

JOÃO BOSCO SOUZA MENDONÇA

IMPACTOS AMBIENTAIS DE PESQUISAS SÍSMICAS PARA HIDROCARBONETOS NA BACIA DO PARANÁ

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-Graduação em Geologia, Área de Concentração Geologia Ambiental, Departamento de Geologia, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

Orientador Principal:
Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira

Co-orientadores:
Prof. Dr. Alberto Pio Fiori
Prof. Dr. André Virmond Lima Bittencourt

CURITIBA
1999

TERMO DE APROVAÇÃO

JOÃO BOSCO SOUZA MENDONÇA

**Impactos Ambientais e Pesquisas Sísmicas para
Hidrocarbonetos na Bacia do Paraná**

**Dissertação de Mestrado aprovada como requisito parcial para
obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em
Geologia, com área de concentração em Geologia Ambiental, da
Universidade Federal do Paraná, pela comissão formada pelos
Professores:**


Presidente: Prof. Dr. Francisco José Fonseca Ferreira


Prof. Dr. Osni José Pejon


Prof. Dr. Luiz Eduardo Mantovani

Curitiba, outubro de 1999

Agradecimentos à:

- Grant Geophysical do Brasil Ltda
- Agrupamento de Geologia aplicada ao Meio Ambiente – do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A.
- Biblioteca do Instituto Ambiental do Paraná
- Indústria João José Zattar – Curitiba e Pinhão - PR
- Minerais do Paraná S.A. MINEROPAR
- Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente - Paraná
- Universidade Federal do Paraná
- Movimento dos Sem Terra – Curitiba - PR
- Programação Visual: Henrique Mathoso
- Agradecimentos especiais aos orientadores desta pesquisa, aos geólogos Luis Eduardo Mantovani, Kátia N. Siedlecki e Giane Giraldi e à agrônoma Jocelyn Lopes de Souza
- Maria Machado (em memória)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FOTOS	x
LISTA DE ANEXOS	xii
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xiii
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xviii
1 INTRODUÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	01
2 REVISÃO DA LITERATURA	04
2.1 GEOLOGIA GERAL, RELEVO E GEOMORFOLOGIA, HIDROGRAFIA, CLIMA, SOLOS E VEGETAÇÃO	04
2.2 EQUIPES SÍSMICAS	08
2.2.1 Introdução e características das equipes sísmicas	08
2.2.2 Organograma de uma equipe sísmica	09
2.2.3 Etapas de campo das operações de uma equipe sísmica	10
2.2.4 Equipes sísmicas e meio ambiente	13
2.3 EROSÃO, ASSOREAMENTO EM CURSOS E CORPOS D'ÁGUA E MOVIMENTOS DE MASSA	14
2.3.1 Erosão	14
2.3.1.1 Fatores que interagem para a ocorrência da erosão	17
2.3.1.2 Suscetibilidade à erosão	19

2.3.2 Assoreamento em cursos e corpos d'água	20
2.3.3 Movimentos de massa	24
2.3.3.1 Classificação dos movimentos de massa	25
2.3.3.2 Fatores que influenciam os movimentos de massa	32
2.4 BREVE HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO DA REGIÃO	33
2.4.1 Vertentes de ocupação oriundas do modelo de desenvolvimento agrário	36
2.4.2 Intervenção das equipes sísmicas	38
3 MATERIAIS E MÉTODOS	41
3.1 MATERIAIS	41
3.2 MÉTODOS	42
3.2.1 Seleção da área de trabalho e procedimentos de prevenção	43
3.2.2 Informatização dos dados e modelo digital de terreno (MDT)	44
3.2.3 Análises de solos e ensaios geotécnicos	48
3.2.3.1 Análises granulométricas	48
3.2.3.2 Granulometria de solo <i>in natura</i> e pH	49
3.2.3.3 Limites de consistência (limite de liquidez/LL e limite de plasticidade/LP)	49
3.2.3.4 Massa específica dos sólidos (ρ_s)	50
3.2.3.5 Índice de vazios (%)	50
3.2.3.6 Determinação de capacidade de troca de cátions (CTC) e da superfície específica (SE)	51
3.2.3.7 Análises térmico diferenciadas (ATD).....	51
3.2.3.8 Análises mineralógicas através da lupa binocular	52
3.2.3.9 Coloração dos solos	52

3.2.4	Análises petrográficas	52
3.2.5	Testes de lançamentos de blocos na detonação de um ponto de tiro	52
3.2.6	Aplicação em programa sísmico 3D e experimentos de LANGEFORS e KIHLSSTRÖM (1973 <i>apud</i> HOEK e BRAY, 1994)	55
4	RESULTADOS OBTIDOS	57
4.1	GEOLOGIA	57
4.2	RELEVO E GEOMORFOLOGIA	59
4.3	HIDROGRAFIA	65
4.4	PRECIPITAÇÃO	69
4.5	SOLOS	72
4.6	VEGETAÇÃO	76
4.7	CARTA DE USO DO SOLO	78
4.8	MAPA DE MATERIAL INCONSOLIDADO/SOLOS	79
4.9	MAPA DE PONTOS E OCORRÊNCIAS/DOCUMENTAÇÃO FOTOGRAFICA	81
4.10	RESULTADOS ANALÍTICOS	90
4.10.1	Análises de solos e ensaios geotécnicos	90
4.10.2	Análises granulométricas	90
4.10.3	Granulometria de solo <i>in natura</i>	94
4.10.4	Índices de consistência	94
4.10.5	Massa específica dos sólidos (ρ_s)	95
4.10.6	Índices de vazios (e_0)	95
4.10.7	Capacidade de troca catiônica (CTC) e superfície específica (SE).....	95
4.10.8	Análises térmico diferenciadas (ATD)	96

4.10.9	Análises mineralógicas através de lupa binocular e análises de minerais pesados	96
4.10.10	Potencial hidrogenioiônico (pH) e coloração dos solos	97
4.10.11	Outras relações obtidas	98
4.10.12	Análises petrográficas	98
4.10.13	Resultados dos testes de lançamentos	99
4.10.14	Aplicação dos experimentos de LANGEFORS e KIHSTRÖM (1973 <i>apud</i> HOEK e BRAY, 1994) em programa sísmico 3D	100
5	ANÁLISE INTEGRADA DE DADOS	106
5.1	MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO E MOVIMENTOS DE MASSA APLICADO A EQUIPES SÍSMICAS	106
5.2	PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA E PREVENÇÃO	111
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
7	CONCLUSÕES	123
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	125

LISTA DE FIGURAS

1	Mapa de localização da área	03
2	Mapa geológico regional	05
3	Organograma de uma equipe sísmica	10
4	Ilustração de operação conjunta da equipe sísmica	12
5	Relações entre estrutura dos solos e fatores determinantes de processos	18
6	Esquema de análise dos assoreamentos	21
7	Relação de produção de sedimentos	23
8	Rastejo e seus indícios	30
9A	Escorregamento planar	30
9B	Escorregamento circular	30
10A	Rolamento de matacões	31
10B	Queda de bloco	31
10C	Tombamento	31
11	Localização de assentamentos no Paraná central por municípios	39
12	12a Blocos ofertados, na primeira licitação da Agência Nacional do Petróleo (ANP)	40
	12b Programa sísmico 2D já realizado no bloco BT-PR-2	40
13	Fluxograma de elaboração do Modelo Digital do Terreno.....	47
14	Hidrografia da área.....	67

15 Precipitações mensais na área durante o ano de 1997	70
16 Precipitações diárias na área no período entre 14/3 e 14/4 de 1998	70
17 Precipitações mensais na área durante o ano de 1998	71
18 Precipitações médias mensais na área, durante o período 1976 a 1988	71
19 Precipitação e evapotranspiração potencial.....	71
20 Carta de uso do solo	80
21 Quadro resumo dos ensaios geotécnicos.....	92
22 Gráficos de distribuição granulométrica	93
23 Velocidade de partícula x distância ao <i>blast</i>	103
24 Velocidade da partícula x distância ao ponto de detonação/carga	103
25 Perfis esquemáticos de prevenção das encostas na área	113
26 Perfis esquemáticos de encostas e processos na área	114

LISTA DE TABELAS

1	Potencial de perda de solos por erosão laminar em toneladas/ha/ano	20
2	Características principais dos grandes grupos de processos de escorregamento.....	27
3	Ação dos fatores deflagradores dos movimentos de massa gravitacionais...	34
4	Agentes e causas dos escorregamentos	35
5	Unidades morfológicas e formas observadas na área	63
6	Drenagem e relação com a estrutura	68
7	Correlação entre os níveis de mapeamento utilizados para estudo dos solos da área	75
8	Resumo dos resultados do teste de lançamento	100
9	Velocidade das partículas e danos estruturais	104
10	Classes de declividade	107
11	Classe de fragilidade dos tipos de solos	108
12	Graus de proteção por tipos de cobertura vegetal	109

LISTA DE FOTOS

1	Aspecto geral do relevo da área	60
2	Aspecto do relevo da área representado por rochas vulcânicas intermediárias a ácidas no topo	60
3	Unidade I sobreposta a unidade II	60
4	Unidade II e unidade III, caracterizadas por encostas ravinadas	62
5	Visão panorâmica das unidades I, II e III na área	62
6	Solo litólico (pouco profundo), de rocha vulcânica intermediária a ácida representando a unidade I	62
7	Floresta subtropical pluvial	77
8	Erosão em sulcos profundos	83
9	Erosão em área de pastagem com solos rasos de vulcânicas intermediárias a ácidas	83
10	Estrada na área com erosão em sulcos profundos	83
11	<i>Piping</i> /voçorocamento na porção sul da área	84
12	Avanço da erosão a montante (<i>piping</i> /voçorocamento).....	84
13A	Erosão em ravinas e sucros	85
13B	<i>Piping</i> /voçorocamento/colapso	85
13C	Encostas com instabilidade	85
13D	Erosão/subsidência/assoreamento	86
13E	Escorregamento	86

13F <i>Piping</i> / subsidência / escorregamento	86
13G Queda de blocos	86
13H Escorregamento circular	87
13I Rastejo	87
13J Rastejo / erosão em sucros	87
13K Instabilidade de encosta (cicatriz, colapso), erosão e assoreamento de açude.....	88
13L Instabilidade de encosta (cicatriz) e carreiros de animais.....	88
13M Escorregamento de talude em corte de estrada. solo com blocos / tálus ...	88
13N Escorregamento de talude em corte de estrada. solo com blocos / tálus	88
14 Risco de acidentes com veículos. taludes instáveis	110
15 Solo com blocos	110
16 Mourões em encostas com problema de instabilidade (rastejo)	117
17 Ponto de tiro “p.t.” situado em área de suscetibilidade na (média alta) a erosão	117
18 Escorregamento planar ao longo de fraturas reliquiares no solo / saprolito	117
19 Fenda de tração em escorregamento, ocorrência em detalhe na figura 24	119
20 Solos com blocos em encostas altas e povoadas. riscos ambientais	119

LISTA DE ANEXOS

- 1 Mapa geológico
- 2 Mapa geomorfológico
- 3 Modelo digital do terreno (MDT)
- 4 Mapa de materiais inconsolidados/solos
- 5 Mapa de pontos e ocorrências/documentação fotográfica
- 6 Mapa geológico/ocorrências
- 7 Mapa de suscetibilidade a erosão e movimentos de massa aplicados às atividades de pesquisa sísmica

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ABGE – Associação Brasileira de Geografia e Estatística
ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGAMA – Agrupamento de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente
ANP – Agência Nacional de Petróleo
CEEG - Centro de Estudos Experimentais em Geotecnologia
CESP – Companhia Energética de São Paulo
COMEC – Coordenadoria da Região Metropolitana de Curitiba
COPEL _ Companhia Paranaense de Eletricidade
DIGEO – Divisão de Geologia do Instituto de Pesquisa e Tecnologia (IPT)
EESC – Escola de Engenharia de São Carlos
EIA – Estudo de Impacto Ambiental
EMATER – Empresa Paranaense de Assistência Técnica e Extensão Rural
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Agropecuária
ES – Equipe Sísmica
GPS – Geographical Position System
IAC – Instituto Agrônômico de Campinas
IAGC - International Association of Geophysical Consultants
IAPAR – Instituto Ambiental do Paraná
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
ITEPE - Instrumentos Técnicos e Pesquisas Ltda
IPT – Instituto de Pesquisa e Tecnologia
MDST - Modelo Digital da Superfície do Terreno
MDT – Modelo Digital de Terreno
MINEROPAR – Minerais do Paraná S. A.
NBR – Norma Brasileira Regulamentadora
PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S. A.
RMC - Região Metropolitana de Curitiba

SELAB - Serviços de Laboratório da Minerais do Paraná S. A. (MINEROPAR)
SIG – Sistema de Informação Geográfica
SNLCS - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos
SSMA – Segurança, Saúde e Meio Ambiente
SUDERSHA – Superintendência de Recursos Hídricos e Meio Ambiente
UEL – Universidade Estadual de Londrina
UFPR – Universidade Federal do Paraná
UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization
UNIOESTE – Universidade do Oeste
USA – United States of America
USDA – United States Department of Agriculture
USP – Universidade de São Paulo
WP/WLI - Working Party on World Landslide Inventory/UNESCO
Acb – determinação da quantidade gasta de azul de metileno em 100g de argila
ATD – análise térmico diferenciada
CTC – capacidade de troca catiônica
SE – superfície específica
LL – limite de liquidez
LP – limite de plasticidade
IP – índice de plasticidade
 e_0 – índice de vazios
Vb - determinação da quantidade gasta de azul de metileno em 100g de solo
 V_v – volume de vazios
 V_s – volume dos sólidos
SE – superfície específica
Li – solo litólico
Ca - cambissolo
Na – sódio
K – potássio
U – urânio
Th - tório

Ca – cálcio

Mg – magnésio

H – hidrogênio

O – oxigênio

N - norte

S - sul

E - este

W - oeste

NE – nordeste

NW – noroeste

mm – milímetro

cm - centímetro

km – quilômetro

ha - alqueire

U/C – utilizado / consultado

rl – *reflection lines* (linhas de reflexão / linhas sísmicas)

v – velocidade das partículas

k – constante

r – distância radial do ponto de detonação

w – peso do explosivo detonado por espera

β – constante

ρ_s – massa específica do solo

pol - polegada

seg - segundo

NA – nível d'água

pH – potencial hidrogênioônico

RESUMO

O presente trabalho mostra a necessidade de incorporar ao planejamento dos programas sísmicos 2D e 3D estudos de riscos ambientais relativos à indução de movimentos de massa, escorregamentos, aceleração da erosão e seus subseqüentes assoreamentos. Aborda diretamente o tema através de levantamento de campo, análises e retro-análises, confecção de mapas a partir de técnicas atuais ao tempo que utiliza dados das próprias equipes sísmicas, tendo como base uma área situada no centro-sul do estado do Paraná, município de Pinhão, com ocorrências de rochas vulcânicas básicas e intermediárias a ácidas pertencentes à Formação Serra Geral.

Os resultados mostraram que as atividades das equipes sísmicas, especialmente as detonações, podem promover, incrementar ou alterar o nível de suscetibilidade do meio físico aos riscos citados. As principais áreas de risco às atividades das equipes sísmicas são indicadas na Carta de Suscetibilidade à Erosão e Movimentos de Massa, as quais se relacionam aos seguintes fenômenos: erosão e ruptura de blocos de rochas em áreas de solos litólicos e cambissolos; erosão por ravinamento; escorregamento de taludes em solos mais desenvolvidos, onde houve retirada da cobertura vegetal em declividades maiores que 20%, predominantes em basaltos; escorregamento de taludes nas áreas de colúvios; erosão/voçorocamento em áreas onde houve desmatamento, atividade antrópica concentrada e elevação do nível de base local, entre outros. Finalmente, são propostas medidas preventivas para os eventos cadastrados, como: distância

de segurança do ponto de detonação ao local das ocorrências em função das cargas; períodos do ano mais adequados para a execução de programas sísmicos em áreas suscetíveis em função das precipitações, entre outros.

ABSTRACT

The current research shows the need to incorporate in the management of seismic programs (2D and 3D) studies of environmental risks relative to landslides induction, erosion acceleration and their further sedimentation (*assoreamento*). The topic is directly treated through field work, analysis and back-analysis, and map confections according to modern techniques. The data has been acquired from seismic companies, and the field area is located at south-center of the Paraná state, Pinhão county, in basic to acid volcanic rocks of the Serra Geral formation.

The results show that the company seismic activities, specially blasting, could promote, increment and alter the risk susceptibility level of the environment. The main areas for company seismic activity risks are presented in the susceptibility map of erosion and landslides, which are related to the following phenomenas: (a) erosion and failure of rock blocks in litólico and cambissolo soil areas; (b) erosion through ravinamento, mass wasting in well developed soils, where the vegetation was removed with declivity more than 20% mainly in basalts; (c) mass wasting in colluvial areas; (d) erosion/*voçorocamento* in deforest areas, concentrated human activities, elevation of the local base level; and others. Finally, preventive actions for the studied events as: safety distance of the blasting point to the place of the events as a function of the charges, ideal periods of the year for the execution programs in susceptible areas as function of precipitation between others.

1 INTRODUÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

A atuação das equipes sísmicas, em volume de trabalho digno de registro na Bacia do Paraná, remonta de forma mais intensa aos anos 60 pela PETROBRÁS. Posteriormente, de forma mais efetiva, no final dos anos 70 e início dos anos 80, o Consórcio CESP-IPT (Paulipetro) atuou no período dos contratos de risco. A retomada das atividades sistemáticas de prospecção sísmica ficaria a cargo da PETROBRÁS, a partir de 1986 até os dias atuais. Mais de 18.000km de linhas sísmicas foram abertos e registrados apenas no período de 1986 a 1996, pela PETROBRÁS.

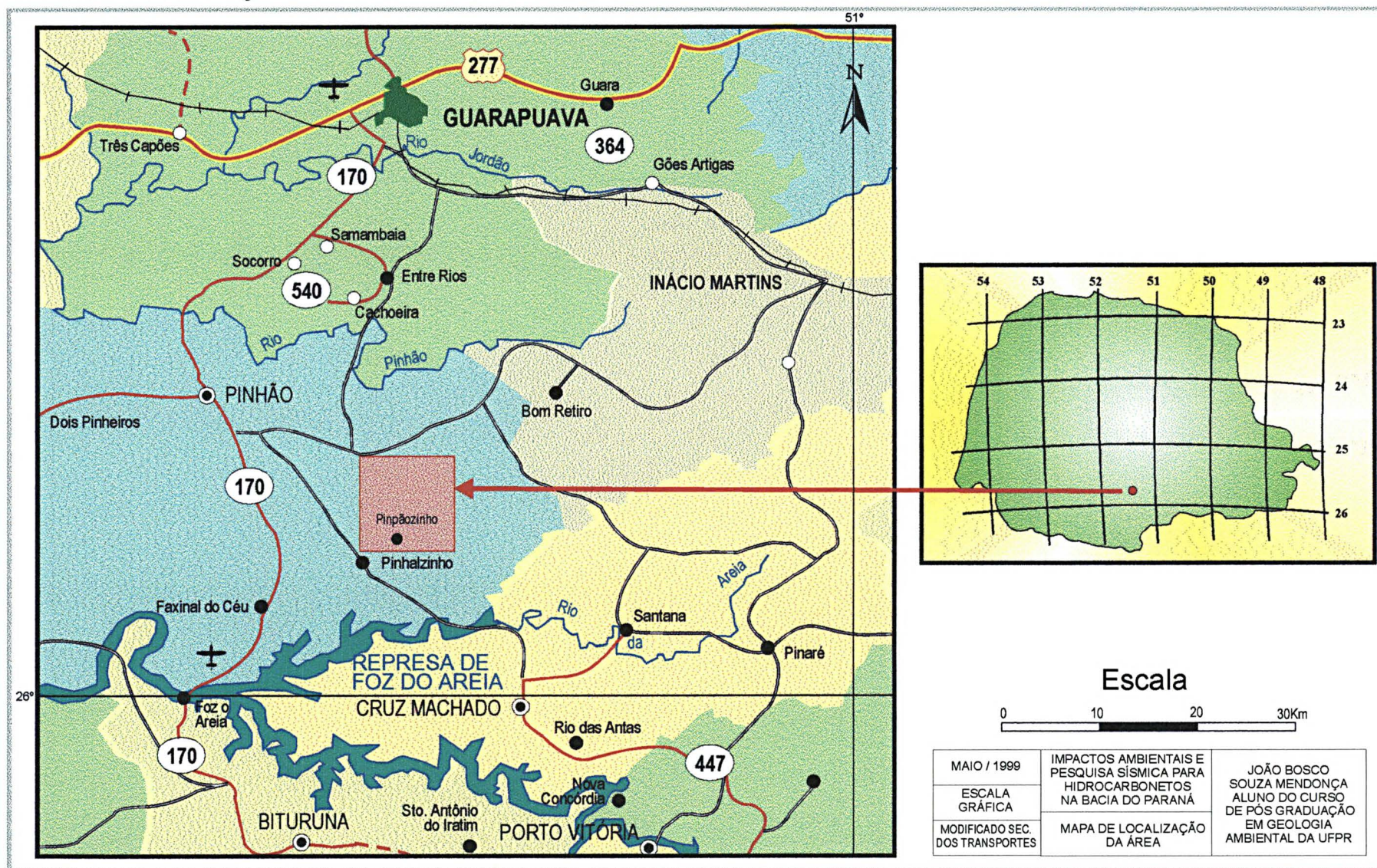
As atividades das equipes sísmicas envolvem uma logística complexa, incluindo explosões correspondentes aos pontos de tiro que podem agredir o meio ambiente. As questões que se colocam do ponto de vista ambiental são: as atividades das equipes sísmicas desencadearam o desenvolvimento de algum tipo de erosão/movimento de massa no passado?; algum processo atual lhe está relacionado?; contribuíram de alguma forma juntamente com as atividades agrícolas para acentuar algum tipo de erosão?; quais são as áreas mais suscetíveis a estas atividades? Tais questionamentos não têm sido contemplados adequadamente pelas equipes sísmicas no Brasil.

O presente trabalho foi desenvolvido com apoio financeiro da *Grant Geophysical do Brasil Ltda.* Aborda diretamente o tema através de investigações de campo, retro-análise, confecção de mapas utilizando técnicas atuais, ao mesmo tempo em que recorre a dados das próprias equipes sísmicas. A base do estudo é uma área localizada no centro-sul do estado do Paraná, município de Pinhão. A pesquisa mostra a necessidade de planejamento dos programas sísmicos quanto

aos riscos ambientais relativos a movimentos de massa e escorregamentos, erosão e subseqüentes assoreamentos, propondo um produto de interface amigável aos leitores usuários não especializados, ou seja, as turmas de campo das equipes sísmicas. Desta forma, é possível prevenir acidentes, reduzir custos inerentes às sanções legais e indenizações a terceiros, além de contribuir para a qualidade dos trabalhos de pesquisas sísmicas.

A área geográfica em estudo localiza-se na região centro-sul do estado do Paraná, 20km à sudeste da cidade de Pinhão, entre as coordenadas UTM 7.140.000N e 715.000N e 415.000E e 416.000E, correspondendo à 100km² (figura 1). Estão situados na área o povoado de Pimpãozinho e os assentamentos Faxinal dos Ribeiros e Faxinal dos Silvérios. O principal acesso a partir de Curitiba se faz pela BR-277 até Guarapuava, e daí até Pinhão. De Pinhão segue-se para sul pela PR-170 até o km 20, daí segue-se à esquerda por estrada secundária em direção a Pimpãozinho.

FIGURA 1 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA



Fonte: Modificado Secretaria dos Transportes, Governo do Estado do Paraná, (1998).

2 REVISÃO DA LITERATURA

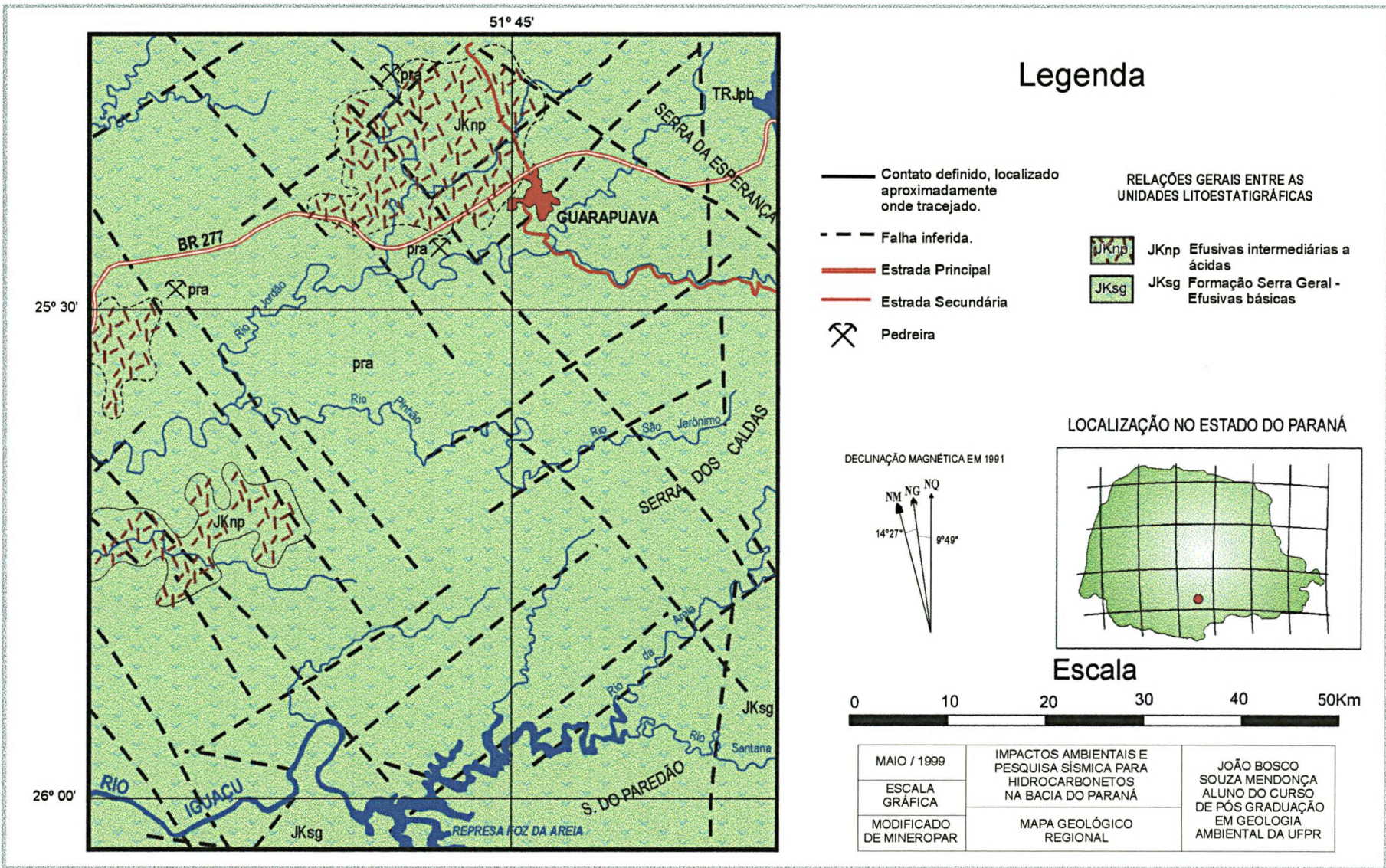
Neste capítulo serão apresentadas revisões da bibliografia existente para a área em estudo, enfocando os aspectos da fisiografia (geologia, relevo, hidrografia, clima e solos), da atuação das equipes sísmicas, dos conceitos de erosão, assoreamento, movimentos de massa e do histórico da ocupação da área.

2.1 GEOLOGIA GERAL, RELEVO E GEOMORFOLOGIA, HIDROGRAFIA, CLIMA, SOLOS E VEGETAÇÃO

A área em estudo situa-se na calha do rio Paraná centro-oriental, totalmente recoberta pela Formação Serra Geral, de idade Mesozóica. Caracteriza-se por rochas efusivas básicas toleíticas; basaltos maciços e vesico-amigdaloidais, de coloração variada com intercalações de arenitos finos e rochas vulcânicas intermediárias a ácidas, dacitos/riodacitos e riólitos. Num enfoque estrutural as vulcânicas ácidas estão em faixas de direção geral EW. Os lineamentos regionais predominantes são NE e NW e os fraturamentos são verticais a subverticais (figura 2).

Os teores em sílica (SiO_2) para estas rochas são maiores que 66% para os termos ácidos e entre 53 e 66% para os termos intermediários, enquanto para os basaltos, os teores de SiO_2 são menores que 53% (PICCIRILLO *et al.*, 1988).

FIGURA 2 - MAPA GEOLÓGICO REGIONAL



Fonte: Modificado de Minerais do Paraná S/A - MINEROPAR, (1989).

A bibliografia apresenta outras nomenclaturas para estes termos intermediários a ácidos, tais como islandito, vitrófiro dácitóide, quartzo pórfiro e quartzo latito.

No contexto regional do relevo paranaense, sob a perspectiva de subunidades morfoestruturais, a área de estudo está localizada no denominado 3º Planalto, segundo MAACK (1981). O relevo desta área inclui diversas feições do Planalto Basáltico Sul Brasileiro, regionalmente denominada Planalto de Guarapuava, e de áreas mais acidentadas entalhadas pela drenagem, as quais fazem parte do Planalto Dissecado do rio Iguaçu-Uruguaí. Estas feições podem ser observadas na medida em que se avança em direção a sul no sentido dos vales dos rios Iguaçu e do rio da Areia. Em termos de subunidades geomorfológicas, a área está representada pelo Planalto dos Campos de Guarapuava e pelo Planalto Dissecado do rio Iguaçu-Uruguaí.

As principais feições hidrográficas da região são os rios Iguaçu e seus afluentes da margem direita: o rio da Areia, o rio Pinhão e o rio Jordão com direção geral leste-oeste. Localmente, todas as drenagens pertencem à bacia do rio Iguaçu, com destaque para os rios Pimpão, Pimpãozinho, da Barra, do Tijolo, Três Barras, Pinhalzinho, Arroios Tibalipas, Caixãozinho e Mato Branco.

O clima da região abordada, segundo a classificação de KÖEPPEN, é do tipo subtropical Cfb, com umidade do ar de 80-85%, temperaturas médias no inverno inferiores a 18° C, ou seja, clima Cfb – subtropical úmido com verões frescos e geadas frequentes. A temperatura média do mês mais quente não ultrapassa 22°C. As chuvas são regularmente distribuídas durante todo o ano, com precipitação média de 1700mm. Em geral não existe uma estação seca definida, porém as chuvas diminuem nos meses de inverno e são mais intensas no verão, sendo os

meses de outubro e janeiro os mais chuvosos e o de agosto o mais seco, ocorrendo geadas de abril a outubro.

Segundo o Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná (EMBRAPA/IAPAR, 1984), as principais classes de solos encontradas na área, são: solos Litólicos, Cambissolos, Terra Bruna Estruturada e Terra Roxa Estruturada. Suas principais características serão apresentadas a seguir e baseiam-se no Estudo de Impacto Ambiental - Derivação do Rio Jordão, realizado pela COPEL (1992).

Os Litólicos são solos rasos e em geral a soma dos horizontes A – Ca – R ou do horizonte A sobre a rocha e não ultrapassam 0,50m.

Os Cambissolos ocorrem em relevo predominantemente ondulado, fortemente ondulado ou montanhoso e em geral não são profundos. É comum também ocorrerem em terraços de rios ou riachos.

A Terra Bruna Estruturada normalmente ocorre em relevo ondulado ou fortemente ondulado, em locais de clima subtropical. A textura em geral é argilosa ou muito argilosa e a coloração do horizonte B é brunada.

O Latossolo Roxo ocorre predominantemente em relevos ondulados. Cor avermelhada uniforme ao longo do perfil e textura argilosa a muito argilosa, são comuns tanto no horizonte A como no horizonte B.

A área de estudo pertence à microrregião Campos de Guarapuava, segundo a divisão de reservas da Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental (1996). Tal região apresenta 23% de cobertura vegetal nativa, correspondendo à 15% das reservas de florestas nativas estaduais. O tipo de vegetação predominante é Floresta com Araucária, registrando-se ainda vegetação de Campo.

2.2 EQUIPES SÍSMICAS

2.2.1 Introdução e características das equipes sísmicas

Uma equipe sísmica (ES) é constituída por um grupo de pessoas e equipamentos trabalhando em conjunto para fazer levantamentos geofísicos de campo. ES é a abreviatura do termo em português, e normalmente vem seguida de sua numeração no país. Por exemplo ES-246, ES-252, ES-245. Em inglês usa-se *Crew* ou *Party*, seguida de numeração correspondente.

Linha sísmica é a unidade fundamental dos levantamentos de campo, pois por ela transitam por um período de tempo determinado, as turmas de campo e equipamentos, que compõem as diversas etapas do levantamento sísmico. Fisicamente é uma picada retilínea aberta que atravessa os mais diversos tipos de terrenos e vegetação, com largura média de 1m.

As equipes podem ser classificadas conforme áreas de atuação e tipo de fonte de energia. Desta forma têm-se as equipes marítimas, equipes de zona de transição, equipes terrestres, equipes de explosivos, equipes de vibradores, etc. Os levantamentos mais aplicados são dos tipos reconhecimento, 2D e 3D.

O levantamento sísmico 2D obtém dados em superfície sob a forma de linhas, permitindo uma visão bidimensional do subsolo. Com este método é possível obter uma seção ou perfil das camadas que constituem o substrato rochoso. Como o levantamento é feito em linhas espaçadas, em média de 3km, não se pode ter uma idéia exata das estruturas geológicas.

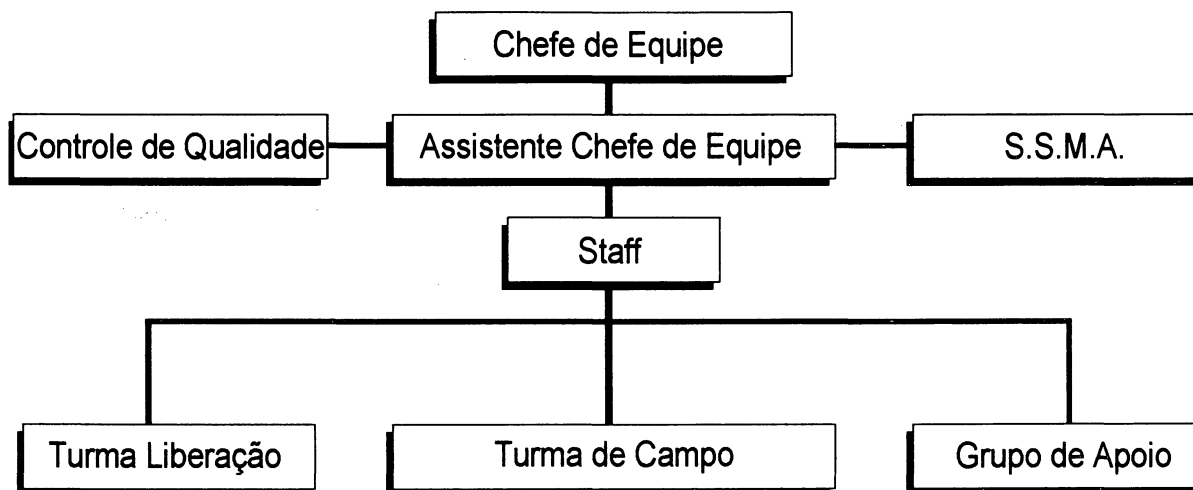
O levantamento sísmico 3D (tridimensional) é realizado por área, com as linhas bem mais próximas, em média de 100m. Esta técnica fornece uma visão tridimensional das estruturas geológicas de interesse na exploração de hidrocarbonetos. A distância entre as linhas sísmicas é fundamental nos estudos de impactos ambientais relativos às atividades das equipes sísmicas.

No presente trabalho aborda-se as questões ambientais de erosão e conseqüentes assoreamento e movimentos de massa, tendo como referência uma equipe sísmica terrestre e como fonte de energia de impacto a dinamite, em levantamento geofísico tipo 2D. A aplicação dos estudos está também direcionada aos levantamentos do tipo 3D.

2.2.2 Organograma de uma equipe sísmica

O chefe de equipe é o responsável direto pelas operações e centraliza a linha de autoridade, como se pode observar na figura 3. Nos últimos anos o setor de Segurança, Saúde e Meio Ambiente (SSMA) tem assumido a posição de co-responsável nas operações devido a relação intrínseca destes temas. O grupo de apoio técnico administrativo normalmente tem sido parcialmente terceirizado nas equipes, porém cumpre as mesmas normas de SSMA. Os organogramas e suas linhas de autoridade podem variar conforme a empresa, no entanto ao chefe de equipe cabe o comando das operações.

FIGURA 3 - ORGANOGRAMA DE UMA EQUIPE SÍSMICA



Fonte: Adaptado de Instrumentos Técnicos e Pesquisa Ltda., (1994).

2.2.3 Etapas de campo das operações de uma equipe sísmica

A fase que antecede a execução de um programa sísmico é o reconhecimento de área – *scouting*.

O grupo de trabalho que antecede a chegada de uma equipe sísmica é o da liberação e permissão, grupo que obtém a autorização dos proprietários das terras para que se possa efetuar os levantamentos em suas propriedades. Em seguida vem o grupo de geodésia que implanta os pontos de apoio para a equipe e marca os pontos por onde devem passar as linhas sísmicas. A posição da linha sísmica é definida pelo cliente, e poderá sofrer pequenas variações no seu traçado a fim de evitar acidentes naturais, construções etc., o que normalmente é indicado nos

trabalhos de reconhecimento da área.

