

Nota-se na Figura 35 que a leste da cidade de Itapira há um *trend* estrutural que rompe e deforma um alto estrutural (UG30 na Figura 33), fato que torna essa área extremamente sensível a qualquer intervenção antrópica, sob pena de grandes instabilizações. Na Figura 36 observa-se que este alto estrutural também está associado a um baixo topográfico. Portanto, às considerações sobre os altos estruturais e baixos topográficos discutidas no capítulo III item “2.8 Análise morfoestrutural/morfométrica”, deve-se somar a preocupação com o intenso fraturamento unidirecional.

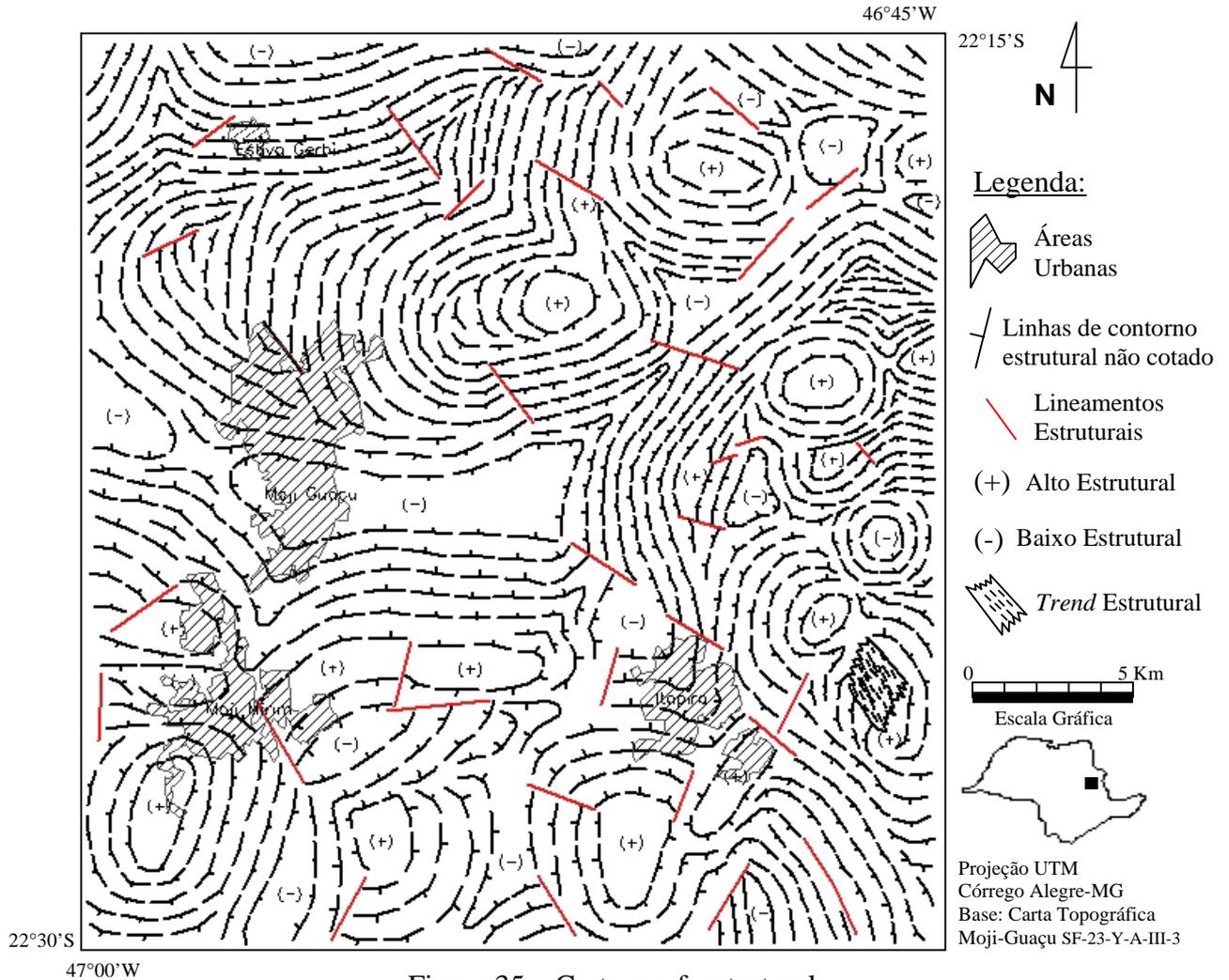


Figura 35 – Carta morfoestrutural

A viabilidade para implantação de obras ou usos que dependam do comportamento do meio em subsuperfície deve ser analisada com o auxílio da carta morfoestrutural. Como é o caso de aterros para disposição de resíduos sólidos ou líquidos.

Tome-se o caso de um aterro sanitário, em que a produção contínua de chorume tende a forçar a percolação do fluido. Nesses casos é fundamental conhecer, além da capacidade de retenção e de troca catiônica (CTC) do meio, a direção de percolação.

Fica óbvio que o local adequado para implantação de um aterro sanitário é um baixo estrutural associado a um alto topográfico, não fraturado. Há uma conformação estrutural de bacia, que na ausência de fraturamento tende a reter o movimento de percolação e concentrar o fluido. O ambiente redutor e a presença de argilominerais do grupo esmectita com alta CTC, ajudam a reduzir o potencial poluidor do chorume. Além disso, a espessa camada de CAI faz com que o NA esteja normalmente profundo. No caso de baixos estruturais fraturados a

desvantagem é de haverá dispersão do fluido contaminante, mas esta se dará preferencialmente na direção do fraturamento.

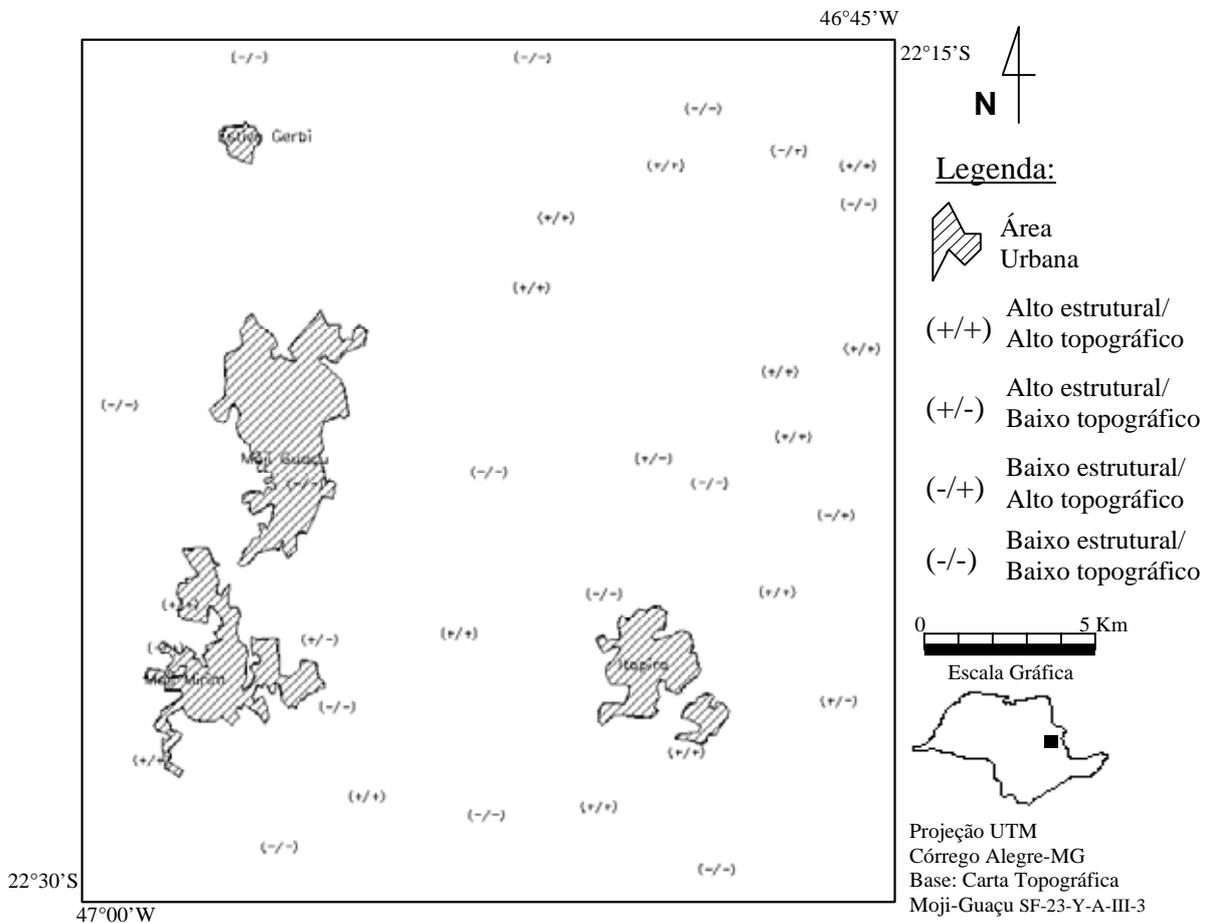


Figura 36 – Distribuição das morfoestruturas associadas a morfometria na área de estudo.

A Figura 37 apresenta a visualização tridimensional da morfoestrutura, elaborada com o software ArcGIS® 9.0 (ESRI, 2005), sendo os planos de textura (a) uma classificação automática do software, (b) uma composição das bandas 3, 2 e 1 do CCD/CBERS-2 nas cores vermelho, verde e azul respectivamente, com a indicação do nome das cidades, (c) uma composição das bandas 5, 4 e 3 do ETM+/Landsat-7 nas cores vermelho, verde e azul respectivamente, com a indicação do nome das cidades e (d) a banda Pan do ETM+/Landsat-7, processada com realce por contraste linear.

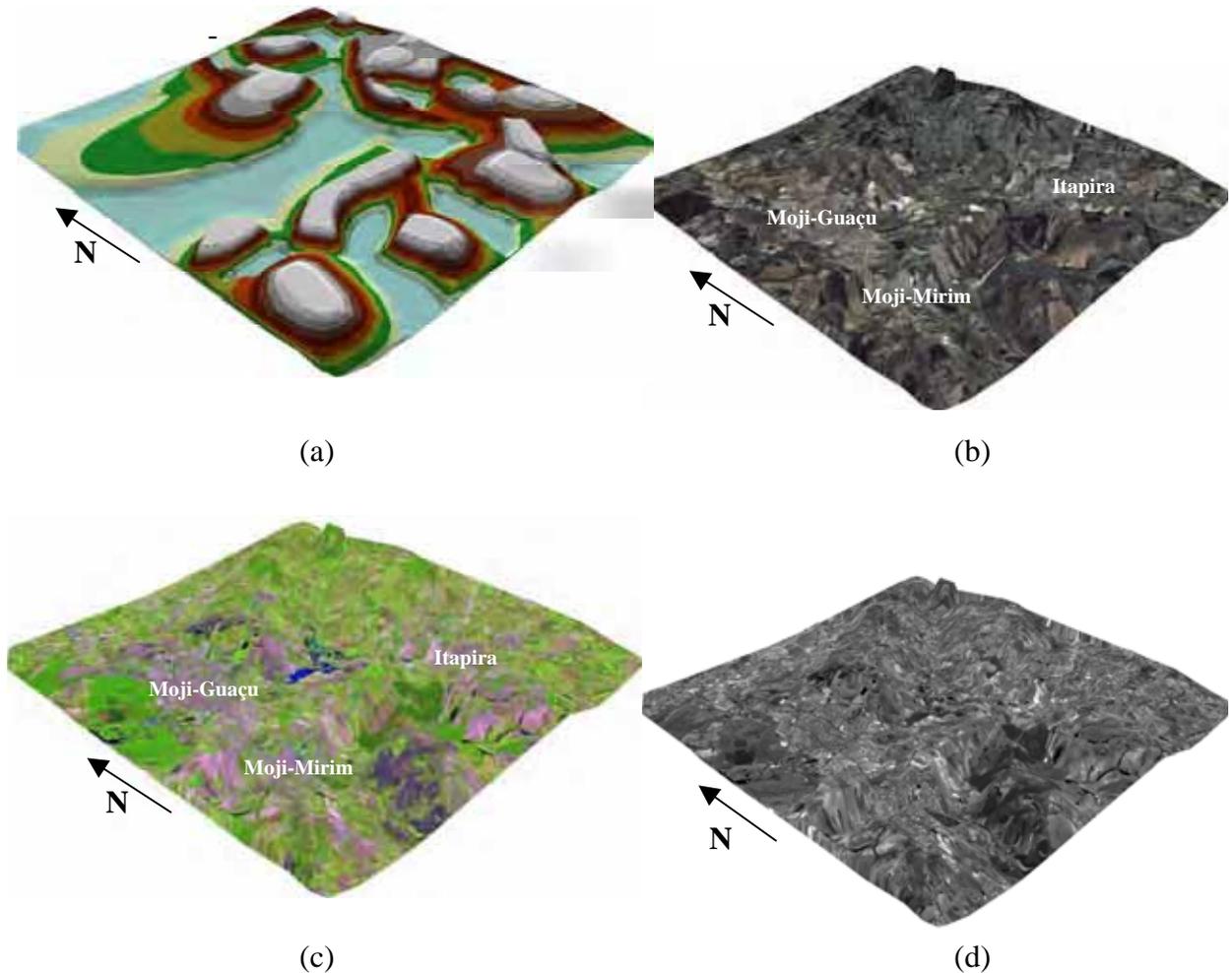


Figura 37 – Visualização tridimensional da morfoestrutura.

- (a) classificação automática ArcGIS 9.0.  
 (b) bandas 3, 2 e 1 do CCD/CBERS-2 nas cores vermelho, verde e azul.  
 (c) bandas 5, 4 e 3 do ETM+/Landsat-7 nas cores vermelho, verde e azul.  
 (d) banda Pan do ETM+/Landsat-7.

A Figura 37a é a que permite visualizar melhor a conformação dos altos e baixos estruturais. Recomenda-se o uso do plano de textura usado na Figura 37a (disponível no ArcGIS 9.0), ou em segundo caso o da Figura 37c (composição colorida 5R4G3B do ETM+/Landsat-7), pois os outros dificultam a visualização. As análises que se seguem são baseadas nas Figuras 37a e 37c.

Portanto na Figura 37a, pode-se observar que no sul da área de estudo as morfoestruturas tem um comportamento próximo ao de uma “caixa de ovos”, evidência de dobramentos flexurais ortogonais ou quase ortogonais. A dinâmica química e hídrica de subsuperfície está fortemente condicionada pelas estruturas dúcteis presentes.

Na Figura 37a, pode-se observar que a norte da área de estudo as morfoestruturas apresentam um comportamento mais caótico, mas com baixos estruturais amplos. Portanto evidenciando dobramentos de pouco esforço ou nível estrutural raso.

Na Figura 37a, pode-se observar que a leste da área de estudo as morfoestruturas apresentam um comportamento caótico e imbricado, com altos e baixos estruturais fortemente condicionados pelo rompimento a que a área está submetida (lineamentos estruturais). Portanto nessa área a dinâmica química e hídrica de subsuperfície está condicionada pelas estruturas rúpteis e dúcteis presentes.

No centro há um grande baixo alongado, com uma bifurcação para nordeste e outra para sudeste. Este baixo está associado aos vales dos rios Moji-Guaçu e Peixe e sofreu forte influência por basculamento de blocos em uma ressurgência da tectônica da área. Portanto nessa área deve haver uma grande preocupação com a retenção de contaminantes químicos (defensivos agrícolas, óleos, entre outros).

As cidades de Moji-Guaçu, Moji-Mirim, Itapira e Estiva Gerbi têm os centros localizados em baixos estruturais. Esse fato deve-se a maior oferta d'água e fertilidade encontrada em baixos estruturais. A maioria das cidades do centro-sul brasileiro iniciou sua ocupação em baixos estruturais (Jiménez-Rueda *et al*, 2005).

Há quatro corpos basálticos (UG2, UG24, UG34 e parte da UG37) que se situam em altos estruturais (Figura 37c). Em campo verificou-se que estes corpos são intrusões verticais e que assumem a configuração estrutural de um alto. A Figura 38 apresenta a foto de uma frente de lavra abandonada na UG34 onde se pode observar o aspecto colunar do maciço.



Figura 38 – Pedreira abandonada na UG34, detalhe para o aspecto colunar do maciço.

A Figura 39 apresenta uma visualização tridimensional, obtida com o *software* Google Earth®, na qual se visualiza o vale encaixado do rio Moji-Guaçu ao centro (UG15), que se insere em um grande baixo estrutural (Figura 37c). Nessa área deve-se atentar para o comportamento inconsolidado do material (elevada porosidade, baixa capacidade de suporte, recalques lentos), alta umidade, alta concentração de íons e instabilizações por parte do fraturamento. Neste trecho o rio Moji-Guaçu apresenta forte desnível, mas a construção de uma grande barragem acarretaria em sismos induzidos.

Na Figura 39, ao lado esquerdo do rio Moji-Guaçu, observa-se terraços em vários níveis, o que evidencia sucessivos soerguimentos/abatimentos (escalonamento de blocos, UG41) resultantes da ação tectônica ressurgente na área. Esses movimentos recentes, somados a alta alterabilidade do maciço torna a área muito vulnerável a ação antrópica, sob pena de desencadeamento de fortes processos erosivos.

Na Figura 39, ao lado direito do rio Moji-Guaçu observa-se a formação de escarpas de falha (UG6), evidências de forte soerguimento recente na região. A UG6 apresenta-se com alta densidade textural, muito orientada e muito fraturada. A execução de obras lineares acarretaria em grande número de travessias de corpos d'água, grande número e volume de cortes e aterros e necessidade de equipamentos especiais para escavação ou mesmo explosivos. Em taludes de corte na UG6 deve-se precaver contra movimentos de massa por queda de blocos.



Figura 39 – Visualização tridimensional de parte do vale do rio Moji-Guaçu.

### 4.1.3 Fraturamento

O estudo das estruturas geológicas (juntas, falhas e lineamentos estruturais), permite uma caracterização do maciço rochoso, em termos de permeabilidade, facilidade à escavação, estabilidade em corte e resistência à compressão.

A carta de fraturamento (Figura 40), apresenta os lineamentos estruturais e os traços de juntas encontrados na imagem ETM+/Landsat-7, banda Pan, segundo o método sistemático (Mattos, 2002).

Foram extraídos da imagem 469 lineamentos estruturais e 3405 traços de juntas. O comprimento médio dos lineamentos estruturais no terreno é de  $1620\text{m} \pm 690\text{m}$ . E o comprimento médio dos traços de juntas no terreno é de  $265\text{m} \pm 58\text{m}$ .

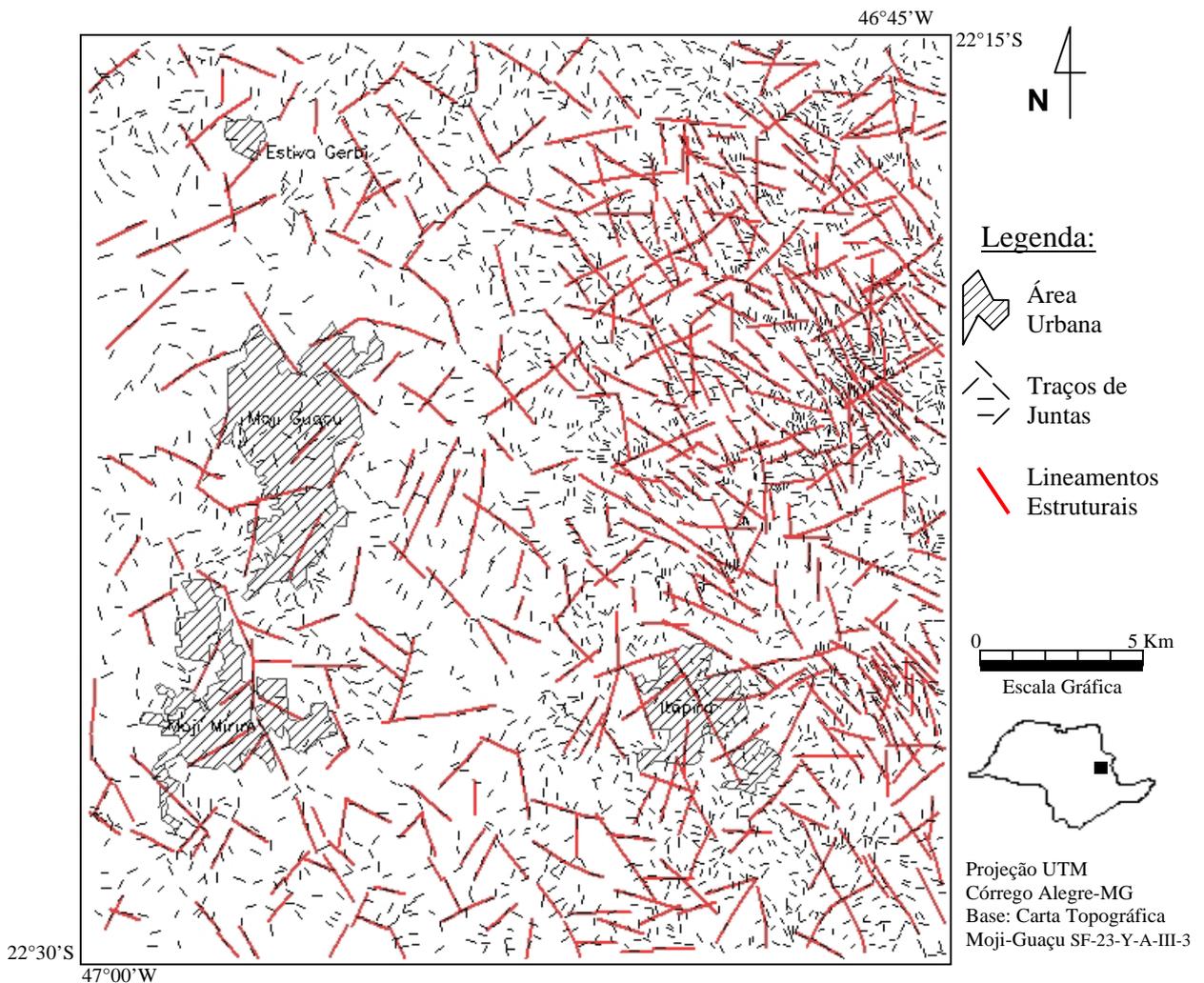


Figura 40 – Carta de fraturamento (lineamentos estruturais e traços de juntas).

Executando-se a rotina para cálculo de densidade de lineamentos, obteve-se a carta de densidade de lineamentos estruturais (Figura 41). A grade retangular de densidade de lineamentos possui valores de 0 a 15 L/km<sup>2</sup> (Lineamentos por kilometro quadrado).

E executando-se a rotina para cálculo de densidade de traços de juntas, obteve-se a carta de densidade de traços de juntas (Figura 42). A grade retangular de densidade de traços de juntas possui valores entre 0 e 35 tJ/km<sup>2</sup> (traços de Juntas por kilometro quadrado).

As cartas de densidade de traços de juntas e de lineamentos estruturais são recomendadas por Peter *et al* (1986), assim como a análise da frequência por direção (diagrama de roseta).

Nota-se, nas Figuras 41 e 42 que as regiões mais afetadas (maior densidade) por lineamentos estruturais e traços de juntas situam-se a leste da área de estudo, ou seja, nos terrenos do embasamento cristalino. Essas áreas encontram-se em equilíbrio dinâmico, no entanto, qualquer intervenção humana em que haja cortes no terreno favorece o desencadeamento de processos erosivos concentrados (sulcos), além de mudanças na dinâmica dos processos de pedogênese e alteração intempérica, favorecendo uma rápida alteração e desagregação do material.

As maiores concentrações de traços de juntas e lineamentos estruturais mapeados na área de estudo denotam zonas intensamente fraturadas, onde a percolação de fluidos dá-se de maneira concentrada (por meio da abertura das fraturas). Para a instalação de aterros sanitários ou disposição de quaisquer contaminantes esse é um fator de suma importância que deve ser detalhado.

Como a nordeste da cidade de Itapira, onde há grande concentração de traços de juntas e lineamentos estruturais. Nessa área são favorecidos os processos naturais de alteração e erosão linear. Quando há intervenção humana como cortes, escavações, aterros ou instalações que provoquem sobrepeso, podem ser desencadeados processos de instabilização, gerando erosões lineares e escorregamentos planares, em cunha ou queda de blocos.

Dentre as regiões menos afetadas por essas estruturas (menor densidade de traços de juntas e lineamentos estruturais) destacam-se a planície do rio Moji-Mirim a montante da cidade homônima, a planície do rio Moji-Guaçu a jusante da cidade homônima e a porção noroeste da área de estudo. Essas áreas são estruturalmente mais estáveis e, portanto menos sujeitas a processos de alteração e erosão, dessa maneira recomendadas à ocupação urbana e mesmo à instalação de obras e usos, necessitando detalhamento em nível de ante-projeto.

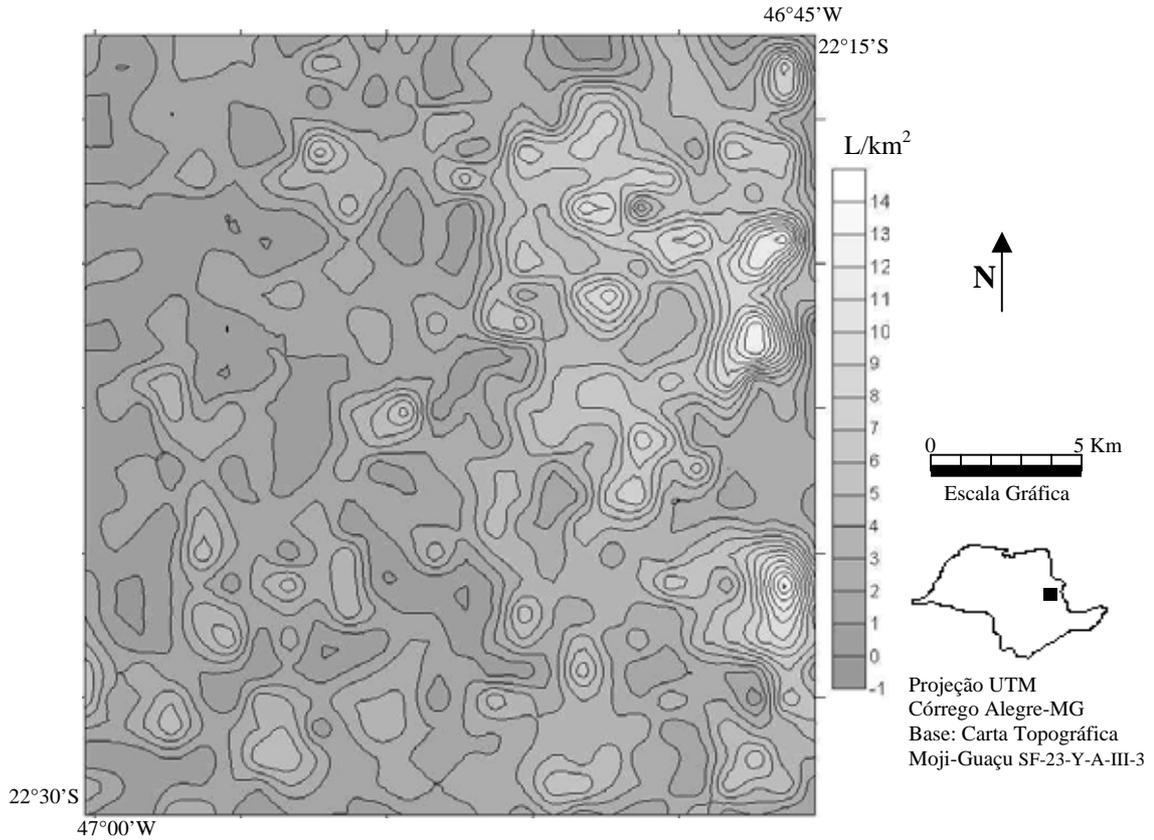


Figura 41 – Carta de densidade de lineamentos estruturais.

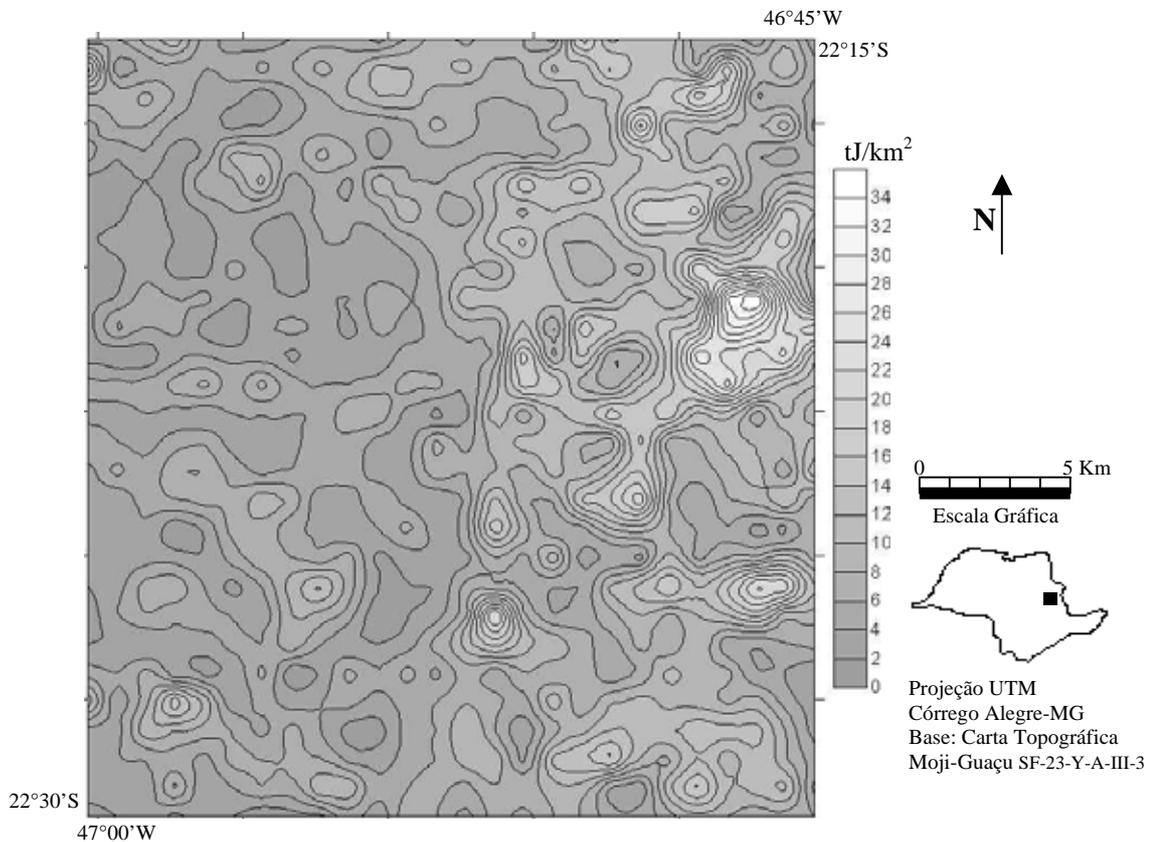


Figura 42 – Carta de densidade de traços de juntas.

