



UNICAMP Universidade Estadual de Campinas



Instituto de Geociências

Curso de Graduação em Geologia

Caracterização dos fatores condicionantes dos movimentos de massa no Morro da Caixa D'água no município de Antonina-PR.

Autor: Francisco Thomaz Valli Cardoso, ra:060934

Orientador: Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço



UNICAMP Universidade Estadual de Campinas



Instituto de Geociências

Curso de Graduação em Geologia

Caracterização dos fatores condicionantes dos movimentos de massa no Morro da Caixa D'água no município de Antonina-PR.

Francisco Thomaz Valli Cardoso

Trabalho de Conclusão de Curso do Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), sob a orientação do Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço, como exigência para a obtenção do título de Bacharel em Geologia.

1. Introdução.....	4
1.1 Objetivos.....	6
2. Metodologia.....	6
2.2- Análises Geotécnicas.....	7
2.3- Descrição Petrográfica.....	9
3. Localização da Área.....	9
4. Aspectos Fisiográficos.....	10
4.1 - Clima.....	10
4.2- Geologia Regional.....	11
4.3- Geomorfologia.....	14
5. Características Geotécnicas de Solos Tropicais (regolitos).....	17
5.1. Constituição dos solos.....	20
5.2 Perfis de intemperismo em regiões tropicais.....	20
5.2.2- Resistência ao Cisalhamento de Solos Tropicais.....	22
6. Movimentos de Massas Gravitacionais.....	22
6.1- Movimentos de blocos rochosos.....	25
6.2- Fatores condicionantes de movimentos de massa.....	26
Fatores predisponentes.....	27
Fatores efetivos.....	27
7. Aspectos Geológicos da Área.....	29
7.1 Rochas Máficas a Ultramáficas Indiferenciadas.....	29
7.2 Biotita Clorita Milonito.....	32
7.3 Dique de Diabásio.....	33
7.4 Sedimentos Recentes.....	34
8. Análise dos dados obtidos.....	35
8.1 Análise Difratométrica.....	35
8.2 Análises Geotécnicas.....	37
9. Descrição dos Movimentos Gravitacionais de Massa.....	40
10. Discussão e Conclusão.....	45
11. Bibliografia.....	47
Anexo 1:.....	50
Anexo 2:.....	51

1. Introdução.

Nos últimos anos, entre os meses de dezembro e março, grandes desastres decorrentes da pluviosidade em algumas regiões do país, têm provocado grandes prejuízos, principalmente de vidas humanas. Alguns exemplos desses desastres são os movimentos de massas gravitacionais (MMG) resultantes da saturação e perda de coesão dos regolitos associados a encostas, aliados a fatores tais como declividade, vegetação, ocupação e uso do solo. Desastres desse tipo ocorreram, por exemplo, em Blumenau-SC, Ouro Preto-MG, Angra dos Reis-RJ, Nova Friburgo-RJ e Petrópolis-RJ.

A prevenção contra esses desastres é possível. Com base no estudo desenvolvido pelo IPT (Tatizana *et al.*, 1987), quando as chuvas acumuladas no período de três dias alcançam índices pluviométricos entre 80 a 120 mm, áreas de risco devem entrar em estado de atenção. Tal área de risco deve ser monitorada para verificar a ocorrência de indícios de instabilidade das encostas e taludes, e se necessário, dando-se a remoção pelos órgãos competentes da população do local, evitando mortes e outros danos.

O acompanhamento da precipitação só servirá para prevenir possíveis deslizamentos caso a área tenha sido previamente estudada e delimitada como área de risco. Para isso a geologia é aplicada na detecção de áreas de risco, a realização de estudos sobre a constituição geológica, pedológica, geomorfológica e o uso da área, são fundamentais para a determinação se uma região é suscetível à ocorrência de deslizamentos. Sendo assim a geologia é aplicada na prevenção de desastres e na posterior investigação do que levou à ruptura da encosta ou do talude. O fator pedológico apresenta grande importância nesses estudos, pois os regolitos apresentam diferentes constituições químicas entre si, além de parâmetros de saturação e de resistência ao cisalhamento. Uma análise profunda dos regolitos encontrados em áreas de risco é de grande importância para o entendimento do processo que possa levar ou que levou ao seu rompimento.