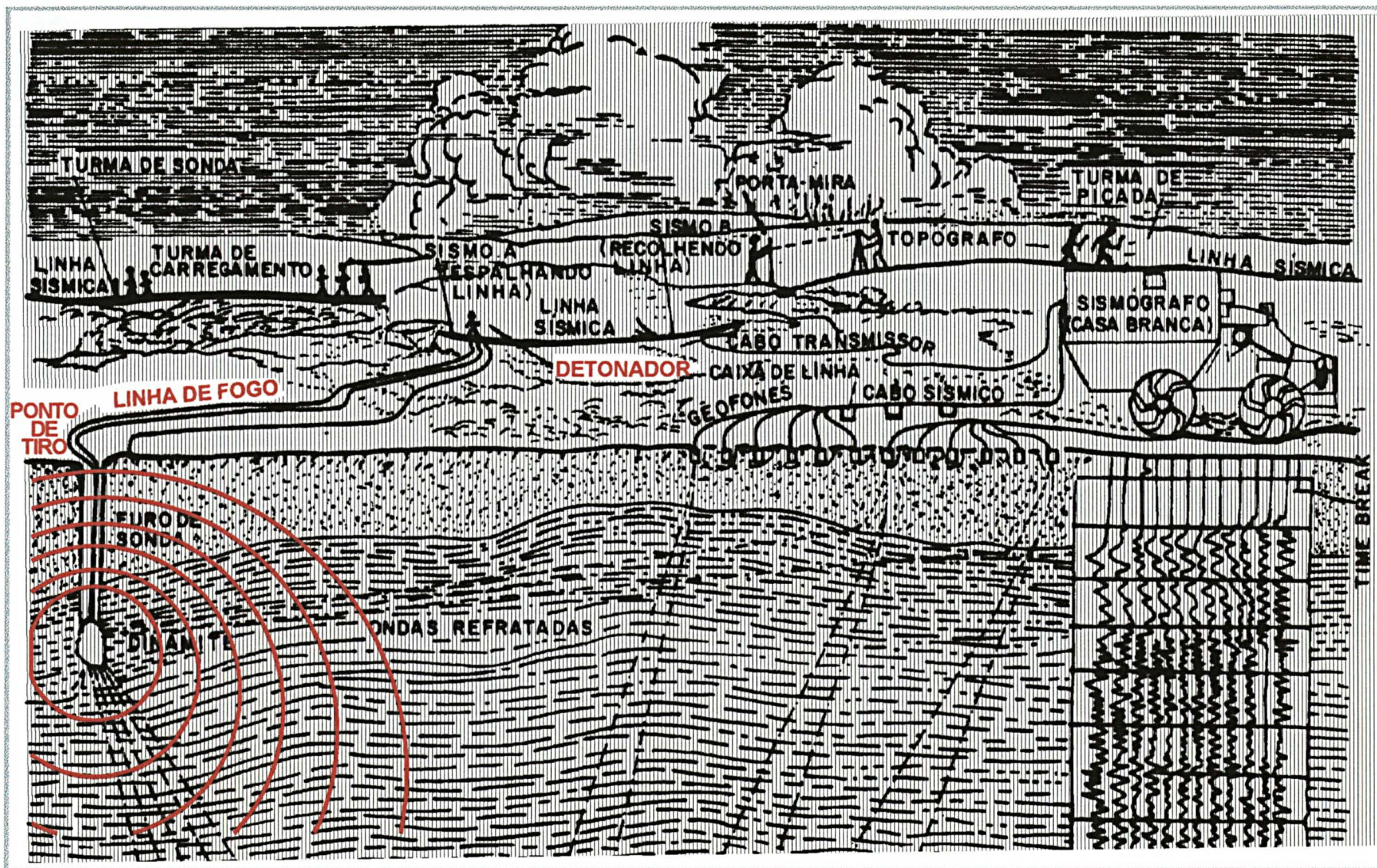
Definido o programa sísmico em planta, inicia-se a linha sísmica em campo, ou seja, abre-se uma picada com largura aproximada de 1m, onde se dedica o máximo cuidado ao meio ambiente, obedecendo-se a legislação vigente. Em seguida é dado o alinhamento, marcadas as distâncias no terreno e fincadas estacas numeradas correspondentes aos pontos de tiro (P.T.). Estes trabalhos são executados pelas turmas de topografia, e em geral se dividem em abertura e nivelamento. A figura 4 ilustra a mecânica de funcionamento do conjunto de uma equipe.

Após a topografia, as turmas de sonda/perfuração são encarregadas de abrir os furos, cuja profundidade é definida pelo cliente. Os furos na Bacia do Paraná, nos últimos programas, têm sido de 1m de profundidade, porém já foram e poderão ser utilizadas outras profundidades tais como 2, 3 e 8m, com diâmetro máximo de 10cm. Os furos têm sido efetuados com trados manuais, “punção” e mais raramente com sondas mecânicas. A utilização dos punções é necessária devido à presença de solos com blocos. O uso de sondas mecânicas tem sido restrito por questões ambientais e operacionais.

Após a perfuração entra em ação a turma de carregamento, a qual “carrega” os furos com dinamites, tamponando-os em seguida. Este trabalho é efetuado por pessoal especializado, treinado para manusear explosivos.

As turmas de sismografia atuam em seguida, distribuindo o material de registro constituído por geofones, caixas e cabos sismográficos, todos interconectados, enquanto o observador posiciona o sismógrafo em local apropriado, de onde possa comandar as operações de detonação (turma de detonação) e os registros programados para o dia de trabalho.

FIGURA 4 - ILUSTRAÇÃO DE OPERAÇÃO CONJUNTA DA EQUIPE SÍSMICA



Fonte: Instrumentos Técnicos e Pesquisa Ltda., (1994).

A última turma a operar é a turma do tamponamento, cuja função é preencher as cavidades causadas pelas detonações, além de recolher os fios das espoletas das dinamites.

Após os trabalhos descritos nas etapas anteriores vem a fase de avaliação e indenização dos danos inerentes às atividades das pesquisas sísmicas. Esta fase fica sob a responsabilidade do cliente.

2.2.4 Equipes sísmicas e meio ambiente

Os técnicos das equipes sísmicas necessitam ter conhecimentos amplos sobre o meio ambiente. O descumprimento das exigências legais antes e durante as operações pode acarretar prejuízos sérios à produção, tais como atrasos ou paralisações, desgaste da imagem da empresa, além de aumento dos custos operacionais e penalidades.

Antes da instalação e do início das operações de levantamento sísmico, o cliente obtém, de órgãos competentes, tais como IBAMA, Secretarias Estaduais e Municipais do Meio Ambiente, mediante estudos ambientais, a licença prévia de localização (L.L.), autorizando o levantamento sísmico proposto. A licença de localização contém condições e prazos a serem cumpridos.

A orientação e diretrizes gerais de prevenção e proteção ao meio ambiente fazem parte dos programas de SSMA, legalmente exigidos nos contratos com as equipes sísmicas. As equipes sísmicas utilizam como referência o Guia Ambiental para Operações Geofísicas no Mundo Inteiro (IAGC, 1996). Dentro da estrutura das equipes sísmicas, há o setor de meio ambiente, normalmente designado SSMA, que

atua de acordo com a legislação, com as norma e princípios da empresa e a tendência de normatização internacional – ISO 14000 e BR 8860. É bastante comum uma mesma equipe sísmica operar em diferentes países do mundo, e, conseqüentemente, estes programas de SSMA são adaptados às legislações locais.

No Brasil, as equipes sísmicas seguem um manual específico nas atividades de manuseio, transporte e armazenamento de explosivos (PETROBRÁS, 1994).

2.3 EROSÃO, ASSOREAMENTO EM CURSOS E CORPOS D'ÁGUA E MOVIMENTOS DE MASSA

2.3.1 Erosão

Para IPT (1986), a erosão é um processo de “desagregação e remoção de partículas do solo ou de fragmentos e partículas de rochas, pela ação combinada da gravidade com a água, vento, gelo e/ou organismos (animais e plantas)”. SALOMÃO e IWASA (1995) distinguem duas formas de abordagem para os processos erosivos: erosão natural ou geológica e erosão acelerada ou antrópica.

Os tipos de erosão são: erosão por embate, erosão laminar, erosão em córregos, erosão em ravinas e sulcos profundos.

A erosão laminar é originada pela precipitação e pelo fluxo difuso da água sobre o solo e é de difícil observação. Caracteriza-se pelo desgaste laminar causado pelas enxurradas que deslizam como um lençol, desgastando a superfície do solo, suave e uniformemente, em toda a sua extensão. As argilas e a matéria orgânica

que representam a porção mais rica do solo são destacadas inicialmente e com o passar do tempo o solo fica empobrecido, com perda de produção e exposição de raízes. A desproteção dos terrenos varia largamente com a sua suscetibilidade à erosão laminar, dependendo da declividade, do clima e das características do solo.

A erosão laminar é bastante efetiva nos solos pouco profundos, situados sobre subsolo argiloso ou de camadas impermeáveis e em solos de granulação fina (siltosos). Solos arenosos frágeis e solos deficientes em matéria orgânica são excepcionalmente vulneráveis a este tipo de erosão, (BENNETT, 1955 *apud* FENDRICH *et al*, 1997). A topografia do terreno controla a percolação, infiltração e velocidade superficial da água e a erosão.

A erosão em córregos caracteriza-se pelo desenvolvimento de pequenos canais, nos quais o fluxo superficial se concentra. Este tipo de erosão é um estágio mais avançado da erosão laminar, comum em declividades em torno de 5% em solos arados, principalmente com alto teor em silte.

SALOMÃO e IWASA (1995) citam que caso a erosão se desenvolva não somente por influência das águas superficiais, mas também pelos fluxos d'água subsuperficiais, em que se inclui o lençol freático, configura-se o processo mais conhecido por voçoroca ou boçoroca com o desenvolvimento da erosão interna ou entubamento (*piping*). O termo boçoroca provém do tupi e significa romper ou rasgar. A boçoroca é palco de diversos fenômenos tais como: erosão interna, solapamentos, desabamentos e escorregamentos, que se conjugam e conferem à este tipo de erosão características de rápida evolução e elevado poder destrutivo.

Voçoroca é um processo erosivo semisuperficial de massa, face ao fenômeno global da erosão superficial e ao desmonte de maciços de solos dos taludes, ao longo dos fundos de vale, ou de sulcos realizados no terreno

(FRENDRICH *et al.*, 1997).

Segundo PRANDINI e IWASA (1980, *In: FENDRICH et al.*, 1997), as voçorocas se classificam em rurais e urbanas. As voçorocas rurais se desenvolvem em áreas de pastagens e culturas com má cobertura, sujeitas a manejo inadequado, e provavelmente são produtos de ravinamento iniciado ao longo de valas de demarcação, trilhas e linhas de plantio. O fenômeno se inicia quando a ravina intercepta o nível de base (lençol freático), transformando-se numa voçoroca típica, evoluindo sua seção de V para U. O desmatamento é o responsável pela mudança no ritmo de escoamento superficial, provocando um aumento de descarga devido também a diminuição do tempo de permanência da água em escoamento nas vertentes.

“Abatimento brusco” é uma depressão com poucos metros de profundidade, cujo eixo maior, rumo a maior declividade, mostra solos rompidos, em pequenos blocos escalonados, que mantém vegetação original no topo. No centro da área percorre pequeno curso d’água perene, ocorrendo o abatimento por erosão interna até o ponto em que o teto mais coesivo desaba.

O termo *fabric* refere-se ao agrupamento e arranjo das partículas, além da porosidade dos solos. A expressão estrutura é usada como resultado do *fabric*, composição e força interpartículas. A estabilidade do *fabric* é sensível às mudanças de esforços e a química do ambiente. Para relacionar ambos, *fabric* e estabilidade, é usado o termo estrutura. A estrutura de um solo é composta do *fabric* e do sistema de forças interpartículas, a qual reflete todas as facetas da composição do solo, história, estágio atual e ambiente (MITCHEL, 1992).

Segundo BENNET e HURABUT (1986), sobre o princípio da irreversibilidade química do *fabric* das argilas, aplicado geralmente para solos de granulação fina, o

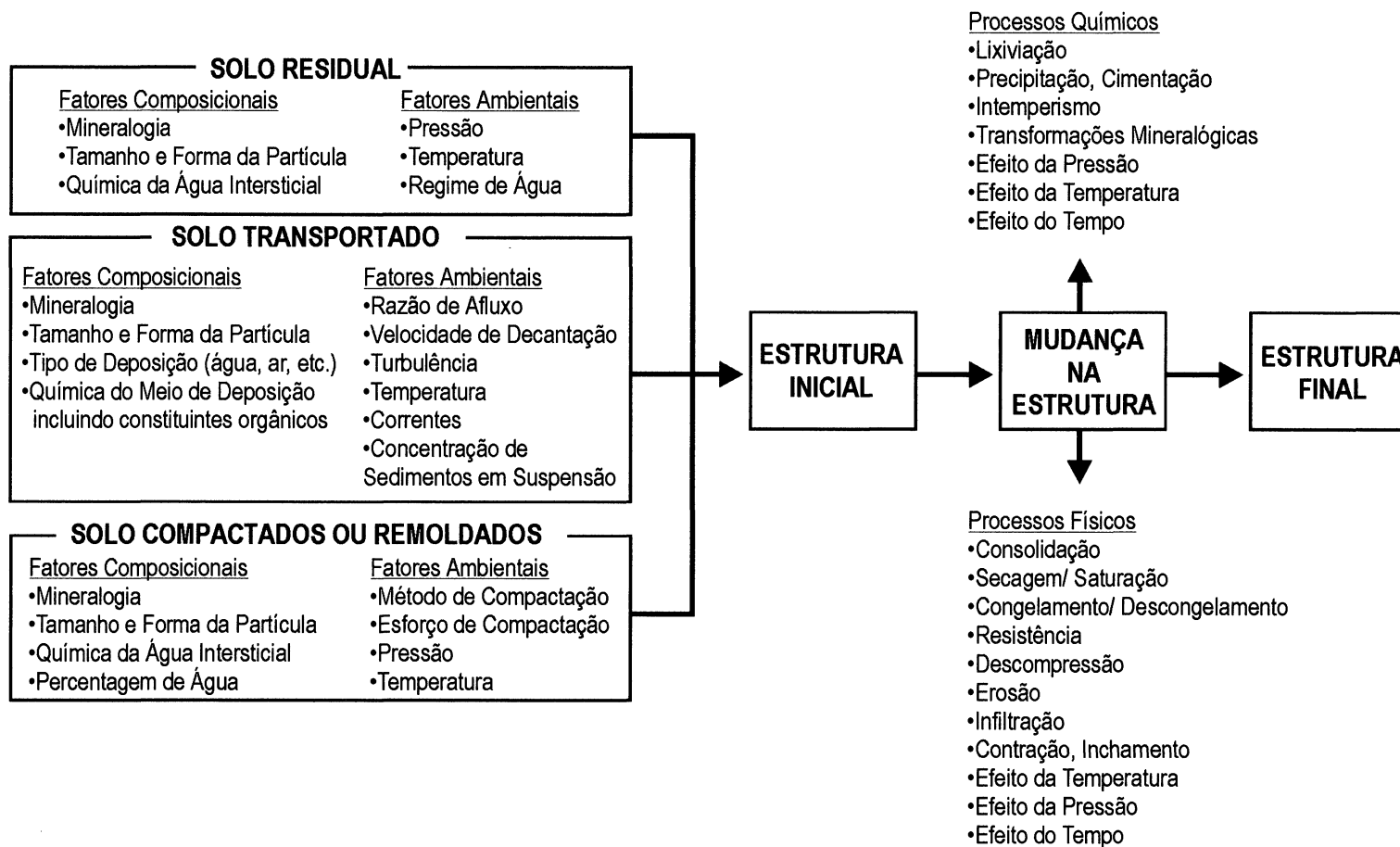
ambiente químico é fundamental durante o estágio inicial da formação de um sedimento na água, no entanto menos importante nos estágios subseqüentes. A energia mecânica torna-se fator dominante nas mudanças do ambiente. A figura 5 resume as relações entre estrutura dos solos, fatores determinantes e processos.

A mudança da estrutura inicial do solo ocorre através de processos químicos e físicos, nos quais pode-se incluir a contribuição dos efeitos das detonações das equipes sísmicas. Tais processos envolvem o intemperismo, a pressão e a temperatura na consolidação; resistência; secagem; descompressão e erosão. Durante trabalhos de campo, observou-se, visualmente, que os efeitos diretos das detonações no solo atingem um raio de 2 a 3m a partir do ponto de tiro, para cargas de 1kg.

2.3.1.1 Fatores que interagem para a ocorrência da erosão – Entre estes fatores pode-se destacar os intrínsecos ao meio ambiente (natureza do material do solo, relevo, clima), e os fatores decorrentes dos impactos das diversas atividades exercidas sobre o solo. As características de destacabilidade e transportabilidade das partículas, bem como erosividade de chuva, são determinantes para a ocorrência da erosão. A erosão laminar é originada pela precipitação e pelo fluxo difuso da água sobre o solo.

Segundo pesquisadores da Universidade de Purdue, de acordo com RAY (1963), analisando-se propriedades de erosão a partir de fotografias aéreas, há três características básicas de “desbarrancamento” que se associam a três tipos de

FIGURA 5 - RELAÇÕES ENTRE ESTRUTURA DOS SOLOS E FATORES DETERMINANTES DE PROCESSO



Fonte: Mitchell, (1992).

textura do solo. Solos granulares, em geral, desenvolvem desbarrancados íngremes, em forma de V, que tem gradientes longitudinais curtos e abruptos. Solos não granulares, coesivos e plásticos, são geralmente indicados por gradientes longitudinais suaves e uniformes de “desbarrancamentos” que remontam terrenos altos, e perfis transversais em forma de V abertos, claramente arredondados e rasos. As exceções existem, porém a análise cuidadosa dos perfis longitudinais e transversais fornecerá informações importantes sobre a textura do solo.

Condições geológicas, pedológicas e hidrológicas denunciando áreas potenciais de solifluxão, incluem a presença de estruturas geológicas e tipos de rocha desfavoráveis, predominância de materiais de granulação fina e excesso de água ou condições que permitam acesso de água aos materiais de granulação fina. (RAY, 1963)

2.3.1.2 Suscetibilidade à erosão – A suscetibilidade ao desenvolvimento de processos erosivos pode ser avaliada com a aplicação de diferentes procedimentos metodológicos. Em geral pode-se distinguir métodos que buscam a quantificação das perdas do solo por erosão e outros que buscam a avaliação qualitativa do comportamento erosivo dos terrenos. Por outro lado, nos estudos de suscetibilidade à erosão, deve-se tratar diferentemente os processos erosivos por escoamento laminar ou difuso e por concentração de fluxos d'água (ravinas e boçorocas), por se constituírem em processos erosivos que envolvem mecanismos e condicionantes muito diversos (IPT, 1991). Neste trabalho, esta divisão é aplicada através de procedimentos de prevenção em caso de ocorrência. A tabela 1 apresenta a classificação dos solos em função do potencial de perda de solo por erosão laminar,

parâmetros que deverão ser utilizados pelas equipes sísmicas conforme sugestão no capítulo 5.

TABELA 1 - POTENCIAL DE PERDA DOS SOLOS POR EROSÃO LAMINAR EM TONELADAS/ha/ano

Não aparente	Ligeiro	Moderado	Forte	Muito forte
0 a 10	10 a 70	70 a 160	160 a 400	> 400

Fonte: Guerra e Cunha (1996).

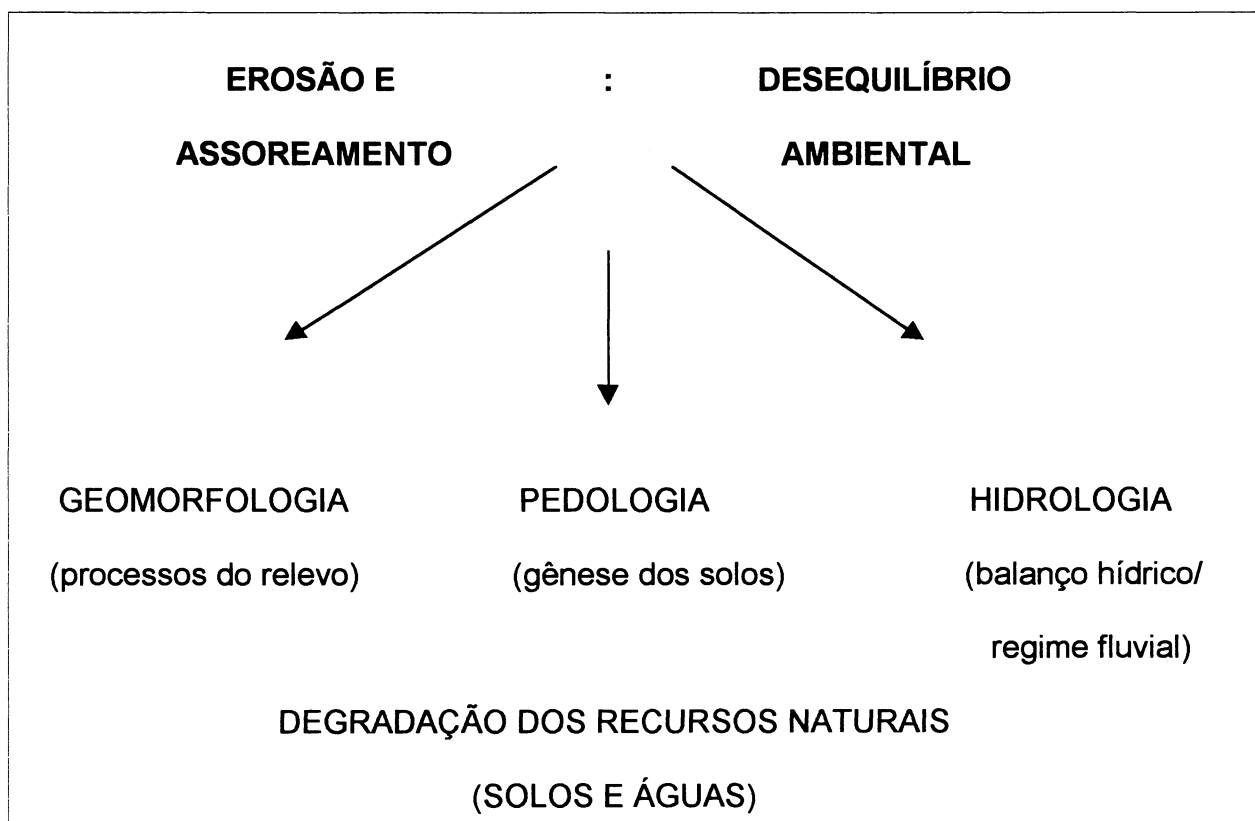
2.3.2 Assoreamento em cursos e corpos d'água

O assoreamento constitui um dos problemas mais graves de impacto da erosão no ambiente, pois desequilibra as condições hidráulicas, promove enchentes, diminui a capacidade de armazenamento d'água, podendo incrementar a chegada de poluentes químicos e conseqüentes alterações da vida aquática, gerando prejuízos para o abastecimento e produção de energia (IPT/ABGE, 1995).

O assoreamento corresponde a um quadro de desequilíbrio ambiental dos pontos de vista hidrológico, geomorfológico e pedológico, visto que todos os processos respondem às alterações significativas do comportamento hídrico do terreno, especialmente as taxas de escoamento superficial e de infiltração. Além de fazer parte do processo de modelagem do relevo, este fenômeno, física e quimicamente, acompanha as transformações do solo, constituindo um problema de degradação dos recursos naturais. A figura 6 resume estas relações do

assoreamento enquanto desequilíbrio ambiental.

FIGURA 6 – O ASSOREAMENTO É UM DOS ASPECTOS DA DEGRADAÇÃO DOS SOLOS E ÁGUAS



Fonte: IPT/ABGE (1995).

A abordagem do problema dos assoreamentos tem sido realizada principalmente pela engenharia de reservatórios/barragens, através dos seguintes estudos: aporte sólido e suas relações com as vazões que afluem ao reservatório; capacidade do reservatório em relação a vazão afluyente e eficiência do reservatório na retenção dessa vazão.

O ambiente do assoreamento considera que os processos em curso são acelerados e relativos às transformações tecnogênicas da paisagem ou

morfogênese antrópica, as quais são extremamente velozes e intensas; o homem é o mais recente agente geológico.

Em termos de processo, o assoreamento inicia-se com a erosão, através da ação determinante do uso do solo. A erosão pode ser medida pela Equação Universal de Perda dos Solos, aplicável em áreas restritas, homogêneas e sem escoamento concentrado. A perda de solo não implica necessariamente em produção de sedimentos.

A equação universal de perda dos solos (erosão laminar) é empírica, sendo dada pela seguinte expressão:

$$A = RKLSCP, \text{ onde:}$$

A = índice que representa a perda do solo por unidade de área;

R = índice de erosividade da chuva;

K = índice de erodibilidade;

L = índice relativo ao comprimento da encosta;

S = índice relativo à declividade da encosta;

C = índice relativo ao fator uso e manejo do solo;

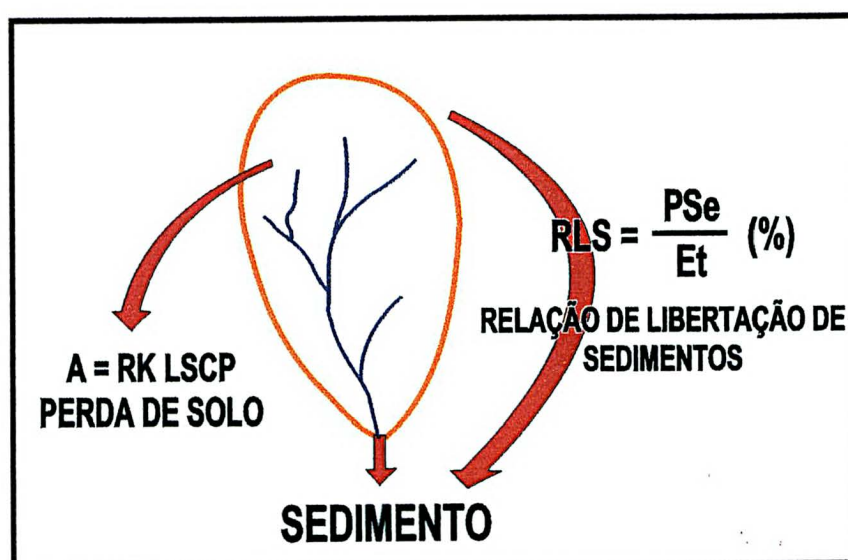
P = índice relativo à prática conservacionista adotada.

Para quantificá-la é necessário estimar a denominada relação de liberação de sedimentos (RLS) que expressa a relação entre perda de solo na área fonte e a produção de sedimentos medidos no exudório de uma bacia. Assim: $RLS = PSE/ET$ (%), onde PSE é igual a produção de sedimentos, expressa em toneladas (t) ou $m^3/ha/ano$, e ET significa a erosão total, também indicada em t ou $m^3/ha/ano$ (figura 7)

Os fatores que influenciam a RLS são: tamanho da área fonte; tamanho das partículas; transporte pelas vertentes; transporte pelos rios; tipo de processo erosivo.

Todos estes fatores são ativados pelo uso não conservacionista do solo e pelas chuvas. O tipo de manejo do solo pode contribuir, através da concentração do escoamento, favorecendo a erosão e o transporte dos sedimentos (cercas, estradas, caminhos, carreiros de animais), ou na sua retenção através de obras de conservação ou de retenção (curvas de nível, terraços de contenção, açudes/tanques).

FIGURA 7 - RELAÇÃO DE PRODUÇÃO DE SEDIMENTOS



Fonte: Adaptado de IPT/ABGE (1995).

O tamanho da área fonte também é um fator adicional importante. Áreas pequenas, porém próximas, podem apresentar RLS mais elevadas do que áreas grandes, porém distantes. Áreas mais distantes significam maior trabalho na seleção dos sedimentos e queda na RLS.

O tamanho da partícula, relacionado ao tipo de solo, também influi na RLS; áreas fontes que produzem areia apresentam RLS menor, visto que necessita de maior capacidade de transporte, depositando-se quando diminui a velocidade de escoamento, ao passo que partículas de granulometria silte e argila permanecem em suspensão por tempos maiores, atingindo a saída da bacia com maior facilidade, contribuindo para uma RLS mais alta. Quanto à forma e inclinação da vertente, as quebras negativas favorecem a deposição antecipada e, conseqüentemente, a redução da RLS.

O transporte fluvial atua em combinação com a declividade, forma dos canais, Litologia, etc., e tanto pode proporcionar transporte quanto deposição, além de poder servir de área fonte, através da erosão das margens. Quanto mais alta for a densidade da drenagem da bacia, maior deverá ser a RLS.

A erosão laminar transporta o sedimento a poucas distâncias na vertente, ao contrário da erosão linear expressa por sulcos, ravinas e voçorocas, são agentes de transporte imediatos aos cursos d'água (IPT, 1991).

2.3.3 Movimentos de massa

Deslizamentos (movimentos de massa em encostas) atuam como processos de intemperismo e erosão, fenômenos naturais contínuos de dinâmica externa, que modelam a paisagem da superfície terrestre. Destacam-se pelos grandes danos causados ao ambiente, às pessoas e construções civis. Segundo a defesa civil da ONU, em 1993, os deslizamentos causaram 2517 mortes no mundo. No Brasil há uma freqüência alta de movimentos de massa nas encostas, tanto de origem natural

quanto decorrente da ação antrópica (GUERRA e CUNHA, 1996).

Devido à grande variedade de conceitos e definições que contemplam termos existentes relacionados a risco de movimentos de massa atualmente, geraram-se diversas classificações. Em seguida serão apresentadas algumas destas.

2.3.3.1 Classificação dos movimentos de massa – As classificações existentes são diversas e atendem a propostas genéricas e também específicas como são os exemplos citados, entre outros, por JONES (1973); VARNES (1978).

A classificação para movimentos de massa adotada nesta pesquisa foi a de AUGUSTO FILHO (1992) *apud* IPT/ABGE (1995), por ser simplificada e adaptável ao âmbito deste trabalho, ou seja, os movimentos gravitacionais de massa, segundo a concepção de HUTCHINSON (1968) *apud* IPT/ABGE (1995), relacionados a encostas são agrupados em quatro grandes classes de processos: rastejos (*creep*), escorregamentos (*slides*), corridas de massa (*flows*), e quedas/tombamentos (*falls*). Cada um destes grandes grupos admite subdivisões, principalmente os escorregamentos e as corridas de massa, existindo extensas classificações e terminologias específicas para cada um deles (IPT, 1991). A tabela 2 mostra as características principais dos grandes grupos de processos de escorregamento.

A seguir são comentados os principais processos de escorregamento:

- RASTEJO: Entende-se como rastejo os movimentos lentos do solo, causados por forças gravitacionais; os movimentos são praticamente imperceptíveis, sendo normalmente evidenciados pela inclinação de árvores, postes, rachaduras em paredes de casas, etc. Quando o movimento é relativamente rápido com ruptura do terreno, é referido como escoamento segundo GUIDICINI e

NIEBLE (1976) (figura 8).

- **CORRIDAS DE MASSA:** As corridas de massa (ou fluxos de massa) são movimentos rápidos, nos quais os materiais se comportam como fluidos altamente viscosos. A distinção entre corridas e escorregamentos nem sempre é fácil de ser feita no campo. Não raro, as corridas iniciam-se com um típico escorregamento indicando que, em muitos casos, as corridas são movimentos complexos (WPWLI, 1994 *apud* GUERRA e CUNHA, 1996).

As corridas simples estão geralmente associadas à concentração excessiva de fluxos d'água superficiais em algum ponto da encosta e deflagração de um processo de fluxo contínuo de material terroso.

- **ESCORREGAMENTOS:** equivalem a proposta de GUIDICINI e NIEBLE (1984), e ao termo *slides* na classificação de SHARPE (1938); VARNES (1958 e 1978) e WPWLI (1994 *apud* GUERRA e CUNHA, 1996). Caracterizam-se como movimentos rápidos, de curta duração, com plano de ruptura bem definido, permitindo a distinção entre o material deslizado e aquele não movimentado. São feições geralmente longas, podendo apresentar uma relação comprimento/largura de cerca de 10:1 (SUMMERFIELD, 1991 *apud* GUERRA e CUNHA, 1996).

TABELA 2 – CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DOS GRANDES GRUPOS DE PROCESSOS DE ESCORREGAMENTO

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/MATERIAL/GEOMETRIA
RASTEJOS (CREEP)	<ul style="list-style-type: none"> • vários planos de deslocamento (internos) • velocidades muito baixas (cm/ano) a baixas e decrescentes com a profundidade • movimentos constantes, sazonais ou intermitentes • solos, depósitos, rocha alterada/fraturada • geometria indefinida
ESCORREGAMENTOS (SLIDES)	<ul style="list-style-type: none"> • poucos planos de deslocamento (externos) • velocidades médias (m/h) a altas (m/s) • pequenos a grandes volumes de material • geometria e materiais variáveis: PLANARES => solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza CIRCULARES => solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas EM CUNHA => solos e rochas com dois planos de fraqueza
QUEDAS (FALLS)	<ul style="list-style-type: none"> • sem planos de deslocamento • movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado • velocidades muito altas (vários m/s) • material rochoso • pequenos a médios volumes • geometria variável <p>ROLAMENTO DE MATAÇÃO TOMBAMENTO</p>
CORRIDAS (FLOWS)	<ul style="list-style-type: none"> • muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimento) • movimento semelhante ao de um líquido viscoso • desenvolvimento ao longo das drenagens • velocidades médias a altas • mobilização de solo, rocha, detritos e água • grandes volumes de material • extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

Fonte: Augusto Filho (1992).

Um aspecto importante na classificação de escorregamentos diz respeito à caracterização e terminologia do material envolvido, tais como, solo saprolítico do solo maduro, depósitos de tálus do material coluvial e outros. Os escorregamentos rotacionais (*slumps*), são movimentos que ocorrem seguindo uma superfície de

ruptura curva, côncava, ao longo da qual se dá um movimento rotacional de massa de solo. Segundo SUMMERFIELD (1991), as condições que mais favorecem a geração destes movimentos são os solos espessos e homogêneos, bastante comuns em encostas com material originado de rochas argilosas. O início do movimento, muito freqüentemente, está associado a cortes na base destes materiais, de forma natural (erosão fluvial no sopé da encosta) ou artificial (por exemplo, corte para construção de estrada). Estes movimentos, no entanto, raramente apresentam todas as feições típicas de escorregamento rotacional, como por exemplo, as escarpas de topo, língua de material acumulado no sopé da encosta, fendas transversais, etc. (GUERRA e CUNHA, 1996). Já os escorregamentos translacionais são os mais freqüentes entre os movimentos de massa. Possuem superfície de ruptura com forma planar, a qual acompanha, de modo geral, descontinuidades mecânicas e ou hidrológicas internas ao material. Estas descontinuidades podem ser fraturas, acamamento de origem geológica, depósitos de encostas de origem geomorfológica e contatos solo/saprólito e entre horizontes, de origem pedológica (figuras 9A e 9B)

Os escorregamentos translacionais, em geral, caracterizam-se por serem compridos e rasos, com o plano de ruptura ocorrendo em profundidades de 0,5 a 5m, durante períodos de intensas precipitações, na interface solo/rocha, a qual constitui importantes descontinuidades, mecânica e hidrológica. A dinâmica hidrológica tende a ser superficial e rápida, devido ao aumento da poro-pressão nos planos de descontinuidades, durante esses períodos de intensas precipitações e longa duração. As características morfológicas da encosta e as propriedades hidráulicas são de grande importância, enquanto fatores condicionantes da ocorrência de escorregamentos translacionais. Nos períodos de baixas precipitações

nas encostas retilíneas ou convexas, o aumento excessivo da poro-pressão positiva não é permitido, pois o mesmo é compensado pelo fluxo superficial, o qual reduz as taxas de infiltração (FERNANDES, 1990 *apud* GUERRA e CUNHA, 1996).

- **QUEDAS E TOMBAMENTOS:** São movimentos rápidos e descendentes de blocos e/ou lascas de rochas, sem a presença de uma superfície de deslizamento, na forma de queda livre (GUIDINICI e NIEBLE, 1984 *apud* GUERRA e CUNHA, 1996). Ocorrem nas encostas íngremes de paredões rochosos e contribuem decisivamente para a formação dos depósitos de tálus. A ocorrência de blocos é favorecida pela presença de descontinuidades na rocha, tais como fraturas e bandamentos composicionais, e pelo avanço dos processos de intemperismo físico e químico (figura 10).