Na Figura 43 encontram-se os diagramas de roseta para os lineamentos estruturais (a) e para os traços de juntas (b).

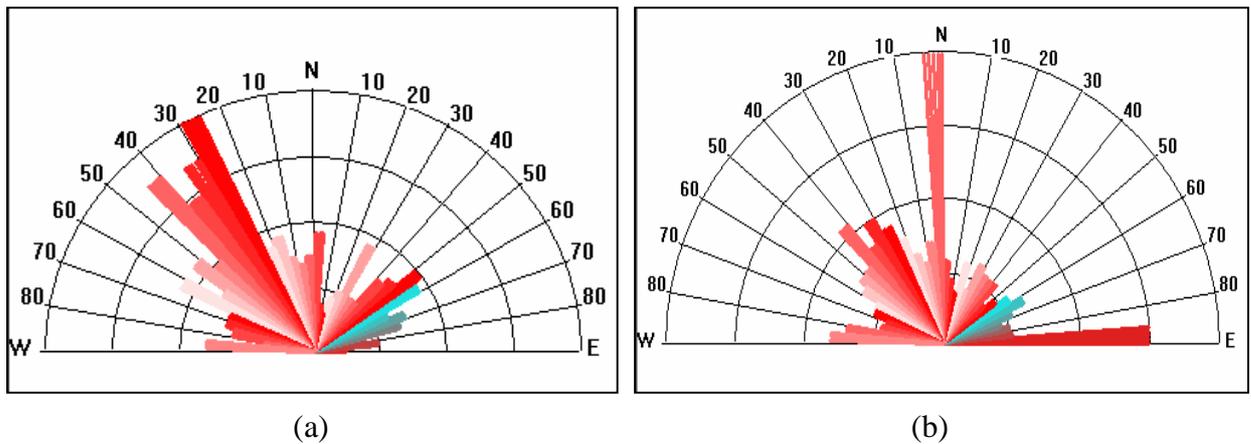


Figura 43 – Diagrama de roseta para os lineamentos estruturais (a) e para os traços de juntas (b).

Observa-se na Figura 43 que as direções preferenciais dos lineamentos estruturais são N25-45W e secundariamente N60W, NS, N30E e N50-60E. Enquanto que as direções preferenciais dos traços de juntas são NS e EW e secundariamente N25-45W.

Portanto a maior preocupação é com obras lineares que cruzam as direções N25-45W, NS e EW. O fato de essas direções predominarem (Figura 43), leva a crer que estão presentes em toda a área de estudo. Portanto obras lineares que cruzam perpendicularmente ou obliquamente as direções N25-45W, NS e EW, tendem a apresentar instabilizações que podem desencadear processos erosivos concentrados ou por queda de blocos. Além disso, podem ser desencadeados movimentos de alívio ou acomodação de blocos que são condicionados pelas direções de fraturamento, ocasionando mudanças na forma do corte.

Obras lineares ou cortes que cruzam as direções N25-45W, N60W, NS, N30E e N50-60E também devem ser alvo de precaução, pois são estruturas regionais que podem desencadear processos erosivos e mudanças na forma dos cortes.

Os lineamentos estruturais e os traços de juntas são estruturas extraídas da rede drenagem observável nos produtos de sensoriamento remoto. Portanto elaborou-se também um diagrama de rosetas para a rede de drenagem (complementada com as curvas de nível disponíveis na carta topográfica IBGE, folha Moji-Guaçu, escala 1:50.000 e com a imagem ETM/Landsat-7, banda Pan), o qual é apresentado na Figura 44.

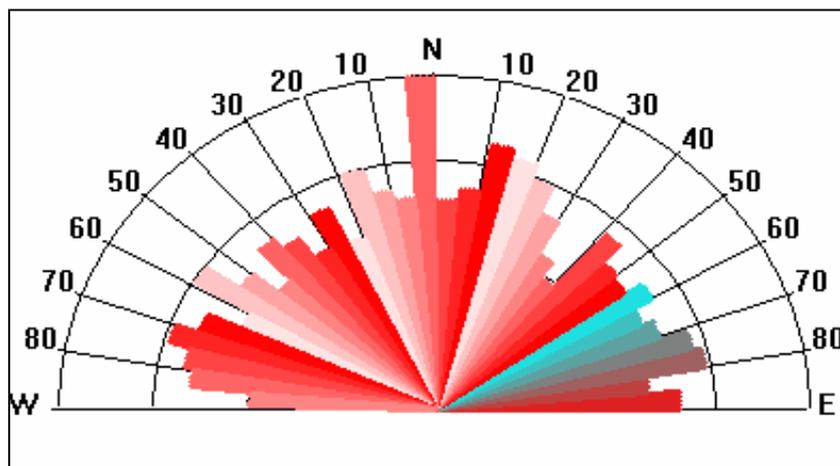


Figura 44 – Diagrama de roseta para a rede de drenagem complementada com auxílio das curvas de nível e imagem ETM+/Landsat-7, banda Pan.

Analisando a Figura 44 conclui-se que a distribuição da orientação da rede de drenagem é praticamente isotrópica. Apenas a direção NS se destaca das outras. Comparando-se com o resultado obtido para os traços de juntas (Figura 43b), observa-se que a drenagem NS está fortemente condicionada por estas estruturas.

A direção preferencial EW dos traços de juntas (Figura 43b) e a região sudeste da área na Figura 42 com alta densidade de traços de juntas orientada na direção EW, estão ligadas ao evento de intrusão dos corpos de rochas básicas (basaltos) na região da depressão periférica paulista.

A direção preferencial de lineamentos estruturais N45W (Figura 43a) está ligada a uma fase de cisalhamento que ocorreu no cretáceo, atingindo rochas do embasamento cristalino e da cobertura sedimentar, bem representada por cataclasitos e pelo sistema de falhamento de Jacutinga. E as regiões com alta densidade de lineamentos estruturais e traços de juntas (Figuras 41 e 42) situadas à leste da área de estudo, orientadas a N60E, estão ligadas ao falhamento de Ouro Fino.

Os falhamentos do embasamento cristalino (falhas de Jacutinga e Ouro Fino) não são tão evidentes na porção sedimentar da área de estudo, mas juntamente com as estruturas NS e EW (movimentos recentes) condicionam o fraturamento das rochas sedimentares sobrepostas.

Observa que a rede de drenagem depois de complementada, dá origem a carta de densidade de drenagem (Figura 18b) muito diferente da que origina a drenagem constante na carta IBGE 1:50.000 (Figura 18a). Observa-se também que há alta correlação entre a densidade de drenagem (Figura 18b) e a densidade de lineamentos estruturais e traços de juntas (Figuras 41 e 42).

Estes fatos comprovam a predominância de traços de juntas nas drenagens orientadas de 1º ordem e justificam os trabalhos de complementação da rede de drenagem com base nas curvas de nível e nas imagens disponíveis.

A partir da carta de traços de juntas, realiza-se o procedimento para extração dos máximos de juntas 1 e 2, definindo-se as zonas de variação de máximos 1 e 2, as quais podem ser visualizadas na Figura 45.

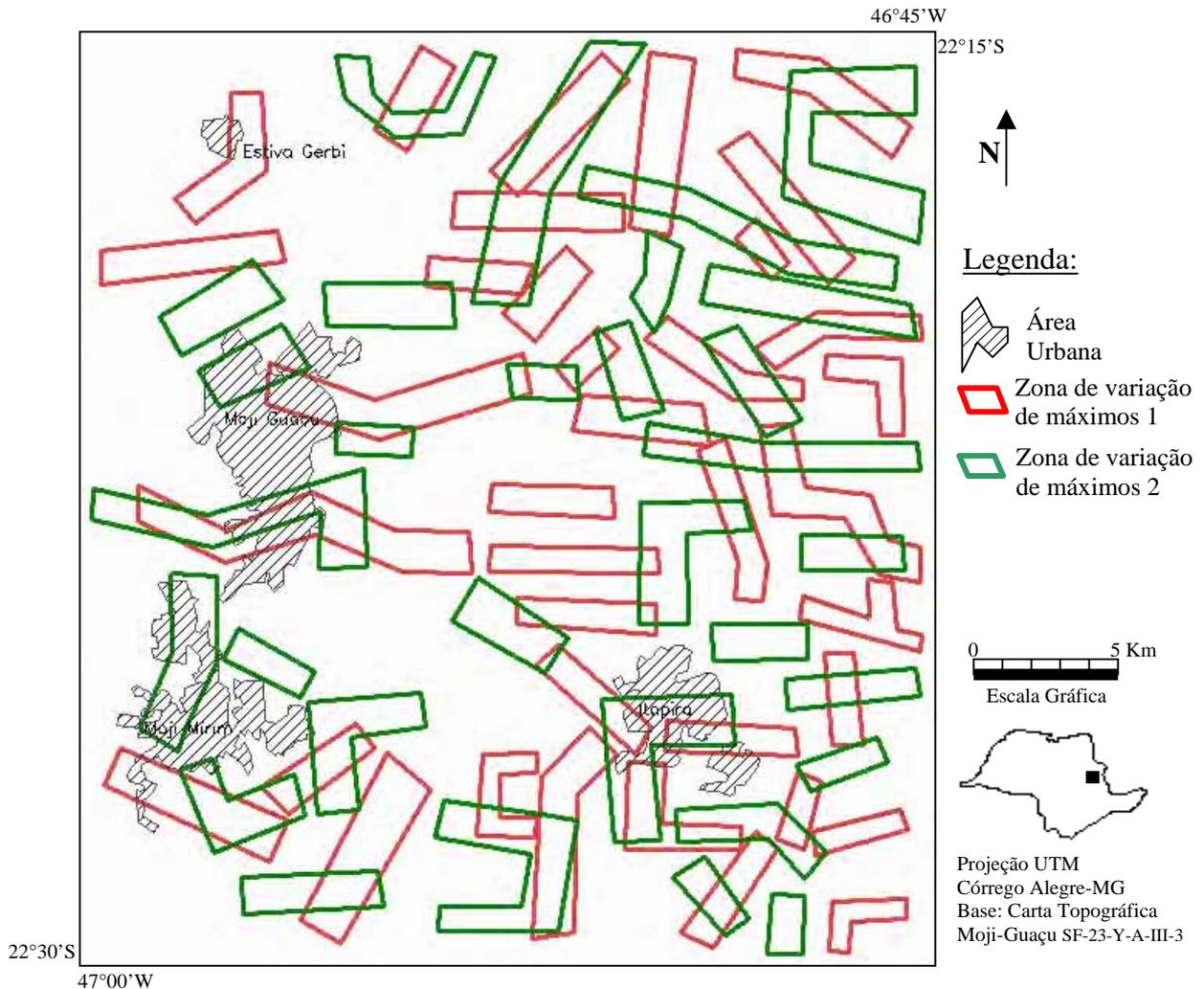


Figura 45 – Zonas de variação de máximos de juntas 1 e 2.

As áreas mais fraturadas, e portanto mais instáveis, são aquelas em que há variação de máximos 1 e 2 concomitantemente, seguida daquelas em que há variação apenas do máximo 1 e por último daquelas em que há variação somente do máximo 2.

Onde há variação dos máximos 1 e 2 concomitantemente, são áreas expostas (no passado geológico ou atualmente) a pelo menos 4 direções de esforço. Onde há variação apenas de máximos 1 ou 2 são áreas expostas (no passado geológico ou atualmente) a pelo

menos 2 direções de esforço, variando a intensidade do mesmo. A intensidade do esforço que gerou o rompimento identificado no máximo 1 é maior que o do máximo 2.

Na Figura 45, a leste da área de estudo (embasamento cristalino) observa-se muitas zonas de variação de máximos. Essas zonas sofreram ou sofrem forte influência deformacional rúptil, de compressão ou descompressão. De qualquer maneira são áreas muito fraturadas.

As obras ou usos que sejam instalados em zonas de variação de máximos devem ser planejadas para contornar a instabilidade eminente dessas áreas, com atenção especial ao fluxo d'água subterrâneo orientado, ao desencadeamento de processos de alteração do material e erosão inicialmente concentrada, evoluindo para laminar.

Nota-se na Figura 45 que os sítios urbanos estão dentro ou envoltos por zonas de variação de máximos. Quando não há manejo adequado esse fato causa grandes transtornos a sociedade, como o desenvolvimento de uma voçoroca dentro da mancha urbana de Moji-Mirim. Essa feição desenvolveu-se em uma zona de variação de máximos 2.

Segundo Facincani (1995) e Hasui *et al* (1995) o desenvolvimento de feições erosivas lineares podem decorrer da falta de manejo associada ao fraturamento da área.

#### **4.2 Uso e cobertura da terra / Declividade**

O uso e cobertura da terra é um fator sócio-econômico importante para o planejamento de usos e obras. Ocorrências de áreas reflorestadas, alagadas, urbanas ou de expansão urbana, além de matas ou capoeiras são restritivas para a implantação de obras de infra-estrutura. Enquanto que pastos, culturas e mesmo solo exposto não são restritivas *a priori*.

Para mapeamento do uso e cobertura da terra, utilizou-se das imagens ETM+/Landsat-7, bandas 3, 4 e 5, órbita/ponto 219/76, passagem 22/08/00 e CCD/CBERS-2, bandas 2, 3 e 4, órbita/ponto 155/125, passagem 24/07/04.

Seguindo as recomendações de Pereira *et al* (1989) e Pereira *et al* (1994), obteve-se a carta de uso e cobertura da terra de acordo com a imagem ETM+/Landsat-7 (Figura 46).

Observa-se que na área em estudo há extensas áreas com plantações de eucaliptos, estas servem para produção de celulose pela International Paper (município de Moji-Guaçu) e para produção de mel e derivados (município de Moji-Mirim). Além de áreas reflorestadas com a mesma espécie arbórea.

Há um grande número de pequenas propriedades que se destinam a culturas anuais, como cana, milho, painço, além de outras também pequenas propriedades que trabalham com

citrus (laranja e limão). Principalmente para leste da área (serra da Mantiqueira), há muita presença de matas. Ao longo do curso dos rios normalmente observa-se uma faixa de vegetação do tipo capoeira, sendo esta a cobertura que predomina na área de forma geral.

Entretanto, houve considerável confusão entre as classes de capoeira e cultura, essa questão em parte foi dirimida com a realização de trabalhos de campo, onde procurou-se, entre outras coisas, atualizar o mapeamento de uso e cobertura da terra.

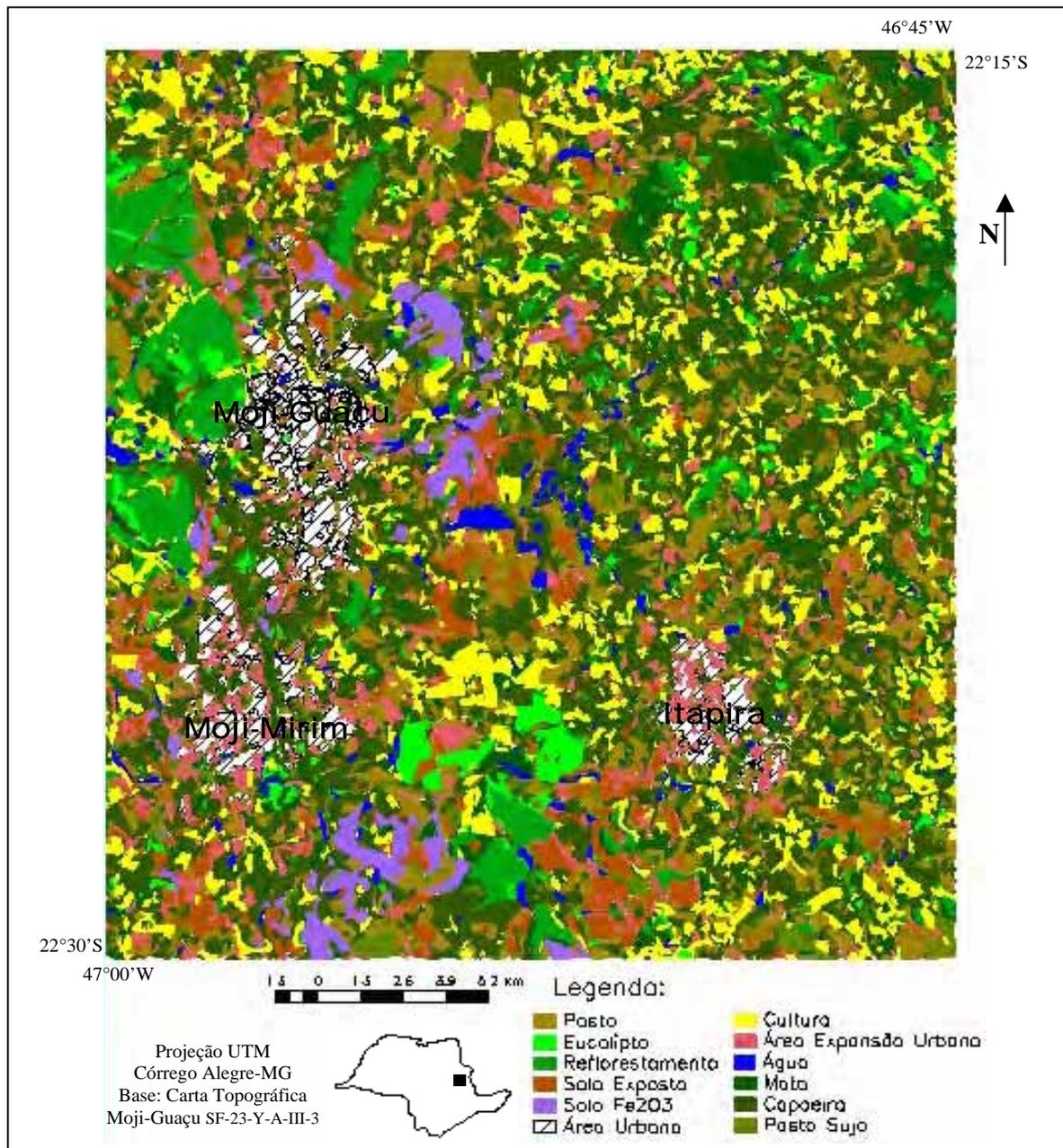


Figura 46 – Carta de uso e cobertura da terra, 21/06/00.

Na Figura 46 pode-se observar que as plantações de eucaliptos localizam-se a noroeste da área de estudo, próximas ao município de Moji-Guaçu, onde esta instalada uma industria

de papel e celulose. Na parte central e oeste (rochas sedimentares) predominam culturas diversas, aproveitando baixa declividade dos terrenos e a fertilidade das coberturas com contribuição de basaltos. Na porção leste a alta declividade e a baixa produtividade do solo permitem apenas a formação de pastos, onde não há interesse comercial situam-se as matas.

Nota-se na Figura 46 muitas frentes de expansão urbana, fato que comprova o acelerado crescimento urbano desta região nos últimos anos e vem justificar a execução de estudos dirigidos ao crescimento e adensamento populacional, como os planos diretores.

A Tabela 11 apresenta os usos e coberturas da terra mapeados, com sua respectiva área em km<sup>2</sup> e em porcentagem da área total.

Tabela 11 – Áreas correspondentes aos diferentes usos e coberturas da terra na área de estudo.

Uso e cobertura da terra	Descrição	Área (km <sup>2</sup> )	Área (%)
Água	Superfície coberta por água, tanques, lagos e represas.	9,38	1,28
Área urbana	Residências, comércios, indústrias.	37,37	5,11
CAI vermelha escura	CAI exposta de cor vermelha escura, com alto teor de óxidos de ferro e titânio.	21,34	2,92
CAI exposta	CAI exposta, sem nenhuma cobertura.	67,52	9,24
Reflorestamento	Áreas reflorestadas, normalmente com eucaliptos e pinus.	64,78	8,86
Eucalipto	Áreas de plantação de eucalipto.	21,37	2,92
Pasto	Gramíneas e outras ervas pastáveis.	120,03	16,42
Pasto Sujo	Gramíneas e arbustos, macega.	31,27	4,28
Capoeira	Gramíneas, arbustos e pequenas árvores.	230,16	31,49
Mata	Área onde as copas das árvores se tocam.	34,02	4,66
Área de expansão urbana	Loteamentos novos e ocupação recente.	28,23	3,86
Cultura	Cana, milho, laranja, limão e outras culturas.	65,32	8,94
	Total	730,79	100

A informação de declividade também é uma importante propriedade do terreno a ser considerada no planejamento de usos e obras de infra-estrutura. A maioria das obras adequa-se melhor em terrenos de baixa declividade, mas há casos em que se procura declividades maiores como em condomínios de alto luxo e aterros sanitários.

Para mapeamento da declividade utilizou-se as curvas de linha e pontos cotados disponíveis na carta topográfica IBGE, folha Moji-Guaçu, escala 1:50.000, em meio digital. Procedeu-se uma interpolação dessas amostras para gerar um modelo triangular (TIN), da interpolação do TIN, gerou-se uma grade retangular (DEM).

Com o DEM de altimetria, em ambiente SIG, gerou-se uma grade de declividade, com valores de porcentagem. Essa grade foi fatiada para se obter a Figura 47, que apresenta a carta de declividade da área de estudo.

A Tabela 12 apresenta a ocorrência em área das classes de declividade mapeadas na área de estudo. Observa-se que predominam as declividades menores que 20%. Apenas a leste da área de estudo ocorre declividade maior que 40%, nas encostas dos morros da Serra da Mantiqueira (embasamento de gnaisses, migmatitos e granitos).

Tabela 12 – Classes de declividade, com suas respectivas ocorrências em área.

<b>Faixa de Declividade (%)</b>	<b>Classe na Carta</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Área (%)</b>
0 a 2	Plano	267,26	37,54
2 a 10	Baixa	251,20	35,29
10 a 20	Moderada	141,24	19,84
20 a 40	Alta	46,63	6,55
maior que 40	Muito alta	5,52	0,78

Observa-se que as declividades entre 10% e 40% que ocorrem no centro e a oeste da área de estudo estão associadas à ocorrência de basaltos. Na porção sedimentar a declividade é sempre menor que 20%.

Prefere-se a implantação de novos sítios urbanos em áreas planas, com declividade menor que 10%. No intuito de baratear o custo de terraplenagens e para se aproveitar melhor a área do terreno, a área de inundação e os terraços de rios são invadidos.

É necessário procurar por locais onde não haja influência dos rios, mesmo em períodos de cheia, mas que guardem a característica de baixa declividade. A área de estudo é próspera nesses locais. Condomínios residenciais de alto padrão já aceitam áreas de maior declividade, pois são lotes de áreas maiores e os proprietários dispõem de recursos para benfeitorias.

A implantação de obras lineares e a mecanização na agricultura também são condicionadas pela declividade. Altas declividades impedem ou encarecem sobremaneira o uso de tratores e outros equipamentos mecanizados na agricultura. Já em rodovias ou ferrovias as altas declividades condicionam curvas verticais íngremes, impróprias para transporte de carga.

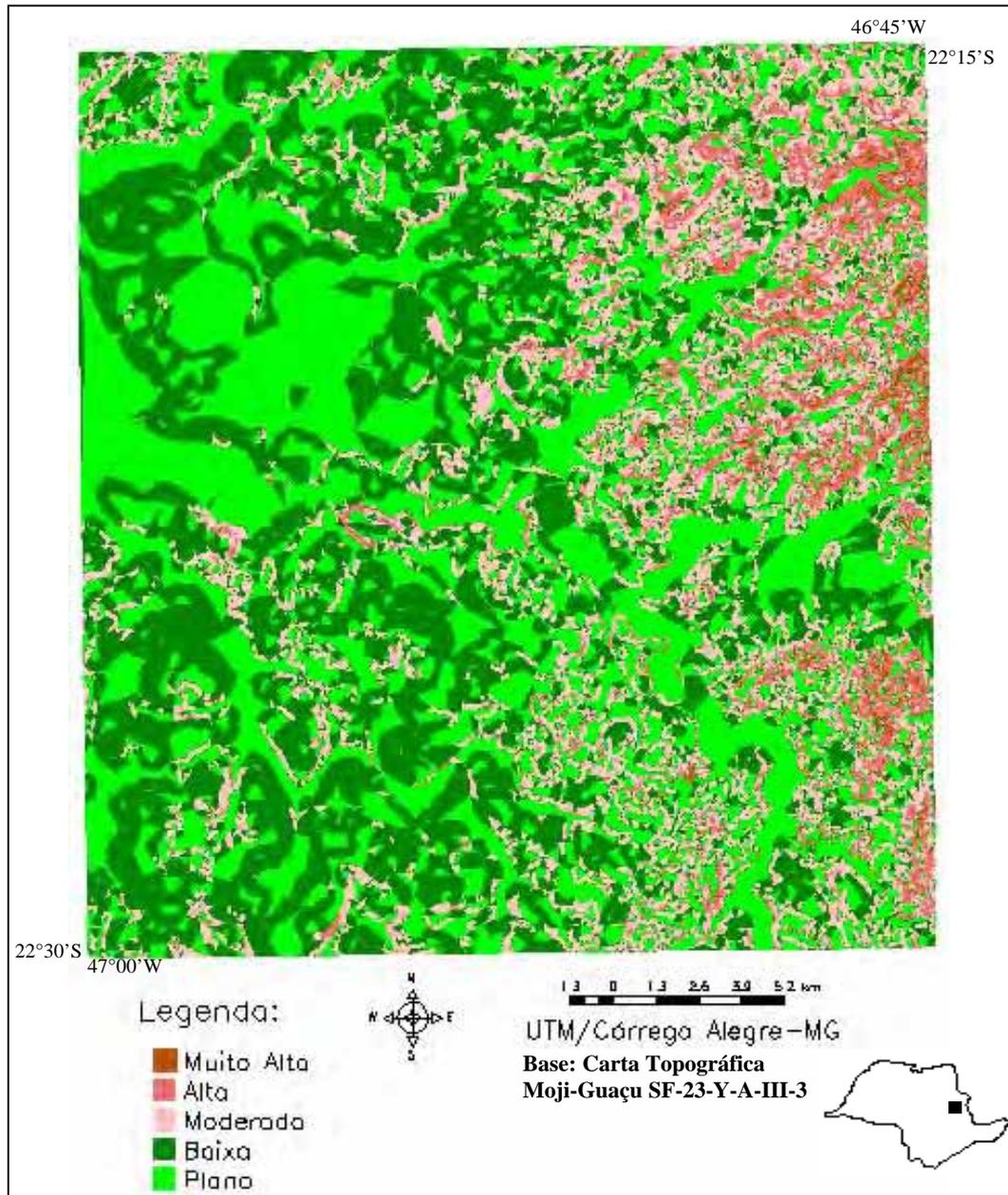


Figura 47 – Carta de declividade.

### 4.3 Trabalhos de campo

Como o presente trabalho é de cunho metodológico, julga-se necessário fazer algumas considerações a respeito dos resultados obtidos nos trabalhos de campo.

As observações e resultados obtidos em campo foram transcritos para uma ficha técnica de campo, elaborada para este tipo de trabalho. Nesta ficha podem ser compiladas as observações regionais, do perfil em questão, os resultados das análises de física e morfologia da CAI, mineralogia areia, características das rochas e do maciço rochoso, além do fraturamento encontrado.

A Figura 48 é aqui apresentada como um exemplo de preenchimento de ficha de campo, dentro da metodologia proposta, nela encontram-se os resultados obtidos em campo em um perfil de CAI e rocha na unidade geoambiental 53. Na Figura 48 também se pode verificar que os campos “textura” e “RCU (MPa)” contém apenas descrições do comportamento do material em campo, sendo necessária uma classificação posterior. No caso da textura utiliza-se o diagrama triangular (IBGE, 1995), no da RCU utiliza-se Vaz (1996), Geraldo e Marques Filho (1998) e Bell (1993).

A classificação da textura, da RCU (resistência a compressão uniaxial) e do E (módulo de elasticidade) é semi-quantitativa, ou seja, por faixas de valores. A textura da amostra é classificada segundo o diagrama triangular de textura (IBGE, 1994), a faixa de resistência à compressão uniaxial segundo Vaz (1996) e a faixa do módulo de elasticidade segundo Bell (1993) e Marques Filho e Geraldo (1998).

Ao todo foram visitadas 39 UGs e preenchidas 55 fichas de campo, para uma área de aproximadamente  $650\text{km}^2$ , perfazendo uma densidade de amostragem de apenas  $0,085\text{pontos}/\text{km}^2$ . Este valor não é preocupante, pois o objetivo da presente pesquisa é de desenvolver e testar uma seqüência de procedimentos metodológicos. Obviamente, em trabalhos técnicos deve-se aumentar o número de pontos, visitando-se todas as UGs.

As UG que receberam mais pontos de análise foram as que mais apresentavam variação visual nas características da CAI e do material rochoso. Ao perceber tal variação procura-se um afloramento significativo e executavam-se as análises táteis-visuais.

A ausência de análise de campo em algumas UG deu-se por dificuldade de acesso (por exemplo, as UGs 25, 27, 29 e 30 que situam-se na Serra da Mantiqueira e a UG 44 que se situa dentro de uma propriedade rural) ou mesmo pelo fato de não ter encontrado um afloramento natural para análise (por exemplo a UG 23). A Figura 49 apresenta um esquema da área de estudo com a delimitação das UG e com uma indicação dos pontos onde se procedeu as visitas de campo.

