
CARACTERÍSTICAS
GEOLÓGICO-**G**EOTÉCNICAS NA
FORMAÇÃO **G**UABIROTUBA
EROÇÃO - **M**OVIMENTOS **G**RAVITACIONAIS
DE **M**ASSA

Rogério da Silva Felipe
MINEROPAR - Serviço Geológico do Paraná
Curitiba - 2011

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ

CARLOS ALBERTO RICHÁ

Governador

SECRETARIA DE ESTADO DA INDÚSTRIA, DO COMÉRCIO
E ASSUNTOS DO MERCOSUL - SEIM

RICARDO BARROS

Secretário

MINEROPAR - SERVIÇO GEOLÓGICO DO PARANÁ

MANOEL COLLARES CHAVES NETO

Diretor Presidente

ROGÉRIO DA SILVA FELIPE

Diretor Técnico

Copyright © 2011 by MINEROPAR

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

Concepção e elaboração

Rogério da Silva Felipe

Projeto gráfico e diagramação

Thais Eastwood Vaine

Impressão

Departamento de Imprensa Oficial do Estado.

Capa

Thais Eastwood Vaine

Foto da Capa

Erosão antrópica acelerada. MINEROPAR - PINHAIS.

FELIPE, Rogério da Silva

Características Geológico-Geotécnicas na Formação Guabirotuba
Curitiba : MINEROPAR, 2011 (1ª Edição).

48 p.

**1. Características Geológico-Geotécnicas. 2. Formação
Guabirotuba.** I. MINEROPAR - Serviço Geológico do Paraná. II. Título.

CDU: 624.13

IMPRESSO NO BRASIL - PRINTED IN BRAZIL

MINEROPAR - Serviço Geológico do Paraná

Rua Máximo João Kopp, 274 - Bloco 3M

CEP: 82630-900 Curitiba - PR - Brasil

Telefone: (41) 3351-6900 - Fax: (41) 3351-6950

<http://www.pr.gov.br/mineropar>

email: rfelipe@mineropar.pr.gov.br

Curitiba - 2011

RESUMO

O presente trabalho visa apresentar resultados geológico-geotécnicos de erosão e movimentos gravitacionais de massa, adquiridos pela MINEROPAR durante os trabalhos de mapeamento geológico-geotécnico em convênio com a COMEC na Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Os eventos erosivos, de escorregamento e corrida de lama estão relacionados às litologias da Formação Guabirota que são altamente suscetíveis a estes fenômenos, e que são agravados pela ação antrópica devido, em grande parte, ao desconhecimento dos planejadores urbanos quanto a este tema.

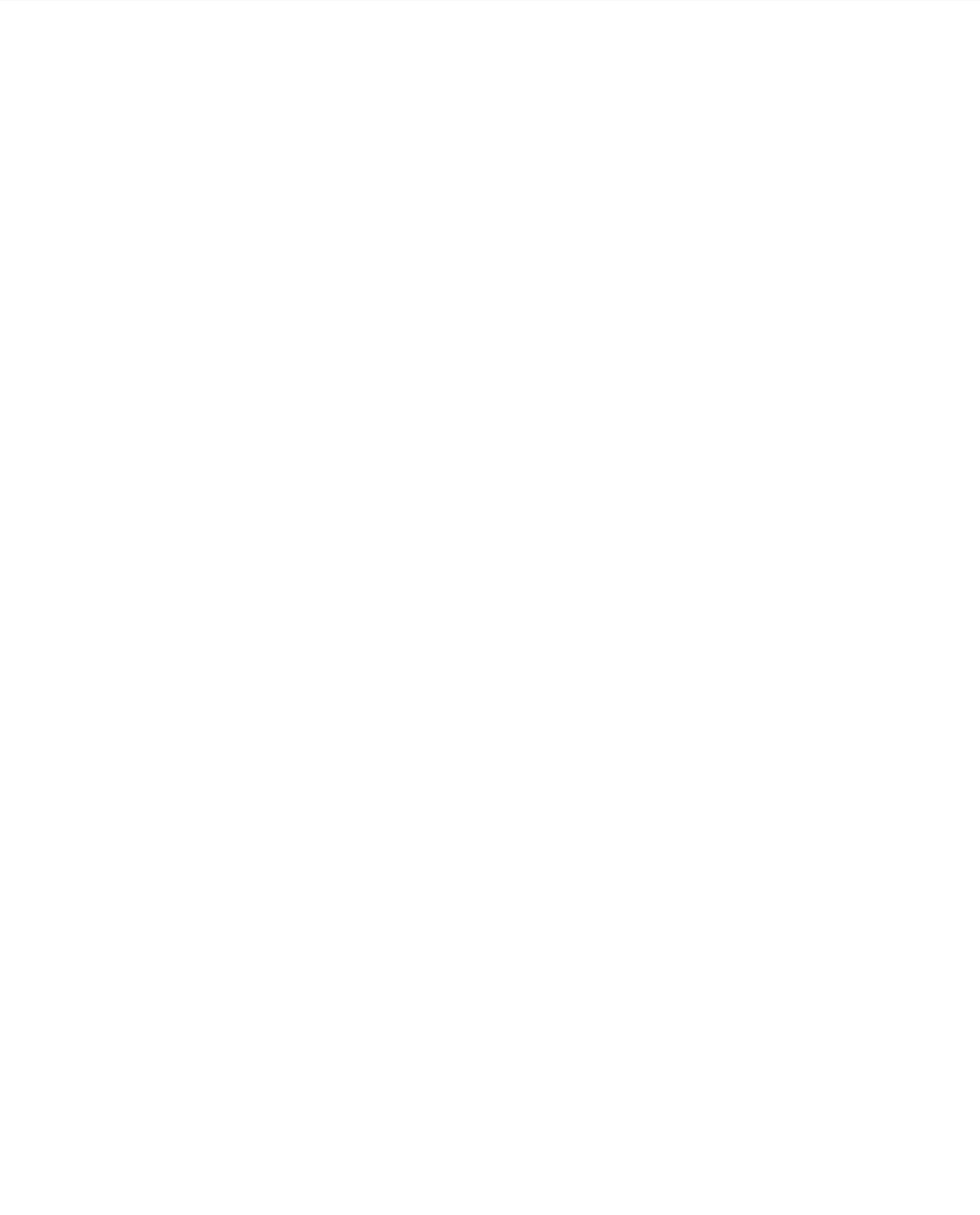
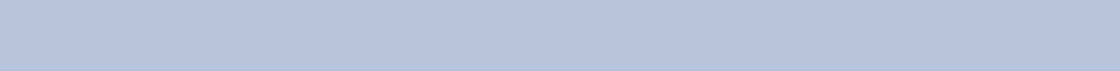
SUMÁRIO