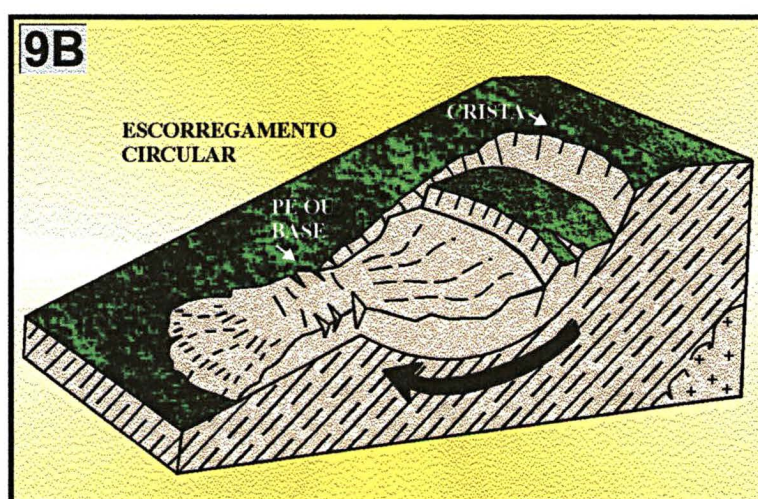
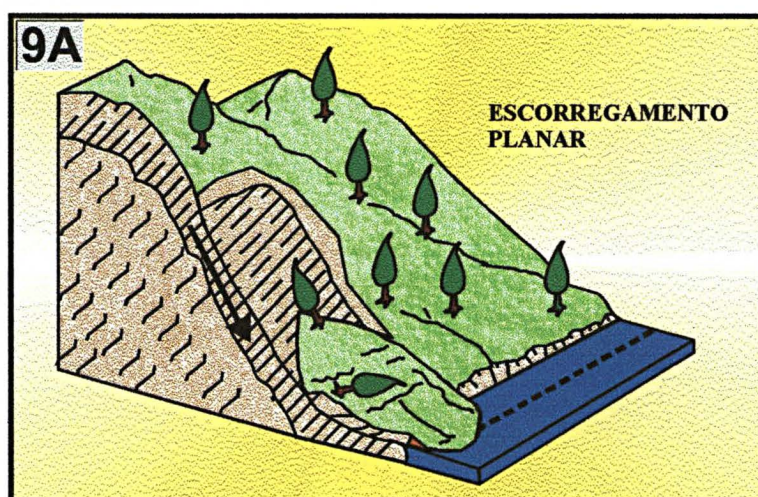
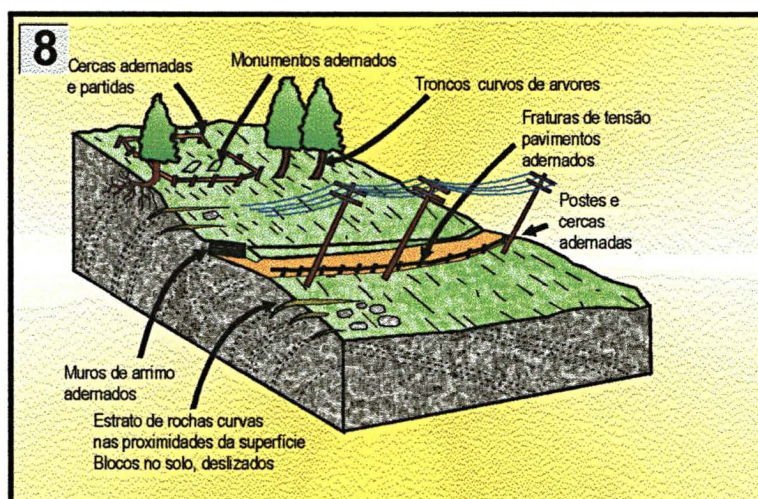


Figura 8 - Rastejo e seus indícios.

Figura 9A - Escorregamento planar.

Figura 9B - Escorregamento Circular.

Fonte: Adaptado de Bloom; (1998) e Infanti Jr & Fornasari Filho, (1998).

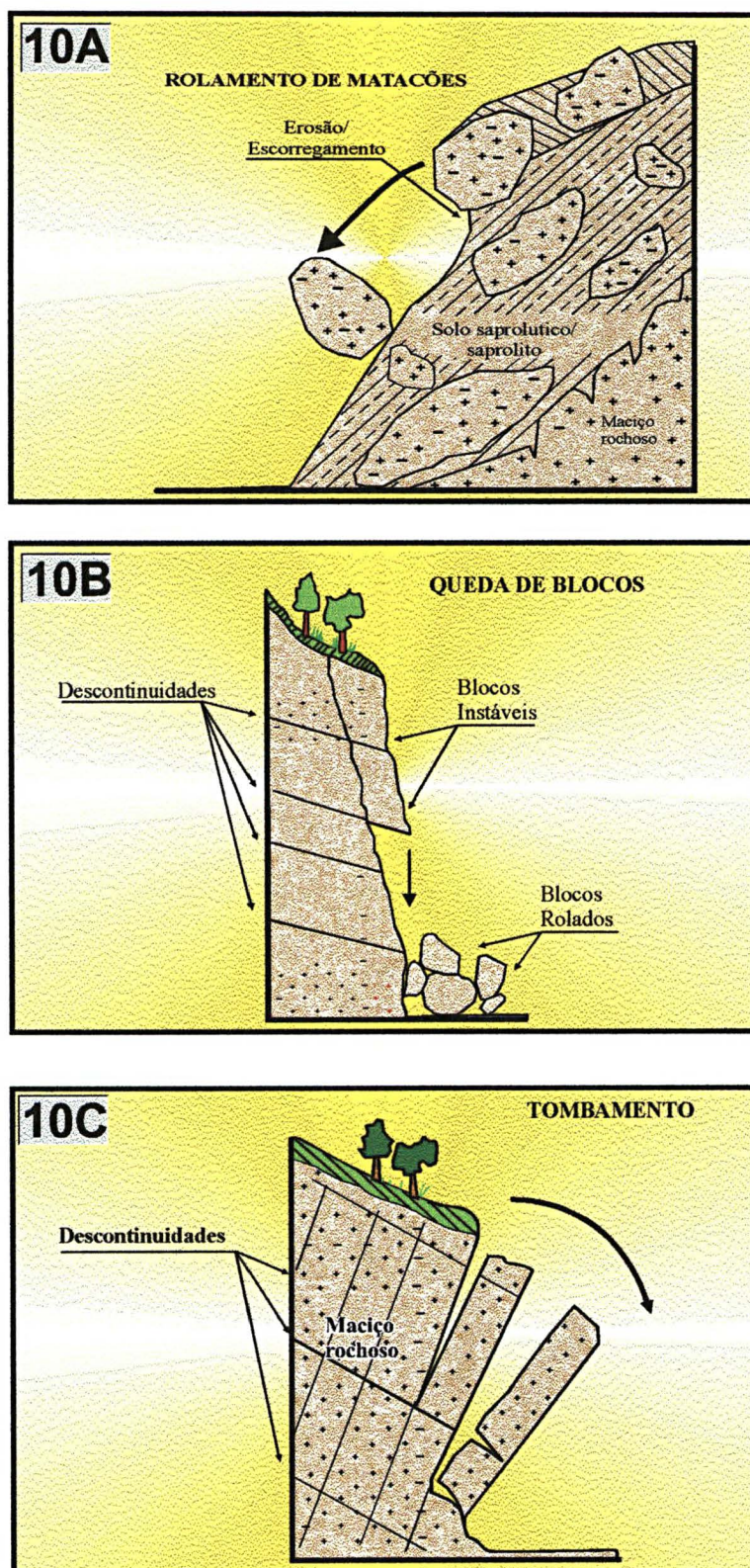


Figura 10 A - Rolamento de matacões.

Figura 10B - Queda de bloco.

Figura 10C - Tombamento.

Fonte: Infanti Jr & Fornasari Filho, (1998).

Segundo BONUCCELLI (1995, *apud* HACH HACH, 1998), quedas constituem-se num volume de material com qualquer dimensão, que se destaca de um talude íngreme ou escarpa, descendo encosta abaixo através de queda livre, saltos ou rolamentos de material, sem ocorrência de deslocamentos cisalhantes. A movimentação é muito a extremamente rápida. Pode ou não haver pequenos movimentos anteriores à ruptura.

HUTCHINSON (1988) ainda divide esses movimentos em duas categorias: queda primária envolve deslocamento recente do material; queda secundária abrange porções fisicamente destacadas da encosta.

Conforme VARNES (1978), tombamento é o movimento de rotação de uma ou mais unidades em torno de um ponto situado abaixo das mesmas, sob a ação da gravidade e forças externas aplicadas através das unidades adjacentes, ou por fluidos presentes nas descontinuidades. O movimento de tombamento pode ou não acarretar queda ou deslizamento e irá depender da geometria do maciço, da orientação e da extensão das descontinuidades, podendo ocorrer em materiais rochosos ou detríticos.

HUTCHINSON (1988) ainda divide os tombamentos em únicos e múltiplos e afirma que são comuns em maciços rochosos inclinados, com presença de descontinuidades.

2.3.3.2 Fatores que influenciam os movimentos de massa – Apesar da existência de controvérsias envolvendo as definições dos fatores, das causas e dos agentes que influenciam os movimentos de massa gravitacionais, vários autores têm sistematizado, de diferentes formas, as principais causas, condicionantes e fatores

deflagradores dos escorregamentos. Na afirmação de VARNES (1978) os movimentos de massa apresentam, normalmente, uma série contínua de causas e efeitos e que raramente uma movimentação de massa ocorre devido a um único e determinado fator, sendo comum uma ação simples desencadear a movimentação de massas; porém o fator desencadeador não deve ser considerado como causa única, embora tenha sido fundamental para a deflagração do processo (tabela 3).

Os fatores que deflagram os escorregamentos e outros tipos de movimentos de massa gravitacionais podem ser agrupados naqueles que aumentam as solicitações e nos que diminuem a resistência, segundo VARNES (1978).

Para GUIDICINI e NIEBLE (1976) o termo causa refere-se ao modo de atuação de um agente de instabilização de uma encosta; agentes pré-disponíveis referem-se às condições geológicas, geométricas e ambientais, onde o movimento de massa gravitacional terá lugar; agentes efetivos referem-se aos elementos diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, incluindo a ação antrópica (tabela 4).

2.4 BREVE HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO DA REGIÃO

Os primeiros registros de ocupação humana na região datam de 3000 a 6000 anos, referentes a comunidades nômades da fase pré-cerâmica. Posteriormente, na fase cerâmica, grupos mais evoluídos buscavam maior estabilidade para as comunidades. Nesta fase já existia atividade agrícola de subsistência e queimadas, as quais são praticadas ainda hoje. Por volta de 1770,

TABELA 3 - AÇÃO DOS FATORES DEFLAGADORES DOS MOVIMENTOS DE MASSA GRAVITACIONAIS

AÇÃO	FATORES	FENÔM. NATURAIS/ ANTRÓPICOS
AUMENTO DAS TENSÕES CORTAIS	REMOÇÃO DE MASSA (lateral ou da base)	-erosão provocada por rios, geleiras, ondas marítimas; -movimentos de massa anteriores: queda de blocos, escorregamentos; -atividades, mineradoras, fluxo de água subterrâneo com dissolução e remoção de materiais
	SOBRECARGA	-agentes naturais: chuva, gelo, talus, percolação de água; -agentes antrópicos: construção de aterros, edificações, barragens.
	SOLICITAÇÕES DINÂMICAS	-terremotos, vibrações produzidas por máquinas, tráfegos, explosões.
	PRESSÕES LATERAIS	-água em fraturas, expansões de argilo-minerais.
REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA	CARAC. INERENTES AO MATERIAL E ESTADO INICIAL	-composição, textura, presença e orientação das descontinuidades, orientação do talude, geometria. -carac. geomec. do material; tensões iniciais
	MUDANÇA OU FATORES VARIÁVEIS	-ação do intemperismo (redução na coesão e atrito), elevação do nível d'água, mudanças na estrutura, como no caso de amolgamento de argilas.
	OUTRAS CAUSAS	-enfraquecimento devido rastejo progressivo. -ação das raízes e buraco de animais.

Fonte: Modificado de Varnes, (1978).

TABELA 4 – AGENTES E CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS

AGENTES/CAUSAS DOS ESCORREGAMENTOS			
A G E N T E S	PREDISPO- NENTES	- Complexo geológico, complexo morfológico, complexo climático-hidrológico, gravidade, calor solar, tipo de vegetação original	
	EFETIVOS	PREPARA- TÓRIOS	- Pluviosidade, erosão pela água e pelo vento, congelamento e degelo, variação de temperatura, dissolução química, ação de fontes e mananciais, oscilação de nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e humana, inclusive desflorestamento.
		IMEDIATOS	- Chuvas intensas, fusão do gelo e neve, erosão, terremotos, ondas, vento, etc.
C A U S A S	INTERNAS	- Efeito das oscilações - Redução dos parâmetros de resistência por intemperismo	
	EXTERNAS	- Mudanças na geometria dos sistemas - Efeitos de vibrações - Mudanças naturais na inclinação	
	INTERMEDIÁ- RIAS	- Elevação do nível piezométrico em massas "homogêneas" - Elevação da coluna d'água em discontinuidades - Rebaixamento rápido do lençol freático - Erosão subterrânea retrogressiva (<i>piping</i>) - Diminuição do efeito de coesão aparente	

Fonte: Guidicini e Nieble (1976).

os movimentos dos bandeirantes conquistaram a região de Guarapuava. A ocupação da região se deu pela necessidade de defesa contra os espanhóis e por causas econômicas ligadas à exploração de riquezas e criação de gado. No século XIX predominou a sociedade campeira e pecuária.

O surgimento do tropeirismo resultou na implantação de pequenos núcleos colonizadores, acompanhada de processos indiscriminados de desmatamento (COPEL, 1992).

Os eventos mais importantes e os principais setores de ocupação são resumidamente descritos a seguir, segundo COPEL (1992):

- Anos 50 – consolidação das Indústrias Zattar e de outras madeireiras na região;
- Anos 60 – conclusão do asfaltamento da BR-277;
- Anos 70 – construção da PR-170, em função da implantação da Usina Hidrelétrica de Foz do Areia;
- 1970-1976 – o desmatamento impõe a concepção de novos modelos agrícolas e o aproveitamento do reflorestamento;
- 1976-1979 – utilização do potencial hídrico das barragens de Foz do Areia e Salto Santiago; grande ampliação do cultivo da soja no Paraná, incluindo a região da bacia do rio Iguaçu;
- 1980 – Início dos assentamentos humanos/sem-terra.

2.4.1 Vertentes de ocupação oriundas do modelo de desenvolvimento agrário

A primeira vertente de ocupação agrossilvopastoril, a mais antiga, está relacionada à incorporação produtiva das terras através de exploração de pastagens naturais, bovinocultura extensiva de corte e à exploração de matas e ervais nativos.

Estas atividades, pela sua dinâmica própria, requerem grandes extensões de áreas, pelo que se desenvolveram neste período grandes propriedades localizadas nos Campos de Guarapuava.

A modernização da agricultura, a partir do início dos anos 70, propiciou o desenvolvimento de grandes propriedades de lavouras mecanizadas nas porções norte, leste e sudeste da região, e da pecuária em menor escala.

Na área de trabalho predominam grandes propriedades recobertas por matas

de araucária, que são exploradas por grandes empresas madeireiras, por exemplo, João José Zattar, Manasa, Fiat Lux e Slaviero Florestal.

A segunda vertente de ocupação advém da absorção das pequenas propriedades pelas maiores, deslocando os produtores advindo de áreas adjacentes para a ocupação de pequenas propriedades em áreas com fortes declives e pedregosas, situadas ao longo dos vales encaixados, onde a agricultura praticada é a tradicional, ou seja, a produção de milho, de feijão e de arroz.

A região vive então nesta fase uma matriz agropecuária onde convivem o tradicional e o moderno, este último relacionado principalmente às atividades industriais decorrentes das madeireiras e do beneficiamento de cereais.

A esta “dinâmica” associa-se a produção dos centros urbanos como Guarapuava (pólo regional) e Pinhão. Além das sedes municipais, surgem outras nucleações de apoio à propriedade rural, conformada pela rede distrital.

“Constituindo-se uma das últimas fronteiras agrícolas de ocupação em nível estadual, a micro região dos Campos de Guarapuava vem recebendo populações transferidas de outras regiões” (COPEL, 1992).

No final da década de 70 e durante a década de 80, a região presenciou o fenômeno dos assentamentos e dos acampamentos, como resultado do modelo excludente de desenvolvimento agrário. No final da década de 70, iniciou-se a mobilização e a organização da população expulsa de suas terras, originando conflitos político-econômicos, de certo modo relacionados ao fim do ciclo do café no estado do Paraná.

A origem dos assentamentos no estado do Paraná está diretamente ligada ao preenchimento do lago da Usina Hidroelétrica de Itaipu, com a conseqüente desapropriação das terras seguida do não pagamento de indenizações, por parte do

governo, às famílias atingidas. À reivindicação por terras juntou-se uma complexa massa humana, de outras regiões do estado, no final da década de 70 (figura 11).

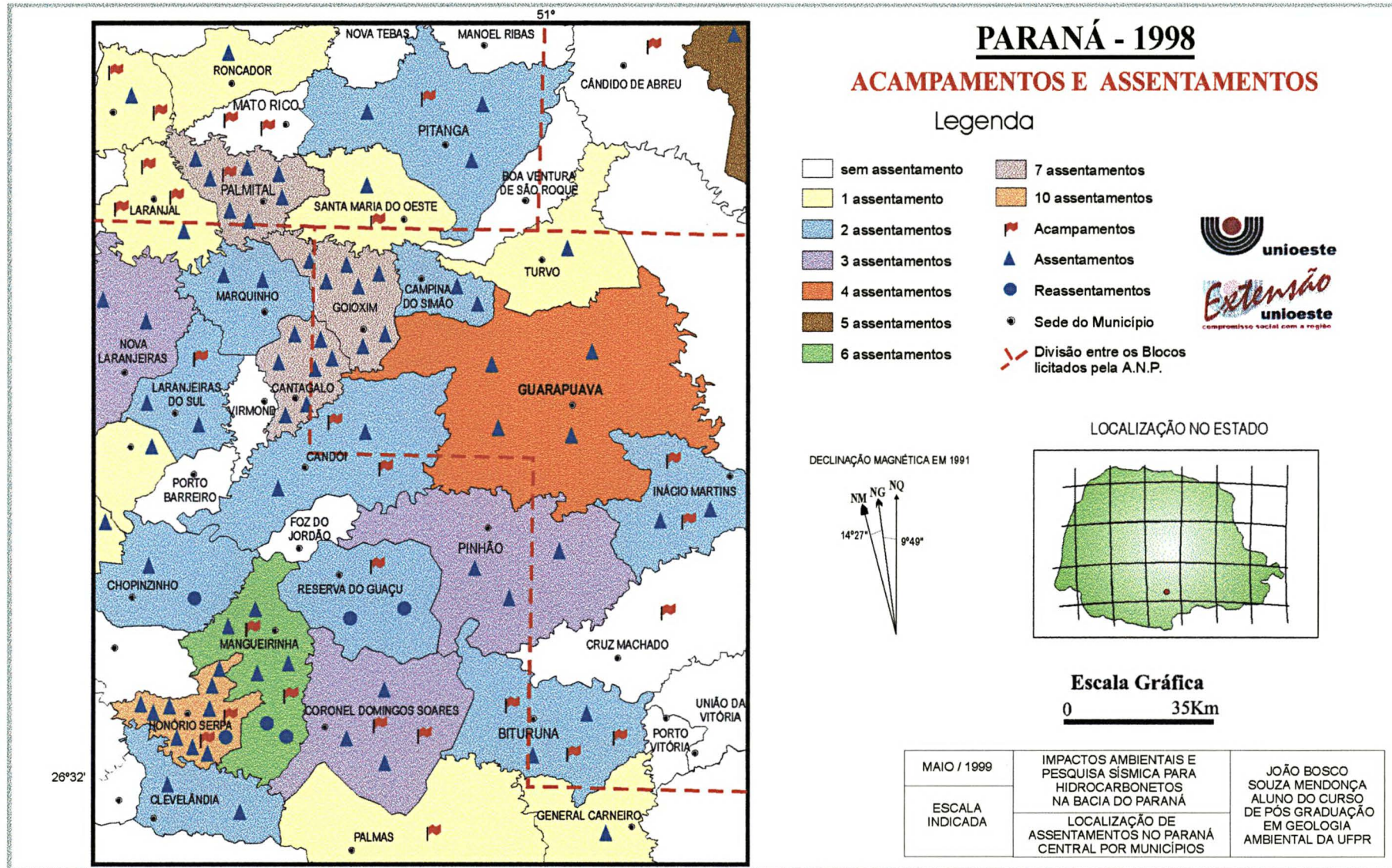
Na área da pesquisa estão localizados dois assentamentos humanos: Faxinal dos Silvérios e Faxinal dos Ribeiros (FABRINI, 1998).

O impacto ambiental relacionado a esses agrupamentos está analisado resumidamente no Capítulo 5 (mapa de suscetibilidade à erosão e movimento de massa).

2.4.2 Intervenção das equipes sísmicas

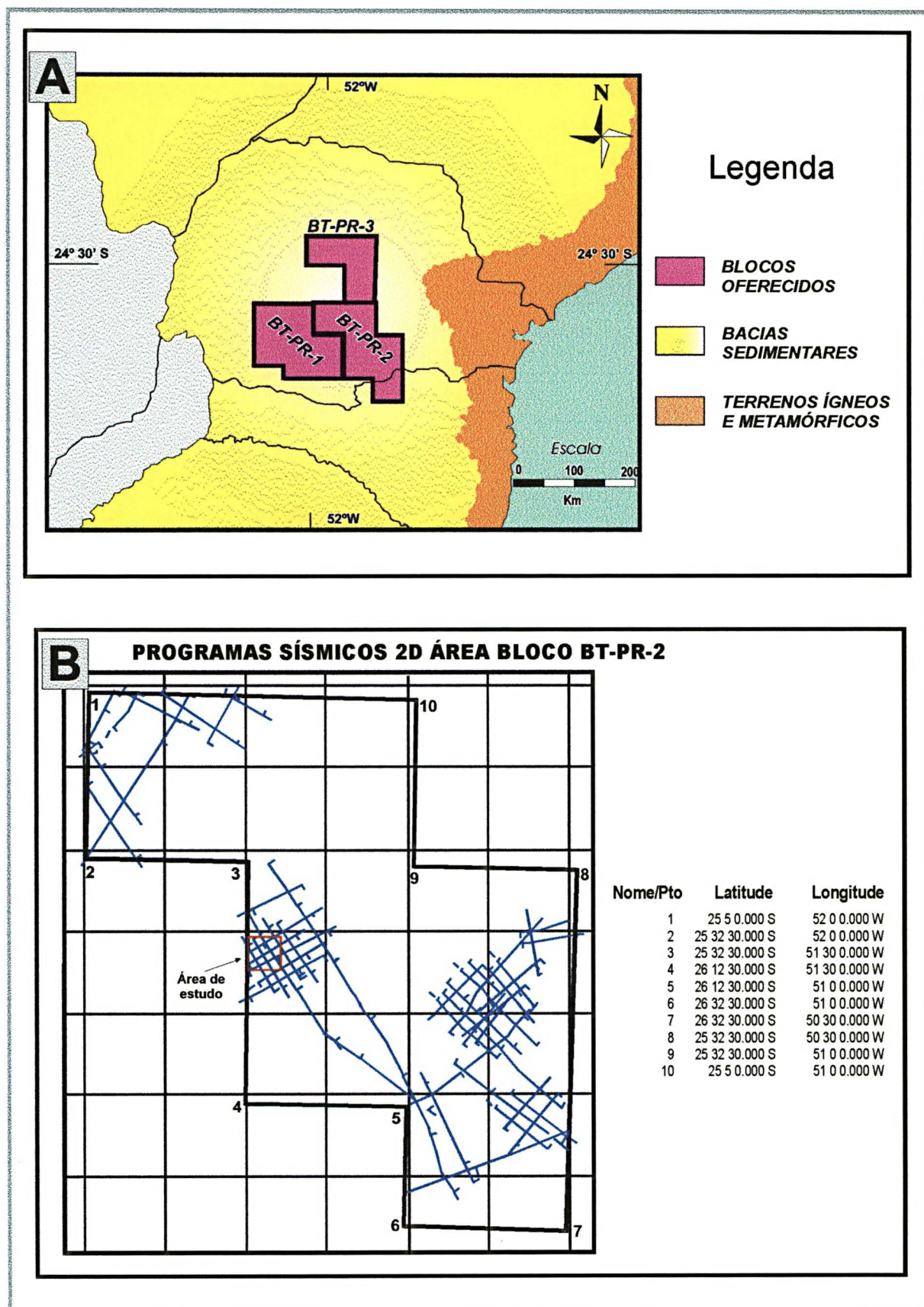
As pesquisas sísmicas na área foram reiniciadas no início da década de 90. A flexibilização do monopólio de exploração de hidrocarbonetos, a partir de 1997, certamente, provocará uma intensificação dessas atividades, por parte de grupos nacionais e estrangeiros a partir de 1999. A figura 12 mostra os programas sísmicos 2D já realizados e os blocos licitados pela Agência Nacional de Petróleo (ANP).

FIGURA 11 - LOCALIZAÇÃO DE ASSENTAMENTOS NO PARANÁ CENTRAL, POR MUNICÍPIOS.



Fonte: Adaptado de Fabrini, (1998).

FIGURA 12: A - BLOCOS OFERTADOS, NA PRIMEIRA LICITAÇÃO DA ANP (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO). B - PROGRAMAS SÍSMICOS 2D JÁ REALIZADOS NO BLOCO BT-PR-2



Fonte: ANP (Agência Nacional de Petróleo), (1999).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Para os trabalhos de campo, fez-se uso dos equipamentos, como bússola, GPS, binóculos, trena, veículos, máquina fotográfica, rádios *walk-talk*, além de fotografias aéreas na escala 1:25.000, ano 1980, da base topográfica do IBGE (Folha Paredão, SG.22-V-D-VI-3, em escala 1:50.000) e do Mapa Geológico do Estado do Paraná, escala 1:650.000 (MINEROPAR, 1989).

No escritório, além dos mapas citados acima, utilizou-se a Carta de Limitações do Uso dos Solos do Paraná, por Suscetibilidade à Erosão, escala 1:600.000 (EMBRAPA, 1984), dados pluviométricos de cinco estações próximas da área, fornecidos pela SUDERSHA, e mapa de assentamentos e acampamentos sem terra no Paraná (FABRINI, 1998).

Parte dos trabalhos de informatização foi desenvolvida nos Laboratório de Informática do Departamento de Geologia da UFPR e das Indústrias João José Zattar. Estes trabalhos deram origem às cartas digitalizadas e, para tanto, fez-se necessário emprego de imagens Landsat/TM, bandas 3, 4 e 5, fornecida pelo INPE, equipamentos e *softwares* tais como:

Equipamentos: mesa de luz; microcomputadores; *scanner*, impressoras; mesa digitalizadora.

Softwares: SIG/SITIM – Utilizado para digitalização dos mapas temáticos em ambiente SIG; IDRISI *for Windows*, versão 2.0 – utilizado para efetuar interações dos mapas temáticos em ambiente SIG; ER Mapper versão 5.5 – utilizado para

elaboração da Carta de Uso do Solo; ArcInfo – utilizado para elaboração do Mapa de Declividade; Corel Draw versão 8.0 – Utilizado para *layout* e retoque de fotos e gráficos.

3.2 MÉTODOS

A metodologia de estudo desenvolvida pelo Agrupamento de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente, do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S.A. (AGAMA/IPT), para mapeamento de áreas de riscos geológicos relacionados à suscetibilidade, à erosão e à movimentos de massa, tem como base a elaboração de cartas temáticas, a observação das ocorrência e dos processos com base em fotointerpretação e dados de campo, o cadastramento de ocorrências, o cruzamento de mapas temáticos, tendo como referência o seguinte roteiro: PROCESSOS GEOLÓGICOS EM QUESTÃO → MAPAS TEMÁTICOS + USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (enquanto potencializador do processo) = CARTA DE SUSCETIBILIDADE (natural e induzida) + USO E OCUPAÇÃO DO SOLO (enquanto consequência social e econômica) = CARTA DE RISCO.

Para a área de estudo e características dos trabalhos das equipes sísmicas e suas interações com o meio físico, relativas, principalmente, às atividades de perfuração de solos e rocha, além de carregamento e detonação de explosivos, foi elaborada uma abordagem com base em mapas temáticos e análises integradas. Tal abordagem considera o mapeamento geológico, o cadastramento de ocorrências, o monitoramento e a evolução de tamponamentos, o mapa de materiais inconsolidados, o mapa de declividade, o mapa de uso e ocupação do solo, os

ensaios geotécnicos, os testes experimentais de campo, as análises petrográficas de rocha e, finalmente, a elaboração de carta de suscetibilidade à erosão e movimentos de massa aplicada às atividades das equipes sísmicas. Essa abordagem foi complementada e adaptada ao uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), com base na experiência do Departamento de Geologia da UFPR.

3.2.1 Seleção da área de trabalho e procedimentos de prevenção

A escolha da área de trabalho, entre outras na Bacia do Paraná, foi condicionada a critérios técnicos e operacionais, tais como:

- a) existência do problema em nível que justificasse a pesquisa;
- b) área onde houve recente pesquisa sísmica para petróleo, preferencialmente realizada pela GGB – *Grant Geophysical do Brasil*;
- c) disponibilidade de dados;
- d) condições logísticas/operacionais com relação a proximidade da cidade de Curitiba, PR.

Nesta etapa foram realizados trabalhos de fotointerpretação envolvendo a geologia, a drenagem e a identificação das ocorrências de erosão e movimentos de massa.

O objetivo da fotointerpretação geológica foi a atualização da cartografia da área, principalmente com relação à ocorrência de vulcânicas intermediárias a ácidas, na escala de estudo 1:25.000. Além disto a fotointerpretação torna-se um pré-requisito para o entendimento dos processos de erosão e movimentos de massa abordados.

Os critérios diagnósticos na fotointerpretação foram, morfológicos (relevo mais suave e quebra forte de relevo no contato entre as rochas vulcânicas intermediárias/ácidas e as básicas), texturais, de drenagem e topográficos a partir de observações anteriores de afloramentos/pontos de controle, durante trabalhos de campo na ES-246 na área.

Todos os trabalhos de escritório e prévios de campo, incluindo a plotagem dos mapas, foram efetuados na base 1:25.000, e eventualmente, apresentados em 1:50.000.

A adoção de procedimentos de prevenção faz parte da ação no sentido de minimizar ou eliminar os impactos já citados anteriormente. Tais procedimentos são oriundos dos já existentes e adaptados, e dos criados com base nos testes efetuados nas equipes sísmicas e no uso dos experimentos de LANGEFORS e KIHLSSTRÖM (1973 *apud* HOEK e BRAY, 1994).

A apresentação dos procedimentos de prevenção em forma de perfis de encostas tem a vantagem de promover uma interface amigável com os sondadores em campo, enquanto esclarece a função da carta de suscetibilidade à erosão e movimentos de massa aplicada às atividades das equipes sísmicas.

3.2.2 Informatização dos dados e modelo digital do terreno (MDT)

Optou-se pela preparação dos dados também em ambiente SIG face à necessidade e facilidade de manipulação de dados espacialmente georreferenciados, cruzamento destes entre si e cartografia de vários produtos. As etapas executadas estão descritas a seguir:

A base digital de dados foi construída em CAD e em SIG/SITIM, conforme descrito a seguir:

A base topográfica 1:50.000 e o mapa geomorfológico foram digitalizados em CAD; os demais mapas temáticos elaborados (geologia, drenagem, materiais inconsolidados, mapa de pontos e ocorrências), foram digitalizados em SIG/SITIM; o mapa de uso e ocupação do solo foi gerado no ER Mapper 5.5; os dados digitalizados nos diversos *softwares* foram exportados para o IDRISI 2.0, para ali serem manipulados, através de adições e multiplicação de *layers*, reclassificações e operações booleanas.

Foram integrados digitalmente no IDRISI os seguintes temas: mapa de declividade *versus* mapa de uso do solo; mapa de pontos e ocorrências *versus* drenagem; mapa de pontos e ocorrências *versus* mapa de materiais inconsolidados; mapa de materiais inconsolidados *versus* mapa geológico; MDT com classes de cotas *versus* mapa de pontos e ocorrências e mapa de materiais inconsolidados *versus* geológico e MDT.

Uma vez que estes foram digitalizados em ambiente SIG, para o MDT, cada classe temática ficou representada por um atributo Z.

A interação visual dos mapas temáticos contribuiu para a interpretação dos resultados referidos nos Capítulos 4 e 6.

A experiência de campo associada à interpretação subjetiva foi contemplada também no caso do mapa de suscetibilidade, através do cruzamento visual de mapas temáticos e fotografias aéreas em escala que permite maior detalhe, para posterior comparação com a visualização em meio digital.

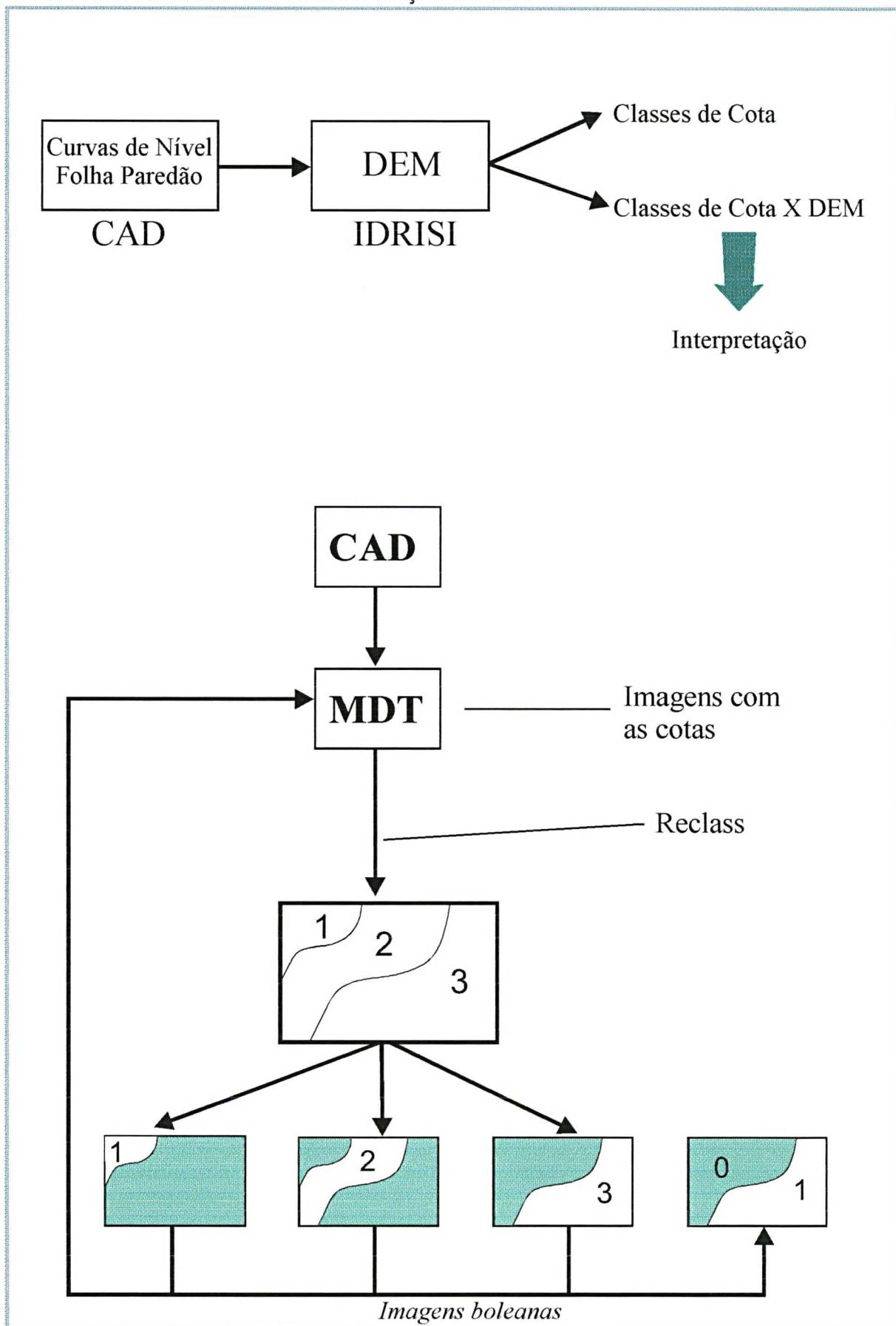
Modelo digital do terreno (MDT) é um termo empregado para modelamento matemático de superfícies. Pode ser definido como sendo um conjunto de pontos em

coordenadas espaciais (X,Y,Z) conhecidas num dado referencial e algoritmos que permitam construir um modelo matemático que reproduza da melhor forma possível o comportamento da superfície real (MITISHITA, 1994 *apud* SOUZA, 1998).

O MDT foi elaborado conforme processo sugerido por MITISHITA (1994 *apud* SOUZA, 1998), no qual a modelagem de superfícies envolve três etapas básicas de trabalho: 1ª obtenção de informações da superfície real que possibilitem a caracterização matemática da superfície do terreno; 2ª a elaboração de um modelo matemático, composto de estruturas de dados e funções de interpolação que simulem o comportamento da superfície real; 3ª a utilização do modelo em substituição à superfície real.

Os dados das curvas de nível espaçadas em 20m, foram obtidos pela digitalização em CAD do mapa topográfico. No módulo INTERCON do Software IDRISI for Windows (Versão 2.0), gerou-se o modelo digital do terreno (MDT). Uma vez que na imagem gerada era possível deter o dado Z (cota) para cada pixel, optou-se em classificar o MDST em faixas de cotas pelo módulo RECLASS do citado *software*. Como para cada faixa de cota foi atribuído um valor de classe, foi possível gerar imagens booleanas para cada classe e multiplicá-la ao MDT, resgatando assim os valores de cota de cada unidade geomorfológica correspondente à faixa selecionada (figura 13).