A unidade geoambiental (UG) 19 foi a mais visitada com 4 pontos de análise; as UG 8, 5 e 34 tiveram 3 pontos de análise; as UG 3, 15, 17, 18, 24 e 48 tiveram 2 pontos de análise; as UG 1, 2, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 20, 22, 26, 28, 32, 33, 35, 37, 38, 39, 40, 43, 45, 46, 49 e 53 tiveram 1 ponto de análise; e as UG 4, 21, 25, 27, 29, 30, 31, 36, 41, 42, 44, 47, 51, 52 e 54 não tiveram nenhum ponto de análise.

<b>Local:</b> SP342, margem da estrada de Moji-Guaçu para Pinhal						
<b>Data:</b> 24/11/05 <b>UG:</b> 53 <b>UTM:</b> x=310874, y=7536448, h=711m, e=12m						
<b>CAI:</b> heterogênea, saprolito de gnaiss, com bandas de MnO, raízes superficiais, presença de <i>Skins</i> , poucos colóides brancos dispersam sob agitação. Pasto e culturas anuais. Morros convexos baixos, declividade ~20%. Presença de matações dm à métricos.						
<b>Porosidade (mm):</b> <1 a 1 esparsos <b>Profundidade perfil/NA:</b> 1 a 3m/não encontrada						
<b>Cor:</b> variegado com manchas vermelhas, amarelas, cinzas, brancas e rosas						
<b>Estrut/tamanho blocos (cm):</b> estrutura fraca: poucos blocos e prismas						
<b>Consist. seca:</b> ligeiramente duro <b>Consist. úmida:</b> muito friável a friável						
<b>Plasticidade:</b> não plástico <b>Pegajosidade:</b> pouco pegajoso						
<b>Textura:</b> arenosa, com muitas estrias, não consigo moldar esfera						
<b>Forma/tamanho grãos (µm):</b> angular a subangular; 88 a 3000µm						
<b>Mineralogia:</b> quartzo, quartzo com caulim, calcita, biotita, muscovita, turmalina, magnetita.						
Alguns microagregados de quartzo, caulim e magnetita. Predomina quartzo e caulim.						
Magnético: magnetita						
<b>Imersão em água:</b> sem blocos para ensaio						
<b>Descrição Afloramento:</b> granito bandado a gnaiss muito alterado.						
<b>Fraturas – Rugosidade:</b> liso (ceroso) <b>Cond. umidade:</b> seco						
<b>Fraturas – Alteração/espessura(mm):</b> massa alterada						
<b>Profundidade perfil/NA (m):</b> subaflorante a 3m						
<b>RCU (MPa):</b> desagrega com martelo, que afunda 2mm, canivete sulca fundo						
<b>Dimensão afloramento (m):</b> 100						
Atitude	Mergulho	Espaçamento (cm)	Persistência (m)	Abertura (mm)	Preenchimento (material/consist.)	série/sist /sist.conj
N40E	vertical	20	100	-		
N80E	vertical	10	100	-		
N30W	vertical	50	100	-		
N60W	vertical	20	100	-		sist. conj.
EW	vertical	5	100	-		sist. conj.
N25W	subvertical	2	100	0,5	MnO	

Figura 48 – Ficha de campo com os dados da unidade geoambiental 53.

Como o presente trabalho é de cunho científico e metodológico preocupou-se em visitar a maior parte das UGs. No entanto as 15 UGs não visitadas não interferem nos resultados da pesquisa, porque simplesmente não fazem parte das análises. Em um trabalho técnico logicamente deve-se visitar todas as UGs e proceder os ensaios de campo e laboratório em todos.

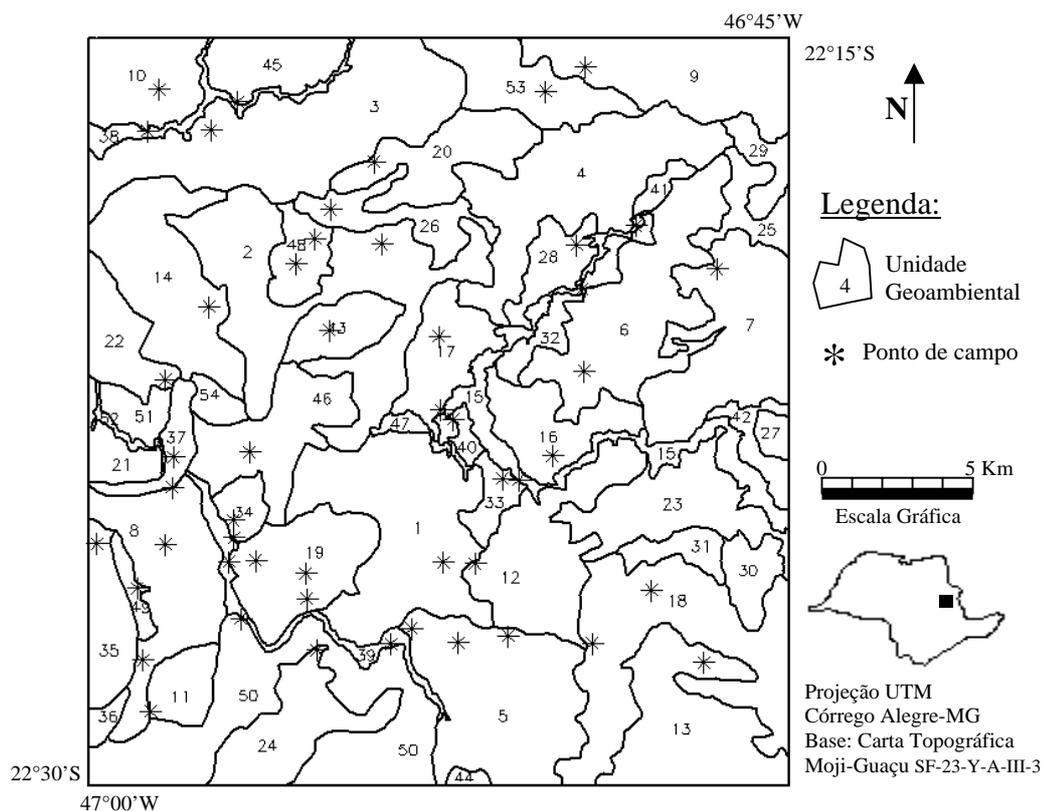


Figura 49 – Esquema da área com a delimitação das UG e indicação dos pontos de campo.

A maioria das amostras apresentou microagregação entre quartzo, hematita, goetita, magnetita e caulim. As amostras provenientes de basaltos ou com alto teor de óxidos de ferro apresentavam muitos microagregados de quartzo com hematita e magnetita. As provenientes de colúvios, vermelhas ou amarelas, apresentavam microagregados de quartzos com hematita e goetita. As provenientes de alteração de granitos e gnaisses apresentavam microagregados de quartzos com caulim, hematita e goetita.

A título de exemplo, a seguir serão analisadas duas amostras com maior detalhe: a UG15 e a UG48a.

A Figura 50 apresenta uma foto da fração areia da amostra de origem aluvionar UG15, onde pode-se observar a presença de quartzo, quartzo rosa, matéria orgânica, goetita, hematita, granito, biotita e magnetita. Há grãos microagregados de quartzo com hematita, goetita e magnetita. Há grãos de quartzo e biotita recobertos com filmes de hematita e goetita, além de grãos de granito recobertos com filmes de goetita.

Nessa amostra de estrutura prismática a laminar, com grãos subangulares a subarredondados, de tamanho entre 88 $\mu$ m a 3000 $\mu$ m e onde predomina quartzo, apenas as magnetitas exibiram propriedades magnéticas.

As informações obtidas com a análise da amostra da fração areia da CAI, coletada na UG15 (Figura 50), permitem concluir que trata-se de um depósito colúvio/aluvionar, de curta a média distância e alta energia, recente e inconsolidado, com muita contribuição de material advindo das rochas ácidas da Serra da Mantiqueira (granitos, gnaisses), mas também com contribuições de material advindo das intrusões básicas (basaltos), além de matéria orgânica. O material sofreu um processo de laterização pretérito em outro ambiente oxidativo e hoje se encontra em um ambiente redutor, havendo preservação de minerais e reorganização dos argilominerais para estruturas 2:1.



Figura 50 – Fração areia da amostra UG15.

A Figura 51 apresenta uma foto da fração areia da amostra de origem coluvionar UG48a, onde pode-se observar a presença de quartzo, calcita, goetita, hematita, basalto, silito amarelado e magnetita. Há grãos microagregados de quartzo com hematita, goetita e magnetita, além de quartzos recobertos com filmes de goetita.

Nessa amostra de estrutura prismática, com grãos subangulares a angulares, onde predomina goetita na fração 88 $\mu$ m a 350 $\mu$ m e quartzo e magnetita na fração 350 $\mu$ m a 2000 $\mu$ m, as magnetitas, goetitas e quartzos com goetita exibem propriedades magnéticas.

As informações obtidas com a análise da fração areia da amostra UG48a, coletada na UG48 (Figura 51), permitem concluir que se trata de um depósito coluvionar, de curta distância, inconsolidado, com contribuições de material advindo de rochas sedimentares

(Bacia do Paraná), de intrusões básicas (basaltos) e de rochas ácidas (granitos e gnaisses). Predominam goetita e grãos de quartzo com filmes de goetita, devido a um ambiente oxidativo, mas com permanência temporária de água. Atualmente esse sistema foi alçado e encontra-se em um alto topográfico, mas devido a ação repulsiva da goetita, a água superficial tem dificuldade de infiltração ou escoamento, o que acarreta em freqüentes alagamentos na SP342.



Figura 51 – Fração areia da amostra UG48a.

A Tabela 13 apresenta os resultados dos ensaios de campo realizados nas 36 amostras analisadas.

Tabela 13 – Resultados dos ensaios de campo.

Amostra	Morfologia da CAI				Física de solos				Rocha	
	Cor	Estrutura	Textura	Poros	Plasticidade	Pegajosidade	Consistência Seca	Consistência Úmida	Litologia	RMR
UG1	vermelho claro/marrom	prismática (fraca)	franco silteoso	1mm	Não plástico	pegajoso	ligeir. duro	muito friável	arenito alterado	51
UG10	vermelho	prismático laminar	franco argiloso	1 a 2mm	plástico a muito plástico	ligeir. a pegajoso	muito duro	muito firme	siltito alterado	67
UG11	vermelho escuro	colunar	argiloso	<1mm	ligeir. plástico	muito pegajoso	duro	friável	granito alterado	47
UG12	marrom	prismas/grumos mm	franco argiloso	3mm	ligeir. plástico	pegajoso	ligeir. duro	muito friável		
UG13	vermelho	prismática	franco argilo silteoso	1 a 2mm	ligeir. plástico	ligeir. a pegajoso	ligeir. duro	muito friável		
UG14	vermelho/amarelo	prismática colunar	argilo-silteoso	<1mm	ligeir. plástico	pegajoso a muito	muito duro a inquebrável	friável		
UG15	variiegada	prismática a laminar	franco argiloso	2mm	plástico	pegajoso	ligeir. duro a duro	firme	gnaisse alterado	69
UG16	variiegada	prismático	franco argilo silteoso	4mm	ligeir. plástico a plástico	pegajoso	ligeir. duro a duro	firme		
UG17	variiegada	prismático	franco argilo silteoso	3mm	ligeir. plástico a plástico	pegajoso	inquebrável	muito firme	granito alterado/são	62/88
UG18	vermelho	prismática a colunar	argilo-silteoso	1mm	não a ligeir. plástico	pegajoso	ligeir. duro	ligeir. firme	siltito alterado	63
UG19	amarelo a marrom	prismas laminares	argila silteosa	<1mm	plástico	pegajoso	muito duro	friável	siltito alterado	67
UG2	vermelho escuro	prismáticos a blocos	argila	<1 a 1mm	ligeir. plástico a plástico	pegajoso	muito duro	muito friável a friável		
UG20	vermelho	grumos cm a prismas	argila	3mm	ligeir. plástico	muito pegajoso	muito duro	muito firme		
UG22	marrom/oliváceo	blocos	franco argiloso	1 a 2mm	ligeir. plástico a plástico	pegajoso	ligeir. duro a duro	ligeir. firme		
UG24	vermelho escuro	prismático	muito argiloso	1mm	plástico	pegajoso	duro a muito duro	firme		
UG26	vermelho/amarelo	laminar	argila	1mm	ligeir. plástico a plástico	ligeir. a pegajoso	duro	muito friável	granito alterado	49
UG28	vermelho	prismático e colunar	muito argiloso	<1mm	ligeir. plástico	pegajoso a muito	muito duro	muito firme		
UG3	vermelho	blocos	argiloso	<1mm	ligeir. plástico	pegajoso a muito	muito duro	muito firme	argilito compacto	61/64
UG32	vermelho	prismático	argila a muito argilosa	<1 a 1mm	não a ligeir. plástico	muito pegajoso	duro	firme	gnaisse alterado	34
UG34	Vermelho escuro	prismática	argilo-arenoso	1mm	ligeir. plástico a plástico	pegajoso	muito duro	muito firme	basalto são	85
UG35	marrom claro a pardo	prismática média	franco arenoso	2mm	muito plástico	ligeir. pegajoso	muito duro a inquebrável	friável		
UG37	vermelho escuro	prismático	argila	<1mm	plástico	pegajoso	duro a muito duro	firme		
UG38	marrom escuro	blocos colunares	franco argilo-silteoso	<1 a 1mm	plástico	ligeir. pegajoso	duro	firme	arenito friável	33
UG39	preto	prismas a blocos	franco argiloso	4mm	plástico	muito pegajoso	inquebrável	muito friável		
UG40	variiegada	prismática/laminar	franco arenoso a franco	<1 a 1mm	ligeir. plástico a plástico	pegajoso	ligeir. duro a duro	friável		

Tabela 13 – Resultados dos ensaios de campo (continuação).

Amostra	Morfologia da CAI				Física de solos				Rocha	
	Cor	Estrutura	Textura	Poros	Plasticidade	Pegajosidade	Consistência Seca	Consistência Úmida	Litologia	RMR
UG43	vermelha	blocos/prismas	franco siltoso	1mm	ligeir. plástico a plástico	ligeir. a pegajoso	ligeir. duro	friável		
UG45	vermelho claro	prismático	franco argilo-siltoso	3mm	plástico a muito plástico	pegajoso	duro	firme	argilito/arenito	51
UG46	vermelho	blocoso a laminar	argila siltosa	<1mm	ligeir. plástico a plástico	pegajoso	muito duro	friável a ligeir. firme	argilito/siltito	48
UG48 a	amarelo	prismática	franco siltoso	<1 a 1mm	ligeir. plástico a plástico	pegajoso	ligeir. duro	friável		
UG48 v	vermelho claro a escuro	prismática	argila siltosa	<1mm	ligeir. plástico a plástico	pegajoso	duro	friável a ligeir. firme		
UG49	vermelho escuro	prismática	argila	1mm	plástico	pegajoso	duro	friável		
UG51	vermelho claro a escuro	laminar	argila siltosa	1mm	ligeir. plástico	pegajoso	solto	muito friável	granito alterado	73
UG5m	vermelho/marrom claro	prismática	franco arenoso	1mm	ligeir. plástico a plástico	pegajoso	ligeir. duro a duro	muito friável		
UG50	vermelho amarronzado	prismática	franco arenoso	<1 a 1mm	plástico	ligeir. a pegajoso	ligeir. duro	muito friável		
UG53	variegada	grumos mm	arenosa	<1 a 1mm	Não plástico	ligeir. a pegajoso	ligeir. duro a duro	muito friável a friável	granito alterado	39
UG6	variegada	prismas	franco argilo siltoso	1mm	ligeir. plástico	pegajoso a muito	muito duro	firme	gnaisse alterado	42
UG7	vermelho/marrom claro	blocos/prismas	argila siltosa	1 a 2mm	plástico	pegajoso	muito duro	muito firme a inquebrável	granito alterado	47
UG8	vermelho/marrom claro	prismática	franco argilo arenoso	1mm	plástico	pegajoso	duro	muito friável	arenito friável	56/62/63
UG9	variegada	prismática	arenosa	<1 a 1mm	não plástico	não pegajoso	duro	muito friável	granito alterado	48

Os valores de RMR obtidos para os maciços analisados podem ser analisados por litologia. A Tabela 14 apresenta a litologia, as unidades geoambientais a que estas pertencem, o valor de RMR, a classe de maciço rochoso e os intervalos de valores estimados para a coesão (kPa) e para o ângulo de atrito ( $^{\circ}$ ), segundo Bieniawski (1989).

Tabela 14 – Litologias, UG, valor de RMR, classe de maciço rochoso e resistência mecânica.

Litologia	Unidade Geoambiental	Valores de RMR	Classe	Coesão (kPa) / ângulo de atrito ( $^{\circ}$ )
Arenitos alterados e friáveis	UG10, UG45, UG8	51/51/56	regular	200-300kPa / 25°-35°
Arenito alterado	UG8	62/63	bom	300-400kPa / 35°-45°
Arenito pouco consolidado	UG38	33	pobre	100-200kPa / 15°-25°
Siltitos alterados	UG11, UG18, UG19	67/63/67	bom	300-400kPa / 35°-45°
Argilito maciço	UG3	61/64	bom	300-400kPa / 35°-45°
Argilitos alterados	UG45, UG46	51/48	regular	200-300kPa / 25°-35°
Granito são	UG17	88	muito bom	>400kPa / >45°
Granitos alterados	UG17, UG5	62/73	bom	300-400kPa / 35°-45°
Granitos muito alterados	UG26, UG12	49/47	regular	200-300kPa / 25°-35°
Gnaisse pouco alterado	UG15	69	bom	300-400kPa / 35°-45°
Gnaisse alterado	UG6, UG7, UG9	42/47/48	regular	200-300kPa / 25°-35°
Gnaisse alterado, fraturado	UG32, UG53	34/39	pobre	100-200kPa / 15°-25°
Basalto são	UG34	85	muito bom	>400kPa / >45°

Observa-se na Tabela 14 que em alguns casos as litologias, apesar de situadas em diferentes UGs, apresentam valores de RMR próximos, como é o caso dos siltitos alterados ou dos granitos muito alterados.

Dentro de uma mesma UG encontra-se valores de RMR próximos, como é o caso da UG3 e UG8, mas também encontra-se valores distante como na UG17. A dispersão dos resultados para um mesmo maciço corroboram as recomendações de Bieniawski (1989), de realizar a análise para cada maciço, dividindo-o em vários segmentos se necessário.

Os valores de RMR situam-se entre 33 (UG38, arenito friável e pouco consolidado) e 88 (UG17, granito são). Ou seja, os maciços analisados na área de estudo situam-se entre “pobres” e “muito bons”. Não foi encontrado nenhum maciço “muito pobre”, tal fato deve-se a condição seca e ao baixo grau de fraturamento da maioria dos maciços estudados.

O valor de RMR determinado para o maciço analisado na UG34, encontra-se em conformidade com o obtido por Cordel e Tajima (2005) para derrames de basalto são, seco e pouco fraturado. Já as faixas de valores de resistência a compressão estimados em campo e a densidade da rocha determinada em laboratório para os arenitos alterados e granitos são e alterados estão em conformidade com Gama (1994). Enquanto que o RMR encontrado para os gnaisses alterados encontra-se em conformidade com o obtido por Marques *et al* (2005).

## 4.4 Ensaios de Laboratório

### 4.4.1 Ensaios geotécnicos

Os ensaios geotécnicos realizados no presente trabalho são os de simples caracterização do material e que são primordiais para o estudo de praticamente qualquer obra. Os ensaios foram conduzidos para obtenção dos parâmetros: densidade natural ( $\rho_{\text{nat}}$ ), densidade dos sólidos ( $\rho_s$ ), umidade ( $w$ ), grau de saturação ( $S$ ), porosidade ( $\eta$ ), densidade aparente seca ( $\rho_d$ ), limite de plasticidade (LP), limite de liquidez (LL), índice de plasticidade (IP) e granulometria.

Os resultados dos ensaios para se determinar a densidade natural ( $\rho_{\text{nat}}$ ) [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ], densidade dos sólidos ( $\rho_s$ ) [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ] e umidade ( $w$ ) [%] são apresentados na Tabela 15. Usando as equações da mecânica dos solos pode-se determinar também o índice de vazios ( $e$ ), o grau de saturação ( $S$ ), a porosidade ( $\eta$ ). Também apresentados os limites de liquidez (LL) [%] e de plasticidade (LP) [%], a granulometria em [%] de areia/silte/argila e o resultado da desagregação.

A Figura 52 apresenta a curva granulométrica das 36 amostras analisadas, com o diâmetro dos grãos em função da porcentagem de material que passa ou é retido nas peneiras.

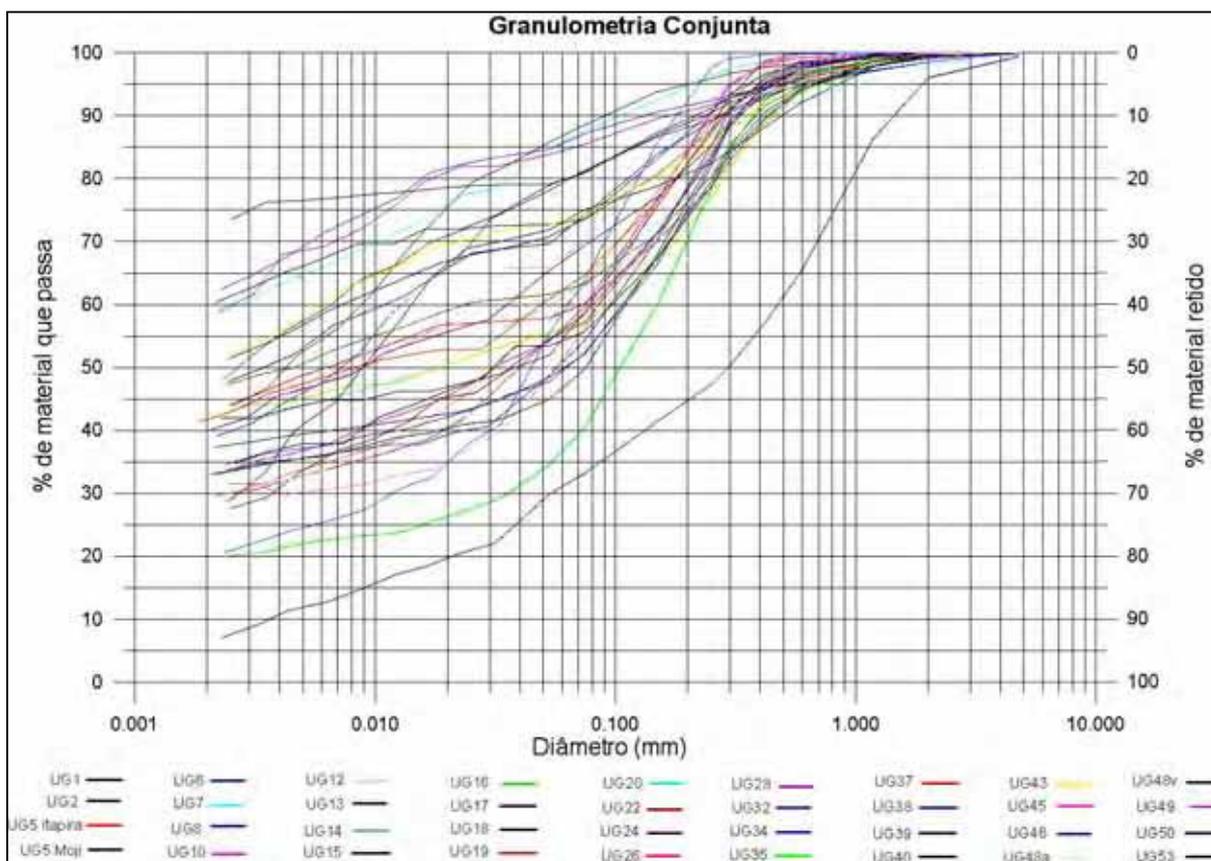


Figura 52 – curva granulométrica das 36 amostras analisadas.

A Figura 53 apresenta as curvas granulométricas (a) das coberturas provenientes de alteração dos basaltos (UG2, UG24, UG34, UG37, UG39 e UG49), (b) das coberturas provenientes de alteração dos granitos e gnaisses (UG6, UG7, UG40 e UG53), (c) das coberturas provenientes de depósitos fluviais (UG15, UG22, UG38 e UG39) e (d) das coberturas provenientes de depósitos coluviais (UG1, UG5m, UG5i, UG8, UG10, UG12, UG13, UG14, UG16, UG17, UG18, UG19, UG20, UG26, UG28, UG32, UG35, UG43, UG45, UG46, UG48a, UG48v e UG50).

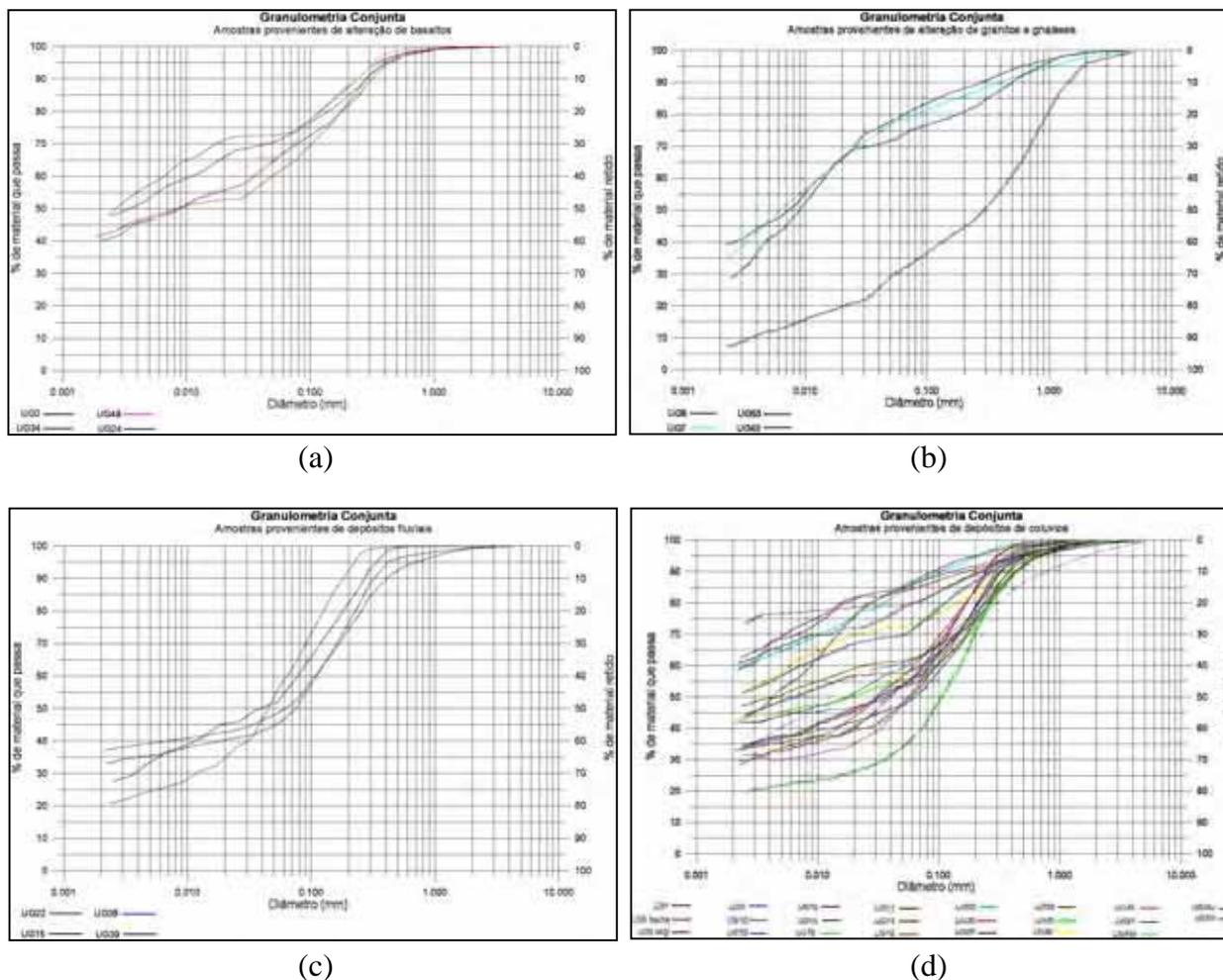


Figura 53 – Curva granulométrica das coberturas (a) de alteração dos basaltos, (b) de alteração dos granitos e gnaisses, (c) de depósitos fluviais e (d) de depósitos colúvies.

Nota-se que as curvas granulométricas dos materiais provenientes de alteração de basaltos (Figura 53a), granitos e gnaisses (Figura 53b, com exceção da UG53) e de depósitos fluviais (Figura 53c) apresentam um comportamento semelhante segundo sua respectiva gênese. Na UG53, o material é muito arenoso, derivado de um gnaíse muito rico em quartzo na fração areia. Neste local, situado em um alto estrutural intensamente fraturado, é favorecida a remoção dos finos, principalmente das argilas.

Já nas curvas granulométricas dos materiais provenientes de depósitos de colúvies (Figura 53d), observa-se uma heterogeneidade entre as coberturas, sendo que em algumas predomina a fração areia, em outras a fração silte, em outras a fração argila e ainda em outras há um equilíbrio entre as três frações.

Tabela 15 – Características das amostras inconsolidadas analisadas.