Introdução.....	09
1. Distribuição em Área e Litologias da Formação Guabiro tuba.....	11
2. Descrição Geológico-Geotécnica da Formação Guabiro tuba.....	14
3. Conceituação de erosão.....	26
4. Erosão na Formação Guabiro tuba.....	28
5. Conceito de movimento gravitacional de massa.....	35
6. Movimentos gravitacionais de massa na Formação Guabiro tuba.....	39
Conclusões e Recomendações.....	45
Documentos consultados.....	47

INTRODUÇÃO

Os sedimentos da Formação Guabirota ocorrem em vastas áreas no Município de Curitiba e naqueles que o cercam. Estes sedimentos são expansivos e retrativos, com alta suscetibilidade à erosão e movimentos gravitacionais de massa em encosta, que trazem grandes riscos às comunidades assentadas nessas áreas, com prejuízos materiais e também sérios danos ao meio ambiente.

A discussão do tema tem como objetivo levar ao conhecimento dos profissionais atuantes nas áreas de gestão e planejamento urbano as características físicas e geotécnicas dos sedimentos da Formação Guabirota e os riscos geológicos associados, erosão e movimentos gravitacionais de massa.



1. DISTRIBUIÇÃO EM ÁREA E LITOTIPOS DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA

Os sedimentos da Formação Guabiro tuba estão distribuídos desde o município de Campo Largo até o município de Quatro Barras, abrangendo Curitiba como um todo e parte dos seis municípios limítrofes (vide Figura 1).

Na nomenclatura geológica, o termo Formação designa uma unidade de rocha que, geneticamente, representa um intervalo de tempo, curto ou longo, e pode ser composta de materiais provenientes de fontes diversas. Um conjunto de formações de mesma idade geológica constitui um Grupo. O nome de uma formação é dado em função da localidade em que foi descrita pela primeira vez à sua seção-tipo. Portanto, o nome Formação Guabiro tuba é dado aos sedimentos depositados em um intervalo de 23 a 1,8 milhões de anos, compreendendo os períodos do Paleógeno ao Quaternário (Mioceno – Holoceno, respectivamente), em um abatimento de rocha gerado por falhas na forma de uma bacia, tendo início no Cretáceo (99 Ma), e descritos, primeiramente, no bairro denominado Guabiro tuba, a leste de Curitiba,

por Bigarella e Salamuni (1962). Grande parte dos sedimentos que constituem a Formação Guabirota foram originados a partir da decomposição química das rochas Pré-Cambrianas.

Os sedimentos da Formação Guabirota atingem espessuras na ordem de 60-80 metros e compreendem sequências litológicas nas quais predominam as argilas e areias arcólicas (20 - 40% de feldspato). A parte basal é composta, por vezes, de cascalhos e arcólios de granulometria grosseira. Este pacote de sedimentos está depositado sobre as rochas do Complexo Atuba, embasamento gnáissico-migmatítico e rochas metassedimentares do Grupo Açungui.

É normal a concentração de carbonato de cálcio impregnando os sedimentos. Junto a estas impregnações carbonáticas ocorrem elementos de terras raras (lantânio, neodímio, etc.).

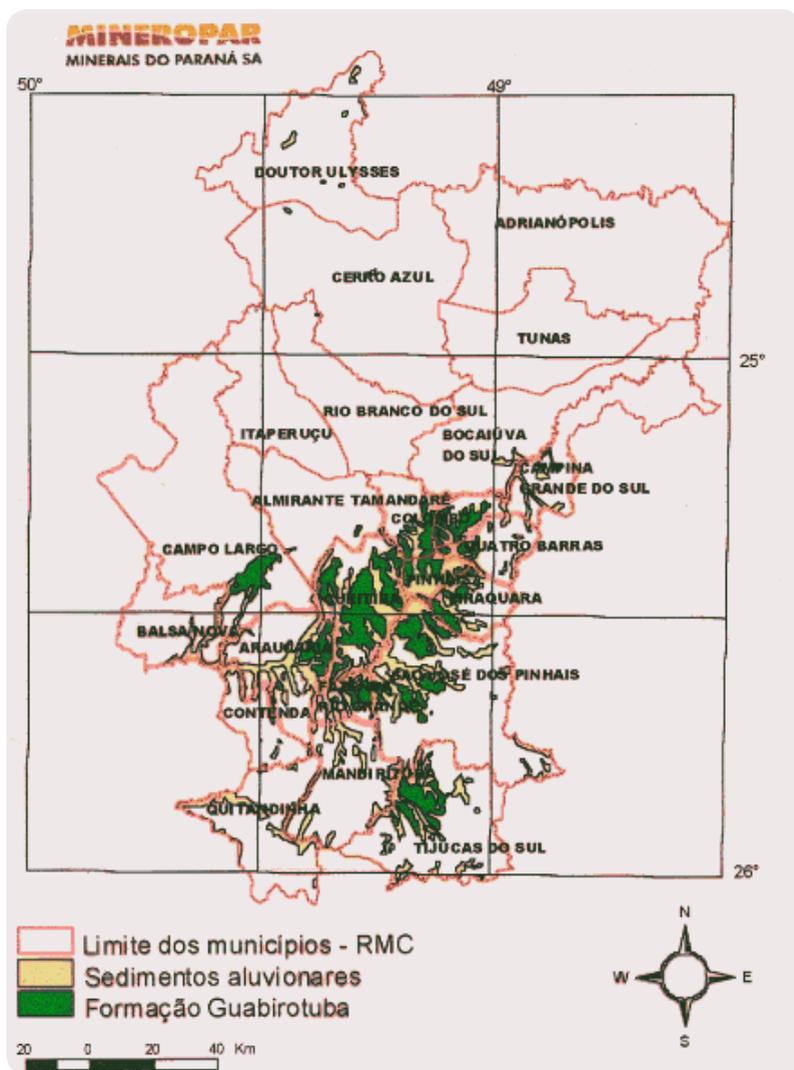


Figura 1 – Distribuição da Formação Guabirotuba na Região Metropolitana de Curitiba.