No município de Antonina (PR), entre os dias 10/3/2011 e 13/3/2011, fortes chuvas atingiram a região litorânea do Paraná, alcançando cerca de 380 mm (Lopes, 2012). Esta grande precipitação resultou em uma série de escor-

regamentos nas cidades de Antonina e na vizinha Morretes, causando grandes danos e deixando centenas de desabrigados e três mortes (quadro 1). A área afetada pelas fortes chuvas, em um curto período de tempo, abrange cerca de 500 km².

Quadro 1- Avaliação de danos encaminhados à Defesa Civil no evento de março/2011.

Município	Pessoas afetadas	Pessoas desalojadas	Pessoas desabrigadas	Pessoas que permanecem em abrigos	Feridos	Mortos	Residências danificadas	Residências destruídas
Antonina	7550	2289	1160	329	200	2	1200	71
Morretes	15178	8000	1180	46	21	1	2450	85

Fonte: Defesa Civil do Estado do Paraná, 2011.

Com base no deslizamento ocorrido no bairro Caixa D'Água em Antonina-PR, o presente trabalho visa analisar a influência que os fatores geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de precipitação tiveram para a ocorrência do evento.

1.1 Objetivos.

O presente trabalho visou caracterizar os fatores condicionantes para a ocorrência dos deslizamentos no Morro da Caixa D'Água, situado na área urbana do Município de Antonina, no Estado do Paraná. Para a realização desse trabalho foi realizado trabalho de campo entre os dias 26 e 27 de maio e no dia 16 de agosto do ano de 2012. As observações e amostras de regolitos deformadas e rochas obtidas em campo foram analisadas do ponto de vista mineralógico e geotécnico, para isso a metodologia usada foi descrita a seguir.

2. Metodologia.

A etapa de campo como anteriormente citada teve a duração de três dias, durante o campo foram coletadas amostras de solo e de rochas, além de medidas estruturais com o auxílio de bússola Clar. A obtenção de dados estruturais na área mapeada foi prejudicada pela escassez de exposição dos litotipos, sendo os mesmos, em grande parte, formados por blocos rolados.

Após a etapa de campo, cada tipo de amostra teve uma análise específica. Com as amostras de solo foram feitas: análises geotécnicas e análises de difratometria de raio-X. Já com as amostras de rocha foram confeccionadas 3 lâminas delgadas polidas feitas no laboratório de laminação do Instituto de Geociências da UNICAMP. Foi elaborado esboço de mapa geológico e mapa de localização de pontos na escala 1:10000.

A seguir um breve detalhamento das análises feitas em laboratório:

2.1- Difratometria de Raio-X.

A Difratometria de Raio-X é uma técnica de caracterização de materiais, indicada na determinação das fases cristalinas presentes na amostra. Tal procedimento é realizável devido ao fato de que na maior parte dos sólidos (cristais), os átomos encontram-se ordenados em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda

dos raio-X. Assim o cristal ao ser atingido por um feixe de raio-X, excita-se e seus átomos interagem entre si, originando o fenômeno de difração que é captado pelo receptor do aparelho e gera assim um perfil de difração.

A identificação desse perfil (fig.1) é feita comparando-o com o conjunto de difração padrão coletado e mantido pelo JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards).

A escolha por esse método foi devido à sua simplicidade e rapidez, além da confiabilidade nos resultados obtidos (pois o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina). A figura 1 é um exemplo de perfil gerado com o solo obtido em campo. Para a realização da difratometria de raio-X as amostras foram previamente quarteadas e moídas no laboratório de britagem e moagem do Instituto de Geociências da UNICAMP. Após a moagem, o material em forma de pó, foi analisado no equipamento de difratometria de raio-X do IG-UNICAMP.