FIGURA 13: FLUXOGRAMA DE ELABORAÇÃO DO MDT



3.2.3 Análise de solos e ensaios geotécnicos

Os ensaios geotécnicos tiveram como objetivo principal a caracterização dos solos amostrados e serviram de suporte à elaboração do mapa de materiais inconsolidados. As amostras foram coletadas, preferencialmente, em locais com ocorrências de processos de erosão e movimentos de massa, mas também em pontos sem registros desses processos.

As análises de solo e ensaios geotécnicos de granulometria, limites de consistência, índices físicos, capacidade de troca de cátions e cálculo de superfície específica foram realizados pelo Serviço de Laboratório da MINEROPAR (SELAB), e na Solotécnica Engenharia e Empreendimentos Ltda., ambos em Curitiba. Alguns ensaios específicos, como capacidade de carga e outros citados, foram realizados em solos de rochas vulcânicas pelo Centro de Estudos Experimentais em Geotecnologia (CEEG) da Universidade Estadual de Londrina.

O resumo dos ensaios, as normas adotadas, bem como sua importância, estão descritos abaixo, enquanto os resultados são apresentados no Capítulo 4.

3.2.3.1 Análises granulométricas – A distribuição granulométrica foi realizada através de peneiramento e sedimentação conjuntos, conforme ABNT/NBR 7181/84. O peneiramento foi realizado para determinação da fração grosseira do solo (areia e pedregulhos), e a sedimentação para determinar a granulometria dos solos finos (argila e silte), ou seja, a fração que passa na peneira n.º 200, *mesh* (0,074mm).

A distribuição granulométrica, em associação com características físico-químicas da fração fina, permite uma classificação eficiente do material inconsolidado. Para as classes texturais simplificada foi utilizado o triângulo USDA (United State Department of Agriculture, 1967).

3.2.3.2 Granulometria de solo *in natura* e pH – Estes ensaios foram realizados para amostras *in natura*, sem o uso de defloculante, face a diferença marcante entre as características de campo dos horizontes superficiais “arenosos” e a sua classificação após o ensaio de granulometria com sedimentação. Foram realizados 10 ensaios deste tipo, correspondentes as mesmas amostras citadas anteriormente.

O pH foi determinado conforme Marcha do Manual da Empresa Brasileira de Agropecuária (EMBRAPA) – Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos (SNLCS) (1979). É um procedimento usual consagrado, em que se utiliza solo em solução e um medidor de pH (peagâmetro) capaz de ampliar a diferença de potencial gerada por dois eletrodos (eletrodo de medição e eletrodo de referência combinados), impressionando um voltímetro com escala em unidades de pH.

3.2.3.3 Limites de Consistência: LL e LP – Estes ensaios são utilizados para caracterizar o solo quanto a sua plasticidade. Correspondem à dois teores de umidade do solo que separam os seus graus de consistência , ou seja:

LL – limite de liquidez de um solo (ABNT/NBR 6459-MB-30), separa seu estado líquido do estado plástico. Para teores de água acima deste limite,

o material flui.

LP – limite de plasticidade de um solo (ABNT/NBR 7180–M) separa seu estado plástico do estado semi-sólido, ou seja, teores de água acima do qual o material pode ser enrolado em cilindro padrão de 15cm por 4 a 5mm de espessura.

O índice de plasticidade (IP) é obtido da relação LL-LP. Foram realizados 13 ensaios de LL e de LP em amostras de solos situadas na área.

3.2.3.4 Massa específica dos sólidos (ρ_s) – É uma relação entre massa e volume e depende dos minerais formadores do solo. Fornece informações importantes sobre a composição do solo e os ensaios foram realizados conforme a mesma ABNT/NBR 6508/84.

3.2.3.5 Índice de vazios (%) – É um índice que indica a variação volumétrica de um solo ao longo do tempo. É definido como a relação entre o volume de vazios (V_v) e o volume de sólidos (V_s) existentes em igual volume de solo, *apud* NOGUEIRA (1988). Caso o volume do solo permaneça constante ao longo do tempo, qualquer variação volumétrica será medida por uma variação do índice de vazios, a qual poderá fornecer informação sobre a história das tensões e das deformações ocorridas no solo; o índice de vazios é fornecido pela expressão $e_o = V_v/V_s$

3.2.3.6 Determinação da capacidade de troca de cátions (CTC) e da superfície específica (SE) – A utilização destes índices físico-químicos dos solos, tem grande importância na agronomia e na geoquímica. Vêm sendo utilizados também com sucesso nas áreas de mecânica dos solos e geotécnica, tais como em estudos de erosão, disposição de rejeitos, retenção de poluentes e outros. Estas determinações foram realizadas conforme o método do azul de metileno.

O método da adsorção do azul de metileno permite a determinação da CTC e da SE dos argilominerais. O azul de metileno é um corante orgânico que em solução aquosa dissocia-se em ânions cloretos e cátions azul de metileno. Segundo CHEN *et al.* (1974) o cátion azul de metileno substitui os cátions Na^+ , K^+ , Ca_2^+ , Mg_2^+ , H_2O^{++} adsorvidos nos argilominerais, ocorrendo um processo de adsorção irreversível caracterizando-se como uma forma de medida de capacidade de troca de cátions.

A determinação da SE (área interna + área externa) é possível quando a superfície do argilomineral fica recoberta por uma camada monomolecular de cátions azul de metileno, permitindo através das dimensões desta molécula, conhecer a área total recoberta (HANG e BRINDLEY, 1970 *apud* PEJON, 1992).

Foram realizados 10 ensaios em amostras de solo representativas de locais com ocorrência de processos de erosão e escorregamentos.

3.2.3.7 Análises térmico diferenciadas (ATD) – Foram realizadas para determinação dos tipos de argilominerais presentes em amostras onde se determinou a CTC. Foram realizados ensaios de ATD para duas amostras representativas de solos derivados de basalto e de rochas intermediárias a ácidas.

3.2.3.8 Análises mineralógicas através da lupa binocular – Estas análises foram efetuadas para observação da composição mineralógica das frações retidas nas peneiras de malhas n.ºs 9, 16, 32, e 60, da análise granulométrica. Foram analisadas 12 amostras nas porções citadas e correspondentes aos horizontes A e B dos solos.

3.2.3.9 Coloração dos Solos – Elaborado conforme classificação do manual comparativo de cores (*Munsell Soil Color Charts*), através de comparação visual, com os padrões contidos na referência.

3.2.4 Análises petrográficas

Foram confeccionadas e analisadas 08 lâminas em amostras coletadas em afloramentos diversos da área, para determinação de sua composição mineralógica e verificação do mapeamento geológico.

3.2.5 Testes de lançamentos de blocos na detonação de um ponto de tiro

Foi realizado um teste experimental de lançamento de fragmentos de rocha na detonação e segurança na ES-246. O objetivo principal foi o de avaliar as condições de segurança na detonação frente a algumas variáveis do terreno e de operação. A segurança dos integrantes do grupo de detonação e de terceiros estava

em risco face ao lançamento de blocos em alguns locais das linhas sísmicas, além de afetar a operação e a produção. A execução do teste avaliou os seguintes itens: geologia, morfologia da encosta e parâmetros de fonte.

A área do teste apresenta relevo acidentado, vales semi-encaixados e ocorrência de tálus (com blocos de dimensões variadas). Localmente são observados esparsos afloramentos em forma de lajes em meia encosta suave, e um substrato de basalto vesicular marrom variegado. Os solos são argilosos escuros e marrons avermelhados com espessura média de 0,5m, com cascalho subjacente. Nas meias encostas esta espessura diminui aumentando a probabilidade de aumento do número de pedras projetadas na detonação, devido a menor profundidade do cascalho.

As profundidades dos furos e os tipos de encostas foram: 02 furos de 0,5m de profundidade em terreno inclinado; 02 furos com 0,75m de profundidade em terreno inclinado; 01 furo com 0,90m de profundidade em terreno inclinado e 04 furos com 1m de profundidade (02 em terreno plano e 02 em terreno inclinado).

A inclinação dos terrenos descritos como planos pode ser considerada como sendo inferiores a 5 graus e a dos terrenos inclinados como estando entre 15 a 35 graus.

Os parâmetros usados no teste foram: 01 unidade de dinamite TOVEX de 500 gramas para cada furo e espoletas sismográficas com 3,5m de comprimento de fio e linha de fogo com 150m. As dinamites são compostas por misturas de nitroglicerina, nitrocelulose, nitratos de amônia e outras substâncias. A espoleta sismográfica constitui-se de uma parta elétrica, de uma carga inicializadora (azida tricianato) e de uma carga base de nitropenta.

Os procedimentos adotados na perfuração, carregamento e comunicação

durante os testes seguiram os procedimentos do Manual de procedimento para manuseio, transporte e armazenamento de explosivos em equipes sísmicas terrestres (PETROBRÁS, 1994).

Com o objetivo de permitir medidas de velocidades e ângulos de lançamentos, bem como estimativas da quantidade de material projetado, as detonações foram filmadas em vídeo.

Foram utilizadas câmaras de vídeo tipo Panasonic PV21, operando com foco manual, obturador de alta velocidade em 1/400s, *zoom* na maior distância total e mínimo ângulo de visão (*telephoto*). Nessas condições, o campo de visão foi de aproximadamente 6 por 9 metros no plano da detonação. Este campo de visão é amplo o suficiente para cobrir os fragmentos mais velozes em dois ou mais quadros e ainda mantém resolução para registrar fragmentos pequenos, com diâmetros da ordem de 1 ou 2cm. O obturador de alta velocidade permite registrar fragmentos em alta velocidade sem “escorrimento” notável. Os furos foram simbolizados com bandeirolas.

Para enquadramento da filmagem, procurou-se coincidir o ponto da detonação com o centro inferior do quadro do vídeo.

As fórmulas utilizadas foram:

$$V_m = g * T^2,$$

onde V_m = velocidade em m/s (desprezando atrito de ar); g = aceleração da gravidade = $9,8\text{m/s}^2$; T = tempo de vôo (s), medido com cronômetro.

$$A_{m\acute{a}x} = T * V_m * 0,50,$$

onde $A_{m\acute{a}x}$ = alcance máximo para lançamento a 45 graus.

$$E_{m\acute{a}x} = \frac{1}{2} (V_i)^2,$$

onde $E_{m\acute{a}x}$ = energia do lançamento em joule/kg e V_i = velocidade inicial medida no

vídeo, quadro a quadro, tomando referência de escala através da baliza calibrada e considerando o intervalo de 33 metros de quadro a quadro.

3.2.6 Aplicações em programa sísmicos 3D e experimentos de LANGEFORS e KIHLESTRÖM (1973 *apud* HOEK e BRAY, 1994)

Este teste foi efetuado com o objetivo principal de verificar a viabilização da aplicação do método de trabalho em uma área nova da Bacia do Paraná, em nível de reconhecimento. O teste buscou também avaliar a sua operacionalidade dentro da rotina de trabalho de uma equipe sísmica e sua relação com a produção. A equipe na qual se efetuou o teste foi a equipe sísmica ES-26, da PETROBRÁS, programa sísmico 3D Mato Rico (fonte dinamite), no Município de Roncador – PR em dezembro de 1998. O referido teste cumpriu as seguintes etapas:

- Foram percorridos os principais acessos da área e identificadas as ocorrências de erosão e movimentos de massa, cadastramento das ocorrências, documentação fotográfica, registro de coordenada de campo pelo uso de GPS, e localização dos pontos em mapa base, escala 1:50.000.
- As ocorrências foram relacionadas às principais unidades lito-morfológicas da área, tendo como bases o reconhecimento em campo e a experiência adquirida na região de Pinhão/Paredão.
- A operacionalidade do levantamento foi obtida através da própria estrutura logístico-operacional das equipes sísmicas, ou seja, utilizando a turma de geodésia/reconhecimento, temporalmente adequada.
- Apresentação do resumo dos trabalhos desenvolvidos no campo aos integrantes da equipe sísmica ES-26.

- Elaboração de Relatório Técnico.

O relatório técnico incluiu procedimentos de prevenção como a distância do evento/ocorrência ao ponto de tiro, em função da carga, com base nos experimentos de LANGEFORS e KIHLSSTRÖM (1973 *apud* HOEK e BRAY, 1994), cujos resultados são apresentados no item 4.10.14.

4 RESULTADOS OBTIDOS

4.1 GEOLOGIA

As rochas vulcânicas intermediárias a ácidas mapeadas na área são do tipo Chapecó (BELLIENI *et al.*, 1986. *In*: PICCIRILLO e MELFI, 1988) e ocorrem em platôs característicos, sotopostos aos basaltos. São rochas de cor cinza clara, cinza amarronzada e cinza escuro avinhado, a depender do nível de intemperismo. Apresentam laminação de fluxo e textura porfírica, com cristais de feldspato e piroxênio. São rochas de composição riolítica/riodacítica, podendo apresentar termos como granófiros, islandito, vitrófiros dácitóides, quartzo pórfiro, quartzo latito, etc. Apresentam espessuras médias de 20 a 80 metros, em relevo plano a levemente ondulado. Ocupam em superfície maiores proporções em termos de área do que em outras regiões da Bacia no estado do Paraná. Nas análises petrográficas, realizadas no Laboratório de Petrografia do Departamento de Geologia da UFPR, foram classificadas como quartzo latito e quartzo traquito.

Os basaltos são de coloração variada, em geral cinza escuro e cinza esverdeado quando não alterados e textura variando de acordo com a posição no derrame. Em geral, é possível reconhecer nesta unidade as porções basal, intermediária e superior dos derrames. A porção basal apresenta fraturamento sub-horizontal, podendo apresentar material vítreo. O segmento central do derrame é mais maciço, com predominância de fraturamento vertical e disjunções colunares, enquanto o topo dos derrames apresenta amígdalas e vesículas, não raro associadas a brechas vulcânicas. Normalmente, a região do topo do derrame

apresenta maior grau de alteração.

Em afloramentos pode-se observar as diversas feições e graus de alteração dos maciços: fraturas abertas e/ou oxidadas, fraturas preenchidas com minerais de argila, esfoliação esferoidal, blocos soltos, saprolito brando e saibreiras. Os solos com blocos são comuns. Já os residuais são em geral argilosos e argilo-siltosos, de coloração predominante marrom avermelhada.

As direções preferenciais das estruturas, fraturas e falhas da área são NE, NEE, NW, EW e, em menor escala, NS, observadas através do mapeamento geológico e lineamentos em fotointerpretação. Na porção central da área foi identificado um dique de diabásio através da interpretação de fotografias aéreas.

O contato entre as rochas efusivas básicas e as rochas intermediárias ácidas, no campo, caracteriza-se por uma zona bastante intemperizada, normalmente úmida, associada à litologia tipo brecha vulcânica de coloração vermelha rosada, com blocos de rochas vulcânicas vesiculares e/ou amigdaloidais. Com relação à morfologia, tal contato destaca-se em quebra forte do relevo, de identificação possível também a partir da fotointerpretação. As medições em campo correspondem às cotas em torno de 1.150m. Os trabalhos da COPEL (1992) em área situada a norte registraram valores semelhantes para esses contatos.

Os sedimentos aluvionares e cascalhos encontrados na área, em geral, são de pequena extensão, com pouca representação na escala 1:25.000 (Anexo 1).

4.2 RELEVO E GEOMORFOLOGIA

A altitude da área estudada varia de 860 a 1300 metros, com encostas em degraus, representadas principalmente entre as cotas de 950 a 1150m.

As formas de relevo mais destacadas são patamares e “degraus”, vertentes de ligação para fundos de vales e calhas de rios (fotos 1, 2 e 3).

Numa visão panorâmica da área, observa-se três grandes compartimentos: A unidade I corresponde às áreas com relevo levemente ondulado a plano com cotas em torno 1200m e acima desta; a unidade II, sotoposta a unidade I, apresenta relevo ondulado a muito ondulado predominantemente com formas de degraus escalonados, variando em média de 970 a 1190m de altitude, não raro alternados com patamares e vales encaixados em “V”, em substrato de rochas vulcânicas básicas; já a unidade III, representada por cotas em torno de 880 a 960m, corresponde as “calhas” e áreas de influência dos cursos d’água, também em substrato de vulcânicas básicas (Anexo 3 e fotos 4 e 5).

A unidade I é formada por rochas vulcânicas intermediárias a ácidas. Observam-se também vales abertos e formas aplainadas. Os vales abertos correspondem à subunidade geomorfológica Planalto Guarapuava (MAACK, 1981). O relevo acidentado (“peraus”), com encostas em forma de degraus escalonados, corresponde à unidade II, a qual junto com a unidade III, representam na área a unidade geomorfológica Planalto Dissecado do Rio Iguaçu-Uruguaí, de acordo com COPEL (1992).

Dentro destes compartimentos pode-se detalhar outras formas tais como: cristas alinhadas no sentido ENE–WSW, em altitudes acima de 1000m, correspondentes às quebras forte no relevo; escarpas associadas à forte

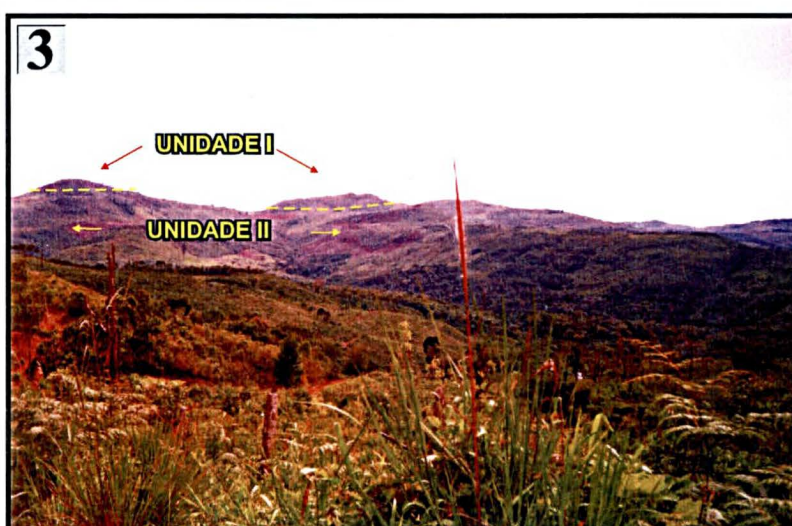


Foto 1 - Aspecto geral do relevo da área.

Foto 2 - Aspecto do relevo da área representado por rochas vulcânicas intermediárias ácidas no topo.

Foto 3 - Unidade I sobreposta a Unidade II.

estruturação predominante; “cornijas” alinhadas nas direções NS e NW-SE, porém com menor representatividade (foto 5). A seguir descrevem-se com mais detalhes as citadas unidades morfológicas:

- Unidade I: A partir de dados de campo e de fotografias aéreas na escala 1:25.000, observa-se que esta unidade ocorre principalmente na porção centro-leste e nordeste da área, apresenta topos longos e convexos, pouco dissecados, com extensões de 1,5 a 2,0km. Ela apresenta um relevo mais homogêneo, menos diferenciado e com declividade média menor que 10%. Os vales são abertos, com exceção das cabeceiras. A unidade I apresenta também áreas com banhados e “dales” (COPEL, 1992). O padrão da drenagem é condicionado em aproximadamente 80% pela estruturação da área representada por falhas e fraturas, verificada pelo autor a partir da fotointerpretação.

Os solos são pouco profundos, com textura argilosa, e são dos tipos Latossolo, Cambissolo Álico e também Litólico (foto 6). Estes foram observados pelo autor em consonância com a bibliografia (COPEL, 1992).

- Unidade II: As principais características desta unidade são a dissecação e o entalhamento altos; interflúvios amplos; topos pequenos, pouco convexos ou aplainados; vertentes longas e escalonadas pelos derrames em degraus; segmentos retilíneos e patamares rampeados (segmentos côncavos e convexos). A unidade II apresenta maior entalhamento que a unidade I, devido ao maior fraturamento dos derrames básicos, aproveitados pelos cursos d’água (foto 2).

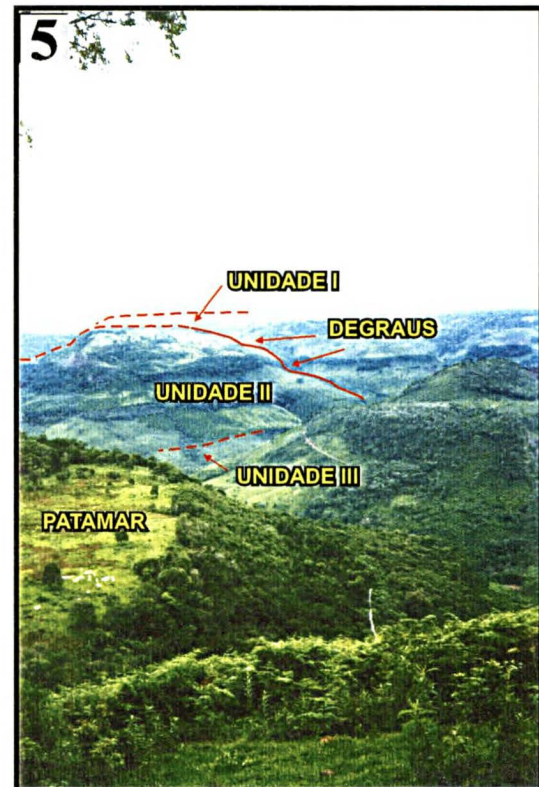


Foto 4 - Unidade II e Unidade III, caracterizadas por encostas ravinadas.

Foto 5 - Visão panorâmica das Unidades I, II e III na área.

Foto 6 - Solo Litólico (pouco profundo), de rocha vulcânica intermediária a ácida representando a Unidade I.

Outras formas encontradas na área são: “peraus”, tálus, colúvios e “anfiteatros de erosão”. Os “peraus” correspondem às regiões com fraturamento vertical, enquanto os colúvios e tálus, normalmente, estão associados aos sopés dos “peraus”; são áreas com alta suscetibilidade a processos de erosão e deslizamento. Os anfiteatros de erosão correspondem a *hollos*. Na tabela 5 estão resumidas as formas de relevo e suas relações com as unidades geomorfológicas.

TABELA 5 - UNIDADES MORFOLÓGICAS E FORMAS OBSERVADAS NA ÁREA

UNIDADE MORFOLÓGICA	FORMAS DE RELEVO	SUBSTRATO ROCHOSO
Unidade I	Topos planos, “ombreiras”, vertentes suaves, cornijas, diques anelares, interflúvios ravinados, ravinhas/sulcos, banhados	Vulcânicas intermediárias a ácidas
Unidade II	Cornijas, interflúvios ravinados, vertentes planas ravinadas, vertentes com sulcos, bacias côncavas/anfiteatros de erosão, topos dissecados, falésias, patamares, patamares inclinados, vertentes convexas, vertentes côncavas, tálus, colúvios	Vulcânicas básicas
Unidade III	Terraço coluvial, várzeas, voçorocas, assoreamentos	Vulcânicas básicas e aluviões

As declividades desta unidade situam-se entre 10 e 30%, a depender das condições locais do relevo em termos de rampas, vertentes e degraus escalonados; pode-se observar rampas de 10 a 25% e vertentes de até 30%.

Os solos desta unidade são os Cambissolos e Litólicos Álicos e também Terra Roxa Estruturada, estes mais desenvolvidos. Em geral, as maiores espessuras são encontradas nos materiais transportados do tipo colúvio, atingindo valores em torno de 4m (COPEL, 1993).

As vertentes côncavas são predominantes em áreas de topo dos derrames de rochas vulcânicas básicas, principalmente em locais de solos mais desenvolvidos. As vertentes convexas, em geral, estão associadas às quebras de relevo, indicando a base de um novo derrame.

As ravinas e sulcos são formas encontradas tanto nas litologias básicas quanto nas intermediárias a ácidas, principalmente em áreas sem cobertura vegetal e de antigos “carreiros” ou em estradas construídas sem planejamento, o que pode contribuir com os assoreamentos de rios e açudes no período de chuvas (foto 4). Terracetes de pisoteio de gado e deslizamentos são mais freqüentes na Unidade II. No item 5.2, procedimentos de segurança e prevenção, é mostrada documentação fotográfica destas feições.

Unidade III: A unidade III inclui as calhas dos rios e suas várzeas. Caracteriza-se por declividades menores que 15%, rampas alongadas, sob influência de rios e açudes. Os solos em geral são do tipo Terra Rocha Estruturada (COPEL, 1992). A área de ocorrência da unidade III apresenta alta suscetibilidade aos processos de erosão por voçorocamento e de assoreamentos, desencadeados principalmente pela ação antrópica. Destacam-se como atividades que podem induzir risco para estas áreas, as detonações sísmicas, abertura de estradas e caminhos e implantação de cercas e mourões (foto 2).

As formas de relevo que mais se destacam e que estão assinaladas no mapa geomorfológico apresentado no Anexo 2, são:

- cristas alongadas (divisores de água) nas direções NS, NW-SE e EW, como reflexo da estruturação (falhas e fraturas);
- cristas alongadas na porção centro-leste na direção NE-SW, mas não tão íngremes, porém com risco de quedas e lançamentos de blocos;

- cornijas, falésias e “peraus”, em geral associados à zona de fraturamento e cristas alongadas citadas anteriormente;
- rampas retilíneas coincidentes com a maioria dos ravinamentos;
- vertentes côncavas em cabeceiras (pequenas bacias de captação), coincidentes com anfiteatros de erosão;
- paredões, degraus escalonados e patamares correspondentes aos derrames básicos;
- vales mais encaixados para as cabeceiras, alinhados por falhas/fraturas.

Na porção centro-leste pode-se observar um padrão circular balizado por cristas alinhadas, coincidentes com sistema de fraturamento radial associado a um padrão circular divergente da drenagem. A disposição destas feições sugere tratar-se de uma morfoestrutura.

À medida que se prossegue em direção NNE-SSW, o relevo exibe com mais frequência formas de patamares e torna-se mais acidentado. Como consequência, os vales dos rios são mais encaixados, como se pode observar no padrão do arroio Caixãozinho (Anexo 2, canto inferior esquerdo).

4.3 HIDROGRAFIA

A rede de drenagem da área, representada na figura 14, tem padrão retilíneo a misto, com trechos retilíneos, parcialmente controlados por fraturamento, angulosidade média a alta e tropia multidirecional, segundo SOARES e FIORI (1976), e assimetria para os rios de 3ª, segundo a classificação de STRALFTRAHLER e STRALFTRAHLER (1979). A hidrografia da área foi elaborada

utilizando-se a base topográfica do IBGE e fotografias aéreas, nas escalas 1:50.000 e 1:25.000, respectivamente.

Observa-se também que os divisores em geral são alinhados nas direções preferenciais da estrutura, e os vales são mais encaixados na porção sul da área de estudo. A textura da drenagem é mais densa (média a alta) na porção centro-leste da área, diferindo das demais, cuja densidade é média a baixa, com o setor nordeste apresentando densidade baixa; forte grau de estruturação em 1ª e 2ª ordens, cujas direções principais são NS para a 1ª ordem, EW para a 2ª ordem e NE-SW e NW-SE para a 3ª ordem. Na tabela 6 pode-se observar a distribuição das direções e o grau de condicionamento da drenagem às estruturas locais.

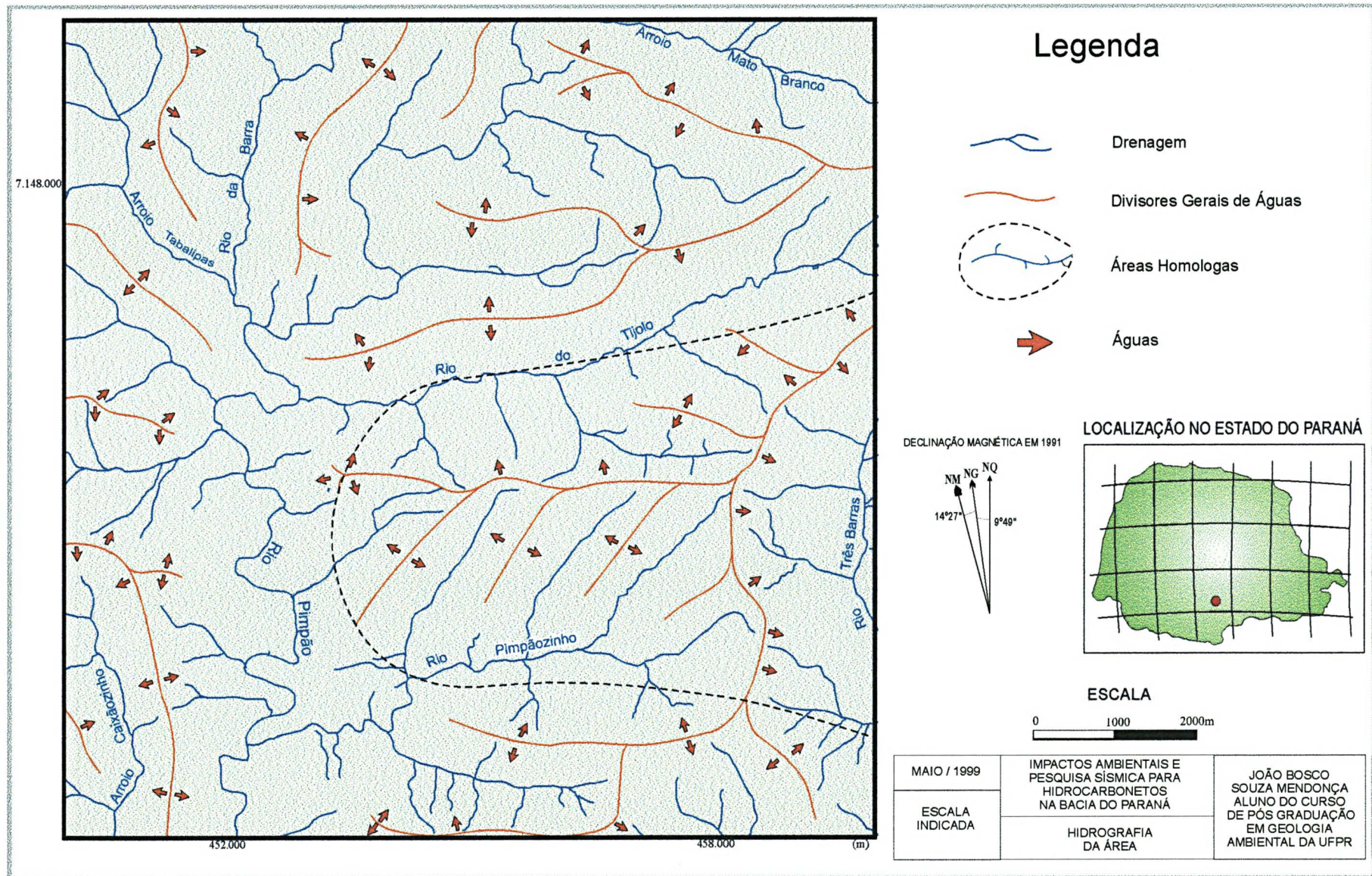
O rio Pimpão cruza a área na direção NS, com 50% do seu percurso controlado por fraturas/falhas e 20% no sentido EWE. Estas são as direções predominantes da maioria dos cursos d'água da área, à exceção do rio Três Barras e seus afluentes, os quais direcionam-se segundo NW-SE.

Na porção centro-oeste da área nota-se o condicionamento NS do rio Pimpão, enquanto os demais estão controlados por direções transversais. Nestes últimos, os vales são mais encaixados.

A densidade da rede de drenagem está relacionada a litologia, sendo mais alta na área das rochas vulcânicas básicas, na porção centro-leste da área. A densidade da drenagem foi calculada em termos de km de drenagem por km² da área de pesquisa, para os rios de 1ª, 2ª e 3ª ordem.

Na porção central o padrão da drenagem é misto, com predominância da direção EW. Os afluentes de 2ª ordem estão condicionados ao padrão de fraturamento NS. Observa-se ainda que ao sul do rio do Tijolo os vales dos rios são ligeiramente mais encaixados e as encostas são mais convexas, com exceção das

FIGURA 14 - HIDROGRAFIA DA ÁREA



encostas do rio Pimpão. Na parte leste da área os vales dos rios são mais encaixados.

Na porção centro-sudeste situam-se os divisores de água da bacia do rio Três Barras, na qual os vales estão encaixados nas cabeceiras e o ravinamento é intenso nas encostas. O impacto ambiental da ação antrópica foi registrado através dos desmatamentos.

TABELA 6 – DRENAGEM E RELAÇÃO COM A ESTRUTURA

Rios/Arroios	Posição na área	Fraturamento	Grau de condicionamento	Outras Observações
Rio Pimpão	NS	50%NS 20%EW	> 90%	
Rio da Barra	Porção NW	70%NS 30%E-NE/W-NW	80%	
Rio do Tijolo	Central	100%E-NE/W-SW	>90%	Fraturamento NW-SW
Rio Pimpãozinho	Centro - sul	90%EW, E-NE e W-SW	80%	Fraturamento NE-SW
Rio Três Barras	Oeste - sudoeste	30-40%NS 60-70%NW-SE	70%	
Rio Pinhalzinho	Sul	40%NS 40%NW-SE	80%	
Arroio Tabalipas	Noroeste	60%NW-SC 20%NS	70-80%	
Arroio Caixãozinho	Sudeste	35%NS 35%EW/NE-SW	60-70%	
Arroio Mato Branco	Extremo NE	90%E-SE/W-NW	90%	Fraturamento NE-SW e NS

4.4 PRECIPITAÇÃO

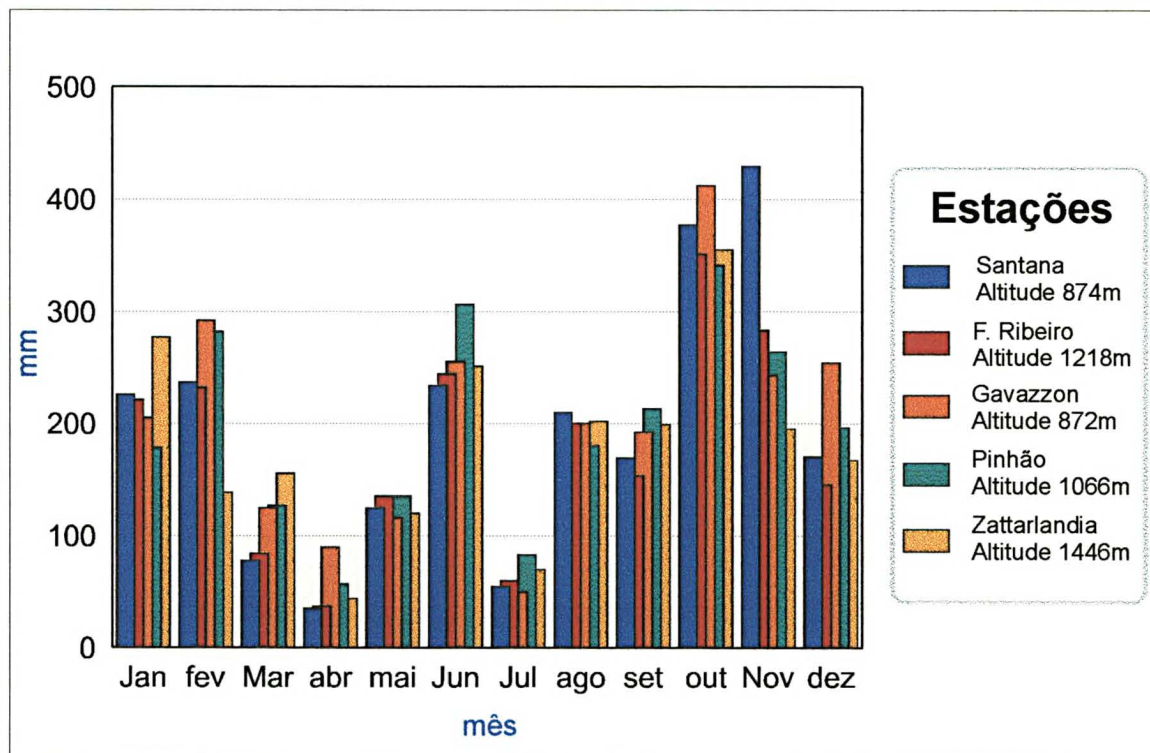
Os dados pluviométricos da área foram cedidos pela SUDERHSA para as 5 estações mais próximas da área de estudo no período de 1975 a 1998. Foram trabalhados os dados e plotados em gráficos, associando-os aos processos em pesquisa e às operações das equipes sísmicas. Foram analisadas as precipitações mínimas, máximas e médias mensais, totais anuais e totais de dias de chuvas para este período. Para o período de março e abril de 1998, com registro de escorregamento na área, foram analisadas as precipitações diárias.

Os resultados mostraram uma pluviosidade média mensal alta, acima de 150mm e ultrapassando os 200mm em algumas estações no mês de outubro. A média mensal tem se situado abaixo de 150mm para os meses de março, abril e maio, e próxima de 200mm para o período de outubro a fevereiro. Os eventos anômalos, também de extrema importância, não são raros na região (figuras 15 a 18). Os meses mais secos são os de junho, julho e agosto, principalmente este último. A precipitação média anual oscila entre 1700-1800mm e os anos de 1983, 1990 e 1997 foram os mais severos.

A média de dias de chuva por mês no período de outubro a março foi de 10 a 13 e a máxima de 26, nos últimos 22 anos. As médias dos demais meses são de 8 dias de chuvas para os meses de abril e maio, diminuindo para 6 dias em agosto. Eventos anômalos podem causar movimentos de massa também em meses considerados não muito chuvosos, como foi o exemplo ocorrido em abril de 1998.