Fonte: Mapa Geológico do Estado do Paraná.
DNPM/MINEROPAR, 1989.

2. DESCRIÇÃO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICA DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA

Nos mapas de materiais inconsolidados elaborados pela MINEROPAR para atender o mapeamento geológico-geotécnico, realizado em parte da RMC em convênio com a COMEC (Figura 2), adotou-se o termo “materiais inconsolidados” (Noris, 1992) para todo o perfil de alteração do solo/rocha incluindo-se colúvio, solo residual maduro, solo residual jovem e saprólito. O termo “materiais inconsolidados” foi utilizado para não ferir os conceitos genéticos, de origem, formação e evolução dos solos, e ao mesmo tempo, adequar a sua necessidade de uso pela engenharia.

Para a confecção dos mapas de “materiais inconsolidados” foram levados em consideração, também, os atributos conforme o Quadro 1.

De acordo com os resultados dos atributos qualitativos, quantitativos e semi-quantitativos do Quadro 1, pode-se estabelecer o perfil típico de alteração dos litotipos da Formação Guabiro tuba (Figura 3). Cada nível de alteração foi amostrado (amostras deformadas e indeformadas) e analisado conforme os Quadros 2, 3 e 4.

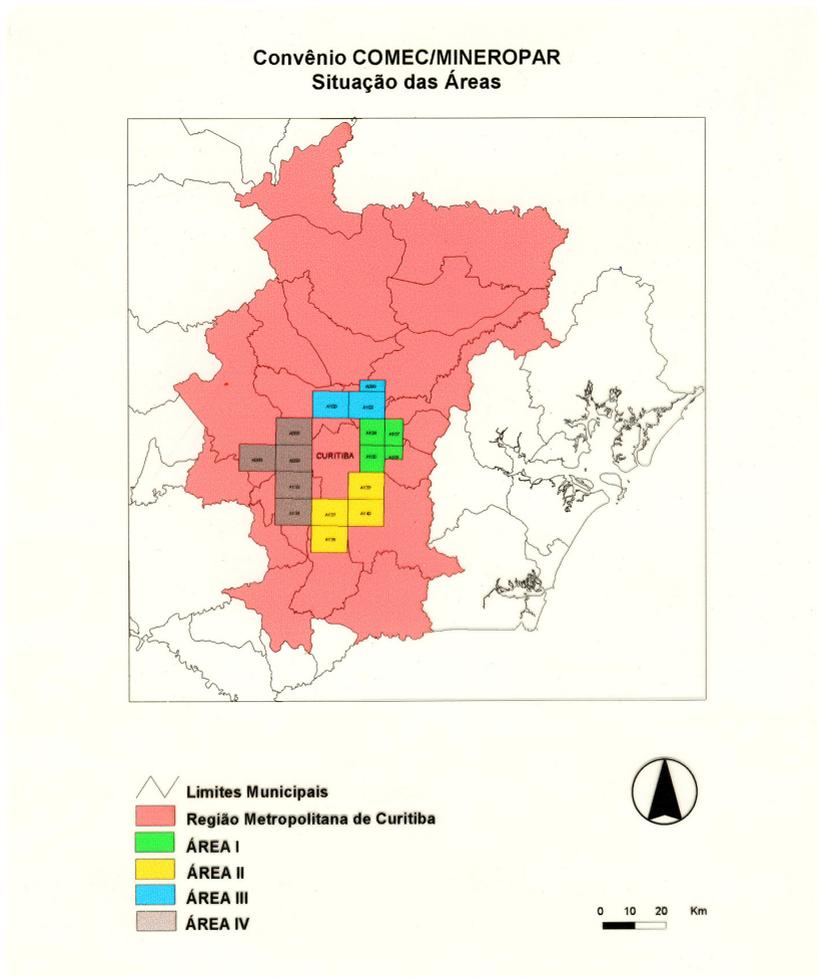
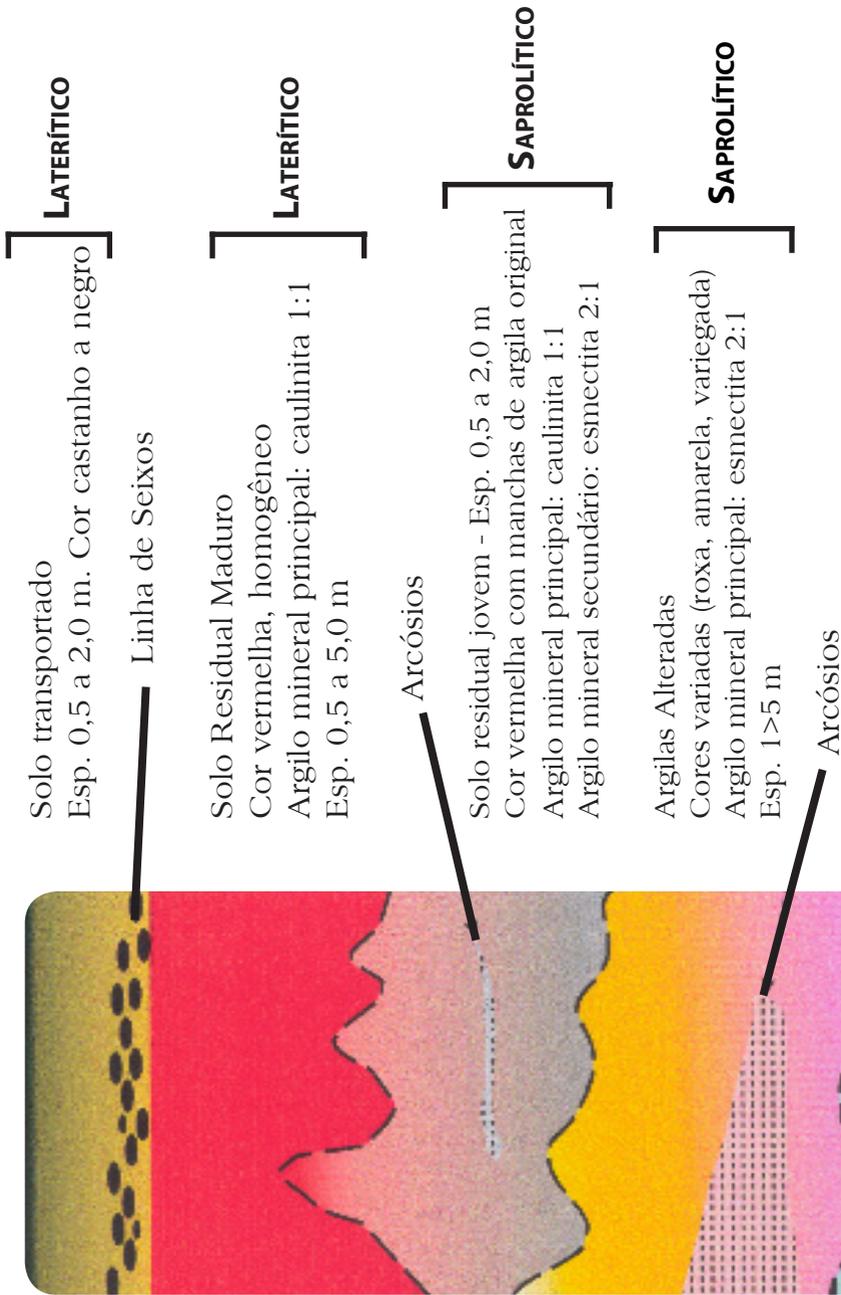