	LL (%)	LP (%)	W (%)	IP (%)	$\rho_{nat}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{sol}$ (g/cm <sup>3</sup> )	w (%)	$\rho_d$ (g/cm <sup>3</sup> )	e	S (%)	n (%)	Granulometria			Desagrega- ção
												areia	silte	argila	
UG1	16,15	NP	4,46	16,2	1,48	2,49	4,46	1,41	0,76	0,15	0,43	25,73	13,93	60,35	inalterado
UG10	24,8	17,87	10,09	6,93	1,58	2,36	10,09	1,44	0,64	0,37	0,39	49,12	17,26	33,62	Abatim. 1m
UG12	49,9	31,93	10,03	18	1,44	2,27	10,03	1,31	0,73	0,31	0,42	38,43	28,73	32,84	Abatim.5m
UG13	44,85	35,87	10,96	8,98	1,39	2,23	10,96	1,25	0,79	0,31	0,44	26,48	22,17	51,35	Abatim.12h
UG14	39,9	31,21	6,71	8,69	1,31	2,33	6,71	1,23	0,90	0,17	0,47	43,75	14,47	41,79	Abatim.2m
UG15	29,3	13,65	9,87	15,7	1,61	2,50	9,87	1,46	0,71	0,35	0,42	58,32	8,62	33,05	Abatim.5m
UG16	40,85	27,1	15,05	13,8	1,51	2,60	15,05	1,32	0,98	0,40	0,49	51,14	7,09	41,77	Abatim.1m
UG17	35,1	27,43	17,88	7,67	1,70	2,24	17,88	1,44	0,55	0,72	0,36	37,81	15,08	47,11	inalterado
UG18	62,1	46,74	12,99	15,4	1,36	2,26	12,99	1,20	0,88	0,33	0,47	13,71	42,46	43,83	Abatim.12h
UG19	27,55	19,51	6,82	8,04	1,51	2,38	6,82	1,41	0,69	0,24	0,41	48,08	20,4	31,53	inalterado
UG2	36,8	29,55	18,28	7,25	1,63	2,40	18,28	1,37	0,74	0,59	0,43	27,5	24,46	48,04	inalterado
UG20	47,5	30,32	15,55	17,2	1,60	2,54	15,55	1,39	0,84	0,47	0,46	21,42	20,28	58,3	fraturado
UG22	33,5	21,5	11,57	12	1,49	2,27	11,57	1,33	0,70	0,37	0,41	50,33	22,07	27,59	fraturado
UG24	34,05	26,47	16,71	7,58	1,52	2,75	16,71	1,30	1,11	0,41	0,53	42,38	17,46	40,16	inalterado
UG26	37,2	31,32	14,46	5,88	1,58	2,61	14,46	1,38	0,89	0,42	0,47	53,46	16,85	29,69	Abatim.12h
UG28	49,4	33,44	21,04	16	1,76	2,50	21,04	1,46	0,72	0,74	0,42	17,94	23,08	58,98	Abatim.12h
UG32	62,4	35,65	22,60	26,8	1,47	2,37	22,60	1,20	0,99	0,54	0,50	15,4	22,14	62,46	Abatim.10m
UG34	41,4	31,1	20,03	10,3	1,70	2,26	20,03	1,42	0,59	0,76	0,37	27,36	24,97	47,67	fraturado
UG35	18,5	14,44	7,38	4,06	1,84	2,42	7,38	1,72	0,41	0,44	0,29	70,39	9,68	19,93	inalterado
UG37	30,9	21,81	11,49	9,09	1,54	3,07	11,49	1,38	1,23	0,29	0,55	47,13	11,45	41,41	Abatim.12h
UG38	25,2	19,48	7,95	5,72	1,65	2,55	7,95	1,53	0,67	0,30	0,40	58,87	20,56	20,57	inalterado
UG39	34,1	6,85	5,75	27,3	1,91	2,58	5,75	1,81	0,43	0,35	0,30	55,27	7,45	37,27	inalterado
UG40	38,35	26,75	18,35	11,6	1,55	2,36	18,35	1,31	0,80	0,54	0,45	26,65	44,45	28,89	Abatim.1m
UG43	40,8	31,38	24,26	9,42	1,36	2,20	24,26	1,10	1,01	0,53	0,50	20,76	27,24	52,00	inalterado
UG45	22,1	10,76	4,45	11,3	1,49	2,54	4,45	1,43	0,78	0,15	0,44	60,2	11,48	28,32	inalterado
UG46	31,65	20,8	17,47	10,9	1,61	2,31	17,47	1,37	0,69	0,59	0,41	45,6	19,80	34,60	fraturado
UG48a	36,6	27,5	17,96	9,1	1,49	2,63	17,96	1,27	1,08	0,44	0,52	55,5	15,30	29,20	fraturado
UG48v	38,4	30,1	20,77	8,3	1,52	2,18	20,77	1,26	0,72	0,62	0,42	46,59	18,73	34,68	inalterado
UG49	36,4	27,93	15,17	8,47	1,54	2,23	15,17	1,34	0,67	0,51	0,40	34,15	23,04	42,81	Abatim.1m
UG5i	43	31,45	11,85	11,6	1,32	2,22	11,85	1,18	0,88	0,30	0,47	42,5	13,35	44,15	Abatim.1m
UG5m	46,85	35,44	16,85	11,4	1,51	2,08	16,85	1,29	0,61	0,57	0,38	20,98	5,44	73,58	Abatim.1m
UG50	33,05	23,6	12,86	9,45	1,45	2,31	12,86	1,28	0,80	0,37	0,44	51,02	7,00	41,98	Abatim.1m
UG53	35,4	25,8	10,09	9,6	1,56	2,60	10,09	1,42	0,83	0,31	0,45	77,99	14,91	7,10	Abatim.1m
UG6	50,5	38,5	26,46	12	1,67	2,64	26,46	1,32	1,00	0,70	0,50	26,34	34,66	39,00	fraturado
UG7	37,8	27,87	14,47	9,93	1,54	2,59	14,47	1,34	0,93	0,40	0,48	28,33	36,92	34,75	Abatim.5m
UG8	26,8	17,35	9,35	9,45	1,65	2,43	9,35	1,51	0,61	0,37	0,38	59,41	7,55	33,04	Abatim.10m

A Tabela 16 apresenta a classificação dos materiais inconsolidados analisados segundo os sistemas HRB e SUCS e segundo a consistência das argilas e a compactidade das areia.

Tabela 16 – Classificação dos materiais inconsolidados analisados.

Amostras	Origem	Classificação consistência	Classificação SUCS	Classificação HRB
UG1	Colúvio	areia fofa a média	CL	A4
UG10	Colúvio	argila dura	ML-CL	A4
UG12	Colúvio	argila dura	ML-MH	A7-5
UG13	Colúvio	argila dura	ML	A5
UG14	Colúvio	argila dura	ML	A4-A5
UG15	Alúvio	argila dura	SC	A6
UG16	Colúvio	argila dura	ML-CL	A7-6
UG17	Granito	argila dura	ML	A4
UG18	Colúvio	argila dura	MH	A7-5
UG19	Colúvio	argila dura	CL	A4
UG2	Basalto	argila dura	ML	A4
UG20	Colúvio	argila dura	ML	A7-5 / A7-6
UG22	Alúvio	argila dura	CL	A6
UG24	Basalto	argila dura	ML	A4
UG26	Colúvio	argila dura	ML	A4
UG28	Colúvio	argila dura	ML-MH	A7-5
UG32	Colúvio	argila dura	MH	A7-5
UG34	Basalto	argila dura	ML	A7-5
UG35	Colúvio	argila dura	SC-SM	A4
UG37	Basalto	argila dura	CL	A4
UG38	Alúvio	areia média	ML	A4
UG39	Alúvio	argila rija a dura	OL-CL	A6
UG40	Granito	argila dura	CL-ML	A6
UG43	Colúvio	argila dura	ML-CL	A4-A6
UG45	Colúvio	argila dura	CL	A6
UG46	Colúvio	argila dura	CL	A4-A6
UG48 a	Colúvio	argila dura	ML	A4
UG48 v	Colúvio	argila dura	ML	A4
UG49	Basalto	argila dura	ML	A4
UG5i	Colúvio	argila dura	ML	A7-5
UG5m	Colúvio	argila dura	ML	A7-5
UG50	Colúvio	argila dura	ML-CL	A4
UG53	Gnaisse	areia fofa	SC-SM	A2-4 / A2-6
UG6	Gnaisse	argila dura	MH	A7-5
UG7	Gnaisse	argila dura	ML	A4-A6
UG8	Colúvio	argila dura	CL	A4

A Figura 54 apresenta a distribuição da umidade natural e dos limites de plasticidade e liquidez das 36 amostras ensaiadas. Observa-se que apenas a amostra UG39 tem sua umidade natural próxima do limite de plasticidade e que a amostra UG1 foi classificada como “não plástica”, portanto não havendo valor para seu LP.

A Figura 54 auxilia na escolha das amostras que segundo Baptista (1976) podem ser utilizadas na construção de rodovias ou formação de aterros. Como os materiais a serem

usados na camada de base em rodovias, os quais devem apresentar LL menor que 40% e IP menor que 18%.

Observa-se na Figura 54 que todas as amostras ensaiadas estão naturalmente em estado sólido (umidade menor que os limites de liquidez e plasticidade). Salienta-se que dependendo da data da amostragem o estado natural muda com o aumento da umidade, pois na área de estudo há uma época chuvosa (verão, entre novembro e fevereiro).

As amostras UG18 e UG32 apresentam LL maior que 60%, sendo consideradas anomalias na área de estudo. A amostra UG32 foi coletada em um baixo estrutural e apresenta IP maior que 25%, denotando um material de comportamento muito plástico.

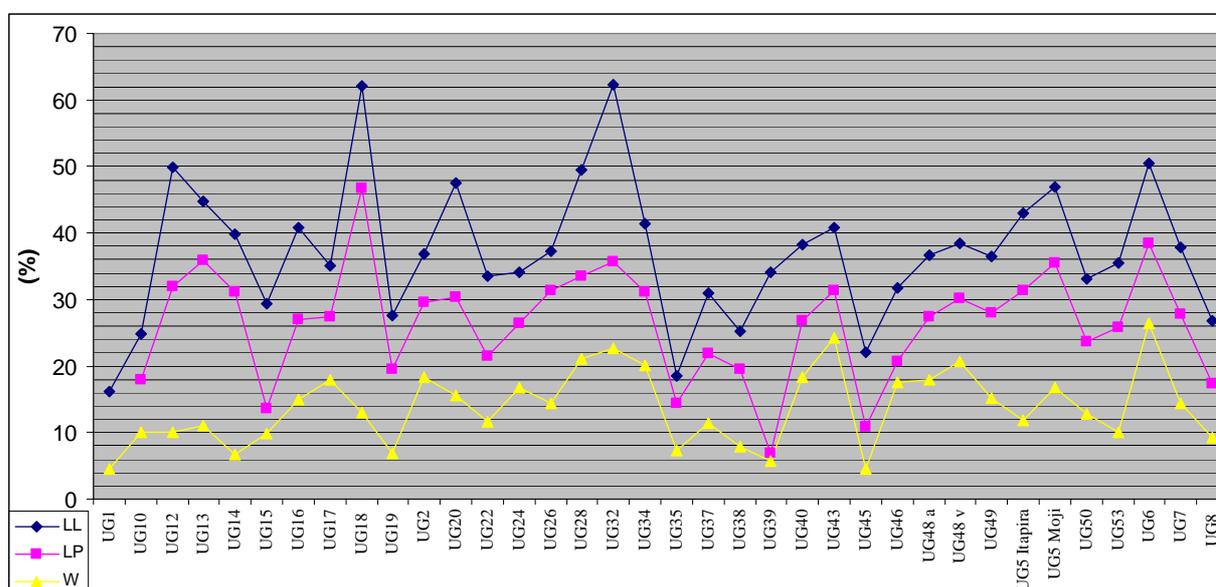


Figura 54 - Umidade natural (w), limites de plasticidade (LP) e de liquidez (LL).

Nota-se na Tabela 15 que os valores de LL variam entre 16,15% (UG1) e 62,4% (UG32), os de LP variam entre 6,85% (UG39) e 46,74 (UG18), os de IP variam entre 4,06% (UG35) e 27,25% (UG39), e a umidade natural varia entre 4,45% (UG45) e 26,46% (UG6).

A grande dispersão desses resultados é atribuída ao caráter heterogêneo da região estudada. No entanto os resultados apontam para perfis de comportamento das CAI com origem dos basaltos que se enquadram nas descrições de Mello (1979), Dias (1987), Paraguassú *et al* (2002), Rigo *et al* (2004) e Perazzolo (2005); das CAI com origem dos granitos/gnaisses que se enquadram nas descrições de Peloggia (1997), Dias *et al* (1993) e Lima *et al* (2002); e das CAI com origem aluvial que se enquadram nas descrições de Coutinho e Lacerda (1994), Coelho e Lemos (2002) e Almeida *et al* (2005).

Os materiais de origem basáltica (UG2, UG24, UG34, UG37 e UG49) são coberturas argilosas, vermelhas escuras, com presença de muitos microagregados, quartzos recobertos com filmes de hematita, grãos angulares, grande concentração de óxidos/hidróxidos de ferro, forte propriedade magnética, o IP varia entre 7,25 e 10,3%, a densidade natural ( $\rho_{\text{nat}}$ ) varia entre  $1,52\text{g/cm}^3$  e  $1,7\text{g/cm}^3$ , a densidade dos sólidos ( $\rho_{\text{sol}}$ ) normalmente é alta, chegando a  $3,07\text{g/cm}^3$  e a porosidade chega a 0,55. Apresentam média a baixa erodibilidade.

Soares *et al* (2005), também encontraram para esse tipo de cobertura microagregados até na fração  $200\mu\text{m}$ , grãos primários recobertos com filmes de hematita e alta estabilidade dos agregados em água.

Os materiais de origem granítica/gnáissica (UG7, UG40 e UG53) são coberturas arenosas ou siltosas, de coloração variegada, com presença de alguns microagregados de quartzo e caulim, grãos angulares, ausência de propriedade magnética, com LL em torno de 38%, LP em torno de 26%, IP entre 7,67% e 11,6%, densidade natural ( $\rho_{\text{nat}}$ ) varia entre  $1,51\text{g/cm}^3$  e  $1,7\text{g/cm}^3$ , a densidade dos sólidos ( $\rho_{\text{sol}}$ ) varia entre 2,24 a  $2,64\text{g/cm}^3$  e a porosidade (n) varia entre 0,36 a 0,5. Normalmente possuem alta erodibilidade.

Os materiais de origem aluvionar podem ser de dois tipos na área de estudo, (1) orgânicos: são argilosos, moles quando úmidos e com alto IP (27,3%), a amostra UG39 apresentou baixa umidade e alta densidade natural devido ao local de amostragem; e (2) arenosos: UG15, UG22 e UG38 apresentam baixo IP e índice de vazios em torno de 0,7. Ambos orgânicos e arenosos apresentam baixa erodibilidade.

Os materiais de origem coluvionar apresentam grande variabilidade das propriedades estudadas em campo e em laboratório. Não é possível a caracterização desses materiais como um conjunto sendo, portanto, necessária o estudo individual de cada uma dessas coberturas.

#### **4.4.2 Ensaio de comportamento espectral na faixa do visível**

Tendo-se fotografado em laboratório as amostras colhidas em campo, procedeu-se a análise do comportamento espectral na faixa do visível. A Figura 55 apresenta o comportamento espectral na faixa do visível para as 39 amostras analisadas.

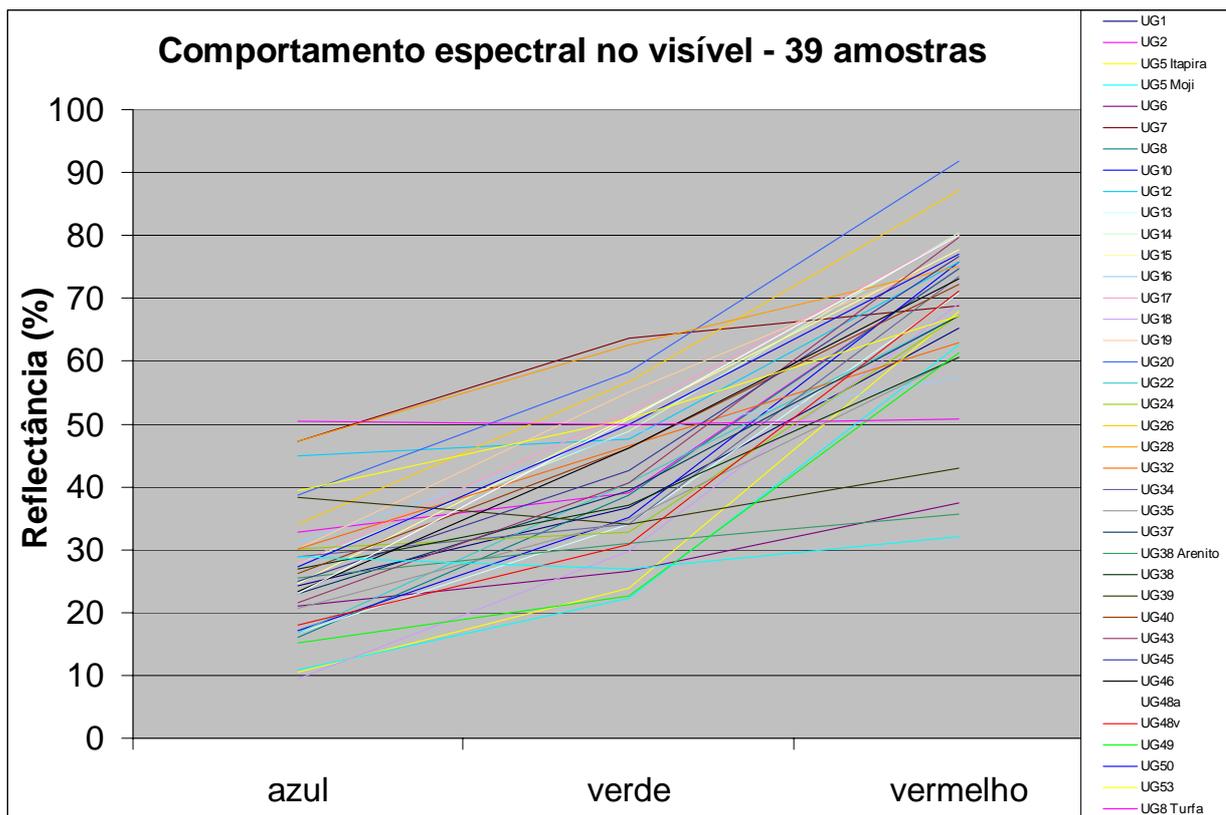


Figura 55 – Comportamento espectral do visível, para as 39 analisadas.

Analisando os resultados, pode-se agrupar as amostras provenientes de coberturas com alto teor de matéria orgânica caracterizadas pela cor cinza, cinza escuro ou preto (UG39, UG39turfa e UG8turfa), coberturas de alteração de basalto ou com alta concentração de óxidos/hidróxidos de Fe, Al e Ti, caracterizadas pela cor vermelha escura (UG2, UG5m, UG5i, UG12, UG24, UG34, UG48v e UG49), coberturas provenientes de colúvios/alúvios amareladas (UG7, UG14, UG15, UG16, UG17, UG19, UG22, UG26, UG28, UG32, UG38arenito, UG40, UG46, UG48a, UG50 e UG53) e coberturas provenientes de colúvios/alúvios avermelhadas (UG1, UG6, UG8, UG10, UG13, UG18, UG20, UG35, UG37, UG38, UG43 e UG45).

Independente da origem e composição mineralógica das amostras, nota-se que aquelas que apresentam menor valor de reflectância encontram-se com maior umidade.

A Figura 56 apresenta o comportamento espectral no visível das amostras com alto teor de matéria orgânica (planícies de inundação do rio Moji-Mirim e córrego Sto. Antônio), caracterizadas pela coloração cinza a preta. Observa-se que os valores de reflectância para o azul, verde e vermelho são quase iguais (reta quase paralela ao eixo das abscissas), sendo que por vezes os valores de verde estão abaixo dos de azul e vermelho.

As amostras com alto teor de matéria orgânica, que se caracterizam na por uma reta linear quase paralela ao eixo das abscissas (Figura 56), têm predominância de quartzo na fração areia, com quartzos recobertos com filmes de matéria orgânica, nenhum grão com propriedade magnética e nem microagregados.

CAIs ricas em matéria orgânica (coloração cinza a preta) possuem alta plasticidade quando úmidos e quando secos baixa capacidade de suporte, além de alta colapsividade. Nessas CAIs também há baixa CTC, prejudicando a agricultura. Portanto nessas CAIs é recomendável a criação de parques e áreas de lazer.

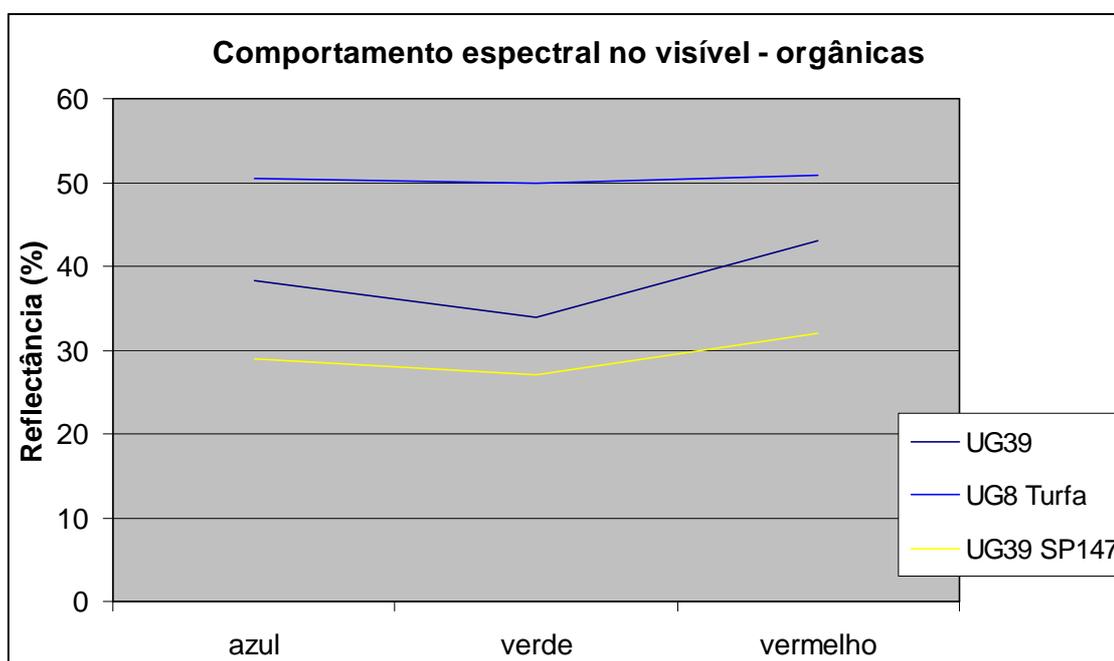


Figura 56 – Comportamento espectral do visível, para as amostras com alto teor de matéria orgânica.

A Figura 57 apresenta o comportamento espectral no visível das amostras de alteração de basalto ou com alta concentração de óxidos/hidróxidos de metais (Fe, Al, Ti, Mg, Mn), caracterizadas pela coloração vermelha escura. Observa-se que os valores de reflectância para o azul e verde são próximos e o valor de reflectância para o vermelho está muito acima desses. Portanto no gráfico “reflectância vs faixa do comprimento de onda” (Figura 57) observa-se uma forte inflexão da curva entre o verde e o vermelho.

As amostras das CAIs de alteração de basalto ou com alta concentração de óxidos/hidróxidos de metais, de cor vermelha escura (Figura 57), têm predominância de hematita na fração areia, com muitos microagregados fortemente ligados, quartzos recobertos com filmes de hematita difíceis de deflocular e muitos grãos com propriedades magnéticas.

CAIs ricas em hematita (coloração vermelha escura) são argilosas e também ricas em outros elementos solúveis, portanto apropriadas à agricultura. O fato das CAIs vermelhas escuras apresentarem muitos microagregados fortemente ligados e argilominerais de difícil defloculação faz com que apresentem comportamento em laboratório (LL e LP) diferentes dos reais, dificultando o entendimento mecânico do material e ocasionando maiores custos de manutenção em obras.

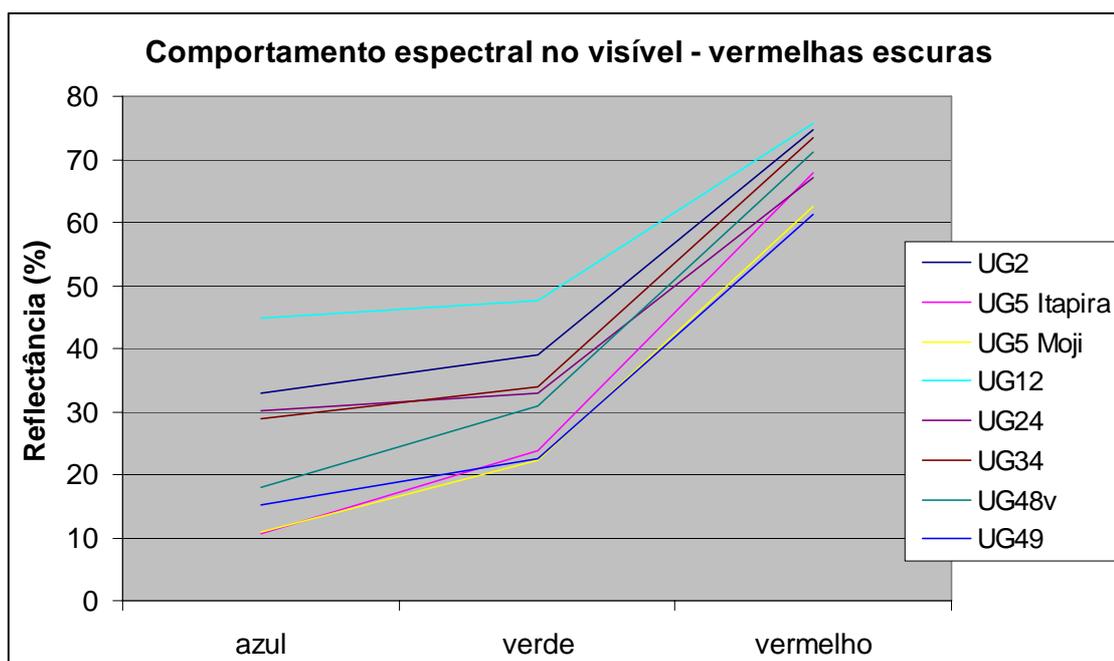


Figura 57 – Comportamento espectral do visível, para as amostras vermelhas escuras (alto teor de óxidos/hidróxidos de metais).

A Figura 58 apresenta o comportamento espectral no visível das amostras provenientes de colúvios ou alúvios, caracterizadas pela coloração avermelhada. Observa-se que os valores de reflectância para o azul, verde e vermelho apresentam uma tendência ascendente. Os valores de azul e verde são distantes e há uma pequena inflexão positiva entre o verde e o vermelho.

As amostras das CAIs provenientes de colúvios, de coloração avermelhada (Figura 58), têm predominância de quartzo e hematita na fração areia, com alguns microagregados, quartzos recobertos com filmes de hematita e goetita e alguns grãos com propriedades magnéticas.

CAIs colúvias avermelhadas apresentam-se favoráveis a agricultura, mas com necessidade de algumas correções para plantio. As CAIs colúvias avermelhadas estiveram ou estão sujeitas a um forte processo de intemperismo e percolação d'água, portanto deve-se

atentar para o índice de vazios nessas CAIs, que sendo alto, podem vir a assumir um comportamento colapsível quando solicitadas.

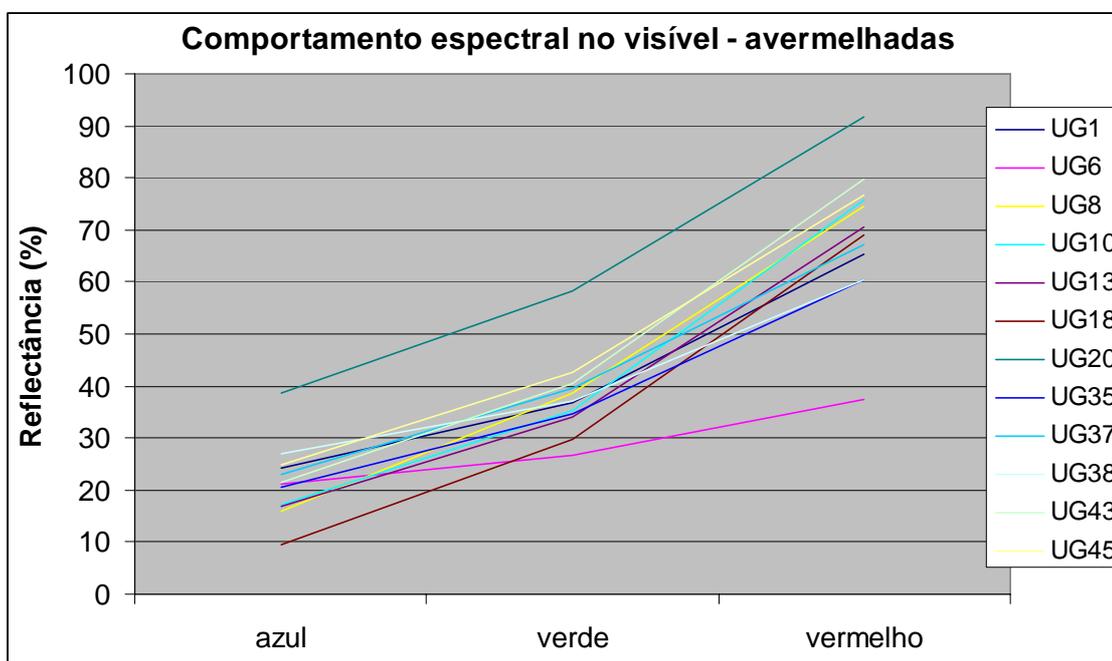


Figura 58 – Comportamento espectral do visível, para as amostras coluviais/aluviais avermelhadas.

A Figura 59 apresenta o comportamento espectral do visível das amostras provenientes de colúvios ou alúvios, caracterizadas pela coloração amarelada. Observa-se que os valores de reflectância para o azul, verde e vermelho seguem uma reta linear ascendente. Em alguns casos há uma inflexão negativa entre o verde e o vermelho.