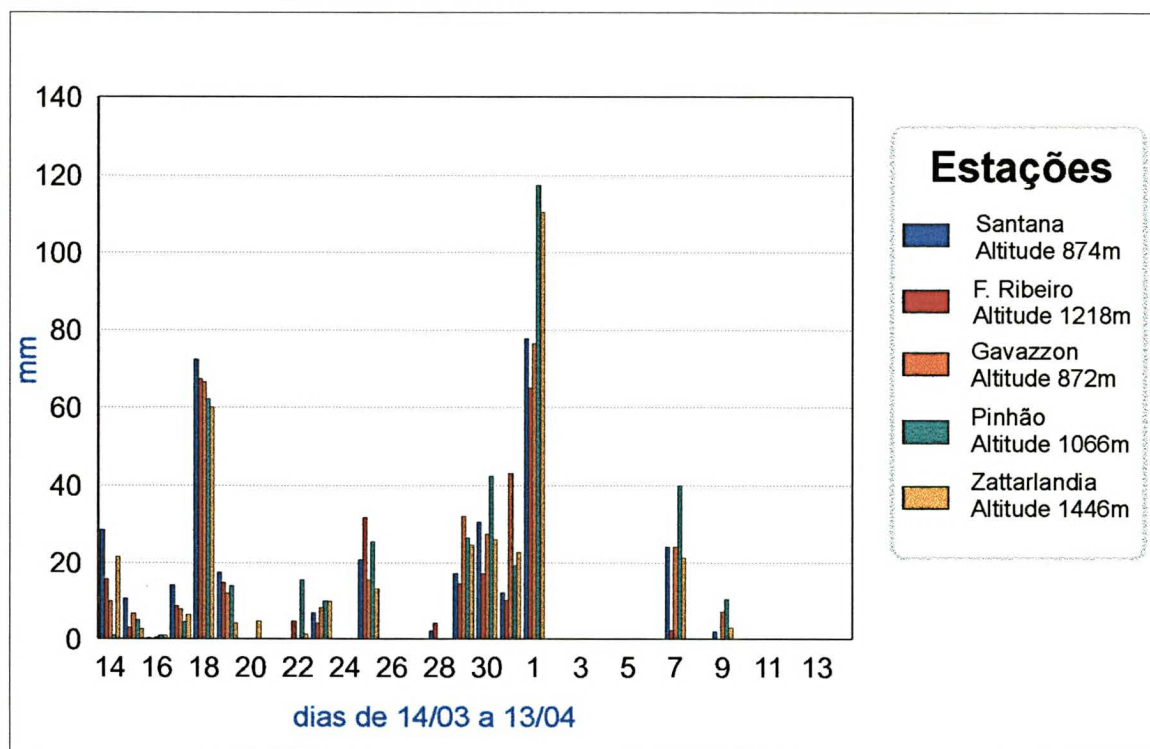
Para o balanço hídrico da área pode-se considerar que mais de 40% da precipitação escoam superficialmente, tendo como base estudos da COPEL (1992) (figura 19).

FIGURA 15 - PRECIPITAÇÕES MENSAIS NA ÁREA DURANTE O ANO DE 1997



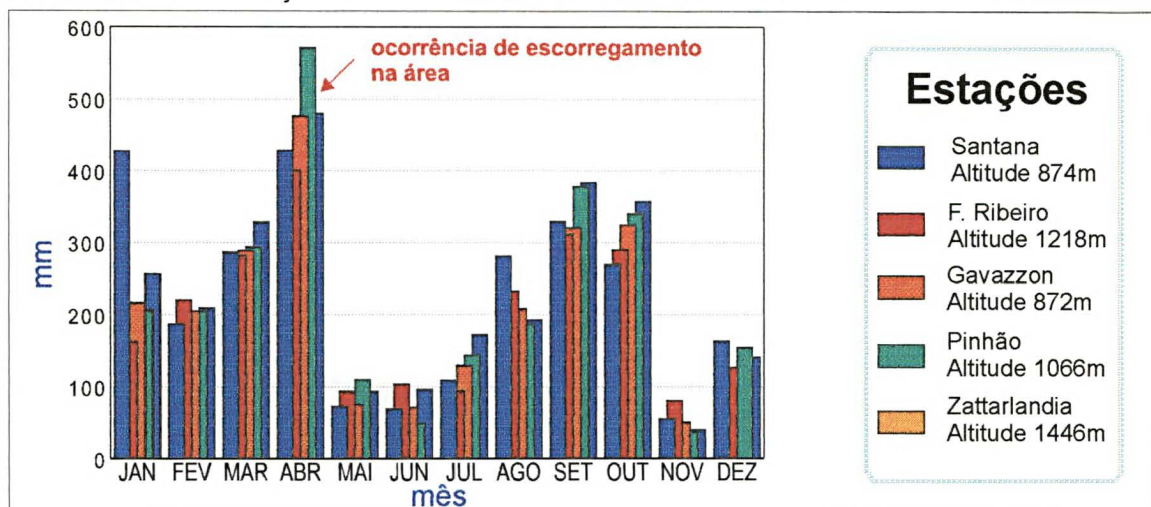
Fonte: SUDERHSA, (1998).

FIGURA 16 - PRECIPITAÇÕES DIÁRIAS NA ÁREA DURANTE O PERÍODO DE 14/03 E 14/04/1998



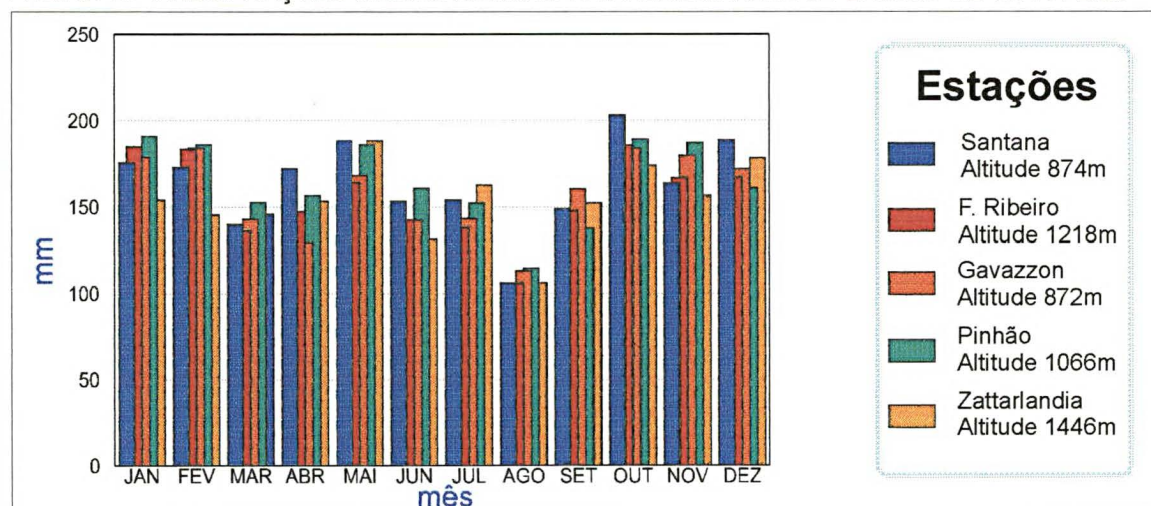
Fonte: Fonte: SUDERHSA, (1999).

FIGURA 17 - PRECIPITAÇÕES MENSAIS NA ÁREA DURANTE O ANO DE 1998



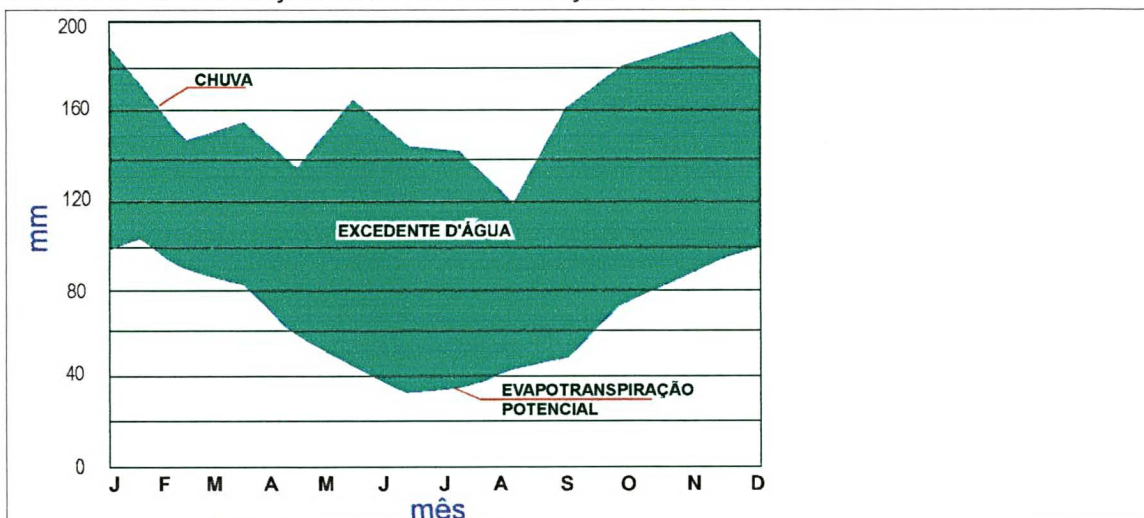
Fonte: Fonte: SUDERHSA, (1999).

FIGURA 18 - PRECIPITAÇÕES MÉDIAS MENSAIS NA ÁREA DURANTE O PERÍODO DE 1976 A 1998



Fonte: Fonte: SUDERHSA, (1999).

FIGURA 19 - PRECIPITAÇÃO E EVAPOTRANSPIRAÇÃO POTENCIAL



Fonte: Modificado de COPEL, (1992).

A utilização destes dados (atributos da área) é fundamental no planejamento das operações dos programas sísmicos, visando a prevenção dos impactos em estudo.

4.5 SOLOS

As principais associações de solos da área de estudo descritas na presente Dissertação são oriundas de levantamentos de solos do estado do Paraná, em nível de reconhecimento; de interpretação de fotografias aéreas em escala 1:25.000 realizada pelo autor; de informações contidas nos estudos da micro-bacia do rio Três Barras (EMATER, 1994) e Estudo de Impacto Ambiental (E.I.A) - Derivação do Rio Jordão (COPEL, 1992).

Uma vez que levantamentos de níveis categóricos mais elevados, devido às suas escalas, envolvem uma generalização das classes a serem cartografadas, é comum encontrar-se na literatura as chamadas associações de solos. Entretanto, aliando às informações fotointerpretadas pelo autor as pesquisas anteriormente mencionadas, procurou-se descrever as principais classes de solos da região sudeste de Pinhão.

Dentro da categoria de solos residuais, as associações de solos mais observadas na região são as Ra 9, Ca 21, Tra 2 e Ca 4, as quais serão descritas a seguir:

- Ra 9 - Associação de solos litólicos (Li) álicos e cambissolos (Ca) álicos, textura argilosa e fase pedregosa, em áreas de relevo ondulado a montanhoso, declividades de 15 a 25% com boa drenagem, mais associadas às cabeceiras e

nascentes de rios, segundo EMATER (1994). Do ponto de vista geológico, em grandes altitudes, predominam as litologias das rochas vulcânicas intermediárias a ácidas e/ou o contato com os basaltos, onde se observa no campo áreas com risco de erosão e quedas de blocos em declividades acima de 20% (foto 6).

- Ca 21 e Tra 2 – Associação de Cambissolo Tb Álico, substrato de rocha de derrame de *trap* e Terra Bruna Estruturada Álica, ambos com horizonte A proeminente, textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólea, relevo ondulado, de acordo com o levantamento da EMBRAPA (1981). No estudo da micro-bacia do rio Três Barras, tais associações estão relacionadas às declividades de 12 a 18%, e boa drenagem (EMATER, 1994).

A medida em que se vai aprofundando nos vales, e, conseqüentemente, freqüentando derrames básicos, os solos tendem a ser mais espessos (especialmente nos topos dos derrames) predominando a Terra Roxa Estruturada Álica associada a Cambissolos Álicos de textura argilosa, relevo forte e ondulado com 20 a 30% de declividade e drenagem moderada. Correspondem, no campo, a áreas com risco de erosão, escorregamento de talude e *piping* em locais com atividade antrópica caracterizada pela construção de açudes.

- Ca4 - Cambissolo Tb Álico com horizonte A proeminente, textura argilosa, fase floresta subtropical perenifólea, relevo suave ondulado de vertentes curtas e rochas do substrato do derrame de *trap* (EMATER, 1992).

Os solos dos basaltos têm cor marrom avermelhada predominante, são argilosos a muito argilosos, variando para argilo-siltosos nos horizontes mais superficiais. Em função da posição no derrame, o solo residual pode apresentar textura e colorações diferentes.

Na observação de campo os solos das rochas vulcânicas intermediárias a

ácidas apresentam-se em geral com coloração marrom clara a marrom mostarda, textura menos argilosa e menores espessuras do que aqueles encontrados no basalto. O horizonte superficial mais escuro é normalmente encontrado onde o solo residual é pouco espesso e com forte componente orgânica. Observam-se ainda solos bastante claros, “encascalhados”, cinza esbranquiçados, em áreas de solos litólicos e de topografia plana e pouca vegetação (foto 6).

As análises e os ensaios geotécnicos realizados em amostras da área, revelaram solos argilosos a muito argilosos e argilo-siltosos, pela classificação USDA. O mapeamento realizado na escala 1:25.000, a partir de fotointerpretação, trabalhos de campo e análises, possibilitou construir o mapa de materiais inconsolidados, cujos solos residuais englobam as classificações anteriormente descritas do ponto de vista pedo-agronômico (Anexo 4). Na tabela 7 está resumida a correlação dos níveis e tipos de mapeamentos utilizados no estudo dos solos da área neste trabalho.

Análises em solos de basaltos e de rochas vulcânicas intermediárias da região de Londrina, realizadas pelo CEEG da Universidade Estadual de Londrina (UEL)¹, mostraram solos com pré-adensamento e colapsibilidade, porosidade de 60%, umidade de 40 a 45%, índice de vazios > 1.5, LL 60%, LP 50%, massa específica em torno de 3g/cm³. Estes valores são bastante coerentes com os obtidos para as amostras da área em estudo.

A colapsibilidade pode ocorrer tanto em solos residuais como em solos transportados. Na maioria dos casos o solo perdeu estrutura de grãos *bulk-shaped*, freqüentemente na fração silte-areia fina. Nos solos residuais a estrutura de

¹ BRANCO, C. Palestra de Abertura da Inauguração do Sítio Experimental em Geotecnologia da UFPR, Curitiba, 1998.

colapsabilidade dos grãos é resultado da lixiviação do material solúvel e do material coloidal; mudanças na química do ambiente causam transformações nas forças interpartículas nos solos de granulometria fina, mudando algumas vezes a estabilidade inicial do arranjo destas partículas, tornando-o metaestável e susceptível ao colapso, quando fisicamente perturbadas (MITCHELL, 1992).

TABELA 7 – CORRELAÇÃO ENTRE OS NIVEIS DE MAPEAMENTO UTILIZADOS PARA ESTUDO DOS SOLOS DA ÁREA

ESCALA	TIPO	AUTOR	U/C*
1:600.000	Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná	EMBRAPA (1981)	U
1:600.000	Limitação do Uso do Solo do Estado do Paraná por Suscetibilidade à Erosão	EMBRAPA/SN LCS (1984)	C
1:600.000	Projeto da micro-bacia do Rio Três Barras (sudeste da área)	EMATER (1990)	U
1:250.000	E.I.A. Derivação dos rios Jordão e Pinhão.	COPEL (1992)	C

* U/C – utilizado/consultado

A partir dos estudos da COPEL (1992), observa-se que os Cambissolos estão associados aos afloramentos em relevo ondulado e são suscetíveis à erosão. Os solos Litólicos estão presentes tanto em topografias íngremes, como em áreas planas e levemente onduladas da unidade I. São solos minerais pouco desenvolvidos, com espessuras máximas de 80cm, e média mínima de 30cm, com o

substrato rochoso pouco alterado, não raro situado diretamente sobre a rocha, o que lhe intensifica a suscetibilidade à erosão, tornando as áreas de pasto, estradas, etc., os principais alvos a serem prevenidos quanto à ação das detonações das equipes sísmicas.

A Terra Bruna Estruturada ocorre em relevos ondulados ocupando vertentes curtas, a semelhança dos Cambissolos (COPEL, 1992). São solos minerais, não hidromórficos, bem drenados, de coloração brunada e profundidade média. Apresentam horizonte B textural, argilas de baixa CTC, baixo gradiente textural B/A e são ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio, decorrentes de rochas vulcânicas. A textura apresenta-se bastante argilosa tanto no horizonte A quanto no horizonte B, com estruturação granular média a fortemente desenvolvida no horizonte A; no horizonte B a estruturação é em blocos, fraca a medianamente desenvolvida. Registram alta CTC no horizonte A devido à matéria orgânica.

Estes solos apresentam alta suscetibilidade à erosão, quando ocorrem em relevo fortemente ondulado, e moderadamente suscetíveis quando o relevo é ondulado à suave ondulado. A baixa resistência à erosão pode se relacionar com o percentual elevado de argila dispersa em água no horizonte A, em contraste com o horizonte Bt onde quase toda a argila se encontra floculada.

4.6 VEGETAÇÃO

Às florestas subtropicais de araucária da área estão associadas a imbuía, ocorrendo também espécies tais como a sacopema, cedro e o camboatá vermelho, entre outras (COPEL, 1992).

Os campos ocorrem em áreas de relevo plano pouco ondulado, caracterizados por gramíneas e desprovidos de espécies arbóreas em solos rasos; onde o solo apresenta melhores condições desenvolvem-se os “campos sujos”, e pode-se encontrar vegetação do tipo vassoura, carrapicho e carqueja. Os banhados surgem nas áreas de campo com ligeiras depressões.

As florestas subtropicais pluviais com matas nativas associadas aos vales têm composição diversificada (foto 7). As matas de galeria também estão nesta unidade e, a depender da inclinação das encostas, apresentam maior ou menor largura. São observados ainda reflorestamentos de *pinus* e em menor escala eucaliptos.

FOTO 7 – FLORESTA SUBTROPICAL PLUVIAL



Cerca de 40% da área é ocupada predominantemente por “campos sujos”, os quais constituem campos com ocorrência de araucárias e outras espécies e culturas. As florestas nativas perfazem também uma cobertura média de 40% da área; os 20% restantes estão distribuídos em áreas com culturas agrícolas, reflorestamento e solos expostos. Convém ressaltar a existência da Reserva Florestal de Pinhão, a sudoeste da área de trabalho.

A ocupação agropastoril e a extração florestal têm causado sérios danos a cobertura vegetal da área através de desmatamentos, queimadas, inclusive dentro de reservas legais conforme observado pelo autor (fotos 1 e 3). A assinatura destes processos é observada desde o solo exposto para a utilização da lavoura, nos processos de erosão, bem como nas diversas associações vegetais que refletem diferentes estágios de regeneração natural, representados por capoeirinhas, capoeiras e vassouras em áreas de campo onde houve desmatamento; samambaias, as quais indicam áreas de solos muito pobres devido às sucessivas queimadas; bracatingas que surgem em áreas de desmatamento de araucárias.

4.7 CARTA DE USO DO SOLO

A carta de uso do solo foi elaborada pelo Departamento de Engenharia Florestal das Indústrias João José Zattar, através de método estatístico de classificação supervisionada. Foi utilizada a imagem Landsat/TM, base 222, órbita 078 quadrante B das bandas 3, 4 e 5. A classificação supervisionada utilizando algoritmos multivariáveis, tem como base áreas ou amostras de treinamento, partindo de uma classe de uso dos solos compatível com a integração

da interpretação realizada através de fotografias aéreas convencionais na escala 1:25.000 e da interpretação das imagens de satélites. O produto inicial, a carta de uso do solo, foi confeccionada em escala 1:100.000.

As classes de uso do solo definidas foram: solo exposto, cultura agrícola, reflorestamento, floresta nativa e campo sujo com araucária. A esta classificação foram acrescentadas pelo autor as RLs (linhas sísmicas) e a localização dos assentamentos humanos.

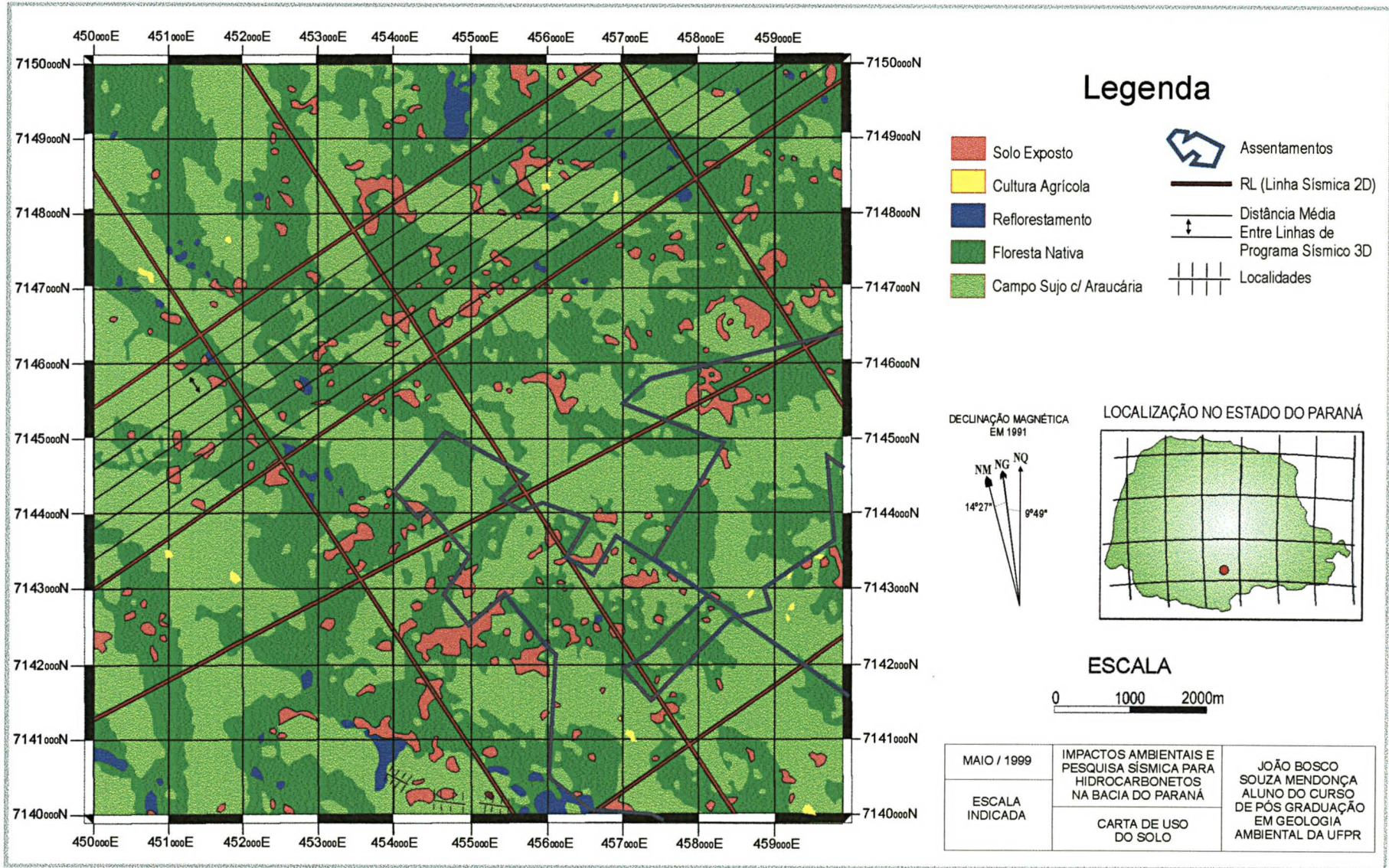
As fotografias aéreas são de 1980 e as imagens de 1988. A classificação do uso do solo realizada pelas Indústrias Zattar é atualizada pelos técnicos e engenheiros em campo para as áreas desta madeireira, que corresponde à aproximadamente 50% da área em estudo; a adaptação e classificação foi realizada a partir das imagens Landsat/TM 1993, do INPE, na escala 1:100.000, para a escala 1:50.000 (figura 20). Outras indústrias madeireiras estão em atividade na área, com localização próxima aos assentamentos.

4.8 MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS/SOLOS

Este mapa foi elaborado a partir da fotointerpretação, dados de campo de ocorrências, características do relevo e de análises de solos e rochas (Anexo 4).

Os colúvios e rampas de colúvios foram observados em fotografias aéreas a partir de características próprias de forma, textura, vegetação, umidade (coloração mais escura), posição no relevo, análise da encosta, relação com processos erosivos de ravinamento, densidade da drenagem etc., associados à verificação de campo. A partir da observação da freqüente associação dos colúvios com os

FIGURA 20 - CARTA DE USO DO SOLO



Fonte: Modificado de Indústrias Zattar, (1998).

lineamentos (zonas de falhas), principalmente no cruzamento do mapa geológico com o mapa de materiais inconsolidados, orientou-se a identificação e localização desses elementos nas fotografias.

Observou-se tálus no campo, em posicionamento nos sopés das encostas, com maior associação aos relevos mais íngremes/peraus, porém de difícil observação na fotointerpretação.

Os solos residuais observados são passíveis de diferenciação no campo em termos de derrames ácidos intermediários, principalmente em função da coloração. Estes solos foram detalhados no item 4.5.

4.9 MAPA DE PONTOS E OCORRÊNCIAS/DOCUMENTAÇÃO FOTOGRAFICA

O mapa de pontos e ocorrências/documentação fotográfica corresponde a plotagem, em escala 1:25.000, das ocorrências, afloramentos, amostragens, caminhamentos e pontos fotografados. As ocorrências, obtidas das observações de campo e obedecendo a critérios de fotointerpretação, estão subdivididas em erosão, movimentos de massa, desmatamento, queimadas, atividades antrópicas, fotointerpretação e observação e registro de campo (Anexo 5). A documentação fotográfica está nas páginas seguintes (fotos 8 a 13).

As fotos 8 a 13J correspondem à ocorrências na área de estudo e as fotos 13K a 13 N correspondem à ocorrências observadas no município de Roncador – PR, área do programa sísmico 3D de Mato Rico. Convém salientar que todas as demais fotos (de 1 a 20) correspondem a registros associados aos

processos em estudo.

Muitas ocorrências podem estar associadas às atividades das equipes sísmicas, no entanto, a retroanálise, de um modo geral, ficou prejudicada por imprecisão das informações obtidas com relação a datas, e também pelo fato de muitas ocorrências não estarem mais ativas. Outro fato bastante comum é que os atuais proprietários de muitas áreas, não conhecem o passado de suas terras, pois as compraram recentemente, principalmente na região do assentamento Faxinal dos Ribeiros.

A ocorrência de escorregamento com fenda de tração, que será apresentada no capítulo 5, está situada próximo à uma linha sísmica podendo ter tido como um dos agentes a detonação das equipes sísmicas, devido ao período do acontecimento que foi logo depois dos trabalhos sísmicos, segundo os proprietários, mas as informações são imprecisas. A relação provavelmente existe, direta ou indiretamente.

A chance de uma linha sísmica num programa 2D típico atingir um evento ou acelerá-lo ou criá-lo é de 1 para cada 2.500m, se for considerado um referencial perpendicular fixo, e de 1 para cada 100–150m num programa 3D típico, uma vez que para um levantamento sísmico tipo 2D as linhas sísmicas estão distanciadas entre si por 2.500m em média e para o levantamento 3D, a distância média entre as linhas sísmicas é de 100m, conforme já citado anteriormente.



Foto 8 - Erosão em sulcos profundos.

Foto 9 - Erosão em área de pastagem com solos rasos de vulcânicas intermediárias a ácidas.

Foto 10 - Estrada na área com erosão em sulcos profundos.



Foto 11 - *Piping/ Voçorocamento*, na porção sul da área.

Foto 12 - Avanço da erosão a montante. *Piping/ Voçorocamento*.



Foto 13A - Erosão em ravinas e sucros.
Foto 13B - *Piping* / vaçoramentos / colapso.
Foto 13C - Encostas com instabilidade.

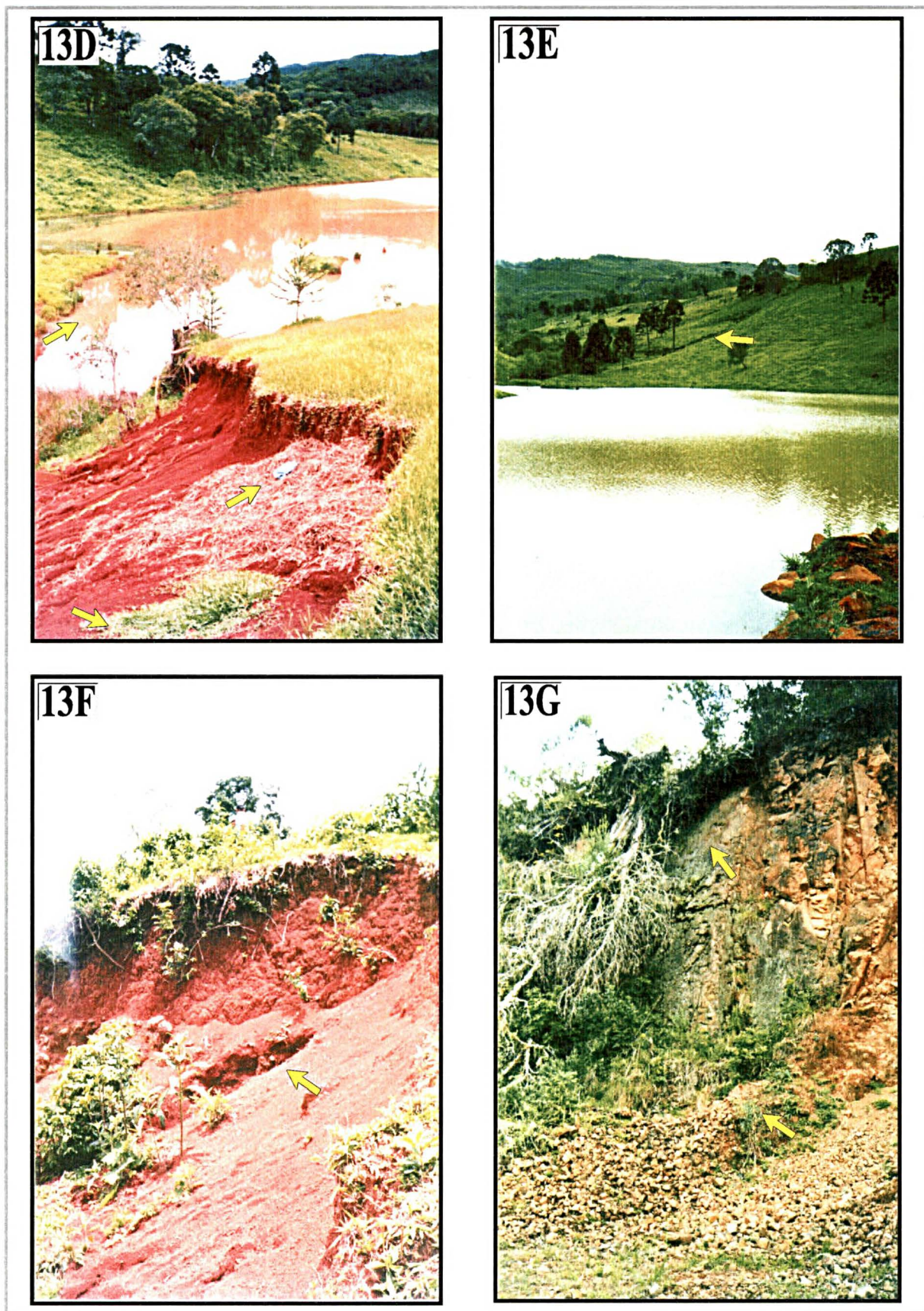


Foto 13D - Erosão / subsidência / assoreamento.

Foto 13E - Escorregamento.

Foto 13F - *Piping* / subsidência / escorregamento.

Foto 13G - Queda de blocos.

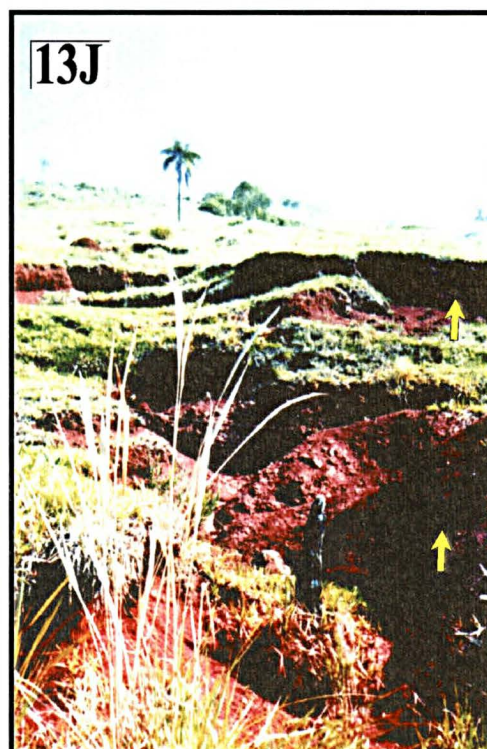


Foto 13H - Escorregamento circular.
Foto 13I - Rastejo.
Foto 13J - Rastejo / erosão em sucos.

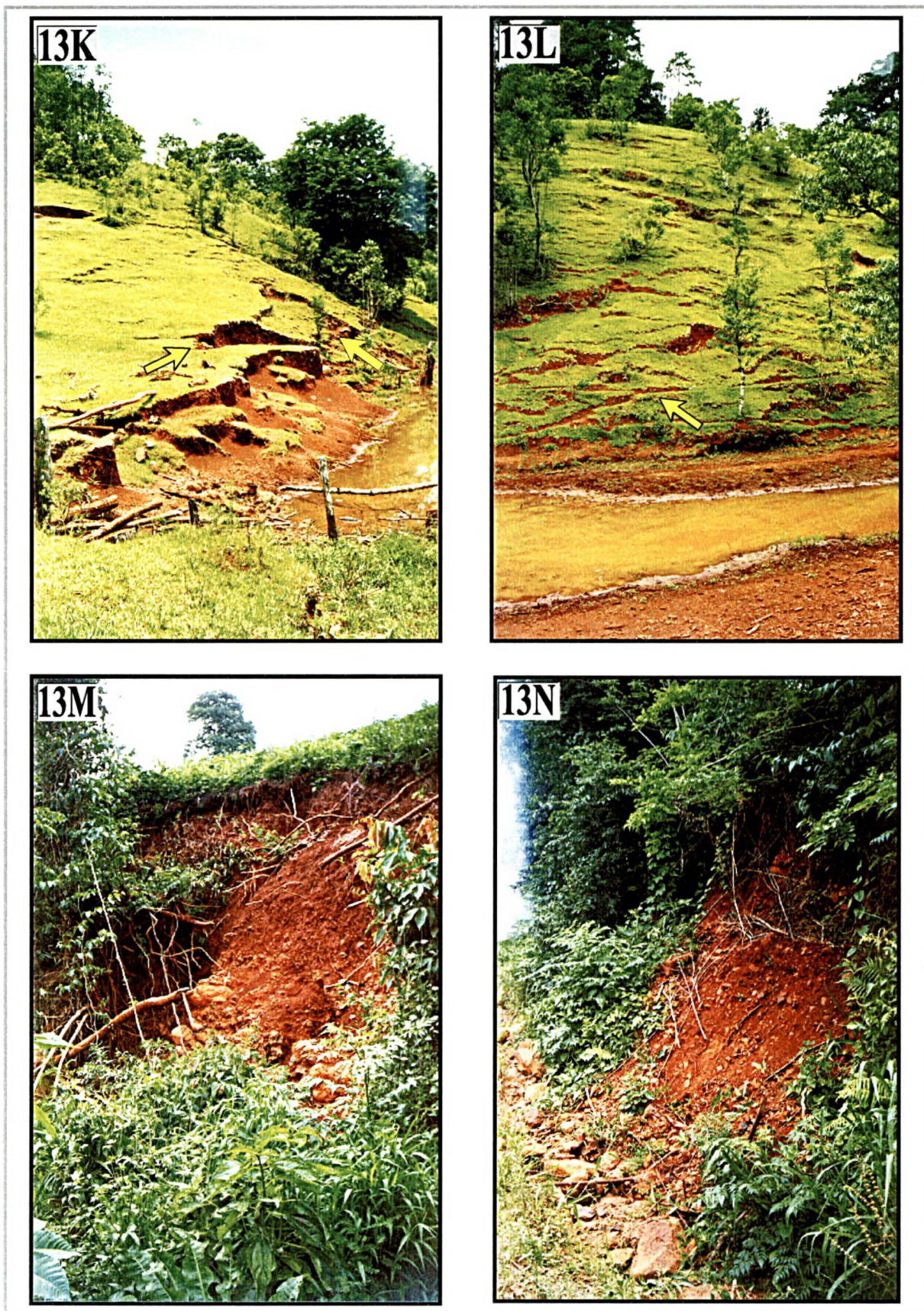


Foto 13K - Instabilidade de encosta (cicatriz, colapso), erosão e assoreamento de açude.