Figura 2 – Áreas Mapeadas

PERFIL TÍPICO DE ALTERAÇÃO DA FORMAÇÃO GUABIROTUBA



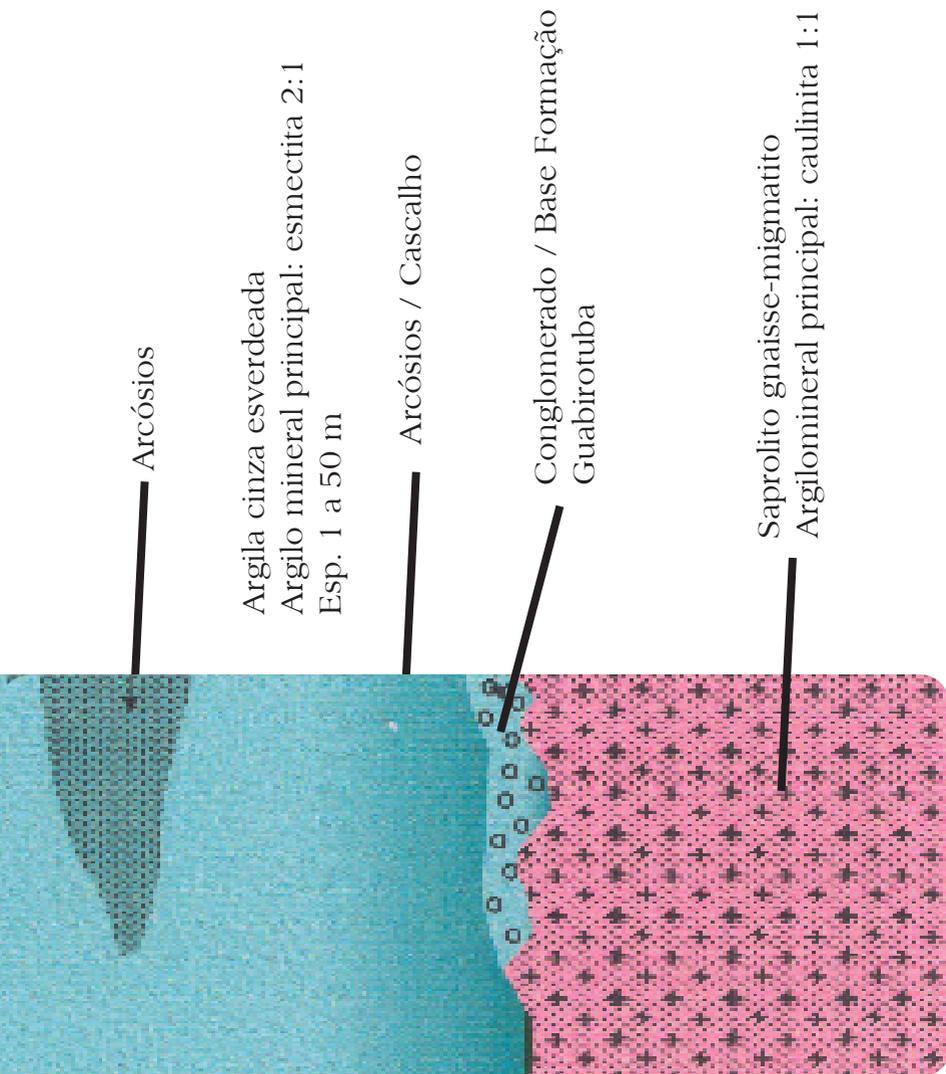


Figura 3 – Fonte: Autor

ATRIBUTOS QUALITATIVOS E QUANTITATIVOS CONSIDERADOS	ATRIBUTOS SEMI-QUANTITATIVOS OBTIDOS A PARTIR DE AMOSTRAGENS
	<p style="text-align: center;">Massa Específica Aparente Seca Natural</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Origem: residual ou transportado - Rocha original - Textura - Distribuição em área - Classe de espessuras - Arranjo: variação em profundidades - Descontinuidades básicas 	<ul style="list-style-type: none"> - Granulometria - Mineralogia: massa específica dos solos - Índice de vazios - Porosidade - Proctor Normal - Erodibilidade - Níveis de suporte: resistência - CTC/ΔpH/Superfície específica - ATD: argilomineral

Quadro 1 – Atributos analisados nos materiais inconsolidados da Formação Guabirotuba.