As amostras das CAIs provenientes de colúvios, de coloração amarelada (Figura 59), têm predominância de goetita e quartzo na fração areia, sem ou com alguns microagregados, quartzos recobertos com filmes de goetita e alguns grãos com propriedades magnéticas.

CAIs coluviais amareladas apresentam-se favoráveis a agricultura, mas com necessidade de correções para plantio. Deve-se atentar para o índice de vazios nessas CAIs, que sendo alto, podem vir a assumir um comportamento colapsível quando solicitadas. As CAIs coluviais amareladas passaram ou passam por um período de retenção de água, portanto deve-se atentar localmente para a presença ou neoformação de argilominerais 2:1.

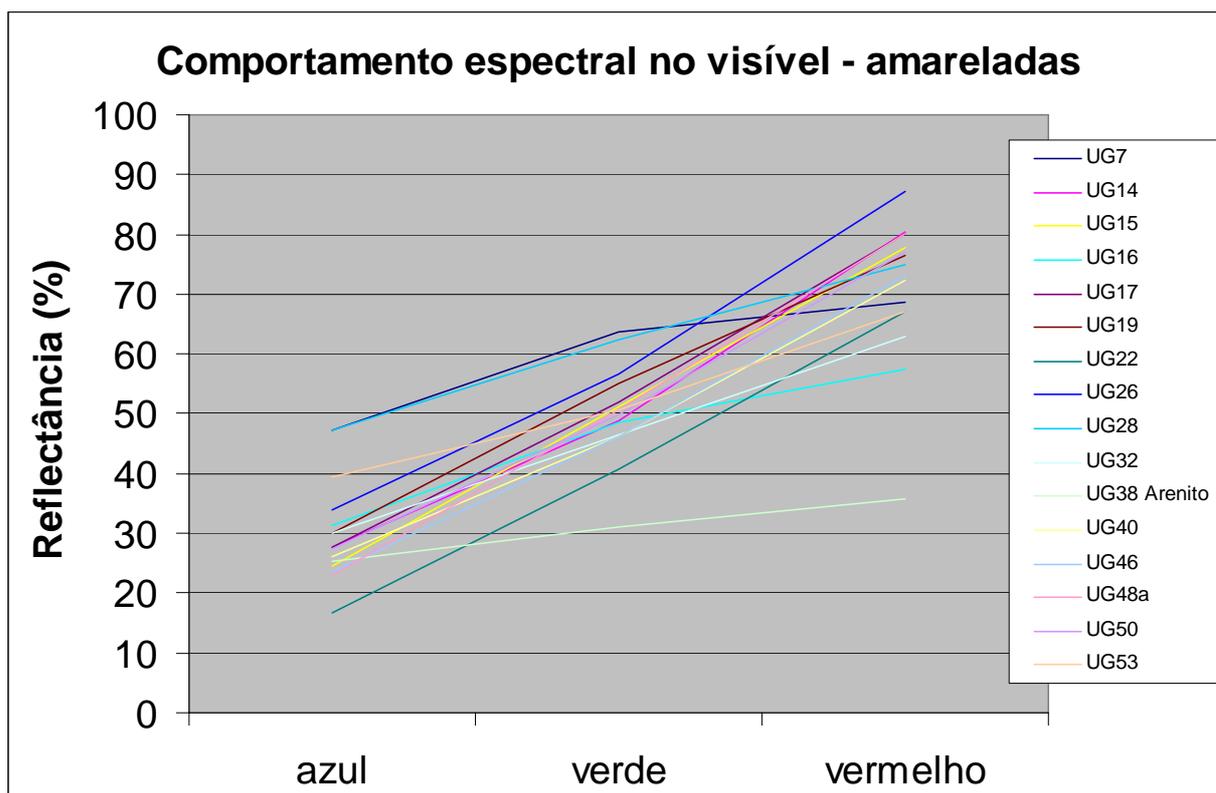


Figura 59 – Comportamento espectral do visível, para as amostras colúviais/aluviais amareladas.

Portanto, utilizando a técnica de análise do comportamento espectral no visível é possível definir com alta confiabilidade a gênese e a composição mineralógica das amostras, usando equipamentos acessíveis, com baixo custo e rapidez.

No planejamento de obras ou usos o conhecimento da gênese e do comportamento químico (que é condicionado pela composição mineralógica) dos materiais das CAIs são primordiais.

#### 4.5 Integração dos dados

A seguir serão apresentados as relações encontradas e as correlações obtidas entre os resultados da fotointerpretação, dos ensaios de campo e laboratório.

##### 4.5.1 Mecânica e física de solos

Analisando os resultados obtidos dos ensaios de campo (física dos solos) e de laboratório (mecânica dos solos), pode-se observar na Figura 60 que não há nenhuma

correlação entre a porosidade observada em campo e a porosidade obtida em laboratório (a) ou o índice de vazios (b), onde o  $R^2$  encontrado foi de 0,09 e 0,07 respectivamente.

Apesar da porosidade em campo não exibir correlação com a porosidade em laboratório, a porosidade em campo pode manter alguma correlação com a permeabilidade, pois se trata da quantificação de macro-poros, o qual determina, em muitos casos, a permeabilidade do meio.

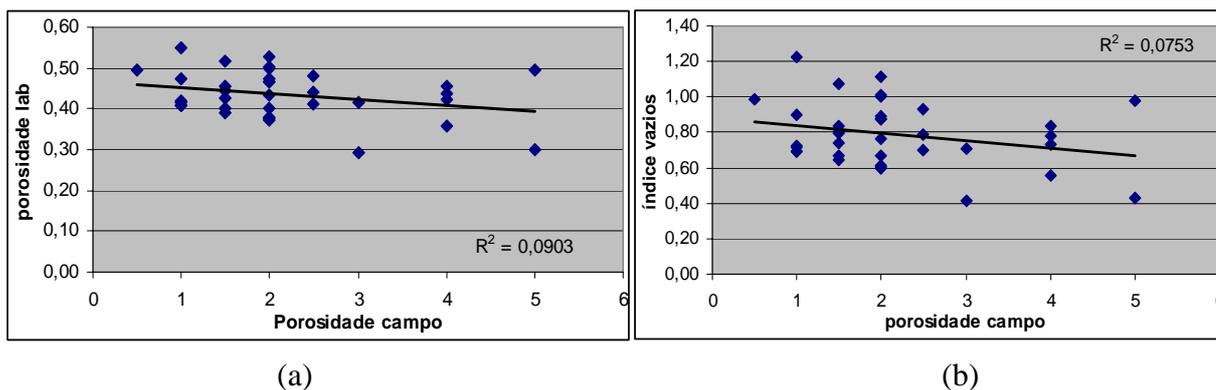


Figura 60 – Correlação entre a porosidade encontrada em campo e porosidade (a) e índice de vazios (b) medidos em laboratório.

A correlação encontrada entre a pegajosidade e o índice de plasticidade é de  $R^2 = 0,69$  (Figura 61). Essa correlação já era esperada, pois a pegajosidade do material é fortemente influenciada pela quantidade de argila, assim como o IP.

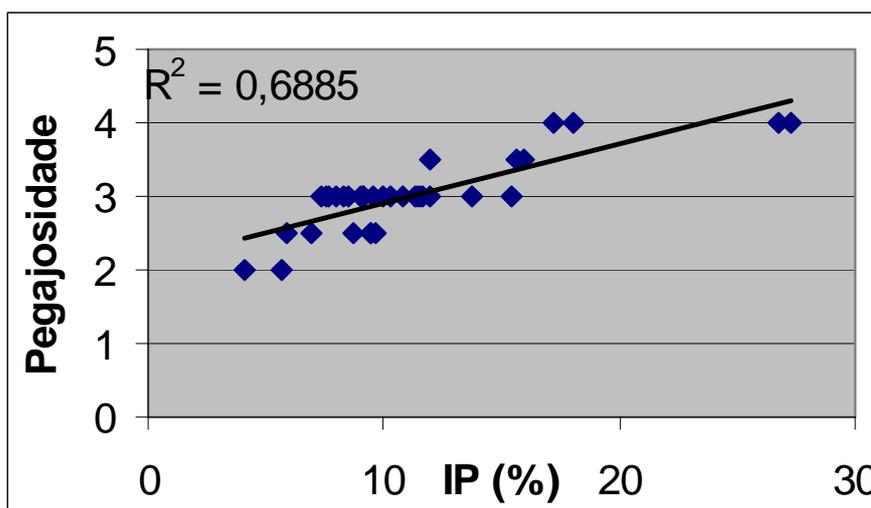


Figura 61 – Correlação entre a pegajosidade em campo e o índice de plasticidade (IP).

Apesar da correlação entre a pegajosidade e o IP não ser considerada alta, a análise em faixas de IP para cada classe de pegajosidade mostra-se apropriada para as classes “ligeiramente pegajoso” e “pegajoso a muito pegajoso”. A classe “muito pegajoso” possui

desvio padrão alto, mas mesmo assim não se sobrepõe com a classe “pegajoso a muito pegajoso”, portanto apresenta alta confiabilidade. As classes “ligeiramente pegajoso a pegajoso” e “pegajoso” possuem média confiabilidade, pois se sobrepõe em um desvio padrão.

A Tabela 17 apresenta as classes de pegajosidade encontradas e as respectivas faixas de valores de IP (%).

Tabela 17 – Classes de pegajosidade e as respectivas faixas de valores de IP (%).

Pegajosidade	Índice de plasticidade (%) média $\pm$ desvio padrão	Confiabilidade
Ligeiramente pegajoso	4,9 $\pm$ 1,13	Alta
Ligeiramente pegajoso a pegajoso	8,52 $\pm$ 1,56	Média
pegajoso	10,11 $\pm$ 2,14	Média
Pegajoso a muito pegajoso	14,54 $\pm$ 2,2	Alta
Muito pegajoso	22,31 $\pm$ 5,46	Alta

A correlação encontrada entre a densidade natural e a consistência seca é de  $R^2 = 0,66$  e a correlação entre a densidade dos sólidos e a consistência seca é de  $R^2 = 0,06$  (Figura 62).

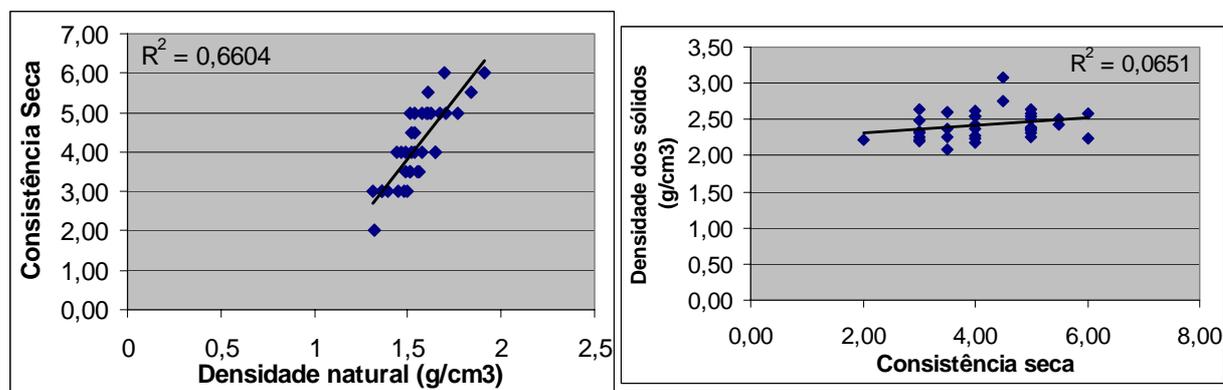


Figura 62 – Correlação entre a consistência seca e a densidade natural (a) e a densidade dos sólidos (b).

Apesar da correlação entre a densidade natural e a consistência seca não ser considerada alta, a análise em faixas de densidade natural para cada classe de consistência seca mostra-se apropriada para as classes “solto”, “ligeiramente duro” e “muito duro”. As classes “ligeiramente duro a duro”, “duro” e “duro a muito duro” se equivalem. E as classes “muito duro a inquebrável” e “inquebrável” possuem médias distantes, mas alto desvio padrão.

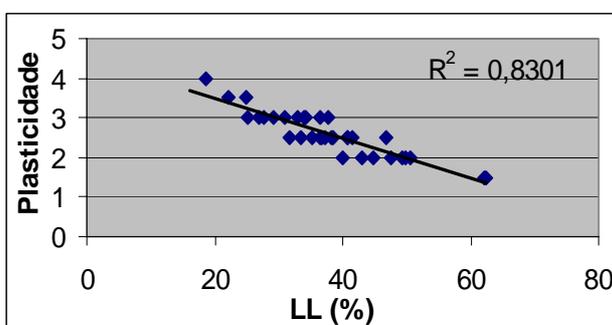
A Tabela 18 apresenta as classes de consistência seca encontradas e as respectivas faixas de valores de densidade natural ( $\rho_{nat}$ ).

Salienta-se que Campos e Blake (1983), encontraram correlação entre a densidade natural e a resistência a compressão, portanto vislumbra-se a existência de correlação também entre a consistência seca e a resistência à compressão do material. Fato que não surpreende, pois o princípio do método para determinação da consistência seca é justamente a compressão do material com os dedos.

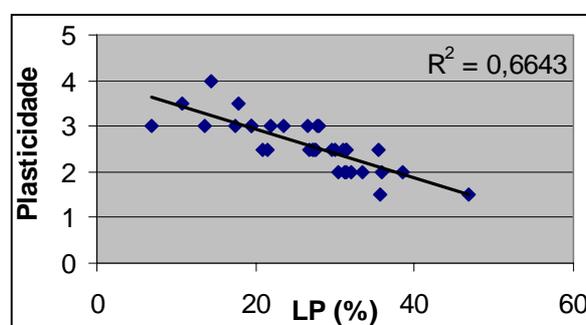
Tabela 18 – Classes de consistência seca e as respectivas faixas de valores de densidade natural ( $\rho_{nat}$ ).

Consistência seca	Densidade natural ( $g/cm^3$ ) média $\pm$ desvio padrão	Confiabilidade	
Solto	$1,32 \pm 0,01$	Alta	
Ligeiramente duro	$1,4 \pm 0,07$	Alta	
Ligeiramente duro a Duro	$1,52 \pm 0,03$	Baixa	Estatisticamente pertencem a mesma classe
Duro	$1,54 \pm 0,08$	Baixa	
Duro a Muito duro	$1,53 \pm 0,01$	Baixa	
Muito duro	$1,62 \pm 0,08$	Alta	
Muito duro a Inquebrável	$1,72 \pm 0,16$	Média	Desvio padrão muito alto
Inquebrável	$1,8 \pm 0,15$	Média	

Na Figura 63 pode-se observar que há uma considerável correlação inversa entre a plasticidade e o limite de plasticidade ( $R^2 = 0,66$ ), no entanto observa-se maior correlação inversa entre a plasticidade e o limite de liquidez ( $R^2 = 0,83$ ).



(a)



(b)

Figura 63 – Correlação entre plasticidade e LL (a) e entre plasticidade e LP (b).

A correlação inversa encontrada entre a plasticidade obtida em campo e o limite de liquidez *a priori* pode ser estranha. Apesar de nomes diferentes estes ensaios guardam semelhanças.

No ensaio de plasticidade de campo leva-se a amostra a uma umidade próxima a do limite de liquidez e nesta condição submete-a a uma deformação, quanto mais a amostra se deforma sem se romper, maior a plasticidade, portanto quanto mais plástico: mais deformável. Desse modo, no ensaio de limite de liquidez a ranhura dessas amostras se fechará com um menor número de golpes, assim definindo o limite de liquidez com uma menor umidade.

A correlação entre a plasticidade e o limite de liquidez pode ser considerada satisfatória. No entanto a análise em faixas de limite de liquidez para cada classe de plasticidade mostra-se apropriada. A Tabela 19 apresenta as classes de plasticidade encontradas e as respectivas faixas de valores de limite de liquidez (LL).

Tabela 19 – Classes de plasticidade e as respectivas faixas de valores de limite de liquidez (LL).

<b>Plasticidade</b>	<b>Limite de liquidez (%)</b> média $\pm$ desvio padrão	<b>Confiabilidade</b>
Não plástico	Sem correlação	Alta
Não a ligeiramente plástico	62,25 $\pm$ 0,21	Alta
Ligeiramente plástico	46,44 $\pm$ 3,99	Alta
Ligeiramente plástico a plástico	38,13 $\pm$ 4,03	Alta
Plástico	31,52 $\pm$ 4,24	Alta
Plástico a muito plástico	23,45 $\pm$ 1,91	Alta
Muito plástico	18,5 $\pm$ 0,1	Alta

A execução do ensaio de limite de plasticidade em laboratório assemelha-se ao de plasticidade em campo, pois nos dois há o molde de um cilindro. No entanto em campo procede-se a deformação desse cilindro na umidade próxima ao LL, enquanto que em laboratório procura-se a umidade em que o material passa do comportamento semi-sólido para o plástico.

Observa-se na Figura 63b que há correlação inversa considerável entre os ensaios de LP e de plasticidade em campo ( $R^2 = 0,66$ ). Quanto maior a deformação (plasticidade em campo) menor a umidade para se entrar no estado plástico. Isso se deve a presença de argilominerais que fazem com que ainda com baixa umidade o material assumo comportamento plástico e apresente-se com grande deformação em campo.

Os resultados do ensaio de granulometria conjunta das 36 amostras analisadas, realizados no laboratório de geotecnia do IGCE/UNESP, são apresentados no diagrama triangular de textura (Figura 64), o qual se encontra subdividido segundo Souza (1994).

Nota-se na Figura 64 que as amostras se concentram nas classes de textura “areia-franca”, “franco-arenoso”, “franco-argilo-arenoso”, “argila-arenosa”, “argila-siltosa”, “franco-argiloso”, “argila” e “muito argiloso”. Não há nenhuma amostra nas classes “franco-argilo-siltoso”, “franco”, “franco-siltoso” e “silte”.

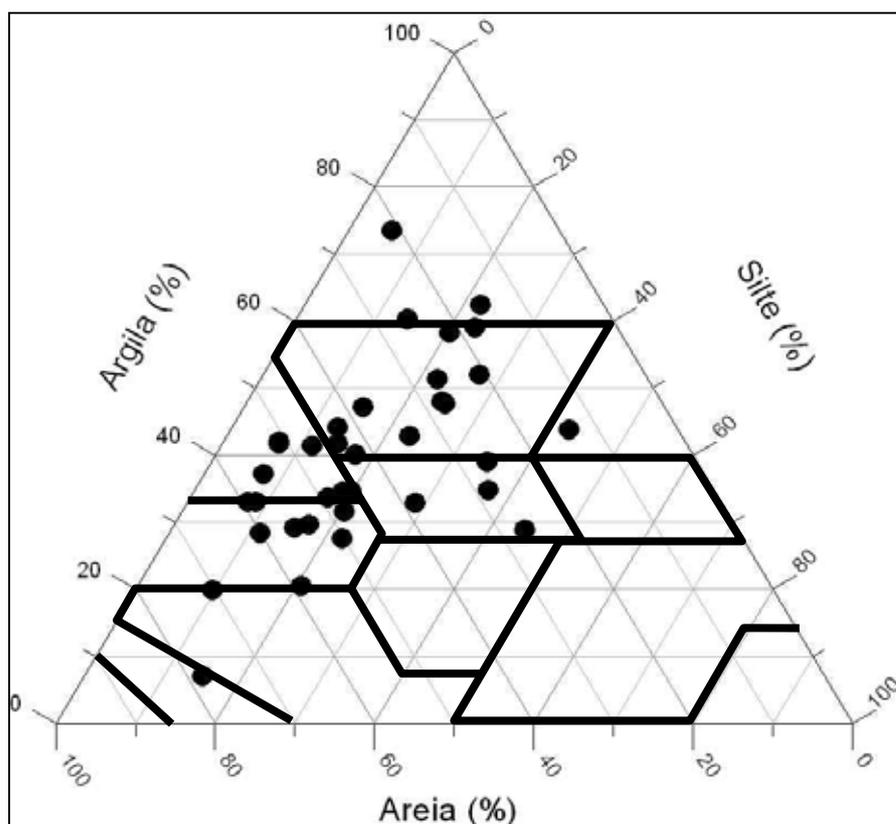


Figura 64 – Diagrama triangular de textura, subdividido segundo Souza (1994), com os resultados das 36 amostras indicados segundo a respectiva granulometria.

Comparando-se os resultados do ensaio de textura em campo e do ensaio de granulometria conjunta em laboratório faz-se as seguintes observações:

- As amostras classificadas com a textura “areia fina” são as que possuem mais de 50% em areia.
- Nas amostras classificadas como “arenosas”, quando a esfera deforma a quantidade de areia é próxima a 70% e quando a esfera escorrega é de cerca de 40%.
- As amostras classificadas como “arenosas” possuem maior quantidade de areia média.
- As amostras classificadas como “muito argilosas” possuem cerca de 60% de argila.

- As amostras classificadas como “argilo-arenosas” possuem cerca de 40% em argila, quando a esfera deforma possuem cerca de 55% em areia e menos de 10% em silte e quando a esfera roda possuem cerca de 25% em areia e 30% em silte.
- Nas amostras classificadas como “argilosas” quando a esfera escorrega a quantidade de argila é de cerca de 50% a mais de 60%.
- Nas amostras em que se observa a formação de estrias há menos de 20% em silte. Nas que há poucas estrias há entre 20 e 30% de silte e naquelas onde não se observa a formação de estrias há cerca de 40% de silte.

A partir disso pode-se estabelecer um diagrama modelo para a granulometria das amostras, baseado no comportamento de campo. A Figura 65 apresenta um modelo de diagrama triangular de textura, onde os campos foram subdivididos segundo o comportamento do material em campo.

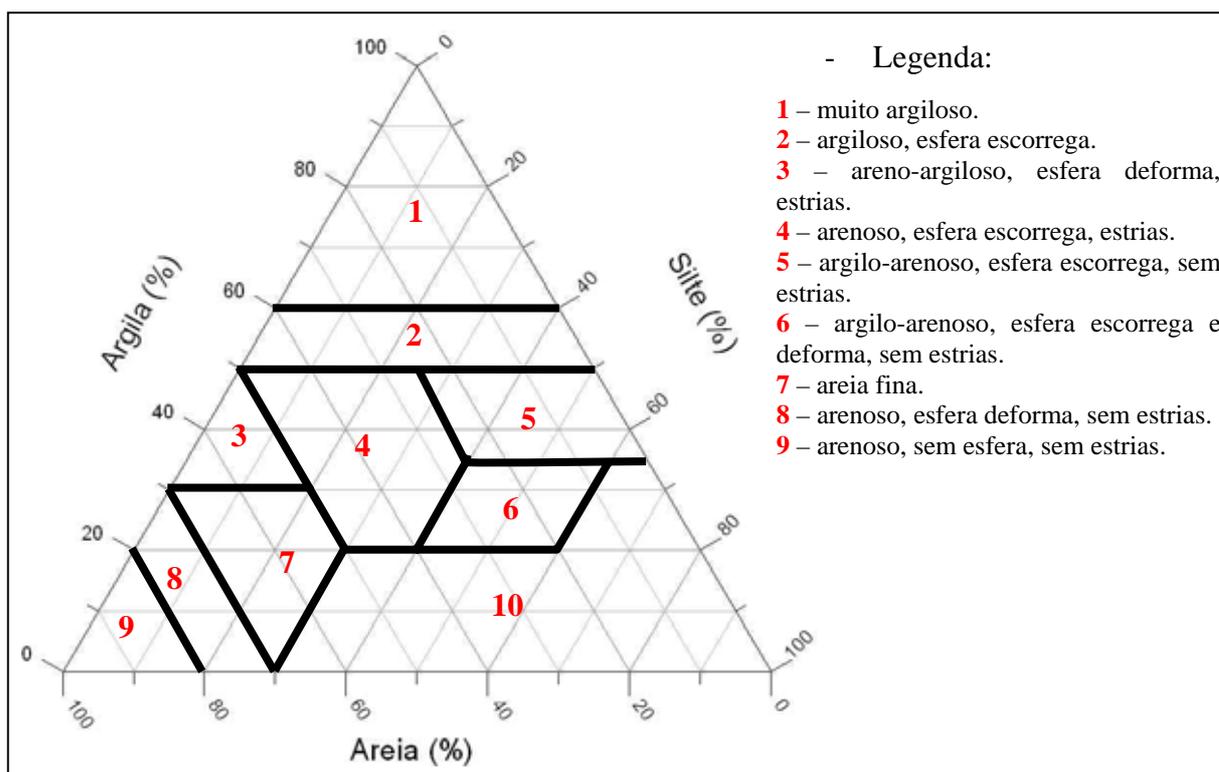


Figura 65 – Modelo de diagrama triangular de textura, subdividido segundo o comportamento do material observado em campo.

Embora não haja muitas amostras disponíveis, é possível a subdivisão em 10 classes de textura dentro do diagrama triangular. Como na área de estudo não há amostras siltosas, não é possível a caracterização nem a subdivisão da classe 10.

#### 4.5.2 Morfoestrutura/morfometria e coberturas de alteração intempérica

Como o trabalho tem um cunho metodológico, neste item inicialmente será feita apenas uma descrição sistemática do observado em campo sobre as CAIs e morfoestruturas, correlacionando-as. Posteriormente serão feitas análises e comentários, para enfim se definir o comportamento físico-químico-estrutural das morfoestruturas e suas implicações para o planejamento de obras.

Os pontos de campo UG15r, UG17, UG17r, UG22 e UG40 situam-se em baixos estruturais e baixos topográficos (BB). Em campo observou-se que nessas coberturas há manchas ou tons olivas na massa, com colóides que se dispersam sem ou com pouca agitação e intensa atividade biológica. A estrutura dessas coberturas é prismática e há minerais como biotita, muscovita, turmalina, clorita e pirita. Essas amostras também apresentaram alta erodibilidade e o mergulho das fraturas varia entre 65° a vertical.

Os pontos de campo UG1, UG8jk, UG8, UG11, UG12, UG19 e UG19ef situam-se em alto estruturais e altos topográficos (AA). Em campo observou-se que nessas coberturas há manchas vermelhas ou marrons dispersas na massa, normalmente com poucos colóides vermelhos que só se dispersam sob agitação. A estrutura dessas coberturas normalmente é granular (pó de café), em grumos ou laminar e há apenas minerais como hematita, caulim e quartzo. Essas amostras também normalmente apresentaram baixa erodibilidade e o mergulho das fraturas é sempre vertical.

Os pontos de campo UG33 e UG15 situam-se em altos estruturais e baixos topográficos (AB). Em campo observou-se a presença de mosqueados oliva, mas a maioria dos colóides só dispersa sob agitação. Há intensa atividade biológica. A estrutura dessas coberturas é laminar a prismática e há apenas minerais como caulim, hematita, magnetita e quartzo. Essas amostras também apresentaram alta erodibilidade.

Apenas o ponto de campo UG46 situa-se em um baixo estrutural e alto topográfico (BA). Em campo observou-se uma massa vermelha, mas com muitos colóides que se dispersam sem ou com pouca agitação. A estrutura dessa cobertura é de colunas e há apenas minerais como hematita, goetita e quartzo. Essa amostra também apresenta média a baixa erodibilidade e o mergulho das fraturas é subvertical ou vertical.

Os pontos de campo UG18, UG20, UG32, UG15, UG15r, UG9, UG18r e UG17 situam-se próximos a lineamentos estruturais (indicados na carta morfoestrutural, Figura 34) e em campo apresentam fraturas com espaçamento de 5cm ou menor, por vezes abertas e preenchidas.

A análise morfoestrutural/morfométrica da área e os trabalhos de campo permitem estabelecer as correlações constantes na Tabela 20.

Tabela 20 – Correlações entre a morfoestrutura/morfometria e o comportamento do meio físico.

Morfoestrutura/ morfometria	Cor	Dispersão de colóides	Mineralogia da fração areia	Estrutura da cobertura	Mergulho das fraturas	Erodibilidade
Alto estrutural/ Alto topográfico	vermelho com manchas marrons	vermelhos sob agitação	hematita, caulim e quartzo	granular, grumosa, laminar	vertical	baixa
Alto estrutural/ Baixo topográfico	vermelho/amarelo com manchas oliva	sob agitação	caulim, hematita, magnetita e quartzo	laminar ou prismática		alta
Baixo estrutural/ Alto topográfico	Vermelha	sem agitação	hematita, goetita e quartzo	colunar	subvertical ou vertical	média a baixa
Baixo estrutural/ Baixo topográfico	oliváceo ou manchas olivas	sem agitação	biotita, muscovita, turmalina, clorita e pirita	blocosa ou colunar	entre 65° e vertical	alta

Seguem-se as análises e comentários dos campos da Tabela 20.

1. Cor: cores vermelhas ou marrons estão associadas à presença de hematitas, que indicam um processo de oxidação. Cores amarelas estão associadas a goetitas, que indicam processos de oxidação em ambiente saturado. Cores oliváceas e manchas olivas estão associadas a ambientes redutores e processos incipientes de formação de argilas 2:1, respectivamente. Em ambos os casos há formação de argilominerais do grupo esmectita (por exemplo: montmorilonita).
2. Dispersão de colóides: colóides que se desprendem sem agitação são de grande poder de defloculação, portanto com alto valor de área específica, que se relaciona com alta CTC o que indica a presença de argilominerais com estrutura molecular 2:1 ou 2:2. Colóides que só se desprendem sob agitação são aqueles muito aderidos aos grãos primários ou os de baixa reatividade, de menor área específica e baixa CTC, o que indica a presença de argilominerais com estrutura molecular 1:1 (grupo Kandita, por exemplo: caulinita).
3. Mineralogia da fração areia: os óxidos de ferro e carbonatos de cálcio são minerais de alto índice intempérico, encontrados em ambientes que sofreram intenso intemperismo (oxidação e lixiviação). As micas e cloritas são minerais de médio e baixo índice intempérico, encontradas em sedimentos recentes ou locais onde o intemperismo é baixo.
4. Estrutura da cobertura: a estrutura granular e a grumosa formaram-se pela intensa passagem de água, em um sistema percolativo, de alto poder de lixiviação. As estruturas laminar ou prismática também devem-se a passagem da água, mas em menor intensidade. Já

as estruturas colunar ou em blocos relacionam-se com a acumulação de água e não com a percolação.