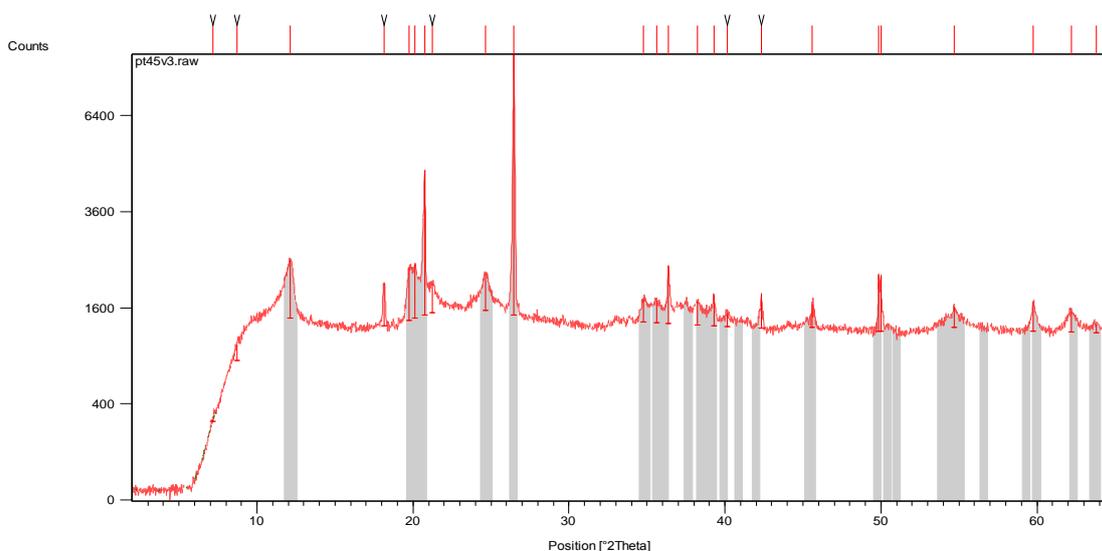


Figura 1- Exemplo de um perfil de difração obtido com a Difratometria de Raio-X.

2.2- Análises Geotécnicas.

As análises geotécnicas realizadas foram a análise granulométrica e a análise de consistência, sendo elas as escolhidas devido ao tipo de amostra coletada.

A análise granulométrica consiste da separação das partículas constituintes dos regolitos em classes de tamanho, e foi realizada conforme o método do boletim 106 do IAC. Sendo realizada por peneiramento utilizando-se peneiras de 0,21mm e 0,053mm para a separação da fração areia grossa e

areia fina; para a determinação da fração argila e silte foi efetuado o método da pipetagem. Não foram utilizados, nas análises granulométricas, nenhum defloculante.

A granulometria é a separação das partículas constituintes dos regolitos em classes de tamanho, para isso foi utilizado a escala granulométrica adotada pela ABNT 6502/95.

Para a análise de Consistência dos regolitos foi realizado experimento utilizando-se o método de ensaio NBR 6459/84 (ABNT) que utiliza o aparelho de Casagrande ilustrado na figura 2 para se medir o limite de liquidez do solo, e para o limite de plasticidade foi realizado o Método de Ensaio (NBR-7180/1984). Esses limites são conhecidos também como limites de Atterberg. Para ambos os testes as amostras foram antes preparadas seguindo a norma NBR 6457.

Todas as análises geotécnicas foram realizadas no Laboratório de Solos da FEAGRI/UNICAMP com a ajuda da técnica responsável Célia Panzarin. Estas análises forneceram os dados de granulometria, de limite de liquidez e do limite de plasticidade.

Os limites de liquidez e de plasticidade segundo Bueno e Vilar (1999) são:

O limite de liquidez é definido como sendo a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico; é a umidade de transição entre os estados líquido e plástico do solo.

O limite de plasticidade é tido como o teor de umidade em que o solo deixa de ser plástico, tornando-se quebradiço; é a umidade de transição entre os estados plástico e semi-sólido do solo.



Figura 2 - Aparelho de Casagrande, utilizado para a obtenção do limite de liquidez (LL). Foto: UDESC – DEC.

2.3- Descrição Petrográfica.

A descrição petrográfica das três lâminas delgadas polidas foi realizada no laboratório de laminação do Instituto de Geociências, a partir de amostras obtidas em campo. Tais lâminas foram analisadas no laboratório de microscopia, do Instituto de Geociências, com a utilização de microscópio petrográfico.

3. Localização da Área.

O Município de Antonina está localizado (figura 3) no litoral do Estado do Paraná, a cerca de 90 km de Curitiba, capital do Estado. O município situa-se na margem sul-sudoeste da baía de Antonina, entre os estuários do rio Cachoeira à norte e Nhundiaquara ao sul, estando balizada pela ilha de Ponta Grossa e pela ilha de Teixeira. O acesso, a partir de Curitiba, é feito pela BR-277.