Foto 13L - Instabilidade de encosta (cicatrizes) e carreiros de animais.

Foto 13M - Escorregamento de talude em corte de estrada. Solo com blocos/ talus.

Foto 13N - Escorregamento de talude em corte de estrada. Solo com blocos/ talus.

O cruzamento de mapas temáticos foi realizado através dos mapas de declividade e de uso e ocupação do solo; de ocorrências e drenagem; e de ocorrências e MDT; entre outros.

O cruzamento destes dados, associado às fotografias aéreas convencionais, mostrou erosão/ravinamento e sulco em cabeceira de rios por ação antrópica, através de desmatamentos. A sucessão da vegetação – campo sujo, vassourão, etc., mostra a regeneração da cobertura em relação à erosão. Este processo em cabeceiras é mais constante na porção central da área (rio do Tijolo). A evolução do processo é função do tipo de cobertura vegetal.

O cruzamento do mapa de ocorrências com o mapa de materiais inconsolidados evidenciou que a maioria das ocorrências de escorregamento estão associadas a áreas de colúvios.

O cruzamento do mapa de materiais inconsolidados com o mapa geológico mostrou um maior número de ocorrências de colúvio nas áreas de rochas vulcânicas básicas, em geral associadas a fraturamentos e falhas (lineamentos em fotointerpretação).

O cruzamento do mapa de ocorrências com o mapa geomorfológico indicou que a maioria das ocorrências de erosão e movimento de massa está situada na unidade II (basaltos).

O Anexo 6 apresenta o cruzamento do mapa de ocorrências com o mapa geológico, mostrando que a maioria das ocorrências de erosão e movimento de massa na área estão associados aos basaltos.

Para o mapa de ocorrências e de uso do solo/assentamentos, esta interação indicou que 60 a 70% das ocorrências estão situadas nas áreas dos assentamentos.

4.10 RESULTADOS ANALÍTICOS

4.10.1 Análises de solos e ensaios geotécnicos

Os resultados das análises de solo e ensaios geotécnicos para as amostras da área estão resumidos na figura 21. Os ensaios específicos e as análises estão discriminados nos itens seguintes.

4.10.2 Análises granulométricas

As análises granulométricas mostraram solos de granulação fina classificados segundo o triângulo das classes texturais simplificadas – USDA, como solos argilosos e muito argilosos. Os solos muito argilosos apresentaram teores médios da fração argila de 61%, teores médios de silte de 28% e teor médio de 9% de areia. A amostra de maior teor de argila apresentou valores de 67% (figuras 21 e 22).

As amostras classificadas como argilosas apresentam teores de 44 a 59% em argila, alto teor em silte, valor médio de 34%, mínimo de 31 e máximo de 38%, e areia variando de 5 a 18%.

Condições geológicas, pedológicas e hidrológicas, denunciando áreas potenciais de solifluxão, incluem a presença de estruturas geológicas e tipos de rocha desfavoráveis, predominância de materiais de granulação fina e excesso de água ou condições que permitam acesso aos materiais de granulação fina. As ocorrências de voçorocamento mostradas nas fotos 11 e 12, provavelmente são

resultado da concentração de escoamento superficial e subsuperficial da área associada às atividades antrópicas diversas, como o desmatamento, seguido por compactação do solo.

A distribuição da fração fina comparada as CTC, mostram que as argilas analisadas são de baixa atividade do tipo 1:1 (caulinita).

A análise microscópica das frações que ficaram retidas nas peneiras n^{os} 9, 16, 32 e 60, através da binocular, mostrou agregados de argilas com sílica e minerais pesados. O material retido nas peneiras n^{os} 9 e 16 equivale à textura “arenosa” da análise de campo do solo (*in natura*).

A presença destes agregados denota a importância do *fabric* na relação com os fenômenos de erosão laminar e sulcos. A figura 5 mostra os fatores determinantes da estrutura e suas relações com as detonações das equipes sísmicas.

A amostra de solo JB 324 representa o horizonte A, tem teores elevados de argila e foi coletada em local sem nenhum processo visível de instabilidade. A amostra JB 323-A, coletada na mesma encosta, mas em local de instabilidade, apresenta menores teores de argila no horizonte A, podendo isso significar que está havendo perda de argila no processo de escorregamento.

FIGURA 21 - BOLETIM

SELAB - Serviço de Laboratório

QUADRO RESUMO DOS ENSAIOS GEOTÉCNICOS

Número da Amostra / Número Laboratório	Sedimento			Classe Textural *	Índices de Campo			LL	LP	Adsorção de Azul de Metileno				pH em água	% de Pesados	Argilo Mineral **	Cor ***		
					ρs g/cm3	ρdc g/cm3	eo			CTC		Vb	Acb						
	MEQ / 100g solo	SE m ² /g argila																	
	Ag %	Si %	Ar %																
JB 318 - A ZAB 016	61	28	11	muito argilosa	2,84	1,43	0,98	69,2	43,4	7,04	11,55	55,1	90,4	2,25	3,69	4,7	3,81	-	7,5 YR 4/4 marrom
JB 318 - B ZAB 017	60	28	12	argilosa a muito arg	2,89	1,55	0,86	71,8	44,3	7,54	12,57	59,0	98,4	2,41	4,02	5,1	4,18	-	7,5 YR 4/4 marrom
JB 319 - A ZAB 018	60	29	11	argilosa a muito arg	2,75	1,40	0,96	48,0	34,9	6,39	10,64	50,0	83,3	2,04	3,40	5,4	1,31	C 1:1	10 YR 5/3 marrom claro
JB 319 - B ZAB 019	62	28	10	muito argilosa	2,77	1,44	0,91	60,7	42,3	7,14	11,52	55,9	90,2	2,29	3,69	4,5	2,6	-	7,5 YR 5/6 marr. esverdeado
JB 320 - A ZAB 020	60	25	15	argilosa a muito arg	2,85	1,42	1,00	67,8	45,3	7,83	13,05	61,3	102,1	2,50	4,17	5,1	-	-	7,5 YR 5/8 marr. amarelado
JB 320 - A2 ZAB 021	51	31	18	argilosa	2,84	1,50	0,82	76,0	47,3	9,20	18,03	72,0	141,1	2,94	5,77	5,1	-	-	7,5 YR 5/8 marr. amarelado
JB 320 - B ZAB 022	44	35	21	argilosa	2,81	1,47	0,91	74,6	47,4	8,48	19,28	66,4	150,9	2,71	6,17	4,7	-	C 1:1	5 YR 5/6 verm. amarelado
JB 322 ZAB 023	59	33	8	argilosa	2,75	1,37	1,07	64,5	45,9	6,25	10,60	48,9	83,0	2,00	3,39	4,9	1,2	-	7,5 YR 4/4 marrom
JB 323 - A ZAB 024	54	38	8	argilosa	2,80	1,43	0,95	74,0	47,8	5,43	10,06	42,5	18,7	1,74	3,22	4,3	-	-	7,5 YR 4/4 marrom
JB 324 ZAB 025	67	28	5	muito argilosa	2,79	1,40	0,99	72,0	47,0	4,40	6,57	34,5	51,4	1,41	2,10	4,7	-	-	7,5 YR 4/4 marrom
JB 312 •					2,82			55,5	20,8										
JB 313 •					2,77			53,5	20,7										
JB 314 •					2,78			54,0	20,9										

-  Solo residual rocha intermediária a acida
-  Colúvio (basalto)
-  Solo residual (basalto)
-  Voçoroca (basalto)
-  Hierarquiação
-  de Classe
-  Sugerida

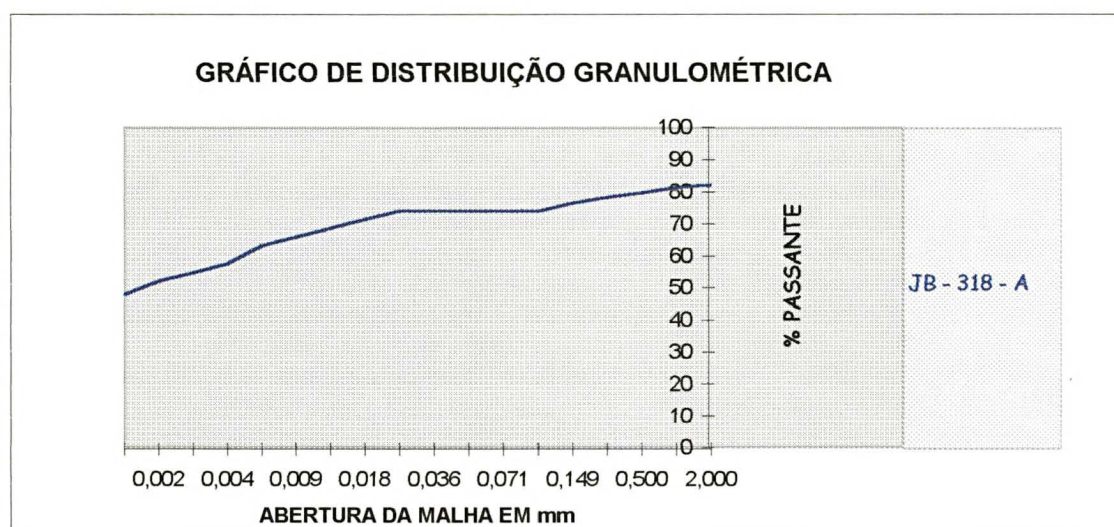
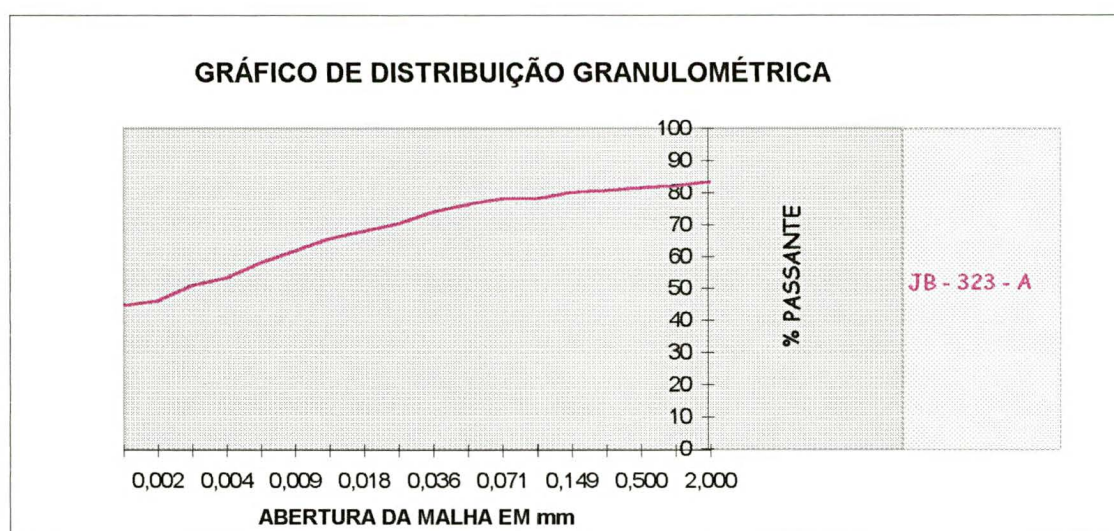
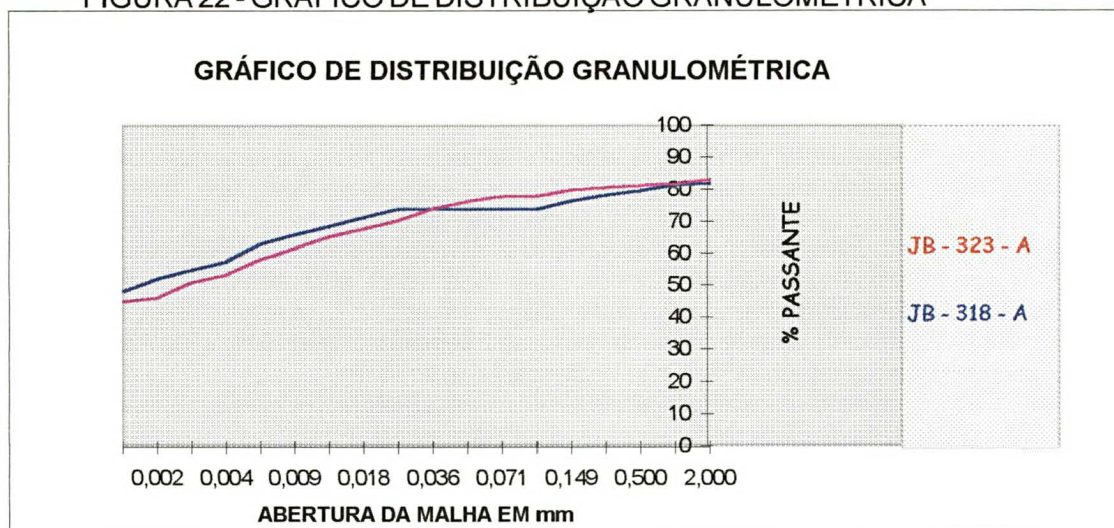
* - Triângulo empregado para determinação das classes texturais simplificadas: USDA

** - Argilo Mineral determinado via análise térmico-diferencial -ATD

• Ensaios realizados na Solotécnica

*** - Manual comparativo de cores: MUNSELL SOIL COLOR CHARTS

FIGURA 22 - GRÁFICO DE DISTRIBUIÇÃO GRANULOMÉTRICA



4.10.3 Granulometria de solos *in natura*

Estes ensaios foram realizados para todas as amostras *in natura*, em face da diferença marcante entre as características de campo dos horizontes superficiais “arenosos” e a sua classificação após o ensaio de granulometria com sedimentação (argilosos a muito argilosos). Os resultados confirmaram para os aglomerados de argila e outros minerais, uma granulometria mais “arenosa” para o solo *in natura*.

4.10.4 Índices de consistência

Os resultados obtidos para os limites de liquidez (LL) das amostras analisadas apresentaram uma média de 68%, podendo-se dividir em dois grupos: o primeiro com valor médio de 58%, com mínimo de 48 e máximo de 64%, e o outro grupo com valores mais elevados, ou seja, média de 72%, com mínimo de 67,8 e máximo de 74,6%.

Os resultados dos limites de plasticidade (LP) são mais homogêneos, com média de 44,5% para todas as amostras com exceção da amostra JB 319-A, com valor de 34,9% e que corresponde ao horizonte A do solo com ravinamento/sulco.

As amostras de solo coletadas na ocorrência da voçoroca Novo Paraíso (fotos 11, 12 e 13B), apresentaram valores de LL menores que os das amostras coletadas nas encostas do vale onde está situada a ocorrência de escorregamento.

Os índices de plasticidade máximos correspondem às amostras da voçoroca da Fazenda Novo Paraíso, e os valores mais baixos são os das amostras JB 319 e JB 319-B.

4.10.5 Massa específica dos sólidos (ρ_s)

Estes índices são bastante uniformes, com valores variando entre 2,80 a 2,89; apenas três valores estão entre 2,75 e 2,77. Nos pontos onde foram amostrados, ou seja, nos horizontes A e B, este último apresentou valores de (ρ_s) mais elevados. Observa-se que para este índice muitas amostras apresentam valores altos, quando comparados com as outras análises do horizonte A.

Os valores da massa específica seca oscilam entre 1,40 a 1,55, com valor mínimo de 1,37 para a amostra JB 322.

4.10.6 Índice de vazios (e_o)

Os valores médios variam de 0,86 a 0,98, sendo o mais baixo correspondente á 0,82 (amostra JB 320-A2), e os mais altos aqueles das amostras JB 320-A (1,0) e JB 322 (1,07). Observa-se também que o índice de vazios para as amostras JB 318 e JB 319 apresentaram valores mais altos no horizonte A que os do horizonte B.

4.10.7 Capacidade de troca catiônica (CTC) e superfície específica (SE)

As amostras analisadas, em geral, apresentam capacidade de troca de cátions (CTC) com valores médios (meg/100g) em torno de 7 para os solos e de 12,38 para as argilas. Os valores mais baixos para solo e argila foram apresentados pela amostra JB 324; os valores mais elevados são das amostras JB 320-A2 e

JB 320-B, ou seja, 9,20 e 8,48meg/100g para solo e 18,03 e 19,28meg/100g quando da presença de argilas de atividades média a alta.

A superfície específica (m^2/g) tanto para solos como para as argilas, apresenta valores menores nas amostras JB 322, JB 323-A e JB 324. Os valores mais altos novamente pertencem às amostras JB 320-A2 e JB 320-B.

Os valores obtidos para Vb e Acb (g/100g) foram menores nas amostras JB 322, JB 323-A e JB 324. Os valores mais altos novamente pertencem às amostras JB 320-A2 e JB 320-B.

4.10.8 Análise térmico diferenciada (ATD)

As análises térmico diferenciadas (ATD) foram realizados para 02 amostras, JB 319-A e JB 320-B. Ambas apresentaram picos correspondentes à caulinita.

4.10.9 Análises mineralógicas através de lupa binocular e análises de minerais pesados

As análises mineralógicas através da lupa binocular evidenciaram grande quantidade (50 a 60%) de aglomerado de argila arredondado de cor marrom, contendo grãos diminutos de materiais diversos, grãos de quartzo fraturados, 30 a 40% com impregnação de minerais opacos, magnetita e óxido de ferro e outros minerais amorfos (sílica). A medida em que se desloca para a fração mais fina, aumenta o percentual de magnetita e de minerais amorfos (calcedônia) na

amostra (amostra JB 319-A).

Já na amostra JB 320-B, observa-se muitos aglomerados de argila contendo 20% de mineral verde, microcristalino, provavelmente mineral de cobre (crisocola), não raro impregnado de minerais opacos. Observam-se também opacos (magnetita) e quartzo leitoso impregnado de minerais opacos. O restante da composição é de carvão vegetal e vidro vulcânico. Os minerais opacos ocorrem também nas amostras que correspondem ao horizonte B.

As análises de minerais pesados foram realizadas apenas para as amostras JB 318, JB 319 e JB 322. Para as amostras JB 318 e JB 319 os valores apresentaram-se mais elevados no horizonte B do solo (figura 21).

4.10.10 Potencial hidrogeniônico (pH) e coloração dos solos

O potencial hidrogeniônico (pH) dos solos analisados, medido em água, apresenta-se ácido com valores em geral abaixo de 5.0.

A média é de 4.85, mínimo de 4.3 e máximo 5.1, para as 10 amostras determinadas.

Em geral a coloração dos solos da área é marrom. A classificação de laboratório forneceu solos marrons 7,5 YR 4/4, YR 5/3, YR 5/6 e YR 5/8. No campo observa-se que os solos das rochas vulcânicas intermediárias a ácidas apresentam-se em geral de coloração marrom clara a marrom amarelado mostarda; os horizontes mais superficiais, mais escuros, são normalmente encontrados onde o solo residual é pouco espesso e com forte componente orgânica. Observam-se ainda solos bastante claros, "encascalhados", cinza esbranquiçados em áreas de

solos litólicos e de topografia plana.

4.10.11 Outras relações obtidas

A análise estatística, a correlação dos valores mínimos, médios e máximos observados na figura 21, sugere uma hierarquização de três classes, com alta correlação ente si, para os índices determinados.

As amostras JB 318 e JB 319 são amostras de solo residual de rochas vulcânicas intermediárias a ácidas, com ocorrência de processos de erosão em sulcos que atingem o horizonte B. A amostra JB 320 é representativa de escorregamento de talude em corte de estrada em solos de basalto.

As amostras JB 322 e JB 323 são correspondentes a escorregamentos em encostas naturais em basaltos. A amostra JB 324 foi coletada na mesmo vale das amostras JB 322 e JB 323, encosta sem processo de escorregamento. As amostras JB 312, JB 313 e JB 314 correspondem a coleta em voçoroca em entorno de açude.

4.10.12 Análises petrográficas

As lâminas petrográficas de rochas efusivas básicas da área apresentaram a seguinte composição mineralógica: plagioclásios (labradorita), piroxênios, magnetita (opaca) e pouco quartzo. Algumas amostras apresentaram percentagens altas de mineral de cobre, predominando a crisocola. As rochas vulcânicas intermediárias a ácidas apresentaram feldspatos alcalinos (fenocristais de ortoclásio), plagioclásios,

piroxênios (augita, quartzo) e intercrescimento gráfico do quartzo com o feldspato alcalino.

4.10.13 Resultados dos testes de lançamentos

A conclusão mais importante destes testes é a de que a profundidade de colocação da carga é um parâmetro fundamental para a segurança dos integrantes do grupo e de terceiros. Erros aparentemente pequenos na perfuração aumentam em muito a energia de lançamento podendo determinar a ocorrência de acidentes fatais. A verificação da profundidade da carga é impossível após sua colocação e tamponamento.

O resultado destes testes mostrou que a mínima variação (<10cm) na profundidade para furos menores que 1m, acarreta um aumento considerável na energia, velocidade e alcance dos blocos lançados, comprometendo a segurança de pessoas, aumentando o risco e o grau de acidentes (tabela 8).

Nos furos situados na meia encosta, como esperado, o sopro predomina para "jusante" (pois o maior lançamento é perpendicular à superfície do solo), sendo que o lançamento chega a ser crítico para profundidades de 0,75m e 0,509 m, atingindo distâncias observadas de 90m. O furo de 0,90m apresentou energia relativamente alta talvez devido à laje subjacente.

TABELA 8 – RESUMO DOS RESULTADOS DO TESTE DE LANÇAMENTO

GRUPO		CRONÔMETRO		VÍDEO	
FUROS (prof. m) Tipo de encosta	TEMPO T. s	VELOC. V m/s	ALCANCE m	VELOC. Vi m/s	ENERGIA J/kg
1.00 m PLANO	3.2s	16m/s	26m	15m/s	112 J/kg
1.00 m INCLINADO	3.6s	18m/s	32m	19m/s	180 J/kg
0.90 m INCLINADO	5.9s	29m/s	85m	30m/s	450 J/kg
0,75 m INCLINADO	6.7s	33m/s	110m	40m/s	800 J/kg
0,50 m INCLINADO	7.3s	36m/s	131m	51m/s	1300 J/kg

Fonte: Mendonça e Palm (1994).

Durante o teste, o operador de câmara ficou a 100 m da detonação. Esta distância revelou-se perigosa para furos de 0,75 e 0,50m, devendo-se observar distâncias maiores durante os futuros testes com furos com menos de 1 metro ou testes com variações no modo de tamponamento. Os demais participantes (detonador, grupos de detonação e supervisor de SSMA) ficaram de 130 a 150m do ponto das explosões.

4.10.14 Aplicação dos experimentos de LANGEFORS e KIHLSSTRÖM (1973 *apud* HOEK e BRAY, 1994) em programas sísmicos 3D

Uma das maneiras pela qual as detonações da equipe sísmica podem diminuir os parâmetros de resistência ao intemperismo da rocha/saprolito é o desenvolvimento de uma rede de microfraturas no meio rochoso. Este

enfraquecimento se traduz numa diminuição dos parâmetros de resistência, a saber, coesão e ângulo de atrito interno. Outros meios são a remoção dos constituintes minerais e a dissolução das rochas sedimentares devido a reação com o calor da detonação e a mudança na temperatura. A fragmentação da rocha pela detonação de uma carga de explosivos, depende do esforço induzido na rocha e das pressões do gás geradas pela queima do explosivo. O dano estrutural resultante da vibração depende do esforço induzido na rocha.

Quando se detona uma carga de explosivos próxima à superfície, três tipos de ondas são gerados: W, P e S, uma superficial e duas em subsuperfície. Como resultado da resposta elástica da rocha aos danos superficiais, as ondas W são mais importantes. O dano no restante da rocha e no final do talude é principalmente relativo às dimensões do furo e a posição e, conseqüentemente, os efeitos dos três tipos de ondas são de interesse. LADEGARD-PEDERSEN e DALLY (1992, *apud* HOEK e BRAY, 1994) enfatizam ainda que as relações mais seguras para a solução de problemas de vibração no terreno em locais de detonação, não estão no entendimento das equações de dinâmica, mas nas previsões mais confiáveis dadas pelas relações empíricas desenvolvidas como resultados de muitas observações de detonações. A melhor delas relaciona a velocidade das partículas com a distância escalar. A distância escalar é definida pela função R/W , onde R é a distância radial do ponto de detonação e W é o peso do explosivo detonado por espera. O United States Bureau of Mines, estabeleceu que a velocidade V próxima da partícula é função da distância escalar pela seguinte relação:

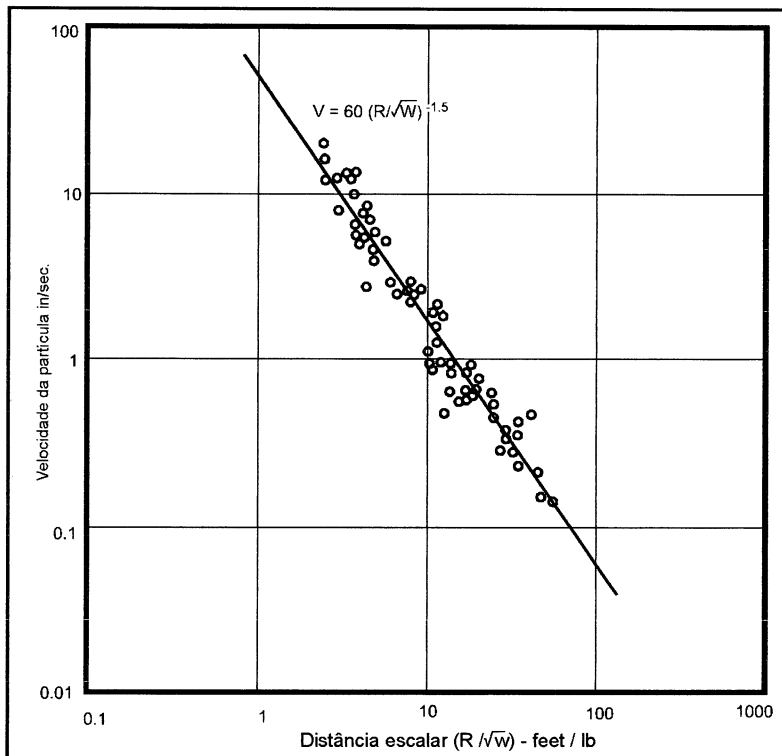
$$V = K (R/\sqrt{W})^\beta,$$

onde K e β são constantes, e devem ser determinadas por medições em cada local de detonação.

A equação descrita acima é representada por uma reta em papel log-log e o valor de K é dado pela interação “ V ” na distância escalar, enquanto β é dado pela inclinação da linha, como é mostrado na figura 23. DUVALL e FOGELSON (1962) e LANGEFORS e KIHLESTRÖM (1973, *APUD* HOEK E BRAY, 1994), avaliaram relações entre velocidades máximas das partículas e danos estruturais e sugeriram os valores limites discriminados na tabela 9 e representados na figura 24.

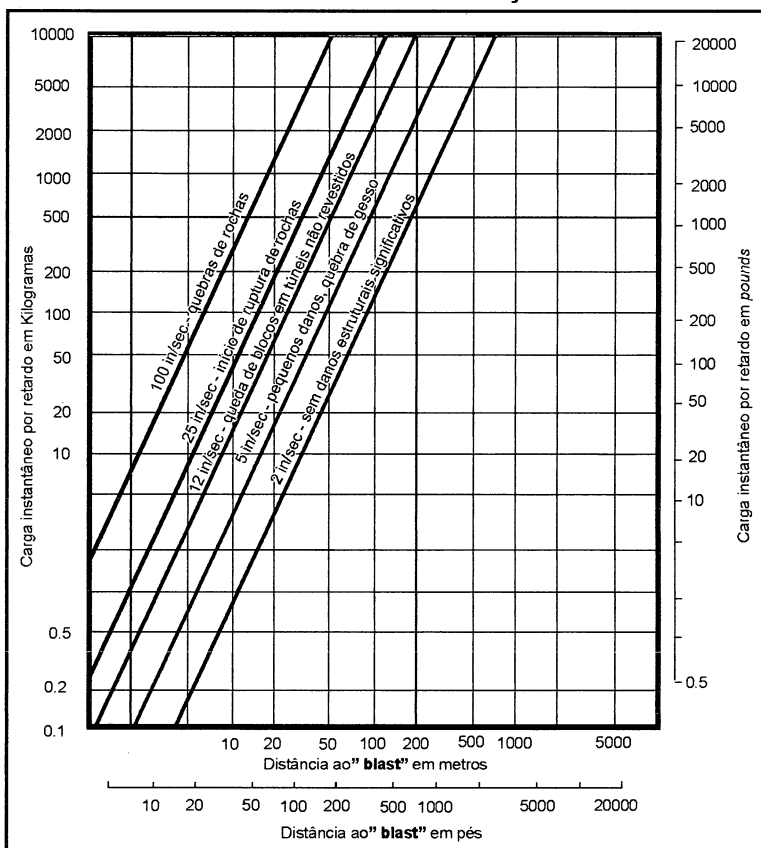
As ocorrências observadas no programa sísmico 3D de Mato Rico, baseadas no reconhecimento em campo e na experiência adquirida na região de Pinhão, são movimentos de massa em encostas naturais, em cortes de estrada, em encostas naturais em torno de açudes, tanques e córregos, e processos de erosão em áreas de lavouras e criação de bovinos. Em nível de reconhecimento, foram destacadas como áreas críticas e que devem ser abordadas pela ES-26 com procedimentos de prevenção, as ocorrências dos exemplos das fotos n^{os} 13K, 13L, 13M e 13N, as quais se enquadram nos tipos descritos nas figuras 24 e 25 e nas fotos 13D, 13K, 13I, 13J e 18.

FIGURA 23 - VELOCIDADE DE PARTÍCULA x DISTÂNCIA AO BLAST



Fonte: Hoek & Bray, (1994).

FIGURA 24 - VELOCIDADE DA PARTÍCULA x DISTÂNCIA AO PONTO DE DETONAÇÃO x CARGA



Fonte: Hoek & Bray, (1994).

TABELA 9 – VELOCIDADE DAS PARTÍCULAS E DANOS ESTRUTURAIS

Aceleração da Partícula (pol/s)	Velocidade (mm/seg)	Danos
2	51	O risco de danos em estruturas de prédios é muito leve (<5%), ocasionalmente em prédios antigos.
5	127	Danos menores Reclamações sérias
12	305	Quedas de blocos em túneis não revestidos
25	635	Início de quebra de rocha
100	2540	Quebramento de rocha

Fonte: modificado de Hoek e Bray (1994).

Para determinação exata de todas as distâncias de segurança nas detonações, o ideal seria que, para cada unidade do meio físico suscetível à erosão e movimentos de massa, fossem feitos experimentos de campo envolvendo medidas de velocidades de partículas, com sismógrafos, em função das distâncias e das cargas utilizadas. Foi sugerida, para os casos de encostas/taludes instáveis observados na área, a adoção da distância mínima de 20m do ponto de detonação aos locais de instabilidade, para que estas detonações não acelerem os processos já existentes. No caso de encostas instáveis deve-se considerar a distância mínima como sendo à distância do furo carregado mais próximo ao ponto de ocorrência da primeira cicatriz de escorregamento e/ou sinal de rastejo.

A distância de 20m foi calculada para uma carga de 2kg, a partir dos experimentos e gráficos de LANGEFORS e KIHSTRÖM (1973, APUD HOEK E BRAY, 1994), em recomendações para trabalhos de caráter de reconhecimento. A metodologia aplicada na região centro-sul do estado do Paraná mostrou-se

compatível com a área do levantamento 3D de Mato Rico, a partir dos aspectos geológicos, geomorfológicos, de ocorrências, uso e ocupação e clima, bastante semelhantes, viabilizando sua aplicação em nível de reconhecimento.

A operacionalidade do levantamento mostrou-se perfeitamente adaptável à rotina de uma equipe sísmica, sendo recomendada sua execução num período não inferior a 30 dias do início dos trabalhos das turmas de sonda/perfuração e carregamento. Os parâmetros sugeridos estão sendo aplicados pela ES-26/PETROBRÁS e os resultados deverão ser monitorados.

5 ANÁLISE INTEGRADA DOS DADOS

Neste capítulo procura-se esclarecer o uso do mapa de suscetibilidade à erosão e movimentos de massa, aplicado às atividades das pesquisas sísmicas, conjugado ao uso dos procedimentos de prevenção a serem adotados pelas equipes sísmicas.

5.1 MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO E MOVIMENTOS DE MASSA APLICADO À EQUIPES SÍSMICAS

O mapa de suscetibilidade está mais relacionado ao planejamento dos programas sísmicos 2D e 3D, e seus níveis de suscetibilidade, sob o aspecto do relevo, estão representados nos perfis das figuras 25 e 26.

Os perfis e textos de prevenção orientam as ações mitigadoras de diversos impactos ambientais negativos relativos às atividades das equipes sísmicas, sendo de fácil entendimento aos leitores não especializados.

A suscetibilidade do meio físico à atividade das equipes sísmicas foi proposta em termos de riscos ambientais de erosão e movimentos de massa.

O mapa de suscetibilidade foi elaborado inicialmente a partir do mapa de declividade, segundo as classes 0 a 10%, 10 a 20%, 20 a 30% e > 30%, sobreposto aos mapas geológico, de materiais inconsolidados/solos, de relevo, de uso do solo e de ocorrências, confeccionado simultaneamente à observação em fotografias aéreas, em escala 1:25.000. Posteriormente, este processo foi confrontado com a

interação visual dos mapas temáticos em ambiente SIG, no *software* IDRISI 2.0.

Os intervalos de classe foram definidos em função das observações das ocorrências em campo, da escala de trabalho e do nível de abordagem, além da “interface amigável” que o produto deve ter com o consumidor em campo.

Os níveis de suscetibilidade à erosão, classificados de muito fraco a muito forte, estão baseados nos cadastramentos das ocorrências de campo e nos critérios demonstrados por ROSS (1994; *In*: GUERRA e CUNHA, 1996), em relação ao relevo, utilizando-se matrizes de correlação entre classes de declividade (tabela 10), classes de fragilidade do uso do solo (tabela 11) e graus de proteção por tipos de vegetação (tabela 12).

TABELA 10 - CLASSES DE DECLIVIDADE

CATEGORIAS	%
Muito fraca a fraca - S4	até 10%
Média – S3	de 10 a 20%
Forte - S2	de 20 a 30%
Muito forte – S1	> 30%

Adaptado de Guerra e Cunha (1996).

As classes de suscetibilidade da área dos trabalhos das equipes sísmicas foram assim enquadradas: muito fraca (S5), fraca (S4), média (S3), forte (S2) e muito forte (S1).

TABELA 11 - CLASSES DE FRAGILIDADE DOS TIPOS DE SOLOS

CLASSES DE FRAGILIDADE	TIPOS DE SOLOS
1- Muito baixa (S5)	Latossolo Roxo, Latossolo Vermelho Escuro e Vermelho Amarelo, textura argilosa
2- Baixa (S4)	Latossolo Amarelo e Vermelho Amarelo, textura média argilosa
3- Média (S3)	Latossolo Vermelho Amarelo, Terra Roxa, Terra Bruna, Podzólico Vermelho Amarelo, textura média argilosa
4- Forte (S2)	Podzólico Vermelho Amarelo, textura médio arenosa e Cambissolos
5- Muito Forte (S1)	Podzolizados com cascalhos, Litólicos e Areias Quartzosas

Fonte: Ross (1994) *apud* Guerra e Cunha (1996).

Áreas com solos residuais, com rampas curtas e longas e também apresentando ravinamento e sulcos são suscetíveis a impactos ambientais causados pelos furos de 1m de profundidade, face ao risco de erosão/assoreamentos (foto 13A). A suscetibilidade diminui conforme o grau de proteção do solo. Em locais com declividades média e forte, e próximas a corpos d'água, em períodos de chuvas, os furos devem ser "tamponados" imediatamente. Caso o solo esteja exposto, ou mesmo durante uma campanha de campo em que os grupos de tamponamento estejam atrasados, tais áreas devem ser priorizadas. A qualidade e os critérios para o tamponamento devem reproduzir ao máximo a estrutura natural do solo com o próprio material ou empréstimo de material semelhante.

TABELA 12 – GRAUS DE PROTEÇÃO POR TIPOS DE COBERTURA VEGETAL

GRAUS DE PROTEÇÃO	TIPOS DE COBERTURA VEGETAL
1 - Muito Alta (S5)	Florestas/matias naturais, florestas cultivadas com biodiversidade.
2 - Alta (S4)	Formações arbustivas naturais com estrato herbáceo denso. Formações arbustivas densas (mata secundária, cerrado denso, capoeira densa). Pastagens cultivadas sem pisoteio de gado. Cultivo de ciclo longo como o cacau, citros, maçãs e erva-mate.
3 – Média (S3)	Cultivo de ciclo longo em curvas de nível/terraceamento, como café e laranja com forrageiras entre as ruas. Pastagens com baixo pisoteio. Silvicultura de eucaliptos com sub-bosque de espécies nativas.
4 – Baixa (S2)	Culturas de ciclo longo de baixa densidade (café, pimenta-do-reino, laranja) com solo exposto entre ruas, culturas de ciclo curto (arroz, trigo, feijão, soja, milho, algodão) com cultivo em curvas de nível/terraceamento.
5 - Muito baixa a nula (S1)	Áreas desmatadas ou queimadas recentemente, solos expostos por arado/gradeação, solos expostos ao longo dos caminhos e estradas, terraplanagens, culturas de ciclo curto sem práticas conservacionistas.

Fonte: Ross (1996) *apud* Guerra e Cunha (1996).