5. Mergulho das fraturas: o fraturamento apenas com mergulhos verticais refere-se a esforços de descompressão ou disjunção colunar, enquanto que os mergulhos oblíquos podem estar associados também à compressão ou acomodação de blocos.

6. Erodibilidade: materiais que apresentam menor erodibilidade estão associados à argilominerais estáveis (1:1) e cimentação entre partículas. Já materiais com maior erodibilidade relacionam-se com a presença de argilominerais expansivos (2:1), baixa cimentação entre partículas e muito fraturados.

Portanto, com as considerações descritas acima, é possível elaborar-se algumas conclusões para o comportamento físico-químico-estrutural das morfoestruturas mapeadas na área de estudo, constantes na Tabela 21.

Tabela 21 – Comportamento físico-químico-estrutural das morfoestruturas.

Morfoestrutura/ morfometria	Mineralogia das CAIs	Intemperismo	Erodibilidade		Circulação d'água
			Processo	CAI	
Alto estrutural/ Alto topográfico	quartzo, caulinita, óxidos de Fe, Al e Ti.	Muito intenso.	Baixa	Baixa	Muito alta, vertical.
Alto estrutural/ Baixo topográfico	quartzo, caulinita, óxidos de Fe, Al e Ti, com nódulos de argilas 2:1.	Intenso, com neoformação de colóides expansivos.	Média a alta	Alta	Alta, vertical e horizontal.
Baixo estrutural/ Alto topográfico	quartzo, caulinita, óxidos e hidróxidos de Fe e Al.	Intenso, ambiente com permanência de água e formação de colóides expansivos.	Alta a média	Média a baixa	Baixa, vertical e horizontal.
Baixo estrutural/ Baixo topográfico	Micas, cloritas e calcita.	Baixo, com formação de argilominerais expansivos.	Alta	Alta	Muito baixa, horizontal, somente pelas fraturas.

Os AA são dinamicamente estáveis em sua forma (baixa erodibilidade), no entanto, qualquer alteração em sua forma expõe camadas extremamente intemperizadas, porosas e inconsolidadas, que somadas a alta circulação d'água, produzirá processos erosivos laminares e concentrados quando fraturado. Devido à intensa lixiviação a que estão expostos apresentam comportamento colapsivo e baixa fertilidade. São importantes zonas de recarga de aquíferos locais e regionais que devem ser preservados de qualquer tipo de contaminação por postos de combustíveis, efluentes domésticos, agrícolas ou industriais.

A ocupação urbana em um AA deve preservar a característica de alta percolação com a adoção de medidas mitigadoras e compensatórias, como a exigência de lotes grandes, de manter áreas verdes para infiltração natural e a construção de cisternas para infiltração de

águas pluviais excedentes. Do contrário o rebaixamento do nível d'água subterrâneo poderá provocar subsidências, além de dificultar a exploração em poços rasos e diminuir o volume de água nas nascentes abaixo.

Os AB são também dinamicamente estáveis, mas localmente pode haver neoformação de argilas 2:1 e como também há alta erodibilidade, as obras que necessitam de cortes (estradas, ferrovias, loteamentos, entre outras) têm a estabilidade comprometida e as que deixem o material exposto, ainda que apenas por algum tempo (estradas, terraplenagens, aterros sanitários, entre outras), podem desenvolver intensos processos erosivos.

Nos AB o intenso intemperismo e lixiviação produz CAIs muito porosas e susceptíveis a colapso quando solicitadas. Ocorrem níveis d'água suspensos, portanto com capacidade de exploração em poços freáticos apenas para subsistência.

Os AB são áreas muito vulneráveis a contaminação da água subterrânea. Não há barreira natural à infiltração de agentes contaminantes para os níveis mais profundos. Dessa maneira são as que merecem maior atenção quanto a contaminação, deve-se evitar a instalação de obras ou usos potencialmente contaminantes (aterros sanitários, cemitérios, postos de gasolina, entre outros)

Nos BA há acúmulo de água subterrânea em reservatórios suspensos ou em níveis profundos, favorecendo a exploração d'água em larga escala (municipal) por meio de poços freáticos, tomando-se as devidas medidas de prevenção e controle da poluição.

Aterros sanitários, cemitérios, postos de gasolina e outras obras ou usos que se configuram como potenciais contaminadores da água subterrânea devem ser preferencialmente instalados em BA não fraturados. Nessas áreas é favorecida a retenção da pluma de contaminação, além disso, o espesso manto de material inconsolidado, com argilominerais 2:1 e alta CTC, auxilia naturalmente na estabilização química e física dos contaminantes.

Os BA também estão submetidos ao intemperismo, mas o acúmulo de água e íons favorece localmente a formação de argilas 2:1, portanto são áreas favoráveis a agricultura. A erodibilidade baixa associada a estabilidade estrutural favorece a implantação da maior parte obras ou usos humanos.

Os BB são áreas naturalmente acumuladoras de sedimentos, água e sais solúveis, mas também de contaminantes em estado líquido, ou mesmo sólido que possa ser transportado em meio aquoso. Portanto em rodovias que haja transporte de substâncias perigosas ou oleodutos o sistema de drenagem deve levar em conta o direcionamento do escoamento para essas áreas.

O acúmulo de água nos BB favorece a exploração por poços artesianos para abastecimento em larga escala (municipal e regional), tomando-se as devidas medidas de prevenção e controle da poluição.

Aterros sanitários, estações de tratamento de esgoto, cemitérios, postos de gasolina e outras obras ou usos que se configurem como potenciais contaminadores da água subterrânea podem ser instalados em BB não fraturados. Nessas áreas há retenção da pluma de contaminação e, portanto menor chance de dispersão dos poluentes.

Os BB são áreas com restrições a implantação de obras de infra-estrutura, pois devido à alta saturação em bases, retenção e concentração de íons, neles ocorre hidrólise parcial, formando argilas 2:1 (expansivas). Por outro lado são férteis (alta CTC) e mais favoráveis para a agricultura.

Em toda intervenção nos BB deve-se atentar para a alta erodibilidade, portanto evitando a concentrando o escoamento superficial e a remoção da vegetação.

#### 4.5.3 Fotointerpretação e caracterização dos maciços rochosos

Observa-se uma correlação entre o RQD (*Rock Quality Designation*) e a densidade de lineamentos estruturais. Ou seja, quanto maior a densidade de lineamentos estruturais extraída da imagem ETM+/Landsat-7, banda Pan, menor o valor de RQD obtido com os dados de fraturamento em campo.

Como o valor de RQD decresce com o aumento das fraturas medidas em campo, nota-se que a densidade de lineamentos estruturais é um bom indicador do fraturamento em campo. A Figura 66 apresenta a distribuição da densidade de lineamentos estruturais (em lineamentos por km<sup>2</sup>) em função do RQD, com a reta média e o R<sup>2</sup> obtido.

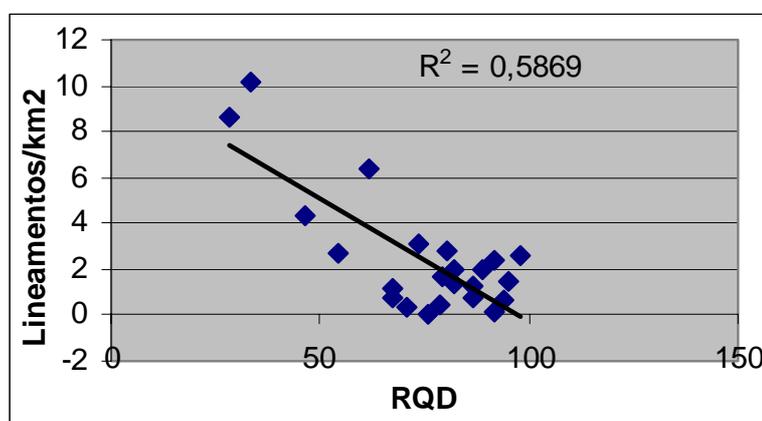


Figura 66 – Distribuição do RQD vs densidade de lineamentos estruturais

Analisando separadamente as amostras segundo sua gênese (sedimentar, metamórfica ou ígnea), nota-se que as amostras sedimentares não tem correlação entre RQD e densidade de lineamentos estruturais ( $R^2 = 0,0087$ ), mas guarda boa correlação entre RQD e densidade de traços de juntas ( $R^2 = 0,8031$ ), a qual pode ser observada na Figura 67.

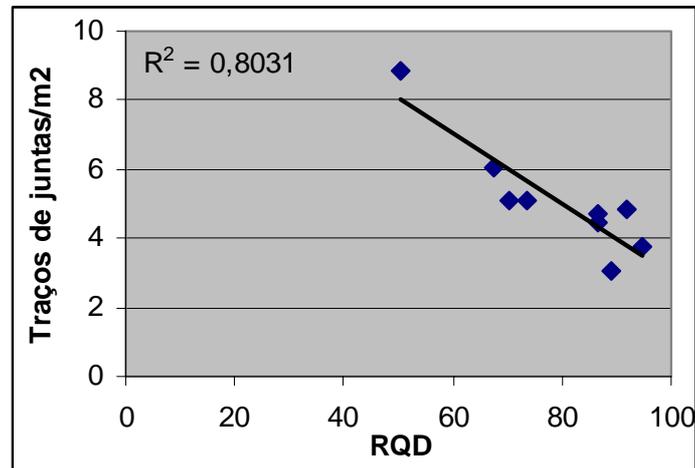


Figura 67 - Distribuição do RQD vs densidade de traços de juntas para as amostras de origem sedimentar.

As ígneas exibem  $R^2 = 0,5682$  e as metamórficas  $R^2 = 0,9724$  entre RQD e densidade de lineamentos estruturais. A Figura 68 apresenta a distribuição da densidade de lineamentos estruturais (em lineamentos por km<sup>2</sup>) em função do RQD, com a reta média e o  $R^2$  obtido para (a) as amostras de origem ígnea e (b) as amostras de origem metamórfica.

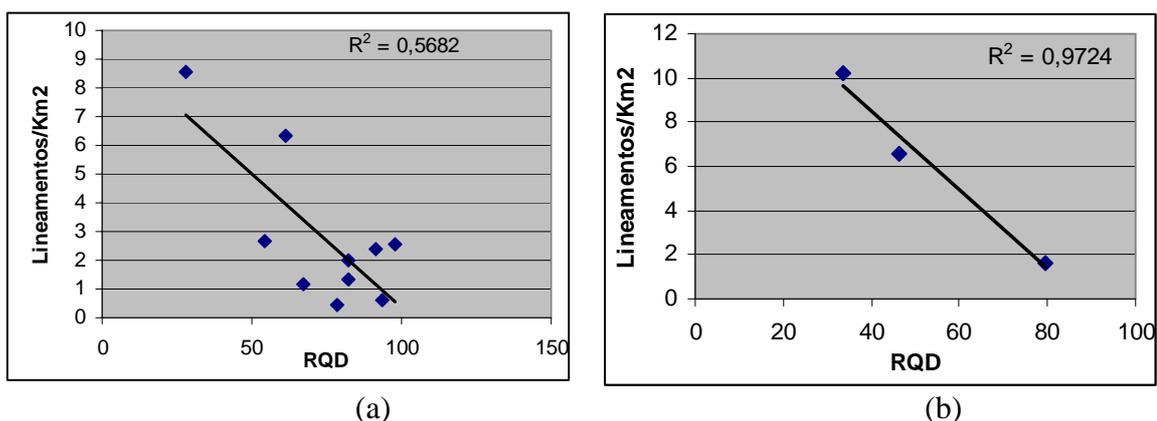


Figura 68 - Distribuição do RQD vs densidade de lineamentos estruturais para (a) as amostras de origem ígnea e (b) as amostras de origem metamórfica.

Não foi encontrada nenhuma correlação entre a densidade de lineamentos estruturais ou densidade de traços de juntas e o RMR (*Rock Mass Rating*).

#### 4.5.4 Cortes transversais no terreno

A elaboração esquemas lito-estruturais em forma de cortes transversais no terreno é uma prática corrente na geologia de engenharia. Muito útil na modelação e no entendimento do substrato, é utilizada no planejamento de obras lineares como: rodovias, túneis e dutovias.

A partir de imagens do *Shuttle Radar Topography Mission – SRTM 1* (formato \*.hgt, resolução espacial de 90m e altimétrica de 10cm), e usando o software *Global Mapper 5* (Global Mapper, 2004), é possível a confecção de cortes transversais no terreno, com a visualização de um perfil de altitude.

A Figura 69 apresenta um esquema em corte transversal (perfil), ao longo do paralelo 22°20'37''S, desde o meridiano 46°52'30''W até o 46°48'45''W, interpretado segundo as informações obtidas no presente trabalho.

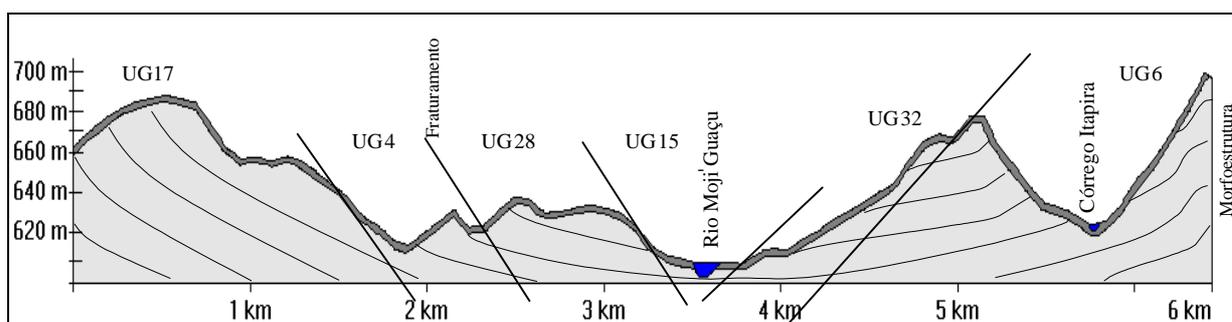


Figura 69 – Esquema em perfil ao longo do paralelo 22°20'37''S, desde o meridiano 46°52'30''W até o 46°48'45''W.

Este procedimento permite tanto a visualização em corte transversal em escala mais regional (Figura 69), como em escala mais detalhada (Figura 70).

A Figura 70 apresenta um esquema em corte transversal do perfil do terreno ao longo da SP340, no trecho km162+400 norte e km165+200 norte, sendo as coordenadas de início 22°25'35''S e 45°58'58''W e de fim do trecho 22°24'09''S e 46°58'26''W. Este trecho encontra-se inserido inteiramente na UG8.

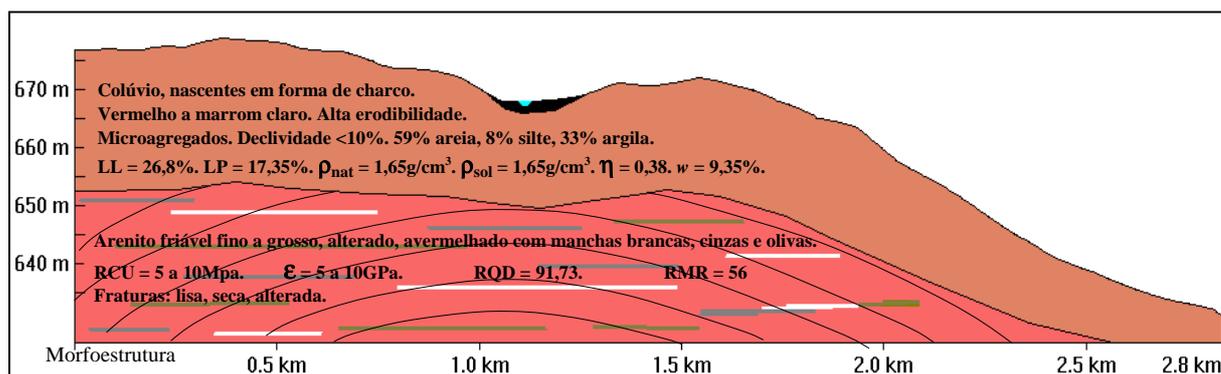


Figura 70 – Esquema em perfil ao longo da SP340, desde o km162+400 norte até o km165+200 norte.

Os esquemas em cortes transversais ao terreno são muito comuns na fase de anteprojeto para o traçado de rodovias e em escavações lineares, como os túneis. Em rodovias essa ferramenta já permite a visualização das curvas verticais e dos cortes a serem executados e em túneis permite a representação de zonas frágeis ou fraturadas e de grande aporte d'água no maciço.

O detalhamento adotado depende do objetivo do corte, mas o presente trabalho inclui a conformação do substrato, com a indicação das morfoestruturas, além de todas as informações obtidas em campo e em laboratório para as coberturas e para os litotipos.

## V CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1 Mapeamento geoambiental

Os elementos de textura observados na imagem são feições de relevo e drenagem. Esses dispõem-se segundo uma lei ou ordem de organização, a qual é definida segundo as solicitações impostas (clima) e as características do material (substrato). O arranjo desses elementos de forma semelhante em densidade, orientação, espaçamento, entre outros, vão definir ordem, grau e estruturação dos elementos de textura.

A observação dessas propriedades permite delimitar, em uma imagem, zonas em que os elementos se arranjam em comum. Assim se define uma unidade geoambiental, que é, portanto uma região onde os elementos de textura (contínuos, homogêneos e passíveis de repetição) agrupam-se de forma não ordenada ou segundo uma ordem, grau e estrutura definida.

Não se pode dizer que a unidade é homogênea, pois homogêneos são os elementos que a definem. Dentro da unidade geoambiental sempre haverá variações de materiais e formas, ainda que pequenas, é o que mostra o presente estudo.

O procedimento de mapeamento geoambiental traduz de forma qualitativa e semi-quantitativa o comportamento mecânico do meio. Dessa maneira mostra-se como um eficiente guia para planejamento e definição de usos e obras de infra-estrutura.

Como o procedimento baseia-se fortemente em fotointerpretação, seu sucesso está ligado a qualidade do produto de sensoriamento remoto utilizado. Para cada caso deve-se optar por um produto específico, observando as características técnicas de cada um que atendam as necessidades do estudo em questão.

Em função dos resultados obtidos, é possível concluir que para estudos regionais, de planejamento ou na fase de investigação de obras, pode-se utilizar imagens ETM+/Landsat-7, CCD/CBERS-2 ou compatíveis com a escala 1:50.000 (resolução espacial em torno de 20m).

Em áreas urbanas as formas de relevo são mascaradas e/ou mesmo modificadas pela influência antrópica. Nestas áreas é impraticável a definição de limites entre unidades e a aplicação da sistemática de análise pela textura, estrutura e forma dos elementos de imagem.

As áreas urbanas constituem uma alteração significativa na paisagem natural. Cortes, aterros, retificações de drenagem, canalizações, entre tantas obras de modificação do relevo e da drenagem natural acabam por inviabilizar a fotointerpretação nessas áreas, já que o método baseia-se no reconhecimento e análise das formas do relevo e da drenagem.

Carvalho (2001), considera o espaço urbano como uma nova paisagem no meio e recomenda que dentro dela as análises devem ser diferentes das do meio natural. Portanto alerta-se que estudos intra-urbanos devem ser conduzidos sob a ótica de um espaço dinamicamente modificado, onde existem fortes interesses sócio-econômicos. As considerações expostas anteriormente são tão somente para se complementar a fotointerpretação em áreas urbanas, onde fica difícil a visualização das feições do relevo e da drenagem.

Em áreas de rochas intrusivas básicas, nas porções estudadas, além de não haver fortes declividades, há baixa dissecação do relevo, um espesso manto de intemperismo e muita influência antrópica por atividades agro-pastoris. A dificuldade está em definir a densidade textural destas unidades.

Em algumas áreas sedimentares com baixa declividade, baixa dissecação do relevo e espesso manto de intemperismo (predominando arenitos muito alterados), houve dificuldade em se definir a classe de textura “baixa” ou “moderada”. Por vezes os canais de drenagem não estavam visíveis na imagem (ausência de mata ciliar) e isso dificultava a definição.

Para contornar estas limitações, pode-se sobrepor a rede de drenagem à imagem de análise, realizando uma análise morfoestrutural. Com isso pode-se observar a variação da densidade de drenagem nas áreas onde havia dúvida. Com as duas informações sobrepostas (imagem ETM+/Landsat-7 e rede de drenagem) na tela, é possível definir com segurança os limites entre as unidades, a densidade de textura e as propriedades das unidades geoambientais.

A rede de drenagem natural a ser utilizada pode ser obtida em documentos cartográficos antigos, como as cartas topográficas IBGE, escala 1:50.000, que datam das décadas de 60 e 70.

Não foi possível o estabelecimento de nenhuma correlação entre os valores de RMR obtidos com os ensaios de campo e as propriedades das UG obtidas por fotointerpretação. Esses resultados corroboram a recomendação de Bieniawski (1989) de se realizar análises em escala local para cada maciço, pois o sistema de classificação RMR baseia-se em propriedades que apresentam alta variabilidade em área (resistência mecânica da rocha, RQD, condição de umidade, espaçamento, abertura e alteração das fraturas). Esse fato também comprova a não homogeneidade das UG.

Houve um erro de aproximadamente 13% (7 em um total de 54) na estimativa do litotipo (inconsolidado, sedimentar, metamórfico ou ígneo) para cada unidade geoambiental.

A definição dos litotipos baseia-se somente em critérios de fotointerpretação. Considera-se esses resultados como promissores devido à agilidade e baixo custo dessa estimativa.

Embora restrições e dificuldades sejam intrínsecas do procedimento apresentado, resultando em dúvidas, omissões ou erros, identificou-se com maior detalhe do que Oliveira (1992) os tipos de coberturas inconsolidadas na área de estudo e mais feições do que (CPRM, 2002).

## 5.2 Trabalhos de campo

O procedimento justifica-se pelo seu baixo custo, agilidade e boa correlação com ensaios geotécnicos. No entanto não deixa de ser limitada a existência de cortes sem influência antrópica ou afloramentos naturais, onde estes não existem fica impossibilitada a análise.

As correlações obtidas entre os ensaios geotécnicos de laboratório e os ensaios de física de solos em campo são muito úteis na agilização da tomada de decisão e no entendimento do comportamento mecânico dos materiais inconsolidados.

Lima *et al* (2002), conseguiu estabelecer uma correlação semelhante à observada neste trabalho para o índice de plasticidade (IP) e a pegajosidade. No entanto, não conseguiu estabelecer nenhuma correlação entre o limite de liquidez e a plasticidade.

Não há correlação entre as características das UG e o RMR, ou o RQD. Também não há correlação entre a densidade de traços de juntas ou lineamentos estruturais e o RMR. Mas o presente trabalho comprova uma importante correlação entre o RDQ e a densidade de lineamentos estruturais para cada afloramento. Esta correlação é na verdade válida para as rochas de origem metamórfica ( $R^2 = 0,97$ ) ou ígnea ( $R^2 = 0,57$ ). O RQD nas rochas de origem sedimentar exibe correlação com a densidade de traços de juntas ( $R^2 = 0,57$ ).

Não se deve omitir o traçado e a análise dos traços de juntas em regiões cristalinas, nem o traçado e a análise dos lineamentos estruturais em áreas sedimentares, pois estes representam importantes indicativos de fragilidade e permeabilidade do meio, que podem ser obtidos rapidamente e com baixo custo na fase inicial de estudo.

Recomenda-se, para áreas sedimentares, o uso de imagens de maior resolução espacial ou de imagens de radar, que ressalta as formas de relevo, possibilitando assim o traçado mais preciso de maior número de feições (traços de juntas e lineamentos estruturais).

Os trabalhos de campo são fundamentais para verificação e confirmação dos informações e muitas vezes obriga uma revisão nas hipóteses e modelo pré-concebidos. Os resultados da fase “fotointerpretação” somente são validados após a fase “trabalho de campo”.

Os trabalhos de campo no presente trabalho configuram-se como a segunda fase de análise do meio físico para planejamento de obras e usos. Portanto é uma etapa onde há também a realização de ensaios de determinação da gênese, física, química e estrutura das CAIs e das rochas.

### **5.3 Ensaios geotécnicos**

As considerações sobre os ensaios geotécnicos são as que se seguem.

#### **5.3.1 Granulometria**

Observa-se que muitas amostras apresentaram microagregação, principalmente entre grãos de quartzo e hematita, quartzo e goetita e quartzo e magnetita. Essa agregação dá-se por atração eletromagnética entre as partículas e por cimentação diagenética. CAIs ricas nesses microagregados são também chamados de solos “lateríticos” (Nogami e Villibor, 1981)

Os materiais com microagregações são comuns no sudeste brasileiro, mas nota-se que quanto maior a influência do basalto na sua formação, maior é a microagregação encontrada. Há CAIs de origem granítica ou gnáissica que apresentam microagregados de quartzo e hematita e quartzo e caulim, mas estes são raros e se desprendem com facilidade.

Nos ensaios de granulometria, o procedimento utilizado não foi suficiente para retirar todo o silte e argila das amostras UG43, UG48v, UG48a, UG2, UG24, UG49, UG34, UG37, UG5m e UG5i e inseri-los na proveta de sedimentação. Estas amostras foram descritas em campo como possuindo “muitos microagregados” e todas têm forte influência do basalto. Na amostra UG48v mesmo após todo o procedimento havia 2 grãos microagregados de quartzo e hematita que ficaram retidos na peneira 10 (abertura 2mm).

As amostras com grãos microagregados, quartzos com filmes de óxidos/hidróxidos de metais (Fe, Al, Mg, Ti), colóides que se dispersam somente sob agitação e muitos grãos com propriedades magnéticas são chamadas de “difíceis de deflocular” por Mojica *et al* (1973), o qual recomenda a agitação por 20 minutos.

O procedimento normal para determinação da granulometria (ABNT, 1984) não é suficiente para quebrar os microagregados e nem para remover as argilas que recobrem os grãos de quartzo. No procedimento aqui adotado isso foi possível, razão pela qual apresenta-

se, como solução para esse problema, a descrição minuciosa dos procedimentos analíticos que se seguem.

Para se testar o tempo necessário para defloculação completa, tomou-se as amostras UG5m e UG37, agitando-as durante 25 e 35 minutos respectivamente, quando então foi possível retirar todo o silte e argila e inseri-los na proveta de sedimentação. Portanto nas amostras que se observa a presença de muitos microagregados na fração areia, quartzos com filmes de óxidos/hidróxidos de metais (Fe, Al, Mg, Ti), colóides que se dispersam somente sob agitação e presença de muitos grãos com propriedades magnéticas, deve-se proceder uma agitação em média de 30 minutos.

Para a amostra UG39, que apresenta quartzos recobertos com filmes de matéria orgânica, o procedimento foi suficiente para remover todos os colóides. Para as amostras UG53, UG40 e UG7, que apresentam quartzos recobertos com filmes de caulim, hematita e goetita e microagregados de caulim, o procedimento também foi suficiente para remover todos os colóides. Para as amostras UG15, UG22 e UG38, arenosas mas que apresentam alguns microagregados, o procedimento também foi suficiente para remover todos os colóides.

Para as amostras argilosas UG19, UG35, UG40 e UG1, UG6, UG8, UG10, UG12, UG13, UG14, UG16, UG17, UG18, UG20, UG26, UG28, UG32, UG45, UG46, UG50, que apresentam alguns grãos microagregados, quartzos recobertos com filmes de óxidos/hidróxidos de metais (Fe, Al, Ti, Mg), colóides que se dispersam sob pouca agitação e apenas alguns grãos magnéticos, o procedimento também foi suficiente para remover todos os colóides.

### **5.3.1.1 Defloculante**

O uso de defloculante é necessário para dispersar as argilas aderidas aos grãos de silte e areia e evitar que o material se agregue novamente dentro da proveta de sedimentação ao longo das 8h de ensaio.

O hexametáfosfato de sódio ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> é um polímero de ação sequestrante, dispersante e inibidor de corrosão, que entre outras aplicações é usado como agente dispersante para compostos ferrosos na purificação de areia na fabricação do vidro. É solúvel em água e o pH em solução 1% é 6,5.

Rosa (1999), concluiu que o hexametáfosfato de sódio é o que apresenta maior poder de deflocação em comparação com diversos outros agentes defloculantes como o silicato de sódio e o tripolifosfato de sódio.

Segundo Esteves (1998), o hexametáfosfato de sódio ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> tende a liberar o íon fosfato em água e este tende a se ligar a algum íon metálico (Fe, Al, entre outros), formando por exemplo um fosfato ferroso. Acontece que este sulfato ferroso é insolúvel, fato que vai forçar a precipitação deste composto.

Esteves (1998) também mostra que o fosfato ferroso se precipita, numa velocidade maior, quanto maior for o pH e a quantidade de oxigênio dissolvido do meio. Com pH 7,0 e apenas 0,5 mgO<sub>2</sub>/L, o sulfato ferroso precipita em grande quantidade.

Ou seja, em CAIs com alta concentração de ferro (hematita, goetita, magnetita, limonita), há grande possibilidade de ocorrer as reações acima descritas e parte da argila acabar precipitando, sendo mensurada como silte.

Mojica *et al* (1973), recomenda o uso de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) junto com o hexametáfosfato de sódio. Segundo Esteves (1998), o carbonato de sódio em água se dissocia em ácido carbônico ( $\text{H}^+\text{CO}_3^-$ ) e íon  $\text{OH}^-$ . O ácido carbônico ataca os metais, fornecendo o íon carbonato, formando por exemplo o carbonato ferroso que é solúvel. Sobram então dessa reação os íons  $\text{OH}^-$ ,  $\text{H}^+$  e os carbonatos metálicos, por exemplo  $\text{FeCO}_3$ .

Dessa maneira a preparação de uma solução defloculante com hexametáfosfato de sódio e carbonato de sódio alia a eficiência do primeiro com a solubilização dos componentes metálicos do segundo, sem alteração significativa do pH.

Segundo Sousa e Cunha (2005), Rodrigues e Lollo (2004) e Perazzolo *et al* (2005), para os chamados “solos lateríticos” (muitos grãos microagregados, quartzos recobertos com filmes de óxidos/hidróxidos de metais (Fe, Al, Ti, Mg), colóides que se dispersam sob agitação e muitos grãos com propriedades magnéticas), a utilização de solução defloculante provê resultados de granulometria muito diferentes de quando se usa somente água.