O PERFIL TÍPICO DE ALTERAÇÃO AQUI APRESENTADO COMPREENDE:

Solo transportado (colúvio) argilo-arenoso, laterítico, poroso, de cor marrom-escura a negra, espessura centimétrica a métrica, baixa resistência à penetração (muito mole). Este solo é de ocorrência restrita, sem grande distribuição lateral, e por vezes, pode estar assentado diretamente sobre as argilas ou os arcósios.

Linha de seixos de quartzo subangulosos, tamanhos variados, normalmente centimétricos, e a espessura desta linha é centimétrica a métrica.

Solo maduro, de cor vermelha, homogêneo, correspondente ao horizonte B, textura argilosa a muito argilosa, argilo-mineral predominante é a caulinita (1: 1) e em menor proporção ilita (2:1) e gibsitita (1:1). A espessura varia de 0,5 m a mais de 5,0 m, conforme sua localização na vertente (na meia encosta, apresenta espessuras mais finas). Resistência à penetração é baixa a média. A permeabilidade é média (10^{-3} cm/seg.), apresentando comportamento não laterítico na maioria das amostras

(Vb>1,5g/100gr), Acb e SE indicam uma baixa reatividade da argila, conforme ensaios de adsorção do azul de metileno. A massa específica seca máxima do Proctor normal situa-se em torno de 1,4g/cm³, com umidade ótima em torno de 26,8%, LL e LP em torno de 56,3 e 36,6 respectivamente. A erodibilidade não é alta, conforme observado no campo e por meio do teste de erodibilidade E>1.

Argilas alteradas, saprólito, de cor variegada, vermelha, roxa, amarela, contendo por vezes grãos de quartzo e feldspato alterados (caulim), textura argilosa, permeabilidade muito baixa (10⁻⁵cm/seg.). O argilo-mineral predominante é a esmectita (2:1), seguida pela caulinita (1:1) e illita (2:1). A espessura varia de 1,0 m a mais de 5,0 m. A resistência à penetração é média a rija. São características desta argila a expansividade, o empastilhamento e trincas provenientes da retração. Ela apresenta comportamento não laterítico: (Vb>1,5g/100gr.), Acb e SE indicam uma alta reatividade da argila conforme ensaio de adsorção do azul de metileno. A massa específica seca máxima do Proctor normal situa-se em torno de 1,5g/cm³, com umidade ótima em torno de 27,8%, LL e LP em torno de 62,8 e 35,5 respectivamente. A erodibi-

lidade desta argila em talude é alta, conforme constatado no campo e por meio de testes de erodibilidade $E < 1$.

Argila de cor cinza esverdeada, contendo grãos de quartzo e feldspato alterado (caulim), textura argilosa a muito argilosa. O argilo-mineral predominante é a esmectita (2:1) e em menor proporção a ilita (2:1) e caulinita (1:1), permeabilidade muito baixa (10^{-5} cm/seg.), espessura muito variável de 1,0 m a mais de 50,0 m. A resistência à penetração é gradual de média a rija, por vezes muito rija. São características desta argila a expansividade, o empastilhamento e trincas profundas em forma conchoidal, resultantes da retração. Apresenta comportamento não laterítico ($V_b > 1,5\text{g}/100\text{gr.}$). A erodibilidade em talude é muito alta, conforme se pode constatar no campo e através de testes de erodibilidade $E < 1$.

Arcósios são corpos lenticulares cujos minerais são quartzo e feldspato, possuem granulometria grossa a fina, ocorrem de maneira dispersa e em diferentes profundidades, por vezes com distribuição em área muito grande e espessuras de até 3,0 m. São medianamente compactos, com grãos de quartzo e feldspato cimentados por argila caulínicas ou esmectita, dependendo do

nível de profundidade em que se encontram. As cores também dependerão do nível em que se encontram esses arcósios, que apresentam permeabilidade média a baixa (10^{-3} e 10^{-5} cm/seg) e, em muitos casos, constituem pequenos aquíferos confinados. Dependendo do tipo de argila (caulinita ou esmectita) os arcósios poderão ser mais ou menos erosivos.

Arcósios e cascalhos ocorrem na base da Formação Guabiro tuba, normalmente no contato com os saprólitos dos gnaisses-migmatitos. Apresentam cor avermelhada até cinza esbranquiçada, são medianamente compactos a compactos e possuem espessura de até 3,0 m. O pacote exibe níveis irregulares e lenticulares cuja granulometria da fração areia (quartzo e feldspato) é média a grossa, apresenta níveis de cascalho e até blocos de quartzo e quartzitos, principalmente. A matriz é argilosa, não erosiva. A proporção de material grosso em relação à matriz é de 50%.