Figura 3- Localização do Município de Antonina – PR e principais vias de acesso.

4.Aspectos Fisiográficos.

4.1 - Clima

Segundo Vanhoni (2008), a região leste do Estado do Paraná engloba os municípios de Guaraqueçaba, Antonina, Morretes, Paranaguá, Matinhos, Guaratuba e Pontal do Paraná. O clima da Planície Costeira é o Subtropical Úmido – Mesotérmico, que apresenta média, em meses mais quentes, superior a 22°C e no mais frio, 18°C, não possuindo estação seca definida, com verão quente e ocorrência de poucas geadas no inverno.

A Serra do Mar, que chega a atingir cerca de 700m de altitude, apresenta um microclima, o Subtropical Úmido – Mesotérmico. Este é caracterizado por um verão fresco onde as precipitações são mais freqüentes e a temperatura média não ultrapassa 22°C.

O clima da região é controlado pela atuação do Anticiclone do Atlântico Sul, que durante o verão é constituído pela Massa Tropical Atlântica e no inverno pela Massa Polar Antártida.

Na região litorânea do Paraná a temperatura do ar atua como um regionalizador do clima. Ainda de acordo com Vanhoni (2008) pode-se perceber a variação sazonal do clima. Os dados relativos às temperaturas mínimas mostram que as médias (anual e sazonal) apresentam-se da seguinte maneira: a média anual fica entre 16° e 18°C na planície litorânea decaindo com o aumento da altitude; nas Serras e Morros, a média anual situa-se entre 11° e 13°C. Já no verão a média está em torno de 19° e 21°C na planície, decaindo para 15° e 16°C nas regiões mais altas, e mesmo para 12° e 13°C nos picos montanhosos; no outono a média situa-se entre 16° e 18°C, que apresenta valores mais baixos nas regiões mais elevadas (entre 11° e 13°C). Durante o inverno as médias de temperaturas ficam em torno de 12°C e 14°C na planície, no entanto, nas encostas e regiões montanhosas atinge valores entre 09° e 11°C. Durante a primavera a média apresenta comportamento semelhante, entre 16° e 18°C na planície, e decai para 11° e 13° nas regiões mais altas.

Quanto às temperaturas máximas, na qual as médias anuais atingem cerca de 25°C e 27°C na Planície Litorânea, ocorre uma redução nas áreas de relevo mais elevado; já nas Serras e Morros, a média anual fica em torno de 22°C e 23°C.

No verão a média das temperaturas máximas varia entre 29°C e 30°C na área de planície e decai para 25°C e 27°C na porção mais elevada do relevo e nos picos montanhosos fica em torno de 22°C e 23°C. Durante o outono as médias apresentam-se em torno de 26°C e 27°C, das quais 23°C e 24°C situam-se nas porções mais elevadas do relevo. No inverno, as médias apresentam-se em torno de 22°C e 23°C na planície, e entre 19° e 20°C nas elevações.

Segundo Vanhoni (2008) no inverno, de maio a agosto, ocorre a estação de menor pluviosidade com médias em torno de 300 a 400 mm na região dos morros e nas planícies a média fica em torno de 280 mm.

O período chuvoso é o verão, de dezembro a março, apresentando médias por volta de 1000 mm em maiores altitudes e 800 mm na área de planícies, valores esses devido a influencia da Massa Tropical Atlântica, e de sua maritimidade.

4.2- Geologia Regional.

A região de estudo situa-se no Cinturão Ribeira (figura 4), que segundo Brito Neves et al, 1999 é um orógeno relacionado com o Gondwana Ocidental no Neoproterozóico. De acordo com Campanha et al (2009), o Ciclo Brasileiro-Pan Africano foi o responsável pelas diferentes unidades magmáticas e metamórficas de idades neoproterozóicas a eopaleozóicas que constituem o cinturão, tais unidades foram geradas por acreções de fragmentos litosféricos continentais.