Apesar de na natureza não haver especificamente os agentes usados em laboratório, há outros agentes com propriedades defloculantes atuando de maneira permanente ou temporária como água (em diversos graus de saturação), sais de sódio, pH baixo, ácidos húmicos, além de vibrações naturais (movimentos de acomodação de blocos) e induzidas (indústria, automóveis, etc.).

Portanto em ensaios de granulometria deve-se usar soluções defloculantes com ( $\text{NaPO}_3$ )<sub>6</sub> e  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e para solos “lateríticos” agitar por mais de 30 minutos.

### 5.3.2 Limites de consistência

Para determinação do limite de liquidez (LL), há uma convenção prática de se obter em primeiro lugar o número de golpes para a menor umidade (maior número de golpes) e assim ir adicionando água até a maior umidade (menor número de golpes).

Este procedimento mostrou-se eficaz para as amostras UG7, UG15, UG19, UG22, UG35, UG38, UG39, UG40 e UG53.

As amostras UG7, UG15 e UG35 apresentam poucos microagregados, mas não seus colóides dispersam sem agitação e há poucos grãos de quartzo com filmes de hematita e goetita. Já a amostra UG53 apresenta microagregados, mas estes são de caulim e seus colóides também dispersam sem agitação.

As amostras UG19, UG22, UG38, UG39 e UG40 não apresentam microagregados, a maioria de seus colóides dispersam sem agitação e há poucos grãos de quartzo com filmes de hematita e goetita.

No entanto, observou-se que as amostras UG1, UG2, UG5m, UG5i, UG6, UG8, UG10, UG12, UG13, UG14, UG16, UG17, UG18, UG20, UG24, UG26, UG28, UG32, UG34, UG37, UG43, UG45, UG46, UG48v, UG48a, UG49, UG50 absorviam muita água, mas de maneira lenta e sob forte energia de mistura.

Dessa maneira, ao se adicionar água, essas amostras assumiam uma consistência inicial mais líquida. Procedendo-se a mistura e aguardando um curto espaço de tempo (cerca de 1 minuto) essas amostras absorviam água e se apresentavam em consistência menos líquida.

Verificando a mineralogia da fração areia (trabalho de campo), nota-se que estas amostras apresentam microagregações de grãos de quartzo com hematita ou goetita, grãos de quartzos recobertos com filmes de hematita ou goetita e colóides que se dispersam com agitação.

A estrutura microagregada só pode ser quebrada e os colóides presos nos grãos de quartzo só podem ser removidos em meio aquoso e com forte agitação. Portanto a validade dos limites de consistência para este tipo de material esta condicionada ao alto umedecimento prévio e à forte agitação. Ou seja, o ensaio deve começar pelo ponto mais úmido (menor número de golpes), seguindo até o ponto mais seco (maior número de golpes).

É importante salientar que o ensaio é mais demorado dessa maneira, pois ao invés de se adicionar água paulatinamente na amostra, ela agora está úmida e deve ficar secando em temperatura ambiente.

Mello (1979) também encontrou dificuldades e limitações na obtenção dos limites de consistência em solos residuais de basaltos, localizados na região sudeste.

### 5.3.3 Ensaio de Desagregação

Os ensaios de desagregação (imersão em água) podem ser realizados no próprio campo, observando-se o comportamento da amostra durante o tempo em que se procede os outros ensaios. Muitas amostras apresentaram abatimento total em questão de minutos, portanto para estas não é necessária a coleta de amostra indeformada para ensaio de desagregação em específico.

## 5.4 Comportamento espectral no visível

Segundo Ben-Dor *et al* (1998) o comportamento espectral do material terroso normalmente é obtido por meio de espectrômetros ou radiômetros que cobrem desde a faixa do azul ( $0,4\mu\text{m}$ ), até a faixa do infravermelho médio ( $2,4\mu\text{m}$ ). Nas curvas “comprimento de onda ( $\mu\text{m}$ ) vs reflectância (%)” são analisadas bandas de absorção e a porcentagem de reflexão para cada faixa do espectro. Dessa maneira podem ser estimadas a composição mineralógica, a presença de matéria orgânica, a CTC e a umidade natural.

No entanto, a obtenção dessas medidas carece de equipamentos relativamente caros. No presente trabalho propõe-se a obtenção do comportamento espectral para as amostras das CAIs, na faixa do visível, com um custo muito menor e um equipamento mais acessível: uma máquina fotográfica digital.

A análise do comportamento espectral na faixa do visível permitiu a identificação de padrões de resposta bem definidos. Com o procedimento, as amostras puderam ser separadas em quatro classes de comportamento espectral: (1) cinza/preto, (2) vermelho escuro, (3) avermelhado, (4) pardo/amarelado.

Essas quatro classes guardam semelhanças entre si quanto a sua gênese e composição mineralógica da fração areia: (1) planícies de inundação ricas em quartzo e matéria orgânica, (2) CAIs de alteração de basalto ou colúvios ricas em óxidos de metais (Fe, Al, Ti, Mg), (3) colúvios ricos em quartzo e óxidos de ferro e, (4) colúvios ricos em quartzo e hidróxidos de ferro.

## 5.5 Contribuições ao planejamento de obras

### 5.5.1 Unidades Geoambientais

A carta de unidades geoambientais apresenta seis propriedades do meio físico (densidade textural, tropia, permeabilidade, resistência a erosão, assimetria de relevo e plasticidade/ruptibilidade). Estas traduzem diretamente o comportamento do meio, frente à implantação de uma obra.

As propriedades analisadas nesse trabalho são de fundamental importância tanto na fase de planejamento quanto no período de manutenção. Os custos podem ser reduzidos se for respeitada cada uma das propriedades das UG, que condiciona o comportamento do meio ou é condicionada pela intervenção. Portanto a seguir descreve-se as principais interações:

A densidade textural tem relação direta com a densidade de drenagem e, portanto com a morfometria (distância inter-vales, amplitude altimétrica, etc.). Sendo assim, tem influência sobre o número e o volume de cortes e aterros necessários, sobre a quantidade de cruzamentos de corpos d'água e sobre a curvatura vertical em obras lineares. Portanto quanto maior a densidade textural, mais crítica é a condição para implantação e manutenção destas obras.

A tropia está relacionada com a orientação do relevo e da drenagem, devido a estruturas geológicas (acamamentos, foliações e fraturamentos). Uma orientação mais pronunciada (em uma ou duas direções), revela forte tendência da foliação (gnaissificação, xistosidade, foliação cataclástica), ou de fraturamentos em forma de feixes (*trends*).

Em ambos os casos, quando da implantação de obras que requeiram cortes e que se situem na região de influência dessas estruturas rúpteis (descontinuidades), haverá a tendência de deflagrar movimentos rápidos de massa (escorregamentos planares e queda de blocos).

Quanto à permeabilidade do terreno, a análise requer uma avaliação distinta de rochas sedimentares ou sedimentos inconsolidados e das rochas cristalinas.

Nas rochas sedimentares ou em sedimentos não consolidados, a permeabilidade deve-se à porosidade primária (espaço intergranular), e à conexão entre esses poros. Neste caso a água precipitada se infiltra nos poros, formando extensos lençóis subterrâneos e, por conseguinte, há menor escoamento superficial, o que ocasiona baixa densidade de drenagem. Portanto, em rochas sedimentares ou em sedimentos inconsolidados, quanto menor a densidade de drenagem maior é a permeabilidade e vice-versa.

Já em rochas cristalinas (ígneas ou metamórficas), a permeabilidade deve-se à porosidade secundária (fraturamentos abertos e foliações cataclásticas), e à conexão entre

essas discontinuidades. Neste caso a água precipitada infiltra pelas aberturas, ou em meio ao material de preenchimento das fraturas, formando lençóis subterrâneos localizados. Portanto quanto maior a quantidade dessas estruturas e seus cruzamentos, maior é a permeabilidade do maciço.

Nota-se portanto, que as condições de alta permeabilidade estão relacionadas a zonas extremamente porosas e inconsolidadas nos sedimentos e a zonas extremamente fraturadas nas rochas cristalinas.

A resistência à erosão é a capacidade do material de não ser removido de seu local, sendo exposto a ventos, chuvas ou marés. Está associado inversamente a alterabilidade que é a capacidade do material intemperizar-se ou alterar-se, ficando então sujeito a um maior processo erosivo. Esta propriedade depende do tipo litológico (características físicas e químicas), da intensidade deformacional a que esteve sujeito e também do clima a que este material está exposto.

Litologias classificadas como de “muito alta alterabilidade” formam espessas coberturas de alteração intempérica (CAI), as quais estando expostas à ação climática, passam a desenvolver processos erosivos. Esses processos tendem a entrar em equilíbrio dinâmico, em parte favorecido pela cobertura vegetal. No entanto, quando há a implantação de uma obra, esse equilíbrio invariavelmente é quebrado, pois há mudança na forma do relevo. O meio físico então inicia uma nova fase de dinâmica superficial, onde haverá mudanças em sua forma até atingir novamente o equilíbrio dinâmico. O resultado desse processo será uma nova forma de relevo.

Nota-se então que áreas de alterabilidade alta ou muito alta são muito susceptíveis a instalação de processos erosivos, quando submetidas a alterações em sua forma. Assim, conclui-se que quanto menor a “resistência a erosão”, maior a “alterabilidade” do maciço, mais restrições esta área apresenta para implantação e manutenção de obras de infra-estrutura que requeiram movimentos de terra.

A plasticidade/ruptibilidade está relacionada ao fraturamento existente na área, devido aos traços de juntas observados na imagem. Quanto maior a relação entre a rede de drenagem e traços de juntas, mais rúptil é a área. Também é observada a densidade de traços de junta, quanto maior, mais rúptil é o maciço.

A assimetria de relevo está relacionada à foliação da rocha seja ela metamórfica (xistosidade, gnaissificação) ou sedimentar (estratos). Pode estar relacionada também ao resultado da acomodação de blocos, observado em subsuperfície ou superfície. Vertentes que apresentam mesmo comprimento e declividade caracterizam áreas de relevo simétrico. Do

mesmo modo, vertentes com comprimento e declividade desiguais, denotam áreas de relevo assimétrico.

Rochas ígneas apresentam-se com relevo simétrico. Rochas metamórficas de médio e alto grau apresentam-se com relevo assimétrico, de moderada a alta declividade e curta extensão de rampa. Rochas metamórficas de baixo grau e sedimentares apresentam-se com relevo fortemente assimétrico, declividade moderada a baixa e grande comprimento de rampa.

### **5.5.2 Morfoestruturas**

Avalia-se, para as obras de engenharia, que os casos mais críticos são os de alto estrutural e alto topográfico (AA) e baixo estrutural e baixo topográfico (BB). Essas áreas devem ser evitadas, pois se constituem em áreas de restrições muito severas para implantação de obras.

Já os casos de alto estrutural e baixo topográfico (AB) e baixo estrutural e alto topográfico (BA) são também limitantes, pois apresentam fortes restrições a implantação de obras, mas se constituem em áreas com menores restrições quando comparadas aos AA e BB.

### **5.5.3 Fraturamento**

As zonas muito fraturadas, com alta densidade de lineamentos estruturais ou traços de juntas, ou as zonas de variação de máximos de juntas, devem ser evitadas no planejamento de obras de infra-estrutura.

Estas regiões são naturalmente instáveis, mas mesmo que naturalmente estáveis, quando submetidas a compactações, sobrecarga ou alterações na sua forma (cortes, escavações ou aterros) se tornam instáveis. Podem ser desencadeados processos erosivos, de abatimento e acomodação.

## **5.6 A questão da amostragem**

Em um mapeamento geotécnico ou geoambiental, no qual necessite-se de parâmetros numéricos ou qualitativos para dimensionamento ou comparação, é de extrema importância definir a localização e o número de pontos de amostragem.

É também possível a obtenção das características do meio físico em diversos documentos produzidos por equipes diferentes. No entanto, pelo fato de equipes diferentes utilizarem procedimentos diferentes, para objetivos diversos e trabalharem em escalas

variadas esses produtos não devem ser compilados, sob pena de incorretas adequações e generalizações.

Recomenda-se que em estudos de natureza geotécnica ou geoambiental os dados obtidos em mapeamentos para outros fins não sejam integrados em SIG, por meio de álgebra de mapas.

É lógico que não se exclui o levantamento bibliográfico dos dados, a busca por ensaios já realizados e a pesquisa de mapeamentos já executados. A reunião de dados pré-existent é chave para um planejamento de obras e usos tecnicamente correto e de custo reduzido. Mas deve-se ter precaução na manipulação e integração desses dados, principalmente em ambiente SIG, onde é possível cruzar-los e realizar álgebra de mapas com eles.

A elaboração de uma malha quadrangular é o método mais utilizado na engenharia para amostragens e sondagens em geral. A Tabela 22 apresenta duas propostas para amostragem, nelas os autores estabelecem um número mínimo de pontos a serem ensaiados por km<sup>2</sup>.

Tabela 22 – Relação dos algumas propostas de mapeamentos e número de pontos de amostragem.

<b>Autor</b>	<b>Escala</b>	<b>Pontos/km<sup>2</sup></b>
Matula e Pasek (1984)	1:50.000	3-5
	1:25.000	5-10
Zuquette e Gandolfi (1990)	1:50.000	3-6
	1:25.000	3-6

Nas duas propostas apresentadas na Tabela 21, é necessário avaliar a adequação ou não da malha de amostragem à área estudada e ao objeto do mapeamento. Há uma incipiente subjetividade neste método, onde fica à parte a homogeneidade ou a heterogeneidade do meio.

Baseado na discussão do item 2.2.1 vislumbra-se a possibilidade do resultado de um ensaio geotécnico ser extrapolado dentro da mesma unidade geoambiental. O principal limitante dessa consideração é a escala de estudo. Quanto menor a escala, mais generalizada será a unidade e assim, espera-se que haja maior variação na constituição geológica e nos parâmetros geotécnicos analisados no campo ou laboratório. Do mesmo modo, quanto maior o detalhe do mapeamento (maior escala), espera-se menor variação geológica e dos parâmetros geotécnicos.

*Landforms* ou zonas fotogeológicas homólogas são o resultado de interpretações de imagens da superfície terrestre, na procura de padrões de formas, que obedeçam a um conjunto de elementos homogêneos, as quais definem uma semelhança no comportamento

físico-químico e que por sua vez permitem estimar os tipos de materiais constantes naquela unidade. É fundamental ressaltar que esses conceitos estão estritamente ligados a escala de observação.

Vale ressaltar que o conceito de zonas fotogeológicas homogêneas e unidades geoambientais difere do de *landform*. Nos trabalhos Zuquette (1981), Zuquette e Gandolfi (1990), Souza e Zuquette (1991), Zuquette *et al* (1993), Pejon e Zuquette (1993), Zuquette (1993), Zuquette (2002) e Zuquette (2003), observa-se que não há um procedimento definitivo para definição dos *landforms*, além disso, a área é muito subdividida, saturando o documento e dificultando o processo de decisão. Ainda, como se observou nesse trabalho as unidades geoambientais não são homogêneas, enquanto que os autores acima consideram a homogeneidade no *landform*.

Os resultados obtidos em ensaios de campo ou laboratório podem ser extrapolados dentro da unidade geoambiental, considerando uma escala de estudo regional, que está ligada ao objetivo do trabalho.

No presente estudo, das 40 unidades geoambientais visitadas em campo, houve 2 casos (UG48 e UG5), em que se encontrou mais de uma cobertura em uma mesma UG. Ou seja, na área de estudo, pelo método de fotointerpretação utilizado, em 95% dos casos a teoria da validade da distribuição dos materiais inconsolidados em área foi comprovada.

É lógico que em uma cobertura de alteração intempérica de mesma origem e evolução, há variabilidade nos resultados dos ensaios de física e mecânica dos solos. No entanto interessa mapear essa variabilidade em uma escala de anteprojeto ou mesmo somente na de projeto.

Esses resultados são muito promissores, mas deve se testar esse procedimento e avaliar os resultados em outras áreas e também em outras escalas, para as fases de anteprojeto e projeto de obras de infra-estrutura.

## VI CONCLUSÕES

No item 1 do presente trabalho elaborou-se 7 premissas, as quais serão comentadas na mesma ordem a seguir.

1. As unidades geoambientais (UG) definem a variabilidade em área dos materiais rochosos na área estudada, mas não dos materiais inconsolidados, isso deve-se a escala de trabalho e aos produtos de sensoriamento remoto utilizados na definição das UG. No entanto, mesmo dentro de uma mesma UG há variação das características do maciço, traduzida por diferentes valores de RMR.
2. As imagens ETM+/Landsat-7 e as CCD/CBERS-2 são adequadas para se trabalhar na escala 1:50.000 e muito úteis na definição das unidades geoambientais, no mapeamento do uso e cobertura da terra, no auxílio ao trabalho de campo e na observação de feições do relevo e drenagem.
3. Todos os dados e as informações obtidas foram armazenadas em um banco de dados geográfico digital georreferenciado (BDGDG) em um ambiente de sistema de informação geográfica (SIG), o que facilitou a manipulação, a visualização, a atualização e a reprodução dos mesmos. Além do mais a elaboração de um banco de dados espacial permite a busca e o relacionamento rápido de dados e informações.
4. Os ensaios de campo permitiram a determinação do RQD e do RMR para cada maciço rochoso analisado. No campo não se obteve a resistência à compressão e a permeabilidade das coberturas, pois para a resistência à compressão necessita-se de um penetrômetro e para a permeabilidade necessita-se de grande volume de água, fatores que inviabilizaram as suas determinações. Na determinação da permeabilidade poder-se-ia ter utilizado um permeâmetro *Guelf*, no entanto, devido a grande variabilidade dos resultados, esse equipamento não se mostra adequado para o presente estudo. No entanto, os ensaios de laboratório permitiram a caracterização e a classificação dos materiais inconsolidados analisados.
5. Existe correlação direta entre o fraturamento mapeado (traços de juntas e lineamentos estruturais) e o RQD, mas não há correlação entre as características das UG e o RMR.
6. Há correlação inversa entre a plasticidade e o limite de liquidez, direta entre a pegajosidade e o índice de plasticidade e direta entre a consistência seca e a densidade natural.
7. As informações obtidas pelo mapeamento geoambiental e com os trabalhos de campo e de laboratório permitem o planejamento de obras de infra-estrutura. Com o procedimento obtêm-se parâmetros e características do meio físico (coberturas inconsolidadas, rocha e relevo) que permitem a classificação e a comparação dos materiais (inconsolidados e rocha).

Os resultados obtidos comprovam que para se ter alta confiabilidade técnica no planejamento e definição de usos e obras de infra-estrutura é necessário cumprir as três etapas de estudo, que se seguem:

1. Fotointerpretação: usando imagens compatíveis com o objetivo do estudo, nessa fase obtêm-se a carta de unidades geoambientais, morfoestrutural, fraturamento e uso e cobertura da terra, que fornecem informações genéticas, físicas, químicas e estruturais dos materiais (inconsolidados e litologias) e permite escolher sítios para maior detalhamento.
2. Trabalho de campo: escolhendo-se pontos representativos para análise, nessa fase obtêm-se as amostras para ensaios de laboratório, as informações sobre a física dos solos e as características dos maciços, que permitem a caracterização física e mecânica dos diferentes materiais inconsolidados e a classificação RMR dos maciços.
3. Ensaios de laboratório: com as amostras colhidas em campo, nessa fase realizam-se os ensaios de comportamento espectral no visível e os ensaios de mecânica dos solos, que permitem a caracterização e classificação geotécnica dos materiais inconsolidados.

Apesar das 3 fases comentadas acima serem usuais na geotecnia, os procedimentos nelas contido é que são inovadores e proporcionam com ótima relação custo/benefício/tempo o levantamento de informações necessárias ao planejamento e definição de uma grande gama de usos e obras de infra-estrutura. As informações obtidas pela sistemática proposta permitem o entendimento regional e do comportamento físico dos materiais em questão (inconsolidados e litologias), além de caracteriza-los e classifica-los.

Excetuando-se a análise do comportamento espectral no visível, que é um ensaio inédito, as técnicas utilizadas e o fluxograma de trabalho dividido em 3 fases (fotointerpretação, campo e laboratório) há muito são usados pelos profissionais das geociências. O objetivo da aplicação dessas técnicas, a interpretação e integração dos resultados obtidos é que são inovadores.

A metodologia desenvolvida como uma sistemática de caracterização geotécnica e geoambiental voltada para usos e obras de infra-estrutura, mostrou-se de grande valia e promissora devido às técnicas empregadas e à nova maneira de relacionar e correlacionar as técnicas de sensoriamento remoto, de campo e de laboratório.

Com o foco no planejamento de usos e obras de infra-estrutura, os produtos de sensoriamento remoto (ETM+/Landsat-7 e CCD/CBERS-2) facilitam a visão tridimensional do problema investigado e principalmente sua visão espacial (caráter sinóptico).

Quando se trabalha com fotointerpretação da área os trabalhos de campo ficam otimizados, pois é possível reduzir a quantidade de pontos a serem visitados e amostrados,

favorecendo um maior detalhamento dos pontos pré-selecionados. Na presente pesquisa os produtos de sensoriamento remoto são a ferramenta básica para o mapeamento geotécnico e geoambiental.

Quanto aos procedimentos laboratoriais e de campo e suas comparações, obteve-se resultados originais e promissores, que complementam as técnicas convencionais até então utilizadas, ou as superam na óptica de custo/benefício.

Diante das necessidades identificadas para o planejamento de usos e obras de infraestrutura na presente pesquisa, avalia-se que possivelmente há demasiado detalhamento no mapeamento do uso e cobertura da terra. No entanto considera-se que degradar a informação possível de ser obtida, além de desperdício configuraria inépcia.

Com as informações obtidas e, baseado nos resultados apresentados no presente trabalho, pode-se afirmar que os materiais descritos por Bjornberg *et al* (1964) e cartografados por Mello (1995) como pertencentes à Formação Rio Claro, são coberturas coluviais com diferentes quantidades de óxidos/hidróxidos de ferro, grãos de areia subarredondados a subangulares e propriedades físicas e geotécnicas extremamente variáveis.

Além da contribuição no planejamento de usos e obras de infra-estrutura, o procedimento apresentado permite auxiliar em estudos de planejamento ambiental, de riscos ou suscetibilidades como os desenvolvidos por Rocha da Silva (1997), Santoro *et al* (2005) e Vedovello *et al* (2005).

Também auxilia na elaboração de relatórios ambientais preliminares (RAP), estudos de impactos ambientais (EIA), relatórios de impactos ambientais (RIMA) e mesmo na elaboração de cartas de sensibilidade ambiental para derramamentos de óleo (cartas SAO).

No presente estudo procurou-se mapear as características do meio físico, usando diferentes ferramentas e técnicas, comparando e integrando os resultados obtidos, mas sempre com o objetivo de fornecer subsídios para o planejamento de obras.

Por apresentarem restrições à implantação de obras, diversas áreas são recomendadas a não ocupação. Em todo caso, se por motivos sócio-econômicos, culturais ou quaisquer que sejam, essas áreas mais restritivas forem escolhidas para a ocupação, o presente estudo permite reconhecer as características do meio, colaborando para antecipação de problemas que potencialmente ocorrerão.

Se se pode traçar um paralelo com a medicina, o presente trabalho fornece um diagnóstico do meio físico. E, de acordo com a ação a ser tomada é também possível antever um prognóstico do comportamento do meio.

Segundo Popper (1975), o crescimento do conhecimento dá-se como uma árvore. Elabora-se hipóteses, testa-as, algumas se comprovam, outras não. Sobre estas em que restaram dúvidas, elaboram-se outras hipóteses que devem ser testadas, onde algumas se comprovarão e outras não.

Diante disso, evidencia-se a necessidade de realização de trabalhos futuros que venham de encontro com algumas hipóteses não perfeitamente comprovadas ou sobre dúvidas que surgiram durante os trabalhos desenvolvidos na presente tese.

## VII REFERÊNCIAS

- ABDULLATIF, O.M.; CRUDEN, D.M. The relationship between rock mass quality and easy of excavation. *Bulletin of the International Association Engineers Geology*. 28, 1983, 184-187p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 9604*. Abertura de poço e trincheira de inspeção em solo, com retirada de amostras deformadas e indeformadas. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7181*. Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 13p. 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6459*. Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 6p. 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 7180*. Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 3p. 1984.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6508*. Massa específica dos grãos de solo. Rio de Janeiro, 2p. 1980.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 6502*. Terminologia. Rio de Janeiro, 5p. 1980.
- ABRAHÃO, R.A.; VELLOSO, D.deA. Fundações. In: Oliveira, A.M. dos S.; Brito, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 23, p. 381-396.
- ABRÃO, P.C.; OLIVEIRAR, S.L.de Mineração. In: Oliveira, A.M. dos S.; Brito, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 26, p. 431-438.
- ALMEIDA, F.F.M.de. *Fundamentos geológicos do relevo paulista*. Boletim Instituto Geográfico e Geológico, 41 : 169-263. 1964.
- ALMEIDA, M.deS.; MARQUES, M.E.S.; Lacerda, W.A.; Futai, M.M. Investigações de campo e de laboratório na argila de Sarapuí. *Solos e Rochas*. São Paulo, 28 (1), p.3-20, 2005.
- ROSA, A.S.N. Influência de características de matérias-primas e de tipos de defloculantes sobre o comportamento reológico de barbotina de massa cerâmica para monoporosa. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais), UFSC, Florianópolis, 1999.
- ARTUR, A.C. Rochas metamórficas nos arredores de Itapira, SP. Dissertação (Mestrado em Geologia), Instituto de Geociências – Universidade de São Paulo, 1980.
- BAPTISTA, C.N. *Pavimentação: compactação dos solos no campo, camadas de base e estabilização de solos*. Porto Alegre: Editora Globo, 2 ed. 178p., 1976.
- BELL, F.G. *Engineering Geology*. Oxford: Blackwele Science Ltd. 359p. 1993.
- BEN-DOR, E.; IRONS, J.R.; EPEMA, G.F. Soil Reflectance. In: Rencz, A.N. *Remote Sensing for the Earth Sciences*. Manual of Remote Sensing. 3ed. Toronto John Wiley & Sons., Cap. 3, p. 111-189. 1998.

BIENIAWSKI, Z.T. *Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil and petroleum engineering*. John Wiley & Sons. 251p. 1989.

BIENIAWSKI, Z.T. The geomechanics classification in rock engineering applications. In: *4<sup>th</sup> International Congress of Rock Mechanics*, Montreux, 1979, Anais... Montreux: ISRM, v2, 1979. 41-48p.

BIENIAWSKI, Z.T.; Orr, C.M. Rapid site appraisal for dam foundations by the geomechanics classification. In: *12<sup>th</sup> Congress of large dams*, Cidade do México, 1976, Anais... Cidade do México: ICOLD. 1976, 483-501p.

BJORNBERG, A.J.S.; MACIEL, A.C.; GANDOLFI, N. *Notas sobre os depósitos modernos da região de Rio Claro – São Paulo*. Boletim Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. Geologia 11: 37-57. 1964.

BURROUGH, P.A., MCDONNELL, R. *Principles of geographical information systems*. Oxford: Oxford University Press, 1998.

BURROUGH, P.A., *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford: Oxford University Press. 333 p. 1986.

CAETANO, N.R.; OHARA, T.; MATTOS, J.T.de Mapeamento de Propriedades Geológicas e Geotécnicas do Meio Físico, a Partir de Sensoriamento Remoto, para Planejamento de Rodovias. In: *10<sup>o</sup> Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Ouro Preto, 2002, Anais... Ouro Preto: ABGE. 2002.

CAETANO, N.R.; OHARA, T.; MATTOS, J.T.de Identificação de áreas de risco geológico para construção de rodovias utilizando sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica. In: *XLI Congresso Brasileiro de Geologia*. João Pessoa, 2002, Anais... João Pessoa: SBG. p. 127, 2002.

CÂMARA, G.; BARBOSA, C.C.F.; DAVIS, C.; FONSECA, F. Conceitos Básicos da Ciência da Geoinformação. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. *Introdução à ciência da geoinformação*. On line, 2004a. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> acesso em 20jan.2006.

CÂMARA, G.; CORDEIRO, J.P.; MOURA, U.; LUCENA, I. da Álgebra de Mapas. In: Câmara, G.; Davis, C.; Monteiro, A.M.V. *Introdução à ciência da geoinformação*. On line, 2004b. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> acesso em 20jan.2006.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Apresentação. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. *Introdução à ciência da geoinformação*. On line, 2004. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> acesso em 20jan.2006.

CÂMARA, G.; PAIVA, J.A.; CORREA, V.; FREITAS, C. Análise Espacial e Geoprocessamento. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. *Análise espacial de dados geográficos*. On line, 2004c. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> acesso em 20jan.2006.

CAMARGO, E.; FUKS, S.D.; MONTEIRO, A.M.V. Análise de Superfícies por Geoestatística. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. *Análise espacial de*

*dados geográficos*. On line, 2004. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> acesso em 20jan.2006.

CAMPOS A.C.R. Geologia estrutural. In: Mendes, J.C. *Geologia*. Cap. 2, Série 6, Tomo 2. Brasília : Instituto Nacional do Livro. 1972, 80p.

CAMPOS, J.O.; BLAKE, E.H. Correlações entre propriedades físicas e a resistência á compressão simples nos arenitos Caiuá. In: *Simpósio sobre a Geotecnia da bacia do Alto Paraná*. São Paulo, 1983, Anais... São Paulo: ABGE/ABMS/CBMR. Tema IIB, p.57 a 87. 1983.

CANDIDO, L.W. Reconhecimento de áreas modificadas pela atividade de mineração como unidade geológico-geotécnica no Município de Estiva Gerbi – SP. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente). UNESP – IGCE. 63p. 2004.

CARDOSO, D. Utilização de técnicas de sensoriamento remoto na compartimentação fisiográfica do município de Peruíbe. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente). IGCE/UNESP : Rio Claro. 2002. 73p.