Quadro 4 – Resultados dos ensaios geotécnicos

Material Inconsolidado	Unidade Geológica	Ads. de Azul de Metileno												pH do solo												Permeabilidade						Erodibilidade					
		Acb gr/100g			em água			em KCl			pH			cm/s K			S			P %			E														
		mi	me	ma	mi	me	ma	mi	me	ma	mi	me	ma	mi	me	ma	mi	me	ma	mi	me	ma	mi	me	ma												
Solo Residual I	Fm. Guabiro tuba I	0,9	2,84	6,07	5,2	5,3	5,4	4,1	4,2	4,2	-1	-1,2	-1,3	10 ³	0,5	0,7	0,9	13,3	14,5	15,8	1,3	2,7	2,8														
Solo Residual II	Fm. Guabiro tuba II	1,41	3,14	7,95	4	4,6	5	3,9	4,1	4,2		-0,5		10 ³	0,3	0,5	0,7	0,6	4,5	10,3	0,1	11,5	34														
Solo Residual III	Fm. Guabiro tuba III	4,79	7,18	9,58		5,17		4				-1,2		10 ⁶		0,2			1,2			7,6															
Solo Residual IV	Fm. Guabiro tuba IV	1,11	3,3	9,04	4,5	4,8	5,7	3,6	3,8	4,1	-0,5	-0,9	-1,6	4x10 ⁴	6x10 ⁴	0,4	0,6	1,2	0,1	4	16,3	0,9	42,9	45													
Argila I	Fm. Guabiro tuba I	1,58	8,44	17,82	4,9	6	7,2	4	4,9	6	-0,9	-1	-1,3	10 ⁶	0,4	0,5	0,6	1,5	57,5	79,5	0,2	0,2	0,3														
Argila II	Fm. Guabiro tuba II	2,33	7,96	17,67	4,8	4,97	5,3	3,7	4	4,3		-1		10 ⁶	0,1	0,4	0,8	0,1	19,8	72,8	0,1	0,3	0,4														
Argila III	Fm. Guabiro tuba III	20,78	23,53	26,28		5,33		3,7				-1,2		10 ⁶		0,4			6,1	33,9		0,4															
Argila IV	Fm. Guabiro tuba IV	2	12,45	24,12	4,5	5,1	5,8	3,4	3,5	4	-1	-1,5	-2	1x10 ⁸	9x10 ⁵	0,1	0,3	0,5		21,1	55	0,1	0,8	3,8													
Arcócio I	Fm. Guabiro tuba I	1,58	9,88	28,36	4,1	4,35	4,6	3,8	3,9	4	-0,3	-0,4	-0,6	10 ⁴	0,4	0,6	0,9	39,1	62	85	0,1	0,5	0,9														
Arcócio II	Fm. Guabiro tuba II	1,6	5	21,27	4,8	4,98	5,2	3,9	4,1	4		-0,9		10 ⁶	0,3	0,3	0,4	12,2	12,9	14	0,8	1	1,2														
Arcócio III	Fm. Guabiro tuba III	6,38	9,28	11,6		4,81		4				-0,8		10 ⁶		0,3			9,7			1,1															
Arcócio IV	Fm. Guabiro tuba IV	2,07	19,01	81,65	4,4	4,8	5,6	3,4	3,6	4,1	-0,8	1,1	-1,5	1x10 ⁴	1x10 ³	0,4	0,4	0,1	5	20,6	54,4	0,4	2	3,5													

Quadro 4

3. CONCEITUAÇÃO DE EROSIÃO

O fenômeno da erosão consiste na ação combinada de uma gama de fatores que provocam o destacamento e o transporte de materiais sobre a crosta terrestre. Os principais agentes são: água da chuva, rios, geleiras, mares e vento.

A ação dos agentes não é uniforme nas diversas regiões da terra, assim os processos erosivos dependem de uma série de fatores naturais tais como o clima, a geomorfologia, a natureza do terreno (substrato rochoso e materiais inconsolidados) e a cobertura vegetal.

Baseado em J.B. Oliveira e D.P. Stein (1997), in O. Pejon (1992), a erosão causada pelo escoamento superficial das águas da chuva pode ser classificada em natural ou antrópica. É natural quando a atuação dos processos erosivos se faz em um ambiente onde é controlada somente pelo equilíbrio de fatores naturais. Este tipo de erosão vem se processando lentamente ao longo do tempo geológico. A erosão natural pode sofrer modificações devido a mudanças climáticas ou geológicas, alternando a velocidade e a intensidade do processo, podendo a remoção do material inconsolidado ser mais

rápida do que a sua reposição pelo processo de intemperismo das rochas, consistindo, portanto, em erosão acelerada. Os efeitos deste tipo de erosão acelerada, apesar de consistir em um desequilíbrio, normalmente se fazem sentir em milhares de anos, sendo, portanto ainda muito lento quando comparado aos processos erosivos desencadeados ou acelerados pela ação do homem.

A erosão antrópica (ação humana) sempre se reflete em uma aceleração dos fenômenos erosivos, por isso é considerada somente como erosão acelerada, podendo evoluir em poucos anos e atingir áreas extensas.

4. EROSIÃO NA FORMAÇÃO GUABIROTUBA

As argilas alteradas e cinza-esverdeadas da Formação Guabirotuba são expansivas, retrativas e higroscópicas, atributos que lhes conferem uma alta erodibilidade.

Nas condições em que se encontram na natureza, recobertas pelo solo residual ou transportado, caulínítico estável, as argilas mantêm-se com sua umidade natural, não manifestando nenhuma instabilidade. Caso a camada de solo venha a ser retirada, seja na abertura de uma estrada, em loteamentos ou na extração como material de empréstimo, esta argila exposta perde água e se retrai, apresentando empastilhamento e trincas características (Figuras 4 e 5). Com a água da chuva a argila se reidrata, expande e desagrega, formando um leito centimétrico por toda a superfície exposta de partículas finas (lama) e que, em função do escoamento superficial, é facilmente transportada, dando origem à erosão laminar ou erosão por escoamento concentrado (ravinamento), (Figuras 6 a 13). Portanto, o destacamento das partículas se dá mais por absorção da água pelas argilas do que propriamente pelo impacto direto de cada gota de chuva.

Quanto maior for a declividade e extensão das encostas, maior será o escoamento concentrado, maior a energia das águas, maior será o transporte de partículas e mais acelerado será o processo de sulcos e ravinas, que podem atingir grandes proporções, caso não sejam tomadas medidas mitigadoras. A evolução do processo erosivo causa grandes danos, tanto em áreas rurais quanto em áreas urbanas, vide fotos a partir da página 32.



Figura 4 – Detalhe do aspecto de pastilhamento e fraturamento apresentado pelas esmectitas da Formação Guabirotuba pelo processo de retração/perda de água em função da retirada do solo residual. Bacacheri.

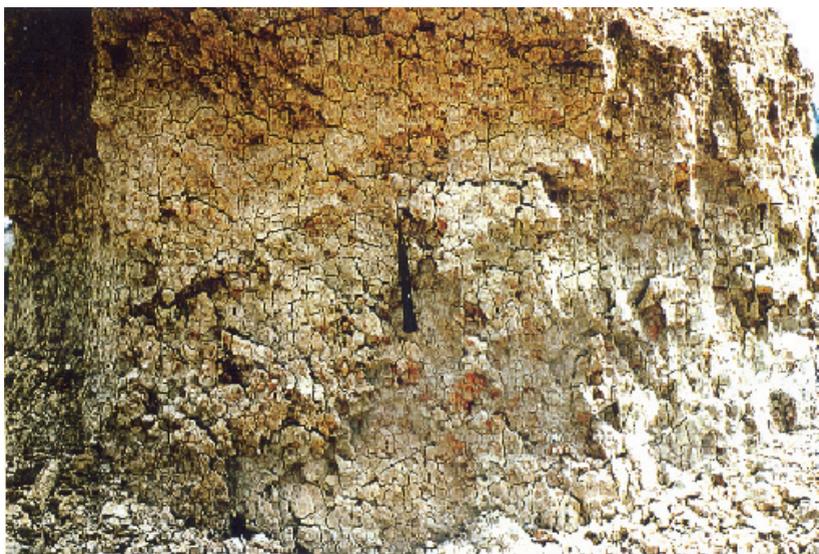


Figura 5 – Aspecto das argilas cinza esverdeadas da Formação Guabirotuba. Notar o empastilhamento e trincas causadas pela retração. Portão.