Em áreas com suscetibilidade ao voçorocamento, os furos devem ter distância mínima de 20m do primeiro indício de movimento de massa de erosão. Se os furos atingirem o nível d'água, os mesmos não devem ser carregados. O furo deve ser tamponado imediatamente e anotada sua posição no relatório, além da profundidade do nível d'água. Nestas áreas não devem ser implantados mourões de identificação de linhas. Os efeitos da infiltração e erosão associados a estacas e palanques podem ser observados nas fotos 8, 9, 10, 11, 12, 13B, 16 e 18.

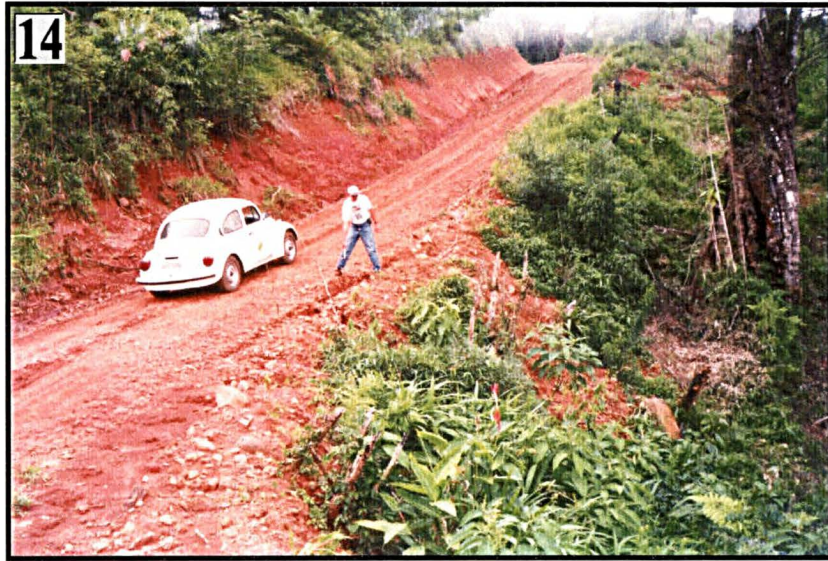


Foto 14 - Risco de acidentes com veículos. Taludes instáveis.
Foto 15 - Solo com blocos.

As instabilidades de taludes, ou seja, as feições que indiquem estas ocorrências, tais como árvores inclinadas, rastejo etc., devem ser instruídas aos sondadores.

A suscetibilidade a movimentos de massa devido às atividades das equipes sísmicas (detonações, principalmente) se traduz através dos diversos eventos registrados no mapa de ocorrências, que são coincidentes com a favorabilidade dos solos e com a associação de fatores que desencadeiam estes movimentos, tais como solicitações dinâmicas e redução da resistência do meio. A classificação utilizada foi a do IPT (1991), ou seja, rastejos, corridas de massa, escorregamentos e quedas/tombamentos. As altas precipitações na área durante a maior parte do ano são elementos determinantes nos processos de escorregamentos, sob estas condições os meses de outubro a fevereiro são os mais críticos. Concentrações pluviométricas anômalas também podem ocorrer em outros períodos e devem ser monitorados como medida preservativa de impacto ambiental.

As classes de suscetibilidade da área aos trabalhos das equipes sísmicas foram então delimitadas em: muito fraca (S5), fraca (S4), média (S3), forte (S2) e muito forte (S1).

5.2 PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA E PREVENÇÃO

Os procedimentos de segurança relativos às situações de suscetibilidade e riscos são sugestões para as áreas, desenvolvidas em termos de perfis, tendo como base parâmetros de fonte de 2kg por P.T. e/ou 1/2kg por furo, à profundidade de 1m (figuras 25 e 26).

- Encostas com declividades maiores que 30° , suscetíveis à queda e lançamento de blocos, conforme mostrado nas figuras 9, 25 e 26. Em casos de furos com 2kg, deve-se manter uma distância mínima de 20 metros até os primeiros indícios do evento (fraturas, blocos em posição insegura, etc.), para carregamento do furo. Caso não se consiga identificar estes elementos, os trabalhos de sondagem podem fornecer informações sobre a rocha quase aflorante e fraturada, mantendo-se a distância de 20 metros da linha de quebra da encosta;

- Margens de rios/cabeceiras invadidas por lavouras: identificar através do nível da água no furo (N.A.);

- Lançamento de fragmentos de rocha na detonação (*fly rock*), em terrenos com inclinação alta e solos com blocos (fotos 15 e 20) São os seguintes os procedimentos a serem adotados, para furos de 1m de profundidade e cargas de 0,5kg por furo;

- 1) Não devem ser aceitas variações menores que 1m em nenhuma hipótese, pois pequenas variações na profundidade podem causar acidentes fatais decorrentes de lançamento de fragmentos de rocha.

- 2) Manter a distância mínima de 85m entre o último homem de detonação e o furo mais próximo, com monitoramento. Relatar qualquer ocorrência anômala. Ter sempre com o grupo (ou próximo) fios de linha de fogo de reserva para necessidades de aumento da distância do detonador ao ponto de tiro.

Quanto a distância de segurança em caso de furos com 2kg: a linha de fogo deve ter um comprimento maior que 100m. Operacionalmente, pode-se usar artifícios de prevenção tais como detonação de linhas alternadas dos programas 3D, e/ou colocação de pneus sobre o local dos blocos, reduzindo o lançamento nos programas 2D e 3D.

FIGURA 25 - PERFIS ESQUEMÁTICOS DE PREVENÇÃO DAS ENCOSTAS NA ÁREA

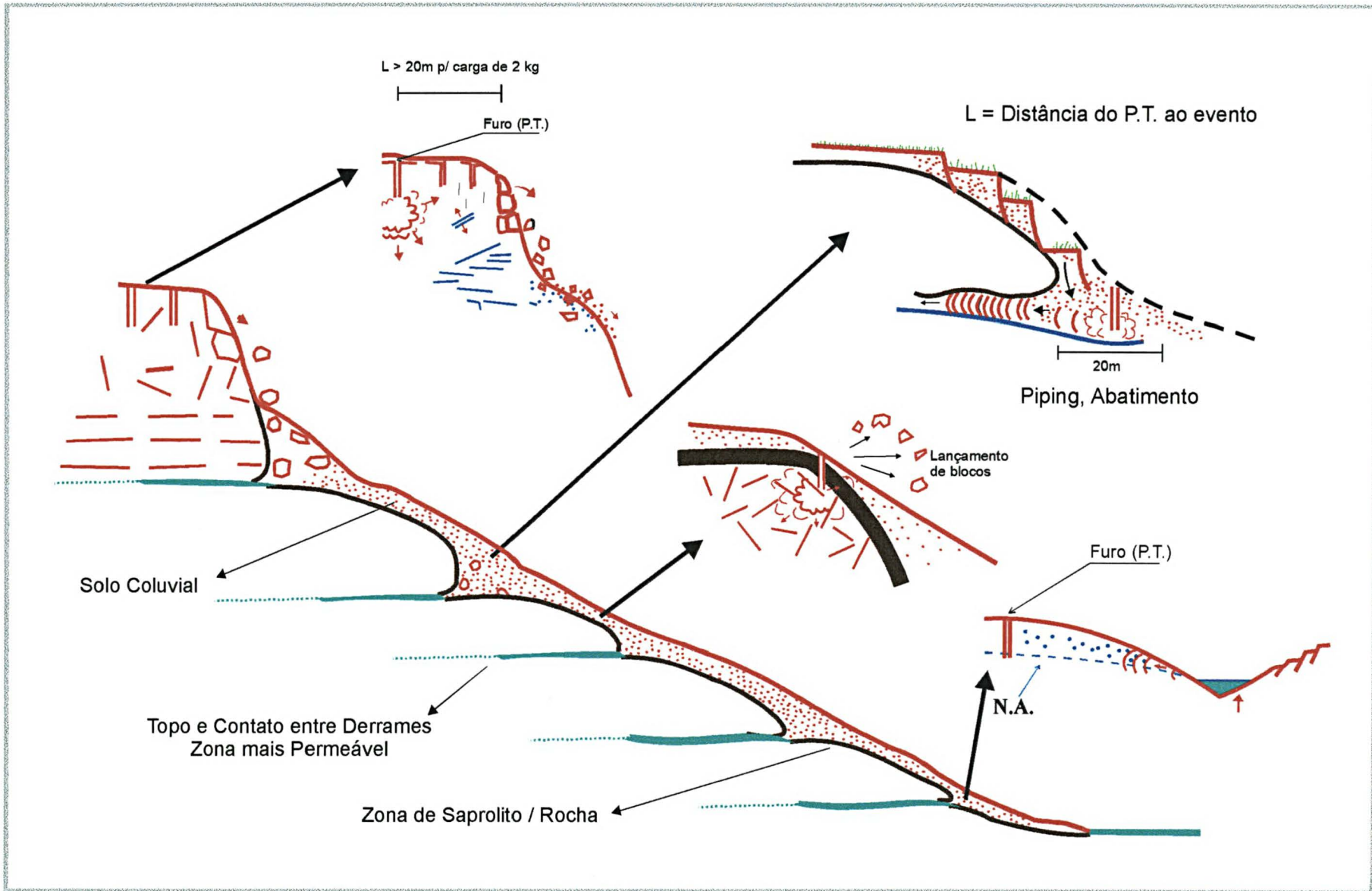
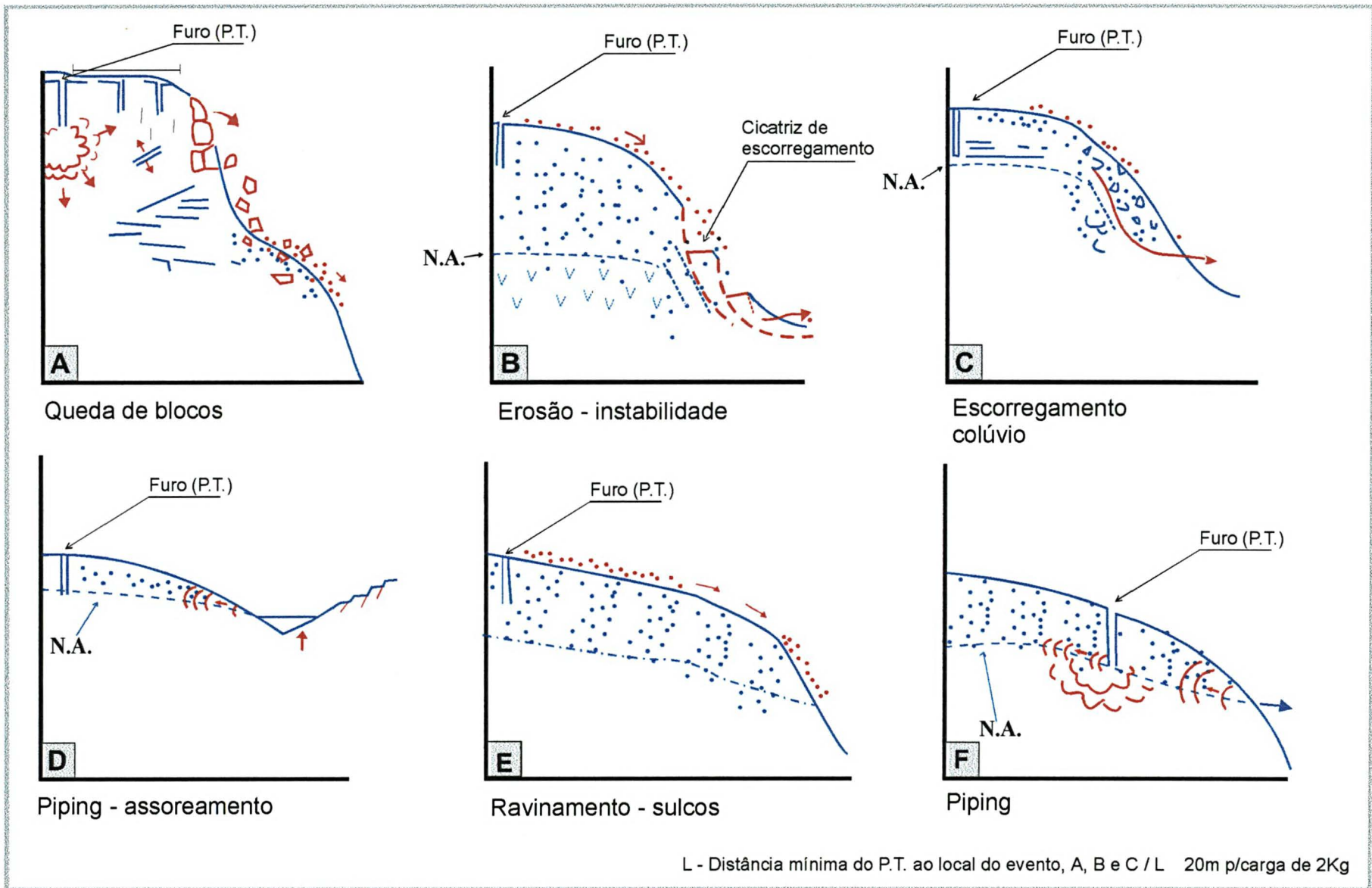


FIGURA 26 - PERFIS ESQUEMÁTICOS DE ENCOSTAS E PROCESSOS DA ÁREA



- Rastejos/escorregamentos

Para os casos de encostas/taludes instáveis, deve-se adotar a distância mínima de 20m do ponto de detonação ao local do evento, estrada ou encosta. Deve-se considerar a distância mínima como sendo a distância do furo carregado mais próximo ao ponto de ocorrência da primeira cicatriz de escorregamento (figuras 24 e 25).

Os mourões indicadores de cruzamento de linhas sísmicas com estradas, não devem ser colocados em encostas que apresentem problemas de instabilidade, a exemplo da foto 16, nem em locais com suscetibilidade à erosão (foto 17), pois podem criar canais de fluxo direcionando a drenagem superficial e acelerando ou induzindo os processos de erosão, rastejo, voçorocamento e assoreamento.

As encostas instáveis também podem estar encobertas pela vegetação, criando situações de risco de acidentes com os veículos pesados das equipes sísmicas, tais como caminhões, *buggies* e *pic-ups*, os quais transportam pessoal. Como procedimento de prevenção estes locais devem ser sinalizados, para que não se transite próximo ou estacione veículos (foto 14).

- Períodos de chuvas/eventos pluviométricos anômalos

As chuvas intensas são condicionantes importantes de ocorrências tanto de erosão como de movimento de massa, como já citado no decorrer deste trabalho, época em que os cuidados devem aumentar com relação às ocorrências; índices pluviométricos altos em 01 (um) só dia podem causar escorregamentos e quedas de blocos, principalmente pelo acúmulo e pressão de água nas fendas, causam erosão superficial intensa nos solos e aumenta a taxa de assoreamento.

Precipitações médias a altas por um período contínuo, cerca de 3-4 dias, contribuem para os escorregamentos de taludes ao longo de planos de fraturas

reliquiaries no solo/saprólito. Na foto 18 observa-se o evento ocorrido em abril de 1998.

Com relação à erosão/assoreamento, recomenda-se detonação com utilização de pneus ou lona sobre os furos nos locais mais críticos, do tipo observado nas fotos 13A e 17, para reduzir o “espalhamento” do sopro do furo, mantendo o solo desestruturado mais próximo ao local de origem. O tamponamento dos buracos causados pela detonação deve ser o mais imediato quanto possível. A ocorrência da foto 13A é um bom exemplo. Os terraços de contenção de erosão e dissipadores de energia devem ser preservados por todas as turmas de campo e equipamentos da equipe. É recomendada a obtenção de informações diárias sobre as precipitações nas estações mais próximas da área de trabalho; estes dados são facilmente obtidos em órgãos do governo ou em cooperativas agrícolas. As bacias mais suscetíveis na área são as do centro-leste e a do rio Três Barras no sudoeste, ou seja, as que possuem maior densidade de drenagem.

- **Ravinamento e sulcos** – As áreas com maior concentração de drenagem são mais suscetíveis aos processos de erosão e assoreamento e devem ser incluídas como prioritárias nos procedimentos de prevenção

- *Piping/Voçorocas*

As áreas com ocorrência destes eventos são bastante suscetíveis às variações na precipitação, pois em geral estão associados às calhas de rio onde os níveis d'água varia mais rapidamente. Deve-se inicialmente observar as instruções gerais do IAGC quanto a furos com água. É interessante observar o comportamento do nível d'água nas encostas, que pode variar em torno de 1,2m para diferentes índices pluviométricos.



Foto 16 - Mourões em encostas com problema de instabilidade (rastejo).
Foto 17 - Ponto de tiro "P.T." situado em área de suscetibilidade na (média alta) a erosão.
Foto 18 - Escorregamento planar ao longo de fraturas relictas no solo/ saprolito.

Os meses mais críticos correspondem ao período de outubro a março, porém eventos anômalos de precipitação podem ocorrer em outros meses do ano. Estes eventos com índices pluviométricos altos durante um período de três dias, poderão promover a elevação do nível de base, atingindo a carga de um furo que tenha sido carregado num período de baixa precipitação. Deve-se procurar indícios de subsidências, cicatrizes e fendas de tração (foto 19) e seguir as instruções contidas no texto rastejo/escorregamentos neste ítem.

Na área em estudo existem os assentamentos Faxinal dos Silvérios, Faxinal dos Ribeiros e diversos acampamentos de “Sem Terra”.

A questão dos assentamentos e suas relações com os problemas ambientais nas áreas ocupadas por estes, é mais impactante devido a desmatamentos e queimadas, ocasionando entulhamentos de fundo de vales, assoreamentos, etc. Constituem regiões de suscetibilidade alta às atividades das equipes sísmicas, cujos impactos ambientais podem lhe ser erroneamente atribuídos. Recomenda-se um levantamento prévio documentando esses impactos.

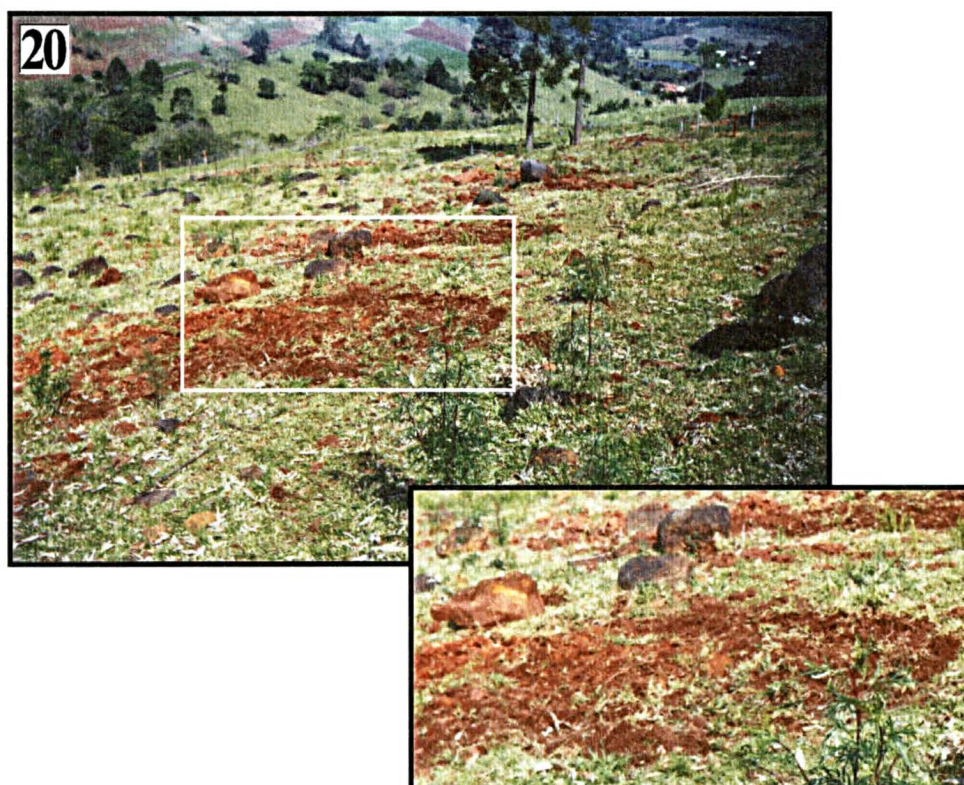


Foto 19 - Fenda de tração em escorregamento, ocorrência em detalhe na figura 24.
Foto 20 - Solos com blocos em encostas altas e povoadas. Riscos ambientais.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A necessidade de planejamento dos trabalhos dos programas sísmicos, face às suas relações com eventos de erosão e movimentos de massa, pôde ser demonstrada ao longo desta Dissertação, através das diversas fases do trabalho e das “ferramentas” (materiais e métodos) utilizadas no estudo. Estas evidências envolvem desde a observação direta do fenômeno no campo, através do reconhecimento e identificação destes processos em locais onde se realizaram detonações de linhas sísmicas, a análise de atributos/índices físicos do meio e as interferências nos níveis de suscetibilidade a esses processos, e também a análise de probabilidade de confronto dos trabalhos das equipes sísmicas com as áreas suscetíveis mapeadas, na hipótese de programas sísmicos 2D e 3D. Os impactos ao ambiente, no entanto, podem ser prevenidos e mitigados através do planejamento dos programas sísmicos.

Quanto à escala de trabalho, a primeira abordagem, em nível de semidetalhe da área, relaciona as ocorrências cadastradas com as unidades mapeadas e estabelece procedimentos de prevenção. Durante as operações de campo, são procedidos os experimentos e o monitoramento dos resultados, desta forma evoluindo as pesquisas no sentido quantitativo e de detalhes.

A utilização de mapas temáticos segundo a metodologia do IPT mostrou-se válida, com destaque à aplicação imediata e simples em projetos, de acordo com a realidade e a agilidade que o mercado exige. A disponibilidade destes instrumentos (mapas temáticos) facilita a pesquisa, principalmente a elaboração do mapa de materiais inconsolidados

A seleção dos atributos pode variar com a área a ser pesquisada, optando-se pela metodologia que mais atenda as necessidades (ZUQUETTE e GANDOLFI, 1990).

As análises granulométricas são de grande importância, juntamente com outros índices físicos, os quais suportam a classificação textural. A RLS (relação de liberação de sedimentos), parâmetro fundamental no cálculo de assoreamentos, é função da granulometria do solo e pode ser alterada pelas detonações.

O ρ_s se eleva crescendo do horizonte A para o horizonte B, na maioria das amostras, fornecendo uma relação de valores mais altos de índices de vazios também no horizonte A em relação ao horizonte B, para as mesmas amostras.

Observa-se que a massa específica dos sólidos na maioria das amostras que apresentam valores altos relaciona-se aos valores observados na bibliografia para os argilominerais componentes da amostra. A magnetita observada nas análises da lupa binocular contribui com o aumento de ρ_s .

A densidade elevada de algumas partículas (por exemplo a magnetita) pode, em elevado grau de saturação do solo, ter influência no processo de instabilidade da encosta, embora não se tenha dados comprobatórios. Sugerem-se experimentos e pesquisas futuras neste sentido, bem como o estudo do modelo de fluxo das partículas, no caso das ocorrências de escorregamentos no entorno de açudes e tanques.

A atividade de detonação pode causar mudanças na estrutura do solo (*fabric*), coesão, índice de vazios, destacabilidade, erodibilidade, etc., sendo que estes atributos também são suscetíveis às chuvas, levando-se em consideração uma viscosidade constante para a água.

Da mesma forma, os taludes são afetados pela atividade das detonações e vibrações do tráfego intenso de veículos pesados, principalmente em períodos de chuvas, onde aumenta a pressão da água nos planos de fraturas reliquias encontrados nos taludes; as vibrações contribuem na deflagração de movimentos gravitacionais de massa. As detonações atuam como um agente ativo, tanto predisponente quanto imediato, de acordo com a classificação do IPT (1991).

Como atributos geomorfológicos, pode-se destacar as áreas mais suscetíveis a movimentos de massa, entre outras formas, as zonas de concentração de fluxo de água e as porções terminais de encostas longas, obtidas a partir de observações de campo.

Os tipos de movimentos de massa mais observados na área são os escorregamentos planares, relacionados a fraturamentos reliquias, e os escorregamentos circulares rasos, vinculados com talus/colúvios, conforme observado na foto 18.

A importância da geologia está evidenciada pela estruturação (falhas, fraturas), densidade e grau de fraturamento dos maciços, entre outros.

Apesar de não se dispor de dados de suscetibilidade à erosão, na escala trabalhada, em que os solos cartografados como suscetíveis estão relacionados às ocorrências encontradas, devem ser levantados, para alguns pontos da área, os índices de erodibilidade (E).

A pluviometria e a precipitação são determinantes na programação dos trabalhos em áreas críticas. A área central e a bacia do rio Três Barras devem ser trabalhadas no período de maio a agosto.

7 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos através das análises de atributos mostraram que as atividades das equipes sísmicas promovem, incrementam ou alteram o nível de suscetibilidade do meio físico aos riscos citados. As principais áreas de risco às atividades das equipes sísmicas se relacionam aos seguintes fenômenos:

- 1) erosão e ruptura de blocos de rochas em áreas de solos litólicos e cambissolos com declividades maiores que 20%, predominantes em litologias de rochas vulcânicas intermediárias a ácidas;
- 2) erosão por ravinamento, escorregamento de taludes em solos mais desenvolvidos, onde houve retirada da cobertura vegetal em declividades maiores que 20%, predominantes em basaltos;
- 3) escorregamento de taludes nas áreas de colúvios;
- 4) erosão/voçorocamento em áreas de declividade maiores que 15%, onde houve desmatamento, atividade antrópica concentrada e elevação do nível de base local, através da construção de açudes e pisoteio intenso de animais no seu entorno, assim como próximo a estábulos, cocheiras, etc.;
- 5) eventos pluviométricos anômalos;
- 6) condicionamento dos movimentos de massa a regiões de falhas;
- 7) erosão e escorregamentos de taludes em cabeceiras de rios onde houve desmatamento.

Os perfis esquemáticos com procedimentos de segurança e suas relações com os eventos ocorridos parecem mais práticos e de interface mais amigável aos grupos de campo, sonda, perfuração, carregamento e detonação, devendo fazer

parte dos procedimentos de treinamento de SSMA para estas turmas.

Os procedimentos de segurança a serem adotados na perfuração e no carregamento para equipes sísmicas com fonte de dinamite são: observação da distância mínima do furo ao local do evento (L), que é função da energia da carga e das características físicas do meio; energia liberada pela explosão; distância ao ponto de explosão; velocidade sísmica do meio; densidade do meio; tempo, deslocamento e velocidade das partículas; aceleração das partículas.

Áreas com atividades antrópicas, atualmente representadas pelos assentamentos, são um fator determinante no avanço dos processos erosivos, quer seja pelos desmatamentos, queimadas e aberturas de estradas, como também pela ocupação indevida de áreas de risco, refletindo a carência do conhecimento de técnicas modernas de manejo do meio físico. O impacto é mais acentuado na área do assentamento Faxinal dos Ribeiros, comparado com o assentamento Faxinal dos Silvérios. É provável que isto esteja relacionado ao fato de que a maioria dos assentados do Faxinal dos Ribeiros seja oriunda de outras regiões, sem identificações (raízes) com a área, ao contrário do Faxinal dos Silvérios onde predominam os assentados locais.

As pesquisas deverão prosseguir com experimentos de detonações em campo, envolvendo medidas de velocidades de partículas, com sismógrafos, em função das distâncias e cargas utilizadas. Os atributos/índices das unidades do meio físico, suscetíveis à erosão/assoreamento e movimentos de massa, deverão ser avaliados através de amostragens antes e após os trabalhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO. **Brazil oil & gas**. Round 1. Disponível em: <<http://www.brazil-rounds.com>> Acesso em: 02/1999.

AMARAL, S. P. **Auditoria ambiental** : uma ferramenta de gestão ambiental nas empresas. Petrobrás (SUSEMA). Trabalho apresentado no 17º CONGRESSO ABES, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Determinação de massa específica dos sólidos**, NBR 6508 – MB 28. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Determinação do limite de liquidez do solo**, NBR 6459 – MB 30. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Determinação do limite de plasticidade do solo**, NBR 7180 – MB 31. Rio de Janeiro, 1984.

_____. **Granulometria de solo**, NBR 7181 – MB 31. Rio de Janeiro, 1984.

AUGUSTO FILHO, O, 1992. Caracterização geológico-geotécnica voltada à estabilização de encostas: uma proposta metodológica. *In*: 1ª CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTA, 1992, Rio de Janeiro. Anais... , Rio de Janeiro. p. 721-733. *In*: IPT/ABGE. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo : IPT/ABGE, DIGEO, 1995. 247p. (Série Meio Ambiente).

BELLIENI, G. *et al.* Petrogenetic aspects of acid and basaltic lavas from the Paraná plateau (Brazil): geological, mineralogical and petrochemical relationships. *J. Petrology*, 27, p. 915-944, 1986. *In*: PICCIRILLO, E. M. ; MELFI, A. J. (editores). **The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin** : petrogenic and geophysical aspects. São Paulo : USP, Instituto Astronômico e Geofísico, 1988. 202p.

BENNETT, R. H. ; HURLBUT, M. H. **Clay microstructure**. London : International Human Resources Development Corporation, 1986. 161p.

BONNEAU, P. R. ; SNOW, R. S. **Character of headwaters adjustment to base level drop, investigated by digital modeling.** Muncie : USA, Department of Geology, Ball State University, 1992.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Livro Técnico, 1972.

CASTRO, A. C. J. **Geoquímica dos solos tropicais. Uma abordagem de alguns processos nos solos da região amazônica.** *In:* 39^o CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1998, Belo Horizonte. Anais... , BH, SBG-MG, 1998. p. 217.

CAVAGUTI, N. **Análise da degradação do solo urbano de Bauru.** São Paulo: 18^o CONGRESSO ABES/Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1995.

CHEN, T. J. *et al.* Determinação do CTC e da área específica de algumas argilas e caulins cerâmicos brasileiros pelo azul de metileno e sua correlação com algumas propriedades tecnológicas. **Revista Cerâmica.** p. 305-325, jul./set., 1979.

COMEC. Proposta de Elaboração - **Plano de uso e ocupação do solo na abrangência do aquífero cárstico** - RMC - COMEC, 1996.

COPEL. **Estudo de impacto ambiental - derivação do Rio Jordão**, v. 1 e 2, Curitiba, 1992.

COPEL. **Estudo de impacto ambiental – Usina Hidroelétrica Segredo - derivação do Rio Jordão. Obras civis. Dados geológicos e geotécnicos**, v. 3, Paraná, 1993.

DUVALL, W.I. ; FOGELSON, D. E. Review of criteria for estimating damage to residences from blasting vibrations. US Bureau of Mines Report of Investigations 5968, 1962. 19p. *In:* HOEK, E. ; BRAY, J. W. **Rock slope engineering.** 3ª ed. London : Institution of Mining and Metalurgy, E&FN SPON, 1994. 358p.

EMATER. **Projetos da microbacia do rio Lajeado Grande.** Escritório local de Pinhão, região de Guarapuava, 1989. 25p.

_____. **Projeto da microbacia rio Três Barras**. Escritório local de Pinhão, região de Guarapuava, 1990. 20p.

_____. **Projeto da microbacia Arroio Bonito**. Escritório local de Pinhão, região de Guarapuava, 1994. 14p.

EMBRAPA -. **Manual de métodos de análise do solo**. Rio de Janeiro : SNLCS, 1979. 27p.

EMBRAPA/IAPAR. **Mapa de reconhecimento dos solos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1981. Escala 1:600.000

FABRINI J. E. **Paraná acampamentos e assentamentos 1998**. Cascavel : Ed. Unioeste, 1998

FENDRICH, R. *et al.* **Drenagem e controle da erosão urbana**. 4ª Ed. Curitiba : Ed. Champagnat, 1997. 485p.

FERNANDES, N. F. Hidrologia subsuperficial e propriedades físico-mecânicas dos complexos de rampa – Bananal (SP). Tese de Mestrado. IGEO, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990. 151p. *In:* GUERRA, A. J. ; CUNHA S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1996. 394p.

FERNANDES, N. F. **Modelagem matemática de escorregamentos rasos nas encostas: potencialidades e limitações**. *In:* 39º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1998, Belo Horizonte. Anais... , BH, SBG-MG, 1998. p. 232.

FIORI, A. P. Fatores que influem na análise de vertentes e no movimento de massa em encostas. **Boletim Paranaense de Geociências**, Curitiba, n. 43, p. 7-24, 1995.

GUERRA, A. J. ; CUNHA S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1996. 394p.

GUIDICINI, G. ; NIEBLE, C. M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. 2ª ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1976. 195p.

HACH-HACH, A. **Inventário das feições erosivas e dos movimentos de massa gravitacionais na região leste da grande Curitiba - Paraná.** Dissertação de mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 1998. 2v.

HERMANN, C. **Manual de perfuração da rocha.** São Paulo : Polígono, 1972. 416p.

HOEK, E. ; BRAY, J. W. **Rock slope engineering.** 3ª ed. London : Institution of Mining and Metallurgy, E&FN SPON, 1994. 358p.

HUTCHISON, J. N. Mass movement. *In: Encyclopedia of Geomorphology.* New York : Ed. R. W. Fairbidge Reinhold Book Co., 1968 *In: IPT/ABGE. Curso de geologia aplicada ao meio ambiente.* São Paulo : IPT/ABGE, DIGEO, 1995. 247p. (Série Meio Ambiente).

HUTCHISON, J. N. **General report: morphological and geotechnical parameters of landslides in relation to geology and hidrogeology.** 5th International. Symposium on Landslides, Lausanne, V. 1, p. 3-35, 1988.

IAGC – International Association of Geophysical Contractors. **Guia ambiental para operações geofísicas no mundo inteiro.** Houston, Tx, 1996.

INDÚSTRIA JOÃO JOSÉ ZATTAR. **Mapa de uso do solo: folha Paredão.** Curitiba : Relatório Interno, 1998.

INFANTI JR, N. ; FORNASARI FILHO, N. Processos de dinâmica superficial *In: OLIVEIRA, A M. dos S. ; BRITO, S. N. A de. Geologia de Engenharia.* São Paulo : ABGE, p. 131-152, 1998.

IPT. **Ocupação de encostas.** São Paulo, 1991. 216 p. (Publicação IPT n. 1831)

IPT/ABGE. **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente.** São Paulo : IPT/ABGE, DIGEO, 1995. 247p. (Série Meio Ambiente).

ITEPE. **Manual de instruções para equipes sísmicas.** Rio de Janeiro, 1995.

JONES, F. Landslides of Rio de Janeiro and the Serra das Araras Escarpment, Brazil. U. S. Geological Survey Prof. Paper, 697, 42p., 1973 *In: GUERRA, A. J. ; CUNHA S. B. Geomorfologia e meio ambiente.* Rio de Janeiro : Bertrand Brasil,

1996. 394p.

KIRKBY, M. J. Modelling some influences of soil erosion, landslides and valley gradient on drainage density and hollow development. **Catena Supplement**, 1987.

LADEGAARD-PEDERSEN, A ; DALLY, J. W.. A review of factors effecting damage in blasting. Report to the National Science Fundation. Mechanical Engineering Department, University of Maryland, 1975. 170p. *In*: HOEK, E. ; BRAY, J. W. **Rock slope engineering**. 3ª ed. London : Institution of Mining and Metalurgy, E&FN SPON, 1994. 358p.

LANGFORS, U. ; KIHSTRÖM, B. The modern technique of rock blasting. 2ª ed. John Willey and Sons, New York, 1973. *In*: HOEK, E. ; BRAY, J. W. **Rock slope engineering**. 3ª ed. London : Institution of Mining and Metalurgy, E&FN SPON, 1994. 358p.

MAACK, R. **Geografia física do estado do Paraná**. 2ª ed. Rio de Janeiro : J. Olympio, 1981. 175 p.

MENDES, W.. **Limitação do uso dos solos do estado do Paraná por suscetibilidade a erosão**. Rio de Janeiro : EMBRAPA/SNLCS, 1984.

_____, W. **Limitação do uso dos solos do estado do Paraná por suscetibilidade a erosão**. Rio de Janeiro : EMBRAPA/SNLCS, 1984. 1 mapa: color; 95 x 108cm. Escala 1:600.000.

MENDONÇA, J. B.; PALM, N. **Lançamento de fragmentos na detonação e segurança**. Curitiba, 1994. Relatório interno, Grant Geophysical/ITEPE, ES-246.

MINEROPAR. **Mapa geológico do Estado do Paraná**. Curitiba, 1989. Escala 1:650.000.

MITCHELL, J. K. **Fundamentals of soil behavior**. 2ª ed. New York : J. Wiley, 1992.

MITISHITA, E. A. Modelo digital do terreno e suas aplicações na área florestal. *In*: 1º Seminário de Atualização – Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas, Curitiba (1994). Anais... , FUPEF, p.49-72, 1994. *In*: SOUZA, J. L. **Anomalias aerogamaespectométricas (K, U e Th) da quadrícula de Araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 218p.

MURATORI, A. M. **Erosão no noroeste do Paraná** : uma proposta metodológica de estudo sistemático através do uso de fotografias aéreas. Curitiba, 1984. Dissertação (Mestrado) – Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná.

NOGUEIRA, J. B. **Mecânica de solos**, São Paulo : USP, 1988.

O DESAFIO DA SÍSMICA. **Revista da Petrobrás**, ano 2, n. 20, p. 9-19, 1995.

PAIVA FILHO, A. **O nível de riódacito pórfiro no meio da formação Serra Geral**. *In*: XL CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 1998, Belo Horizonte. Anais... , BH, SBG-MG, 1998. p. 107.