CARPI JR., S. Processos erosivos, recursos hídricos e riscos ambientais na bacia do Moji-Guaçu. IGCE/UNESP. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). Rio Claro. 169p. 2001.

CARVALHO, E.T.; PRANDINI, F.L. Áreas Urbanas. In: Oliveira, A.M. dos S.; Brito, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo : ABGE, 1998. Cap. 31, p. 487-498.

CARVALHO, E.T.de *Geología urbana para todos: uma visão de Belo Horizonte*. Belo Horizonte. 2ed. 176p. 2001.

CAVALCANTE J. C. et. al. *Projeto sapucaí: Relatório final de geologia*, Brasília, DNPM. 1979.

COELHO, P.A.L.F.; LEMOS, L.J.L. Caracterização geológica e geotécnica do local experimental da quinta do forja, situado n odepósito de solos moles do baixo Mondego. *Geotecnia*. Lisboa. 95 : p.17-32. 2002.

CORDEL, R.R.; TAJIMA, R. Tratamento dos túneis de desvio da UHE Campo Novos. In: *11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Florianópolis, 2005, Anais... Florianópolis: ABGE. 2005.

COTTAS, L.R. (coord.) *Levantamento geológico-geotécnico para subsidiar o desenvolvimento urbano das cidades de Moji-Guaçu, Itapira e Moji-Mirim*. Rio Claro : UNESP. 118p. 1998.

COUTINHO, R.Q.; LACERDA, W.A. Caracterização / consolidação da argila orgânica de Juturnaíba. *Solos e Rochas*. São Paulo, 17 (2), p.145-154, 1994.

COWEN, D.J. GIS versus CAD versus CBMS What are the differences? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 54, n. p. 1551-1554, 1988.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. *Atlas Geoambiental das bacias hidrográficas do rios Moji-Guaçu e Pardo, SP: subsídios para o planejamento territorial e gestão ambiental*. São Paulo : CPRM, 2002.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. *Mapa geológico do Brasil: escala 1:2.500.000*. São Paulo : CPRM. 2001.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J.S. DE; HERNANDES FILHO, P.; FLORENZANO, T.G.; DUARTE, V.; BARBOSA, C.C.F. *Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicados ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial*. São José dos Campos: SAE/INPE. 1999. 80 p.

CRISÓSTOMO NETO, A.P. Mapeamento geoambiental por imagem de satélite do vale do Paraíba. Rio Claro. 96p. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, 2002.

DA-RÉ, M.; ARCARI, R. APA's e rodovias: um proposta de estrada parque para a APA de anhatomirim. In: *A Variável Ambiental em Obras Rodoviárias – Seminário Nacional*, 1., Foz do Iguaçu, 1999. Anais. Curitiba : FUPEF e DER/PR, 1999. p.271-291.

DEERE, D.U. *et al. Design of Surface and Near-Surface Construction in Rock, in Failure and Breakage of Rock*. New York : Aime. 1967.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). *Diretrizes básicas para elaboração de estudos e projetos rodoviários*. On line, 418p. 2004. Disponível em <[www.dner.gov.br/downloads](http://www.dner.gov.br/downloads)> acesso em 20jan.2006.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM (DNER). *Pesquisa de estabilidade de taludes: recomendações para proteção de taludes contra erosão*. MT-DNER/DRDTC, Rio de Janeiro, 56p. 1979.

DIAS, R.D. Solos lateríticos do Rio Grande do Sul, ocorrência e caracterização geotécnica. *Solos e Rochas*. São Paulo. 10, (2): 13-20. 1987.

DIAS, R.D.; BASTOS, C.A.B.; PINHEIRO, R.J.B. Perfis de solos residuais da região metropolitana de Porto Alegre. *Solos e Rochas*. São Paulo. 16, (4): 279-288. 1993.

EBERT, H. O grupo Eleutério e a falha de Jacutinga (NE de São Paulo). In: *XXVII Congresso Brasileiro de Geologia*, Porto Alegre, 1974, Anais... Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Geologia (núcleo Rio Grande do Sul). Boletim especial – 1: 726-730. 1974.

EBERT, H. *Ocorrência da Fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em áreas adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: Hipóteses sobre sua origem*. An. Acad. Bras. Cienc., 40: 215-229. 1968.

EBERT, H. *Os paraibides entre São João Del Rei (Minas Gerais) e Itapira (São Paulo) e a bifurcação entre paraibides e araxaides*. Rio Claro : FFCL, 37 p. 1971.

EBERT, H.D.; Penteado, A.H.D.G. Modelagem tridimensional de estruturas geológicas complexas em microcomputadores. *Geociências*. São Paulo, 14(2): 227-245, 1995.

ELIFRITS, C.D.; HATHEWAY, A.W. Historia waste-site use and geoteical characterization – data sources and data utility. *Geotechnical applications of remote sensing and remote data transmission*. Florida : ASTM (967 STP). p. 69-88, 1986.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Empresa Brasileira de Pesquisas Agrônômicas. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Brasília. 412p. 1999.

ESRI. *ArcGIS/ArcMap 9.0*: support center. On line, 2005. Disponível em <[www.support.esri.com](http://www.support.esri.com)> acesso em 20jan.2006.

ESTEVEES, FA. *Fundamentos de Limnologia*. 2ª ed. Ed. Interciências Ltda. Rio de Janeiro. 602p. 1998.

ETCHEBEHERE, M.L.deC. Terraços quaternários no vale do rio do Peixe, planalto ocidental paulista: implicações estratigráficas e tectônicas. Tese (Doutorado em Geologia Regional), IGCE/UNESP, 2000.

FACINCANI, E.M. Influência da estrutura e tectônica no desenvolvimento das boçorocas da região de São Pedro-SP: proposta de reabilitação e aspectos institucionais correlatos. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente), IGCE/UNESP, 1995.

FACINCANI, E.M. Morfotectônica da Depressão Periférica e Cuesta Basáltica: regiões de São Carlos, Rio Claro e Piracicaba. Tese (Doutorado em Geologia Regional), IGCE/UNESP, 2000.

FERREIRA, G.C. Impactos ambientais na mineração de carvão na região de Criciúma (SC). *Geociências*, São Paulo, 12(2): 541-550, 1993.

FERREIRA, J.B.; BOUERI, J.J.; MARTINS, N.F.P. Estradas e seus impactos em unidades de conservação – sistemas operacionais de rodovias em parques nacionais. O caso da Paraty-Cunha/RJ-165. In: *A Variável Ambiental em Obras Rodoviárias – Seminário Nacional*, 1., Foz do Iguaçu, 1999. Anais. Curitiba : FUPEF e DER/PR, 1999. p.259-270.

FISSET, R.; CAVAYAS, F.; MOUCHOT, M.C.; SOLAIMAN, B.; DESJARDINS, R. Map-image matching using a multi-layer perception: the case of the road network. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 53, n. p. 76-84, Fev. 1998.

FONT-ALTABA, M. *Atlas de mineralogia*. Rio de Janeiro: Dalmau y Jover S.A. 55p. 1963.

FORNASARI FILHO, N.; BRAGA, T.DEO.; GALVES, M.L.; BITAR, O.Y.; AMARANTE, A. *Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia*. São Paulo: IPT. Boletim 61. 165p. 1992.

FRANCIS, F.O.; ROCHA, H.C. Obras subterrâneas civis. In: Oliveira, A.M. dos S.; Brito, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 27, p. 439-456.

FRANZONI, A.M.B. Avaliação do meio físico para fins de planejamento geoambiental no traçado e manutenção de rede viária: ilha de Santa Catarina. Rio Claro. 145p Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geologia e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, 2000.

FRAZÃO, E.B.; PARAGUASSÚ, A.B. Materiais rochosos para construção. In: OLIVEIRA, A.M. DOS S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 20, p. 331-342.

FULFARO, V.J.; SUGUIO, K. *A Formação Rio Claro (neoceno-zóico) e seu ambiente de deposição*. São Paulo: Instituto Geográfico e Geológico. 20, 45-60p. 1968.

GAMA, E.M.da Tecnologia de ponta em ensaios mecânicos de laboratório com rochas. *Solos e Rochas*. São Paulo, 17 (2), p.131-143, 1994.

GLOBAL MAPPER. *Global Mapper 5.09*: support. On line, 2004. Disponível em <[www.globalmapper.com](http://www.globalmapper.com)> acesso em 20jan.2006.

GODOY, M.C.T.F.de Mapeamento geotécnico preliminar da região urbana de Presidente Prudente-SP. São Carlos, 108p. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 1989.

GUIMARÃES, W. Estudo de traçados de rodovias com o uso de dados de satélites e sistema de informações geográficas. São José dos Campos. 188p. Dissertação (Mestrado em Infra-estrutura Aeronáutica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 1997.

GUY, M. Quelques principes e quelques expériences sur la methodologie de la photo-interpretation. In: *Symposium International de Photo-Interpretation*. Paris, 1966, Anais... Paris: Acte, v.1, p.21-41. 1966.

HASUI, V. *et al* *Compartimentação estrutural e evolução tectônica do Estado de São Paulo*. IPT : São Paulo. Relatório 27 394. 2v. 288p. 1989.

HASUI, Y. Neotectônica e aspectos fundamentais da tectônica ressurgente no Brasil. In: *Workshop sobre Neotectônica e Sedimentação Cenozóica Continental no Sudeste Brasileiro*. Belo Horizonte, 1990, Anais... Belo Horizonte: SBG-MG, Bol. 11, p. 1-31. 1990.

HASUI, Y.; FACINCANI, E.M.; SANTOS, M.DOS; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. Aspectos estruturais e neotectônicos na formação de boçorocas na região de São Pedro, SP. *Geociências*. São Paulo, 14(2): 59-76, 1995.

HOEK, E. *Practical Rock engineering*. On line, p. 40-60, 2000. Disponível em <[www.rocscience.com/roc.hoek/hoeknotes2000.htm](http://www.rocscience.com/roc.hoek/hoeknotes2000.htm)> acesso em 20jan.2006.

HOLMGREM, G.G.S. *Factor affecting spontaneous dispersion of soil materials as evidenced by the crumb test. Dispersive clays, related piping and erosion geotechnical projects*, ASTM Special Technical Publication, n. 623, p. 218-239, 1977.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). *Mapa geomorfológico do Estado de São Paulo – escala 1:1.000.000*. São Paulo. 2v. (IPT. Séries monográficas). 1981a.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). *Mapa Geológico do Estado de São Paulo – escala 1:500.000*. São Paulo. 2v. (IPT. Séries monográficas). 1981b.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Folha topográfica Moji-Guaçu SF-23-Y-A-III-3*. escala 1:50.000. 1972.

Souza, J.G. (coord.) *Manual Técnico de Pedologia*. Manuais Técnicos em Geociências, nº 4, Rio de Janeiro : IBGE. 104p. 1995.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R. *Apostila do curso de Pedologia*. Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. IGCE/UNESP. Rio Claro, 2003.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J.T.de; DAITX, E.C.; CAETANO, N.R. *Mapa pedológico do gasoduto Bolívia-Brasil: Relatório final*. Rio Claro, IGCE/UNESP, 2005.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; PESSOTI, J.E.S.; MATTOS, J.T.de Modelo para o estudo da dinâmica evolutiva dos aspectos fisiográficos dos pantanais. *Pesquisa Agrônômica Brasileira*. 33, (número especial): 1763-1773, 1998.

JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; NUNES, E.; MATTOS, J.T.de. Caracterização fisiográfica e morfoestrutural da folha São José de Mipibu-RN. *Geociências*. São Paulo, v. 12, n.2, p.481-491, 1993.

KENNIE, T.J.M.; MATEWS, M.C. *Remote sensing in civil engineering*. New York : John Wiley, 1985. 357p.

KIRSCH, H. *Mineralogia Aplicada*. São Paulo : USP, 1972.

LANDIM, P.M.B. Contribuição ao estudo dos mistitos do grupo Tubarão no Estado de São Paulo. Tese (Livre Docência). Faculdade de Filosofia Ciências e Letras – Universidade Estadual Paulista. Rio Claro. 103p. 1970.

LANDIM, P.M.B.; SOARES, P.C.; GAMA Jr.; E.G. *Estratigrafia do nordeste da bacia sedimentar do Paraná*. Rio Claro: IPT/UNESP. 69p. 1980.

LEINZ, V.; AMARAL, S.E.do *Geologia geral*. São Paulo : Nacional. 3ªed. 1966, 512p.

LEPSCH, I.F.; PRADO, H.; MENK, J.R.F.; RIZZO, L.T.B. *Levantamento de reconhecimento com detalhes de solos no Estado de São Paulo*. São Paulo : IAC, 1999.

LIMA, E.S.de; FERREIRA, M.daG.deV.X.; COUTINHO, R.Q.; CARVALHO, H.A.de. Correlações entre parâmetros físico-químicos e parâmetros geotécnicos de um solo residual de biotita-gnaiss na região do Espinhaço da Gata – PE. *Solos e Rochas*. 25, (2): 93-104, 2002.

LOCZY, L.; LADEIRA, E.A. *Geologia estrutural e introdução à geotectônica*. São Paulo : Edgard Blücher. 1976. 528p.

MAGALHÃES, F.S.; CELLA, P.R.C. Estruturas dos maciços rochosos. In: OLIVEIRA, A.M. DOS S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo : ABGE, 1998. Cap. 3, p. 39-56.

MAILLARD, P.; CAVAYAS, F. Automatic map-guided extraction of roads from SPOT imagery for cartographic database updating. *International Journal of Remote Sensing*, 10(11), p. 1775-1787, Nov. 1989.

MARQUES FILHO, P.L.; GERALDO, A. Barragens e reservatórios. In: OLIVEIRA, A.M. DOS S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 24, p. 397-418.

MARQUES, E.A.G.; SOARES, E.P.; SOSSAI, F.J.M. Classificação do maciço rochoso em uma mina subterrânea do quadrilátero ferrífero (Brasil). In: *11º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Florianópolis, 2005, Anais... Florianópolis: ABGE. 2005.

MATHER, P.M. *Computer processing of remotely-sensed images*. 2. ed. Nottingham: John Wiley & Sons. 292p. 1999.

MATTOS, J.T.de *Apostila do curso de Sensoriamento remoto aplicado a mapeamentos geoambientais*. Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. IGCE/UNESP. Rio Claro, 2002.

MATULA, M.; PASEK, J. Engineering geological maps in the Czechoslovak Socialist Republic. In: *22<sup>nd</sup> International Geology Congress*. New Delhi, 1984, Anais... New Delhi: ISG. 1984.

MEDEIROS, J.S. DE; CÂMARA, G. GIS para Estudos Ambientais. In: CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A.M.V. *Introdução à ciência da geoinformação*. On line, 2004. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro>> acesso em 20jan.2006.

MELLO, J.R.C.de; PONÇANO, W.L. Obras marítimas e costeiras. In: OLIVEIRA, A.M. DOS S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 28, p. 457-468.

MELLO, V.F.B. *Apreciação sobre a engenharia de solos aplicável a solos residuais*. São Paulo : ABGE. 60p. 1979.

MELLO, M.S.de A Formação Rio Claro e depósitos associados: sedimentação neocenozóica na Depressão Periférica Paulista. São Paulo, SP. Tese (Doutorado em Geociências). Instituto de geociências – USP, 144p. 1995.

MOJICA, F.S.; RODRIGUEZ, L.I.O.; MUÑOZ, B.M.de *Metodos analíticos del laboratorio de suelos*. Bogotá : Instituto Geografico. 3ed. 176p. 1973.

MOREIRA, M. R. Avaliação dos aspectos texturais na imagem Landsat como subsídio à compartimentação fisiográfica dos municípios de Peruíbe e Itanhaém - SP. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente). IGCE/UNESP : Rio Claro. 129p. 2003.

MOREIRA, M.A. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. São José dos Campos : INPE, 2001. 250p.

MOTTA, M.N.J. Estradas e seus impactos em unidades de conservação – o caso da ponte Luiz Eduardo Magalhães e o parque nacional de Ilha Grande (Paraná-Brasil). In: *A Variável Ambiental em Obras Rodoviárias – Seminário Nacional*, 1., Foz do Iguaçu, 1999. Anais. Curitiba : FUPEF e DER/PR, 1999. p.293-307.

NEVES, A.C. *Introdução à mineralogia prática*. Canoas : ULBRA. 120p. 2002.

NOGAMI, J.S., VILLIBOR, D.F. Uma nova classificação para finalidades rodoviárias. In: *Simpósio Brasileiro de Solos Tropicais em Engenharia*. Rio de Janeiro, 1981, Anais... Rio de Janeiro: Coppe/ABMS. Seção 1, p.30-41. 1981.

NOGUEIRA JR., J.; MARQUES, A.S. Linhas de transmissão e dutovias. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 30, p. 475-486.

OHARA, T. Zoneamento geoambiental da região do alto-médio Paraíba do Sul (SP) com sensoriamento remoto. Rio Claro. Tese (Doutorado em Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, 1995.

OHARA, T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; MATTOS, J. T.; Caetano, N.R. Zoneamento geoambiental da região do alto médio rio Paraíba do Sul e a carta de aptidão física para a implantação de obras viárias. *Revista Brasileira de Geociências* : SBG. 33 (2-Suplemento) p. 173-182. 2003.

OHARA, T.; MATTOS, J. T.; JIMÉNEZ-RUEDA, J.R.; Integração de informações do meio físico obtidas com sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica. In: *XLI Congresso Brasileiro de Geologia*. João Pessoa, 2002, Anais... João Pessoa: SBG. p. 164. 2002.

OKIDA, R. Técnicas de sensoriamento remoto como subsídio ao zoneamento de áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa e a inundações. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 147p. 1996.

OLIVEIRA, A.M. DOS S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998.

OLIVEIRA, J.B.; CAMARGO, M.N.de; ROSSI, M.; CALDERANO FILHO, B. *Mapa pedológico do Estado de São Paulo*. São Paulo : IAC/EMBRAPA. 1999.

OLIVEIRA, J.B. Secretaria de Agricultura e Abastecimento (SAA). *Carta pedológica semi-detalhada do Estado de São Paulo: Folha Moji-Mirim*. Escala 1:100.000. São Paulo: SAA, 1992.

OLIVEIRA, T.A.de Compartimentação fisiográfica aplicada à avaliação de terrenos - subsídio ao planejamento territorial do município de Cananéia – SP. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente). IGCE/UNESP : Rio Claro. 97p. 2004.

PARAGUASSÚ, A.B.; BOFF, F.E.; ZUQUETTE, L.V. Estudos laboratoriais de solos lateríticos visando aplicação em *liners*. *Geotecnia*. Lisboa. 94 : p.37-55. 2002.

PASSARGE, S. *Geomorfologia*. Buenos Aires : Editorial Labor. 189p. 1931.

PEJON, O.J.; ZUQUETTE, L.V. Carta do potencial de escoamento superficial da folha de Piracicaba – SP. *Geociências*. São Paulo, 12(2): 515-530, 1993.

PELOGGIA, A.U.G. Parâmetros geomecânicos de solos saprolíticos do município de São Paulo (SP). *Solos e Rochas*. São Paulo, 20 (3), p.209-213, 1997.

PENIDO, L.R. Técnicas de sensoriamento remoto e SIG aplicadas ao planejamento de uma rodovia: estudo de caso – trecho oeste do rodoanel metropolitano de São Paulo. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 123p. 1998.

PENTEADO, M.M. *Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista*. Instituto de Geografia – USP. Série Teses e Monografias. n°22, 86p. 1976.

PERAZZOLO, L.; BICA, A.V.D.; BRESSANI, L.A.; BERNARDES, J.deA.; MARTINS, F.B.; FLORES, J.A.A.; AZAMBUJA, E. Análise comparativa da estabilidade de dois taludes da Formação Serra Geral/RS. *Solos e Rochas*. ABMS. 28, (1): p.31-42. 2005.

PEREIRA, M.N.; KURKDJIAN, M. de L.N.O.; FORESTI, C. *Cobertura e uso da terra através de sensoriamento remoto*. São José dos Campos : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 117p. 1989.

PEREIRA, M.N.; KURKDJIAN, M. de L.N.O.; PINTO, S. dos A.F. *Técnicas de sensoriamento remoto e de geoprocessamento para mapeamento e análise do uso da terra*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 15p. 1994.

PEREIRA, M.N.; NOVO, E.M.L. de M.; KURKDJIAN, M. de L.N.O.; D'ALGE, J.C.L.; FLORENZANO, T.G. *Atualização do uso da terra do município de São José dos Campos através de dados de sensoriamento remoto*. São José dos Campos : Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 71p. 1988.

PETER, K.D.; KOLM, K.E.; DOWNEY, J.S.; NICHOLS JR., T.C. Lineaments: significance, criteria for determination and varied effects on groundwater systems – A case history in the use of remote sensing. *Geotechnical applications of remote sensing and remote data transmission*. Florida : ASTM (967 STP). p. 46-68, 1986.

PETRI, S. Aerofotogeologia. In: MENDES, J.C. *Geologia*. Cap. 3, Série 6, Tomo 2. Brasília : Instituto Nacional do Livro. 1972, 50p.

PINTO, C.deS. *Curso básico de mecânica dos solos*. São Paulo: Oficina de Textos. 2ed. 355p. 2002.

POPPER, K. *Conhecimento Objetivo*. Belo Horizonte: Itatiaia/Edusp. 1975, 394p.

REDAELLI, L.L.; CORELLO, L. Escavações. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 19, p. 311-330.

RIGO, M.L.; PERAZZOLO, L.; PINHEIRO, J.B.; BICA, A.V.D.; BRESSANI, L.A.; SILVEIRA, R.Mde. Resistência ao cisalhamento residual de alguns solos da Formação Serra Geral (RS). *Solos e Rochas*. São Paulo: ABMS. 27, (3): 295-300. 2004.

RIVEREAU, J.C. *Curso de fotointerpretação: notas de aulas*. Brasília, UnB, Departamento de Geociências, 128 p. Série Didática, 4. 1970.

ROCHA DA SILVA, V.C. Gerenciamento de riscos de escorregamentos: Discussão para a implementação de um plano preventivo de Defesa Civil no município de São Paulo. São Paulo. Dissertação (Mestrado em Estruturas e Fundações). Universidade de São Paulo, 194p. 1997.

RODRIGUES, J.E. Evolução de critérios de caracterização dos materiais inconsolidados no mapeamento geotécnico da região centro-leste do estado de São Paulo. São Carlos, Tese (Livre Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 166p. 1996.

RODRIGUES, J.E.; LIU, C.C. *A geometria da iluminação solar e sua influência na observação de estruturas geológicas em imagens orbitais*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 6p. 1991.

RODRIGUES, R.; LOPES, J.A.U. Rodovias. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo : ABGE, 1998. Cap. 25, p. 419-430.

RODRIGUES, R.A.; LOLLO, J.A.de Características estruturais, fisiográficas e mecânicas de dois perfis de solos colapsíveis de Ilha Solteira – SP, Brasil. *Solos e Rochas*. São Paulo. 27, (2): 131-146. 2004.

RODRIGUES, R.M. Estudo e caracterização do meio físico da bacia do rio Camboriú/SC, visando zoneamento geoambiental. Rio Claro. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geologia e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, 125p. 2000.

RUIZ, M.D.; GUIDICINI, G. Introdução. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 1, p. 1-5.

SAAD, A.R. Estratigrafia do sub-grupo Itararé no centro sul do Estado de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências – USP. 107p. 1977.

SAMPAIO, O. S. Estudo de fraturamentos como subsídio à pesquisa de água subterrânea no estado de Sergipe: uma abordagem através de dados de sensoriamento remoto. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 107p. 1987.

SANTORO, J.; ROSSINI-PENTEADO, D.; VEDOVELLO, R. Hierarquização das situações de riscos associados a escorregamentos e inundações no município de Rio Grande da Serra, SP: subsídios para o planejamento de ações preventivas e emergenciais. In: *11º Simpósio Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Florianópolis, 2005, Anais... Florianópolis: ABGE. 866-879p. 2005.

SANTOS, Á.R.dos *Fundamentos filosóficos e metodológicos da geologia de engenharia*. São Paulo: IPT. 5p. 1994.

SÃO PAULO. Secretaria do Meio Ambiente (SMA). *Informações básicas para o planejamento ambiental*. São Paulo: SMA, 2002.

SERRA JR, E.; OJIMA, L.M. Caracterização e Classificação de Maciços Rochosos. In: Oliveira, A.M. dos S.; Brito, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 13, p. 211-226.

SETZER, J. *Atlas Climático do Estado de São Paulo*. São Paulo: Secretaria da Agricultura. 1976.

SINGHROY, V.H. Case studies on the application of the remote sensing data to geotechnical investigations in Ontario, Canada. *Geotechnical applications of remote sensing and remote data transmission*. Florida : ASTM (967 STP). p. 9-45, 1986.

SOARES, J.L.N.; ESPÍNDOLA, C.R.; CASTRO, S.S.de Alteração física e morfológica em solos cultivados sob sistema tradicional de manejo. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*. Viçosa. 29: 1005-1014, 2005.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícias Geomorfológicas*. Vol. 6, n.32, p.71-104, 1976.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P.; MATTOS, J.T.de A lógica de interpretação de fotografias aéreas convencionais aplicada a imagens de satélite. In: *I Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. São José dos Campos, 1978, Anais... São José dos Campos: CNPq/INPE. volume 2, 616-618p. 1978.

SOARES, P.C.; GUERRA, S.M.S.; CSORDAS, S.M.; BARCELOS, P.R.; MATTOS, J.T.de; MENEZES, P.R.; BALIEIRO, M.G. *Análise morfoestrutural integrada em imagens de RADAR e LANDSAT na Bacia do Paraná*. Relatório Técnico PAULIPETRO – Consórcio CESP/IPT. RT.041/81. Volume 1, II. São Paulo, 1981.

SOUSA, L.C.M.; CUNHA, R.P.da Estudo experimental do comportamento de sapatas estacadas assentes em solo poroso colapsível. *Solos e Rochas*. ABMS. 28, (2): 229-240. 2005.

SOUZA, N.C.D.C.; ZUQUETTE, L.V. Mapeamento geotécnico com base em perfis típicos de alteração para a caracterização de unidades de terreno. In: *2º Simpósio de Geologia do Sudeste*. São Paulo, 1991, Anais... São Paulo: SBG. p.345-352. 1991.

STEIN, D.P.; GIRALDO, A. Canais e hidrovias. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 29, p. 469-474.

TOLEDO, M.C.M.de; OLIVEIRA, S.M.B.de; MELFI, A.J. Intemperismo e formação do solo. In: TEIXEIRA, W.; TOLEDO, M.C.M.de; FAIRCHILD, T.R.; TAIOLI, F. *Decifrando a Terra*. São Paulo : Oficina de Textos, 2000. Cap. 8, p. 139-166.

TRESSOLDI, M.; CONSONI, Â.S. Condicionantes do meio físico na disposição de resíduos. In: OLIVEIRA, A.M. dos S.; BRITO, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo: ABGE, 1998. Cap. 21, p. 343-360.

VAZ, G.J.; BRITO, S.N.A.de; MINICUCCI, L.A.; MARVULO, N.L. Análise de riscos geológicos aplicada a obras de engenharia. In: *10º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Ouro Preto, 2002, Anais... Ouro Preto: ABGE. p. 98-125. 2002.

VEDOVELLO, R. Zoneamento geotécnico, por sensoriamento remoto, para estudos de planejamento do meio físico – aplicação em expansão urbana. São José dos Campos. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 88p. 1993.

VEDOVELLO, R. Zoneamentos geotécnicos aplicados à gestão ambiental, a partir de unidades básicas de compartimentação – UBCs. Rio Claro, Tese (Doutorado em Geociências

e Meio Ambiente) – Instituto de Geologia e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, 154p. 2000.

VEDOVELLO, R.; SULTANUM, H.J.; FERREIRA, C.J.; TORREJON, R.A.; TOMINAGA, L.K.; TAVARES, R. Modelo conceitual e de programação para a obtenção e atualização automática de cartas de riscos em sistemas gerenciadores de informações geoambientais – SGIGs. In: *11º Simpósio Brasileiro de Geologia de Engenharia e Ambiental*. Florianópolis, 2005, Anais... Florianópolis: ABGE. 2327-2339p. 2005.

VENEZIANI, P; ANJOS, C.E. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia*. São José dos Campos: INPE. 54p. 1982.

VIANA, R.F.; LIMA, D.C.de; MARTINS JR, P.P.; COSTA, L.M.da; MARQUES, E.A.G. Parâmetros de erosão e geotécnicos da bacia das codornas. *Geotecnica*. n° 94. p.79-92, 2002.

WERNICK, H.; PENALVA, F. As relações entre os grupos Amparo e Itapira, São Paulo. In: *27º Congresso Brasileiro de Geologia*. Aracaju, 1973. Anais... Aracaju: SBG, p. 116-117. 1973.

ZUQUETTE, L.V. Análise crítica da cartografia geotécnica e proposta metodológica para condições brasileiras. São Carlos. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 219p. 1993.

ZUQUETTE, L.V. *Apostila do curso de Mapeamento Geotécnico*. Doutorado em Geociências e Meio Ambiente. IGCE/UNESP. Rio Claro, 2002.

ZUQUETTE, L.V. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para elaboração. São Carlos, Tese (Livre Docência) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 256p. 1993.

ZUQUETTE, L.V. Mapeamento geotécnico preliminar na região de São Carlos. São Carlos, Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, 86p. 1981.

ZUQUETTE, L.V.; GANDOLFI, N. Geotechnical mapping: a basic document to urban planning. In: *6<sup>th</sup> International Congress of the IAEG*. Amsterdam, 1990, Anais... Amsterdam: IAEG. 1990.

ZUQUETTE, L.V.; NAKAZAWA, V.A. Cartas de Geologia de Engenharia. In: Oliveira, A.M. dos S.; Brito, S.N.A. de. *Geologia de Engenharia*. 1.ed. São Paulo : ABGE, 1998. Cap. 17, p. 283-300.

ZUQUETTE, L.V.; PEJON, O.J.; GANDOLFI, N.; SINELLI, O. Carta do potencial de risco à contaminação das águas subterrâneas e do potencial agrícola – região de Ribeirão Preto – SP – Brasil. *Geociências*. São Paulo, 12(2): 531-540, 1993.