Figura 6 – Aspecto da erosão acelerada antrópica (ravina-mento e laminar). Notar que toda a superfície do terreno é formada por uma partícula fina sacaroidal (lama) que se contraiu com a perda d'água formando “gretas de contração”. Esse material irá se re-hidratar com água da chuva, se expandirá e se desagregará, formando novamente partículas finas que serão facilmente transportadas.
Quatro Barras.



Figura 7 – Aspecto de erosão por escoamento concentrado – ravina-mento, devido a retirada do solo superficial. Erosão antrópica acelerada. Pinhais.



Figura 8 – Idem figura 8. Alto Tarumã.



Figura 9 – Erosão laminar e por escoamento concentrado (ravina-mento) com a retirada do solo superficial na implantação do loteamento Santa Rosa. Campina Grande do Sul/PR.



Figura 10 – Detalhe da figura 10. Campina Grande do Sul.



Figura 11 – Assoreamento e aterro do riacho em função da erosão causada pela implantação do loteamento e retirada do solo superficial. Loteamento Santa Rosa. Campina Grande do Sul/PR.



Figura 12 – Mesma foto do loteamento Santa Rosa. Campina Grande do Sul/PR – 2010.



Figura 13 – Detalhe da figura 13, notar o ravinamento e os níveis de arcósio. Campina Grande do Sul.

5. CONCEITO DE MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA

Os movimentos gravitacionais de massa podem ser de diversos tipos, pois envolvem uma variedade de materiais e processos. A classificação mais utilizada mundialmente é a descrita por Varnes (1978), publicada em 2009 no livro *Desastres Naturais - Conhecer para prevenir*, do Instituto Geológico da Secretaria do Meio Ambiente de São Paulo.

PROCESSOS	DINÂMICA / GEOMETRIA / MATERIAL
ESCORREGAMENTOS	<ul style="list-style-type: none">- Poucos planos de deslocamento.- Velocidades médias (m/h) a altas (m/s).- Pequenos a grandes volumes de material.- Geometria e materiais variáveis.- Tipos:<ul style="list-style-type: none">a. Translacionais ou Planares: solos pouco espessos, solos e rochas com um plano de fraqueza.b. Rotacionais ou Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas.c. Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza.

Quadro 5

PROCESSOS	DINÂMICA / GEOMETRIA / MATERIAL
RASTEJOS	<ul style="list-style-type: none"> - Vários planos de deslocamento (internos). - Velocidades muito baixas (cm/ano) a baixa, decrescente com a profundidade. - Movimentos constantes ou intermitentes. - Solo, depósitos, rochas alteradas/fraturadas. - Geometria indefinida.
QUEDAS	<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, lascas, placas, blocos etc. - Rolamento de matacão, tombamento.
CORRIDAS	<ul style="list-style-type: none"> - Muitas superfícies de deslocamento. - Movimentos semelhantes ao de um líquido viscoso. - Desenvolvimento ao longo de drenagens. - Velocidades médias a altas. - Mobilização de solo, rocha, detritos e água. - Grandes volumes de material. - Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planares.

Quadro 5 (continuação)

Segundo Tominaga *et al.* (2009) os fatores condicionantes dos escorregamentos correspondem principalmente aos elementos do meio físico e, secundariamente, ao meio biótico os quais contribuem para o desencadeamento do processo.

O desenvolvimento desse processo é determinado pelos agentes predisponentes e agentes efetivos.

- Agentes Predisponentes: correspondem ao conjunto de condições geológicas, topográficas e ambientais da área onde se desenvolve o movimento de massa. São, portanto, as condições naturais dadas pelas características intrínsecas dos materiais, sem a ação do homem.
- Agentes Efetivos: referem-se ao conjunto de fatores diretamente responsáveis pelo desencadeamento do movimento de massa, incluindo-se a ação humana. Esses agentes efetivos preparatórios podem ser: pluviosidade, erosão pela água ou vento, oscilação do nível de lagos e marés e do lençol freático, ação de animais e ação humana como desmatamento e ocupação desordenada das

vertentes. Portanto, a ação do homem é vista por diversos autores como importante agente modificador da dinâmica natural do relevo e, por conseguinte da estabilidade das vertentes.

Assim, os principais fatores que contribuem para a ocorrência dos escorregamentos são os relacionados com a geologia, geomorfologia, aspectos climáticos e hidrológicos, vegetação e ação antrópica relativa as formas de uso e ocupação do solo (Wolle 1980, Fernandes e Amaral 1996, Tominaga 2007 in Desastres Naturais – Secretaria de Meio Ambiente SP 2009).

6. MOVIMENTOS GRAVITACIONAIS DE MASSA NA FORMAÇÃO GUABIROTUBA

O movimento de massa em encosta na Formação Guabiro tuba aparentemente se dá em função do processo de expansão e contração da argila esmectita, pela ciclicidade entre a perda e reabsorção de água. Esse processo físico-químico desenvolve-se internamente na argila que é espessa e homogênea, desenvolvendo fraturas, que em superfície apresentam forma semi-circular, profundas provocando movimentos escalonados e verticais.

Esse processo, pela sua forma, pode se chamar de escorregamento rotacional. O que difere um pouco desse processo é a velocidade, que aparentemente tem um início rápido, com deslocamentos verticais de até 1 metro e depois movimentos lentos e contínuos. Haja vista o acompanhamento da obliquidade de um pinheiro (Figuras 14 e 15) que só tombou, definitivamente, após 4 anos de quando foi fotografado. Este processo foi registrado em declividade acima de 20 %.