PARANA. Secretaria do Estado da Agricultura e do Abastecimento. Instituto de Terras e Cartografias e Florestas. **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba, 1987. 73p., ilust.

PARANA. Secretaria dos Transportes. **Mapa rodoviário e político**. Curitiba, 1998. Escala 1:1.000.000.

PICCIRILLO *et al.* Petrochemistry and continental flood basalt-rhyolite suites and related intrusives from the Paraná Basin (Brazil), 1988. *In*: **The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin** : petrogenic and geophysical aspects. Editado por Piccirillo, E. M. e Melfi, A. J. São Paulo : USP, Instituto Astronômico e Geofísico, p. 107-156, 1988.

PICCIRILLO, E. M. ; MELFI, A. J. (editores). **The mesozoic flood volcanism of the Paraná Basin** : petrogenic and geophysical aspects. São Paulo : USP, Instituto Astronômico e Geofísico, 1988. 202p.

PEJON, **O Mapeamento geotécnico na folha de Piracicaba/SP** : estudo dos aspectos metodológicos de caracterização e de apresentação de atributos. São Carlos, 1992. Tese (Doutorado) – EESC/USP.

PETROBRÁS. **Manual de procedimentos para manuseio, transporte e armazenamento de explosivos em equipes sísmicas terrestres**. Departamento de Exploração, Documento Interno Petrobrás (DIP), 157/1994.

PRADO, H. do. **A Pedologia simplificada**. Instituto Agrônomo de Campinas, 1995.

(Arquivo do Agrônomo, n.º 1).

PRANDINI, F. L. ; IWASA, O. Y. Diagnóstico da origem e evolução de boçoroca. São Paulo, IPT, 1980. 29p. *In: Fendrich, R. et al. Drenagem e controle da erosão urbana*. 4ª Ed. Curitiba : Ed. Champagnat, 1997. 485p.

RAY, R. G. **Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológicos**. Washington, USA : U.S. Geological Survey, 1963. 88p.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. *In: Revista do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 8, 1994, p. 63-74. In: GUERRA, A. J. ; CUNHA S. B. Geomorfologia e meio ambiente*. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1996. 394p.

SALOMÃO, F. X. T. ; IWASA, O. Y. Erosão e a ocupação rural e urbana. *In: IPT/ABGE. Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo : IPT/ABGE, DIGEO, p. 31-57, 1995 (Série Meio Ambiente).

SHARPE, C.F.S. Landslides and related phenomena. New York : Columbia. University Press, 1938, 137p. *In: IPT/ABGE. Curso de geologia aplicada ao meio ambiente*. São Paulo : IPT/ABGE, DIGEO, 1995. 247p. (Série Meio Ambiente).

SIEDLECKI, K. N. **Respostas de um solo residual da formação Guabirotuba (PR) à interação com soluções contaminantes**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

SOARES, P. C. ; FIORI, A. P. Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. **Notícia Geomorfológica**, Campinas, p. 71-104., 1976.

SOCIEDADE DE PESQUISA EM VIDA SELVAGEM E EDUCAÇÃO AMBIENTAL. **Manual para recuperação da reserva florestal legal**. Curitiba : Fundação Nacional do Meio Ambiente (FNMA), 1996.

SOUZA, J. L. **Anomalias aerogamaespectométricas (K, U e Th) da quadrícula de Araras (SP) e suas relações com processos pedogenéticos e fertilizantes fosfatados**. Curitiba, 1998. Dissertação (Mestrado) - Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná. 218p.

STAGG, Z. G. ; ZIENKIEWICZ, D. C. **Mecânica de rocas en la ingenieria practica**. Tradutor: José Maria Rodríguez Ortiz. 1ª ed. Madrid : Editorial Blume, 1970. 397p.

STRALFTRAHLER, A. M. and STRALFTRAHLER, A. H. **Elements of Physical Geography**. 2^a ed. NEW YORK : John Wiley and Sons, 1979. 560p.

SUMMERFIELD, M. A. **Global geomorphology** : an introduction to the study of landforms. Longman Scientific & Technical, 1991. 537 p.

USDA – United States Department of Agriculture. **Soil survey laboratory methods and procedures for collecting soil samples**. Washington, Soil Conservation Service, 1967, 50p.

VARNES, D. J. Landslides types and processes. Highway Research Board, Special Report, v. 29, p. 20-47, 1958. *In*: GUERRA, A. J. ; CUNHA S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1996, 394p.

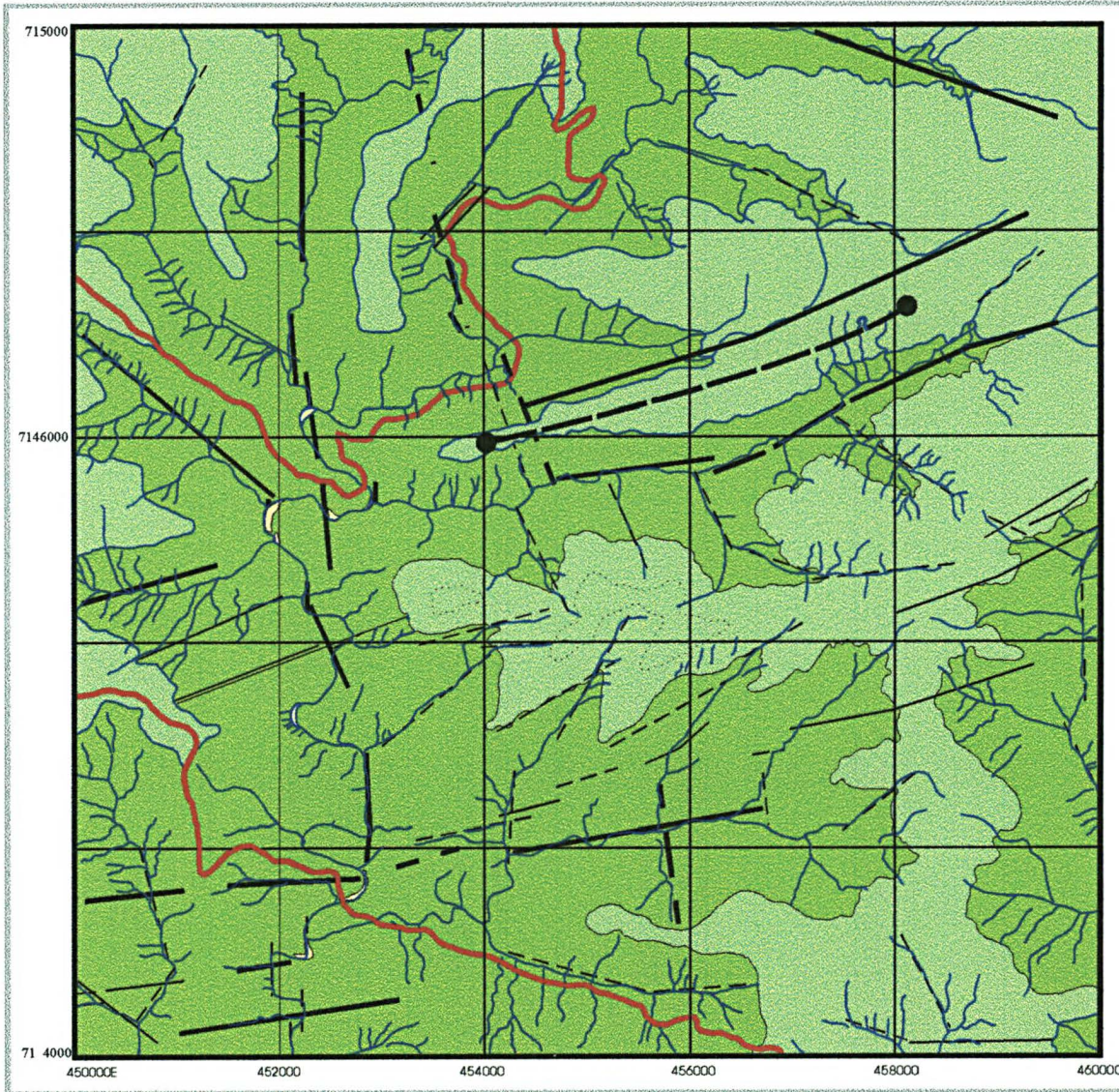
VARNES, D. J. Slope movement and types and processes, 1978. *In*: SHUSTER, R. L. and KRIZEK, R. J. (eds), **Landslides : analysis and control**. transportation research board special report 176. National Academy of Sciences, Washington DC, p. 11-33, *In*: GUERRA, A. J. ; CUNHA S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1996, 394p.

WP/WLI – UNESCO WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY. A suggested method for reporting a landslide. Bulletin of the IAEG, nº 41, 1990. *In*: GUERRA, A. J. ; CUNHA S. B. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1996, 394p.

ZUQUETTE, L. V. ; GANDOLFI, N. Mapeamento geotécnico: uma proposta metodológica. **Geociências**, 9: 55-66. São Paulo, 1990.

ZUQUETTE, L. V.; PEJON, O.; SINELLI, O. **Estudos geotécnicos preliminares dos materiais inconsolidados que constituem a base de lagoas para a disposição de águas de lavagem**. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS. Anais... , Belo Horizonte : ABAS, p. 188 - 198, 1992.

ANEXO 1 -MAPA GEOLÓGICO



Legenda

Litoestratigrafia

- JKnp - Membro Nova Prata - Efusivas intermediárias a ácidas. - Quartzo latito/ Quartzo traquito.
- JKsg - Formação Serra Geral - Efusivas básicas toleíticas, basaltos maciços e amigdalóides, cinza esverdeado a cinza escura.

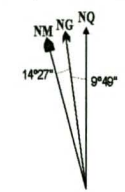
Depósitos Quaternários

- QT - Aluviões

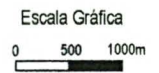
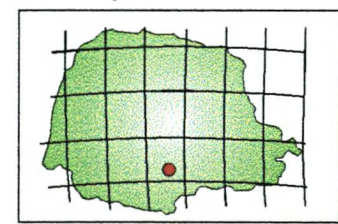
Grupo São Bento

- Estrada principal
- Contato/Contato inferido
- Falha/Falha inferida
- Dique inferido
- Drenagem

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1991

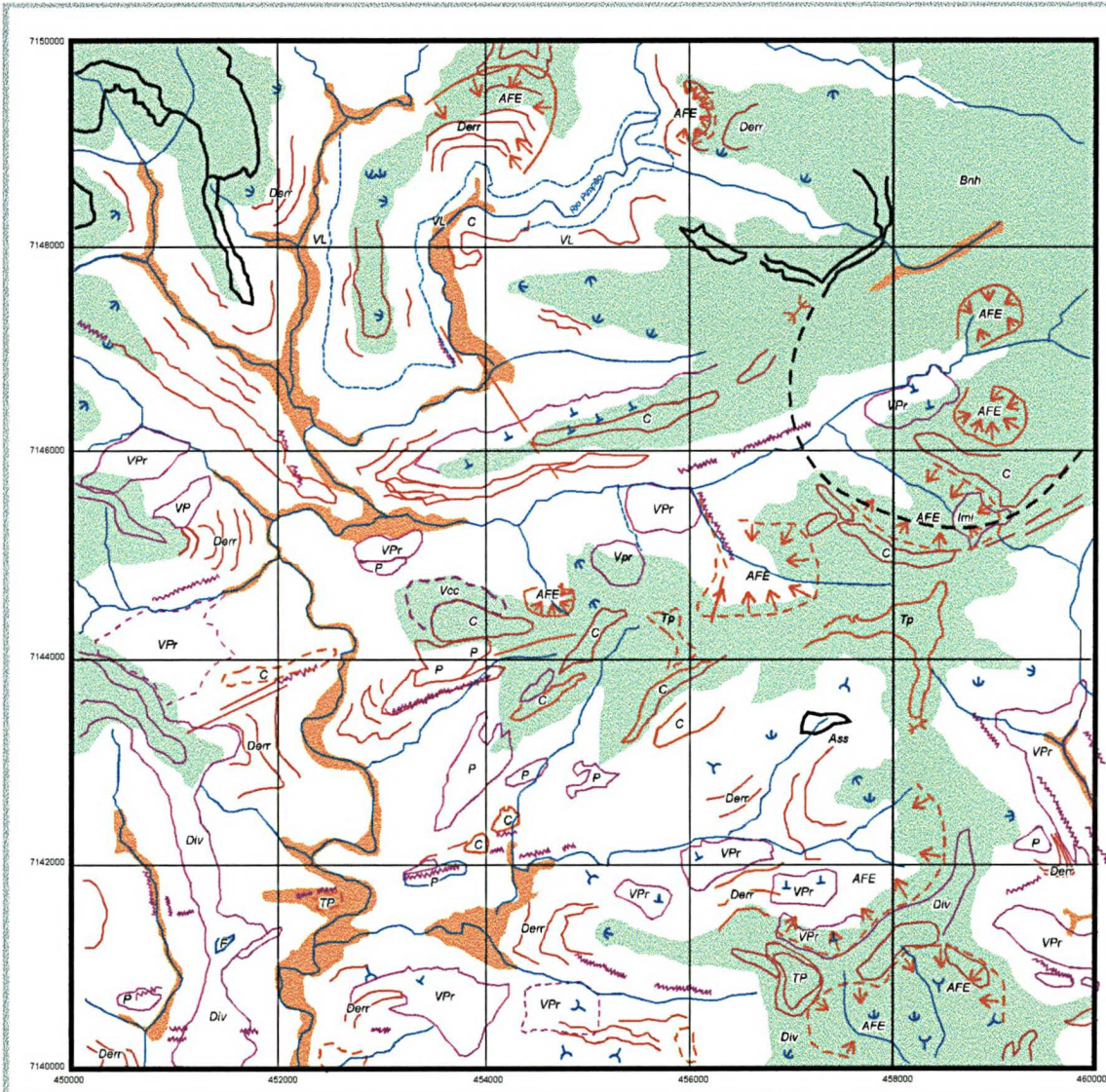


LOCALIZAÇÃO NO ESTADO DO PARANÁ



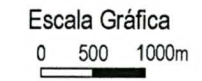
MAIO / 1999	IMPACTOS AMBIENTAIS E PESQUISA SÍSMICA PARA HIDROCARBONETOS NA BACIA DO PARANÁ	JOÃO BOSCO SOUZA MENDONÇA ALUNO DO CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA AMBIENTAL DA UFPR
ESCALA INDICADA		

ANEXO 2 - MAPA GEOMORFOLÓGICO



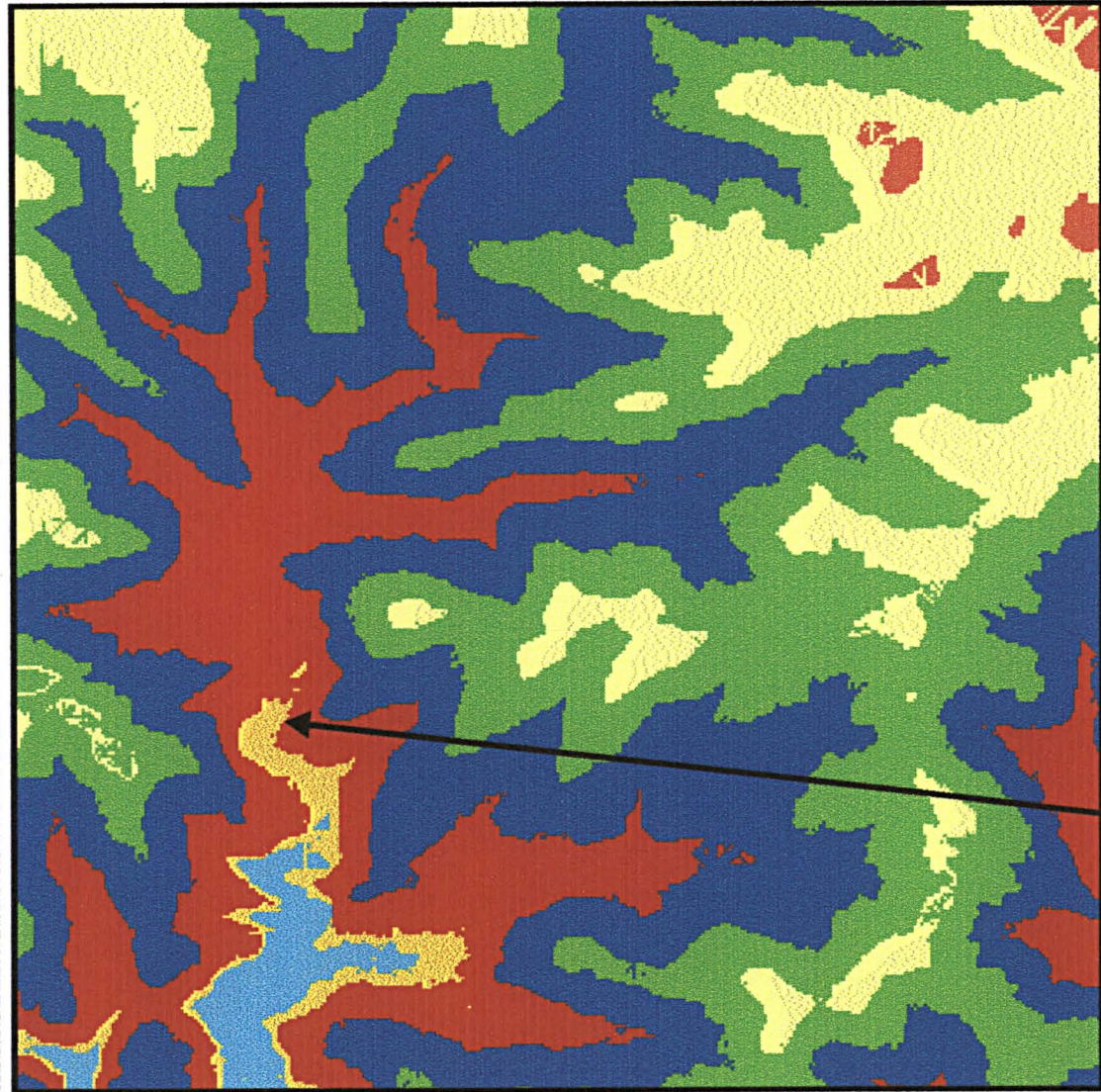
Legenda

- HIDROLOGIA
 - DIVISORES DE ÁGUAS
 - CRISTAS ALINHADAS
 - CORNICHAS
 - TERRAÇO ELUVIAL
 - VPR VERTENTE PLANA RAVINADA -VPR
 - RUPTURA DE RELEVO
 - VERTENTE PLANA RETILÍNEA
 - Ass ASSOREAMENTO
 - VERTENTE PLANA CÔNCAVA
 - INTERFLÚVIO RAVINADO
 - VERTENTE PLANO CONVEXA
 - LINEAMENTO
 - P PATAMAR
 - OMBREIRAS
 - F FALÉSIA
 - DERRAMES - Derr
 - TP TOPO PLANO
 - VERTENTE DE LIGAÇÃO
 - MORFO ESTRUTURA INFERIDA
 - Bnh BANHADO
 - ANFITEATRO DE EROSÃO
- UNIDADE I
 UNIDADE II
 UNIDADE III



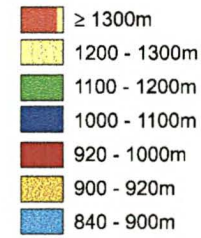
MAIO / 1999	IMPACTOS AMBIENTAIS E PESQUISA SÍSMICA PARA HIDROCARBONETOS NA BACIA DO PARANÁ	JOÃO BOSCO SOUZA MENDONÇA ALUNO DO CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA AMBIENTAL DA UFPR
ESCALA INDICADA	MAPA GEOMORFOLÓGICO	

ANEXO 3 - MODELO DIGITAL DO TERRENO

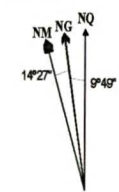


Legenda

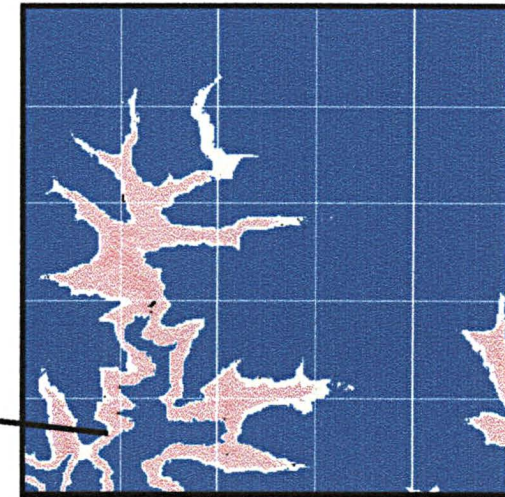
Intervalos de Cotas



DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1991



Correlação Geomorfológica, Unidade III

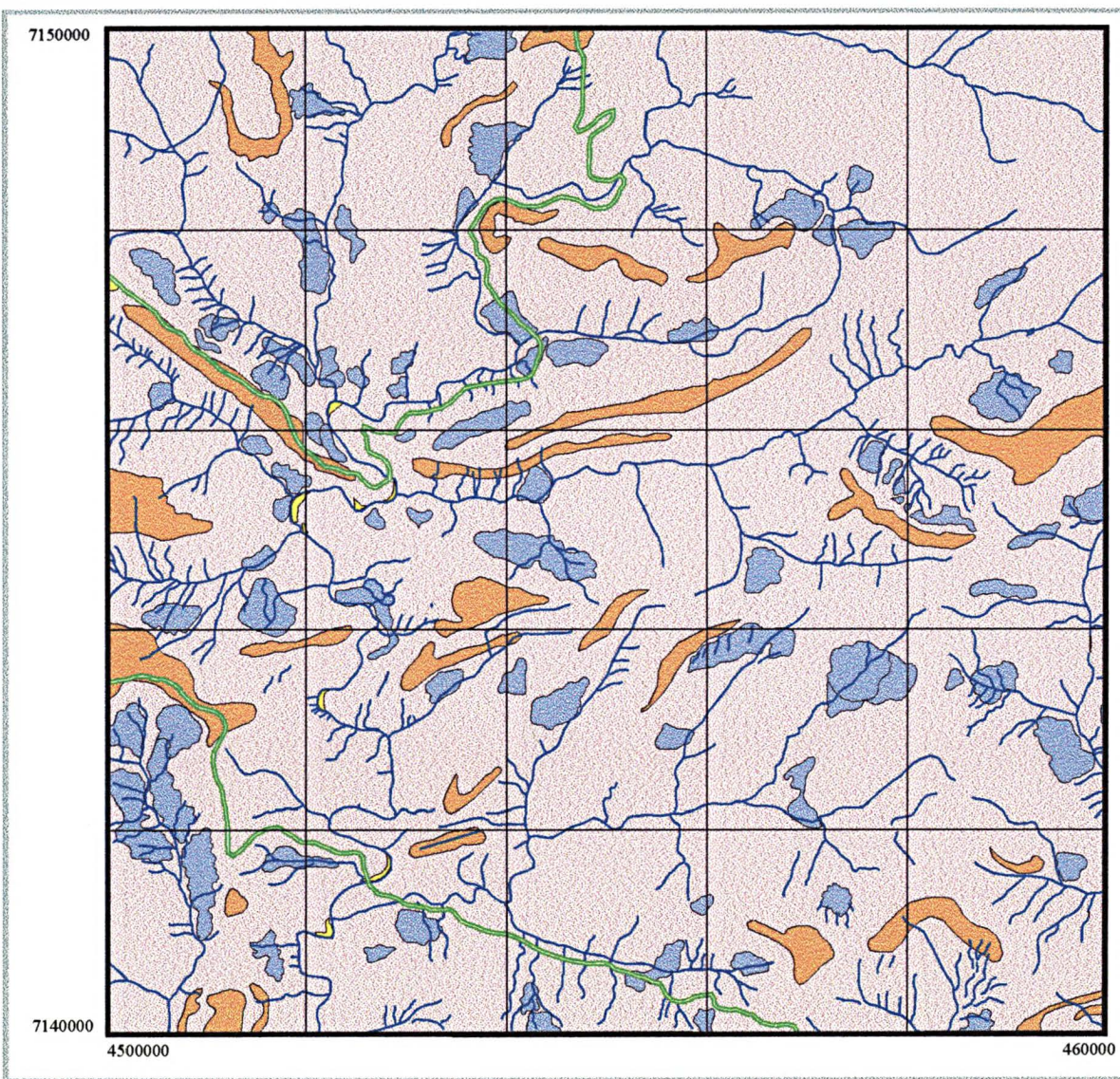


Escala Gráfica



MAIO / 1999	IMPACTOS AMBIENTAIS E PESQUISA SÍSMICA PARA HIDROCARBONETOS NA BACIA DO PARANÁ	JOÃO BOSCO SOUZA MENDONÇA ALUNO DO CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA AMBIENTAL DA UFPR
ESCALA INDICADA	MODELO DIGITAL DO TERRENO	

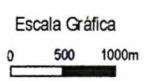
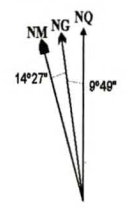
ANEXO 4 - MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS/ SOLOS



Legenda

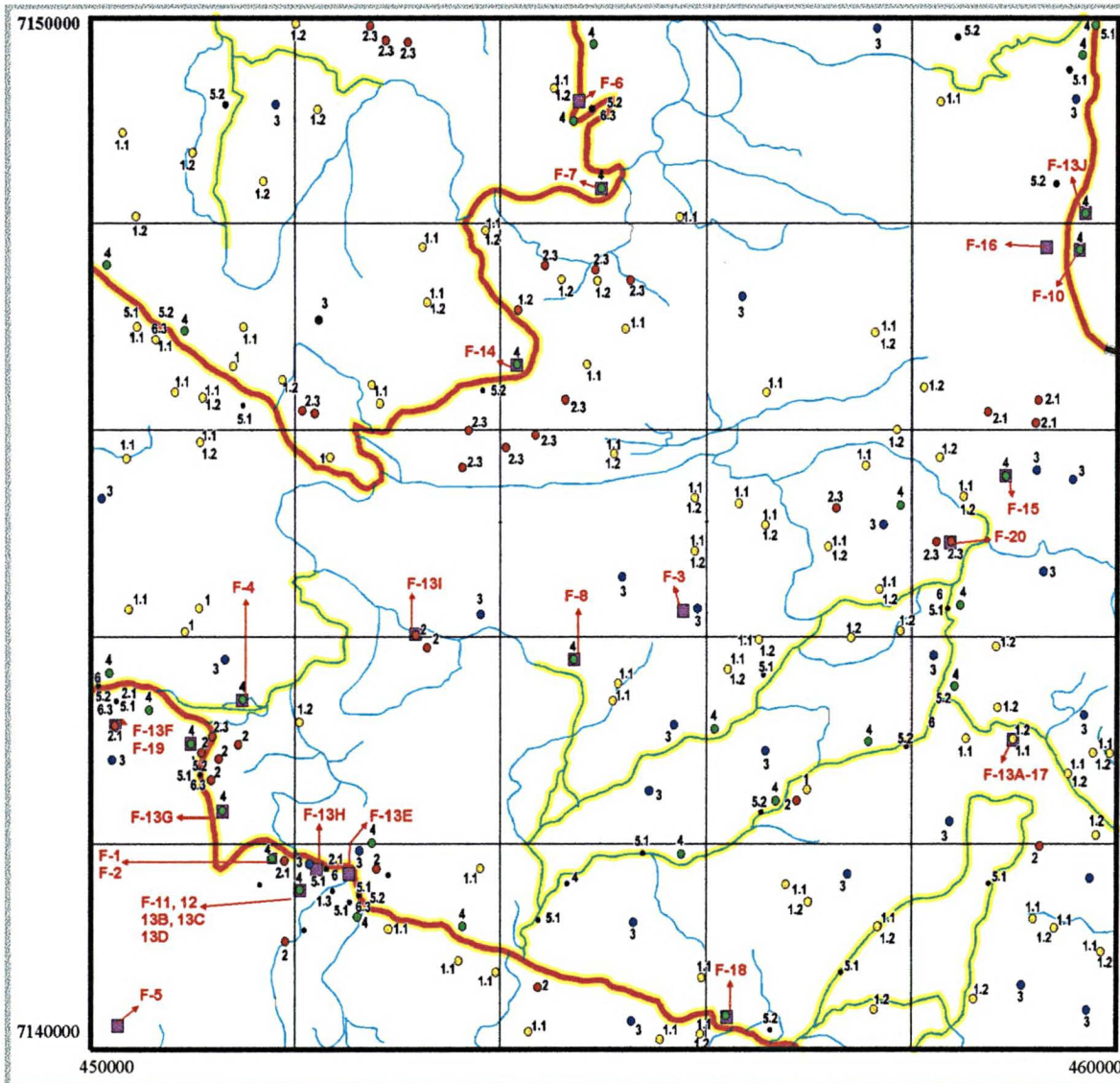
- Estrada principal
- Contato/Contato inferido
- Drenagem
- Solo residual de: (efusivas básicas/ efusivas intermediárias a ácidas)
JKsg - Formação Serra Geral
JKnp - Membro Nova Prata
- Blocos/Talus associados/ solos Litólicos
- Colúvio/Rampa de colúvio
- Aluvião

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1991



MAIO / 1999	IMPACTOS AMBIENTAIS E PESQUISA SÍSMICA PARA HIDROCARBONETOS NA BACIA DO PARANÁ	JOÃO BOSCO SOUZA MENDONÇA ALUNO DO CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA AMBIENTAL DA UFPR
ESCALA INDICADA	MAPA DE MATERIAIS INCONSOLIDADOS/ SOLO	

ANEXO 5 - MAPA DE PONTOS E OCORRÊNCIAS

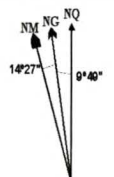


Legenda

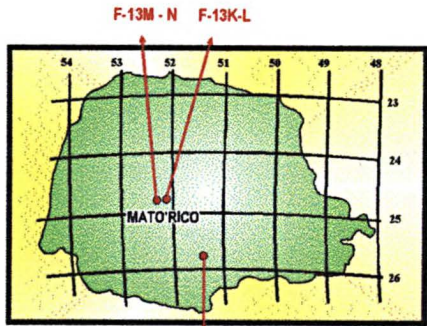
- Estrada principal
- Estrada secundária

- 1. EROSIÃO
 - Ravinamento 1.1
 - Sulco 1.2
 - Voçoroca 1.3
 - Assoreamento 1.4
- 2. MOVIMENTO DE MASSA
 - Escorregamento 2.1
 - Rastejo 2.2
 - Queda de blocos 2.3
- 3. DESMATAMENTO
 - QUEIMADA
 - ATIVIDADES ANTRÓPICAS
- 4. SERVIÇOS DE CAMPO
 - Caminhamento
 - Afloramento/ Ponto com Foto ■
- 5. AMOSTRAGEM
 - Solo 5.1
 - Rocha 5.2
- 6. ENSAIOS GEOTÉCNICOS - ANÁLISES
 - Análise Petrográfica 6.3

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1991



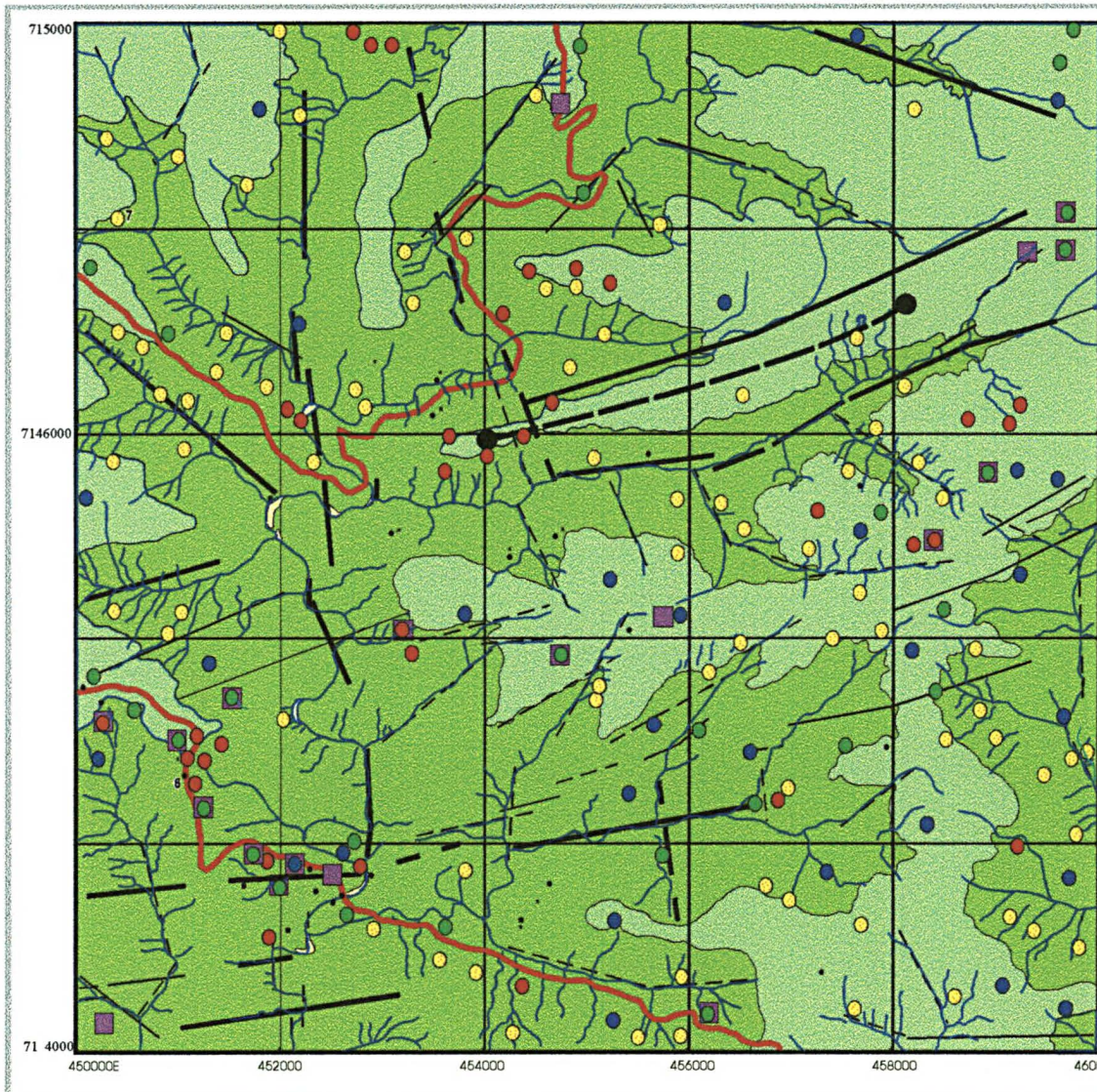
Escala Gráfica
0 500 1000m



LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

MAIO / 1999	IMPACTOS AMBIENTAIS E PESQUISA SISMICA PARA HIDROCARBONETOS NA BACIA DO PARANÁ	JOÃO BOSCO SOUZA MENDONÇA ALUNO DO CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA AMBIENTAL DA UFPR
ESCALA INDICADA	MAPA DE PONTOS	

ANEXO 6 - MAPA GEOLÓGICO/ OCORRÊNCIAS



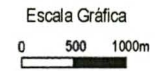
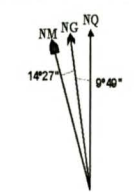
Legenda

- Litoestratigrafia**
- Depósitos Quaternários
 - QT - Aluviões
 - Grupo São Bento
- Estrada principal
 - - - Contato/Contato inferido
 - == Falha/Falha inferida
 - Dique inferido
 - ~ Drenagem

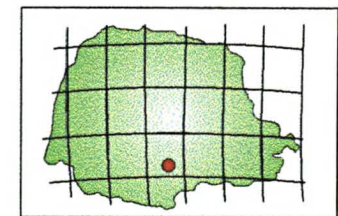
JKnp - Membro Nova Prata - Efusivas intermediárias a ácidas. - Quartzo latito/ Quartzo traquitó.
 JKsg - Formação Serra Geral - Efusivas básicas toleíticas, basaltos maciços e amigdalóides, cinza esverdeado a cinza escuro.

- 1. EROSIÃO
 - Ravinamento 1.1
 - Sulco 1.2
 - Voçoroca 1.3
 - Assoreamento 1.4
- 2. MOVIMENTO DE MASSA
 - Escorregamento 2.1
 - Rastejo 2.2
 - Queda de blocos 2.3
- 3. DESMATAMENTO
QUEIMADA ATIVIDADES ANTRÓPICAS
- 4. SERVIÇOS DE CAMPO
 - Caminhamento
 - Afloramento/ Ponto com Foto
- 5. AMOSTRAGEM
 - Solo 5.2
 - Rocha 5.3
- 6. ENSAIOS GEOTÉCNICOS - ANÁLISES
 - Análise Petrográfica 6.3

DECLINAÇÃO MAGNÉTICA EM 1991



LOCALIZAÇÃO NO ESTADO DO PARANÁ



MAIO / 1999	IMPACTOS AMBIENTAIS E PESQUISA SÍSMICA PARA HIDROCARBONETOS NA BACIA DO PARANÁ	JOÃO BOSCO SOUZA MENDONÇA ALUNO DO CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA AMBIENTAL DA UFRP
ESCALA INDICADA	MAPA DE PONTOS	

ANEXO 7- MAPA DE SUSCETIBILIDADE A EROSÃO E MOVIMENTOS DE MASSA APLICADOS ÀS ATIVIDADES DE PESQUISA SISMICA