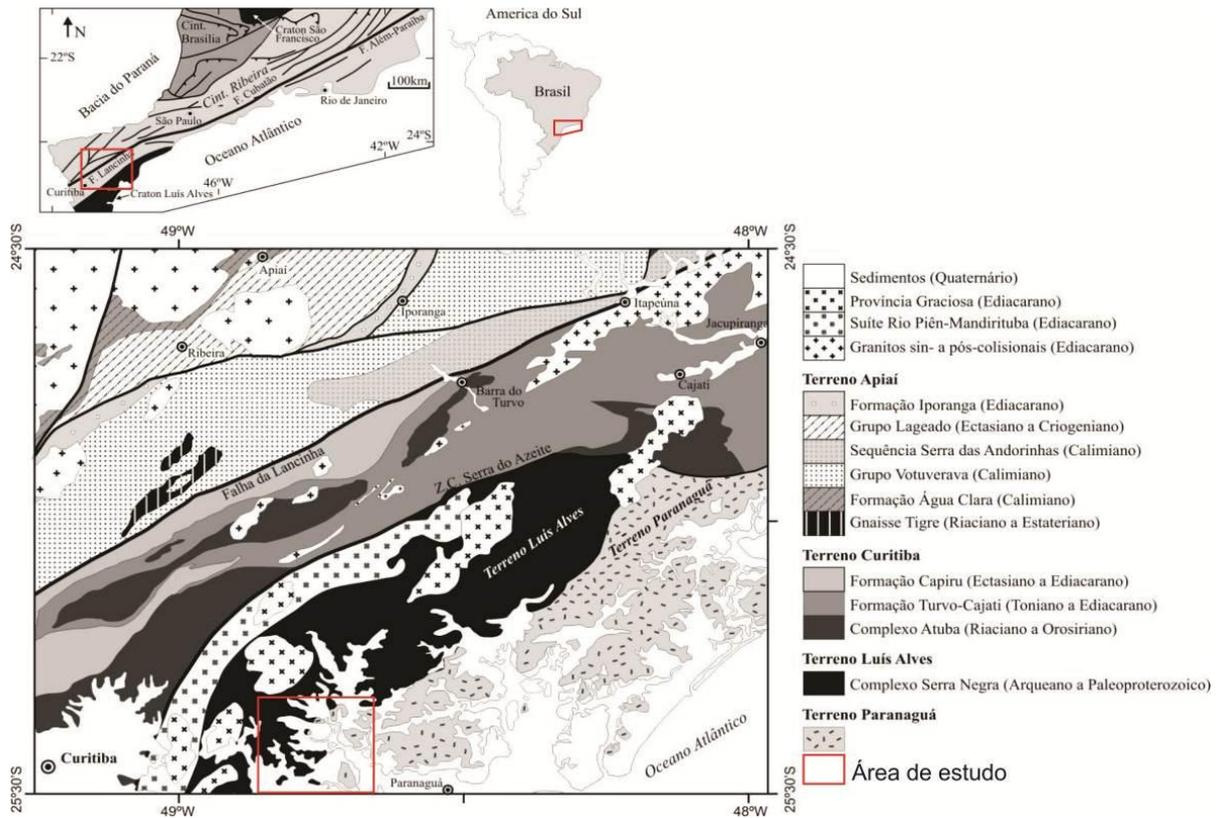


Figura 4: Localização do litoral paranaense na porção sul do Cinturão Ribeira (Campanha et al, 2009)

Cordani e Sato (1999) e Campos Neto (2000) caracterizaram o Cinturão Ribeira como sendo constituído por vários domínios com características litológicas, geoquímicas e isotópicas distintas.

A região litorânea do Estado do Paraná, onde fica localizado o Município de Antonina, encontra-se na porção sul do Cinturão Ribeira, no contato entre o Terreno Paranaguá, de idade proterozóico superior, e a Microplaca Luiz Alves, de idade arqueana.

O embasamento apresenta grau metamórfico de médio a alto grau, com a ocorrência de rochas máficas e ultramáficas características da Microplaca Luiz Alves, e rochas graníticas e metassedimentares associadas ao terreno Paranaguá (Cury, 2008, 2010). As unidades acima descritas encontram-se cortadas por diques de diabásio de direção NW, de idade mesozoica, relacionados ao soerguimento do arco de Ponta Grossa. São observadas também intrusões graníticas e sieníticas de natureza alcalina e peralcalina, com características anorogênicas, esses inúmeros maciços graníticos representam a mais expressiva granitogênese do tipo A da região sul do Brasil, que é a Província Serra da Graciosa (Gualda e Vlach, 2007). Ocorrem também na região do município de-

pósitos sedimentares de origem fluvial marinha e mista, com idade do quaternário (Angulo, 1992).