O início do movimento muitas vezes é provocado pela execução de cortes na base ou meia encosta

das vertentes, como a implantação de uma estrada, ou para a construção de edificações, pelo desmatamento da vertente ou pela variação do nível d'água em áreas próximas a lagos ou áreas úmidas (vide Figuras 14, 15, 16, 17, 18, 19 e 20).

Observamos que nos cortes/aterros construídos pela argila da Formação Guabirotuba (esmetita), para as mesmas finalidades acima citadas, há também movimento de massa que se assemelha a corrida de lama. Esse processo se dá devido a dois fatores: porosidade/permeabilidade do aterro e a expansividade (higroscopia) da argila.

Devido ao excesso de água no aterro poroso, proeminente da chuva, fossa etc., penetrando mais profundamente no aterro, a argila que estava seca, reagirá expandindo-se e, conseqüentemente, desagregando-se e diminuindo a coesão entre os grãos. Esse material escoará em razão de sua viscosidade/fluidez através da encosta com rapidez, podendo atingir grandes distâncias dependendo da quantidade de material do aterro, do comprimento e inclinação da vertente. Em áreas pouco inclinadas também pode ocorrer este fenômeno (Figura 20).



Figura 14 – Escorregamento rotacional em encosta com declividade $> 20\%$ causado pelo desmatamento – Notar a inclinação do pinheiro. Campina Grande do Sul/PR – 1993.



Figura 15 – Detalhe da figura 15, notar cicatrizes (falhas) escalonadas do escorregamento rotacional – ver inclinação do pinheiro.



Figura 16 – Notar cicatrizes (falhas) do escorregamento rotacional em declividade $> 20\%$. Campina Grande do Sul/PR – 1993.



Figura 17 – Detalhe da figura 17.



Figuras 18 e 19 – Escorregamento rotacional cusado pela variação do nível d'água em áreas próximas à área úmida. Quatro Barras.



Figura 20 – Corrida de lama, casa construída em aterro. Campina Grande do Sul.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A Formação Guabirotuba abrange parte dos municípios limítrofes a Curitiba, e principalmente a própria capital, e alguns mais distantes, situados na Região Metropolitana. É nestes municípios limítrofes que a CO-MEC espera o maior crescimento nos próximos 10 anos.

As argilas, litotipo mais abundante da Formação Guabirotuba pertencem ao grupo das esmectitas (2:1), que são argilas expansivas, higroscópicas (perdem e reabsorvem água) o que as torna também muito retrativas. Estas características lhes conferem alta suscetibilidade à erosão e movimento de massa em encosta.

A deflagração dos processos erosivos e de movimento de massa, relacionados aos litotipos da Formação Guabirotuba, estão intimamente ligados ao uso e ocupação inadequados do solo, devido à falta de conhecimento e de planejamento prévio por parte dos urbanistas e loteadores.

A ocorrência desses processos tem trazido enormes prejuízos ao meio ambiente (pela perda de solo e assoreamento dos rios), ao poder público (pelo aporte extra de verbas em rede de água, esgoto e obras para

contenção destes processos) e, à população em geral (pela perda e danos de bens materiais).

Recomenda-se aos municípios onde há ocorrência da Formação Guabiro tuba que façam a caracterização do meio físico, cuja carta geotécnica contemple, pelo menos, o perímetro urbano da sua sede e dos distritos, em escala 1:5.000. Este mapeamento permitirá localizar e delimitar as áreas de afloramentos da Formação Guabiro tuba, orientando o planejamento e a execução das obras civis, tanto públicas quanto privadas. Recomendamos aos administradores desses municípios da Região Metropolitana de Curitiba que contemplem em seus Planos Diretores, e mesmo aos municípios que não os têm, a criação de leis sobre parcelamento do solo e código de obras que contenham medidas preventivas à erosão urbana.

DOCUMENTOS CONSULTADOS

FELIPE, R. S. et al. **Mapeamento geológico-geotécnico na região do Alto Iguaçu**. Curitiba : MINEROPAR, 1994. 2 v.

FELIPE, R. S. **A gestão de riscos geológicos urbanos, erosão e movimento gravitacional de massa na Formação Guabirota**. Curitiba : GTU: PUC: UTC, 1998. 47 p. Especialização em gestão do meio urbano.

SALAZAR JR., O. .; FELIPE, R. S. **Mapeamento geológico-geotécnico nas folhas COMEC A137, A138, A139 e A140 Área 2**. Curitiba : MINEROPAR, 1996. 3 v , A2. Convênio COMEC/MINEROPAR.

OLIVEIRA, L. M. ; SALAZAR JR., O. **Mapeamento geológico-geotécnico nas folhas COMEC A100, A103, A093 (Parcial) Área 3**. Curitiba : MINEROPAR , 1997. 3 v. Convênio COMEC/MINEROPAR.

SALAZAR JR., O. .; FELIPE, R. S. **Mapeamento geológico-geotécnico nas folhas Comec A060, A098, A099, A101, A133 e A134. Área 4**. Curitiba : MINEROPAR, 1999. 3 v. Convenio COMEC/ MINEROPAR.

PEJON, O. J. **Mapeamento geotécnico regional da folha de Piracicaba-SP (escala 1:100.000) estudo de aspectos metodológicos, de caracterização e de apresentação de atributos.** 2 v. Tese (Doutorado em Geotécnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1992.

SALAMUNI, E. **Tectônica da Bacia Sedimentar de Curitiba – PR.** Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociência e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

SCHÜSSEL, Z. G. L. (Coord.) **Relatório ambiental da Região Metropolitana de Curitiba.** Curitiba : COMEC: PNDU, 1997. 100 p.

SOUZA, N. C. D. C. **Mapeamento geotécnico regional da folha de Aguai: com base na compartimentação por formas de relevo e perfis típicos de alteração.** 2 v. Dissertação (Mestrado em Geotécnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1992.

TOMINAGA, L. K. ; SANTORO, J. **Desastres naturais.** São Paulo : Instituto Geológico, 2009. 192 p.