Sendo as unidades descritas abaixo:

Microplaca Luiz Alves

A microplaca Luiz Alves é constituída por terrenos gnáissicos-granulíticos, que apresentam bandamento milimétrico a centimétrico de níveis de quartzo-feldspáticos e de minerais máficos (anfíbólio, piroxênio e biotita), de médio a alto grau metamórfico (Baseietal, 1992; Hararaet al, 2002 e 2003; Siga Junior, 1993). Segundo estudos de Bartorellietal (1968), Figueiredo et al e Basei et al (1994), na área também ocorrem subordinadamente rochas migmatíticas e graníticas, básicas e ultrabásicas, além de gnaisses cálcio-silicáticos, kinzingitos, formações ferríferas e quartzitos.

Os padrões geocronológicos observados por Siga Junior *et al.* (1993); Siga Junior (1995), indicam idades de formação entre o Arqueano (c.a. 2,7 – 2,5 Ga) e o Paleoproterozóico (2,2 – 1,8 Ga). Idades K-Ar em biotita e anfíbólio espalham-se no período entre 2,1 e 1,7 Ma, sem registros neoproterozóicos, indicando que este domínio encontrava-se estável durante a orogenia Brasileira (Siga Junior *et al.*, 1993). Idades U/Pb indicam pelo menos dois eventos metamórficos de alto grau no Paleoproterozóico, em 2,35 e 2,1 Ga. Segundo os autores, os leucogranitos deformados indicam idades de 2,01 Ga.

Terreno Paranaguá

O Terreno Paranaguá é delimitado a sudoeste pelas rochas gnáissico-granulíticas da Microplaca Luiz Alves e a noroeste pela Microplaca Curitiba, apresenta contato tectônico delimitado a sul-sudoeste pelo Lineamento Palmital e a oeste-noroeste pelos lineamentos Alexandra e Serra Negra. Majoritariamente os litotipos da área são rochas ígneas, rochas intermediárias e básicas subordinadas. Feições de cisalhamento e contatos delineados por falhas além de diferenças composicionais, texturais e estruturais são encontradas na área segundo Cury (2008).

O complexo ígneo do Terreno Paranaguá foi subdividido por Lopes (1987) da seguinte forma:

- **Suítes Morro Inglês:** segundo Cury (2009) possui assinatura litoquímicas similares a de rochas graníticas geradas em arco magmático, com caráter cálcio-alcálico de alto K a shoshoníticos, apresentando em sua constituição altos teores de Ba, Nb, Zr, Rb, Sr, Th e K_2O ; Características essas semelhantes a rochas formadas em ambientes sin a tardi-colisionais, associados a arcos-magmáticos maduros, com fontes diferentes devido à contaminação crustal.

-**Suíte Rio do Poço:**segundo Cury (2009) as rochas dessa suíte podem ser divididas em duas distintas unidades, pois apresentam diferenças petrográficas e litogeoquímicas. Uma unidade é composta por sieno granitos rapakivi com características de granitos tipo A, metaluminosos a marginalmente peraluminosos; a outra unidade seria de leucogranitos com duas micas, que apresentam características marginalmente peraluminosas, empobrecidos em ETRP, sem anomalia negativa de Eu.

-**Suíte Canavieiras-Estrela:** segundo Cury (2009) são rochas quartzomonzodioritos, leuco-granodioritos e monzogranitos, com termos porfiríticos e inequigranulares, com máficos representados por biotita +/- anfibólio.

Ainda segundo Cury (2009) as rochas graníticas acima citadas apresentam como rochas encaixantes, rochas gnáissicas e gnáissico-migmatíticas do Complexo São Francisco do Sul e rochas metassedimentares da Sequência Rio das Cobras.

4.3- Geomorfologia

Os estudos de Ab'Saber e Bigarella (1961), Bigarella (1978) sobre a geomorfologia do litoral paranaense serviram de base para publicação do Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná (MINEROPAR, 2006). O município de Antonina, situado na Folha Curitiba, apresenta um contexto geomorfológico que engloba (figura 5):

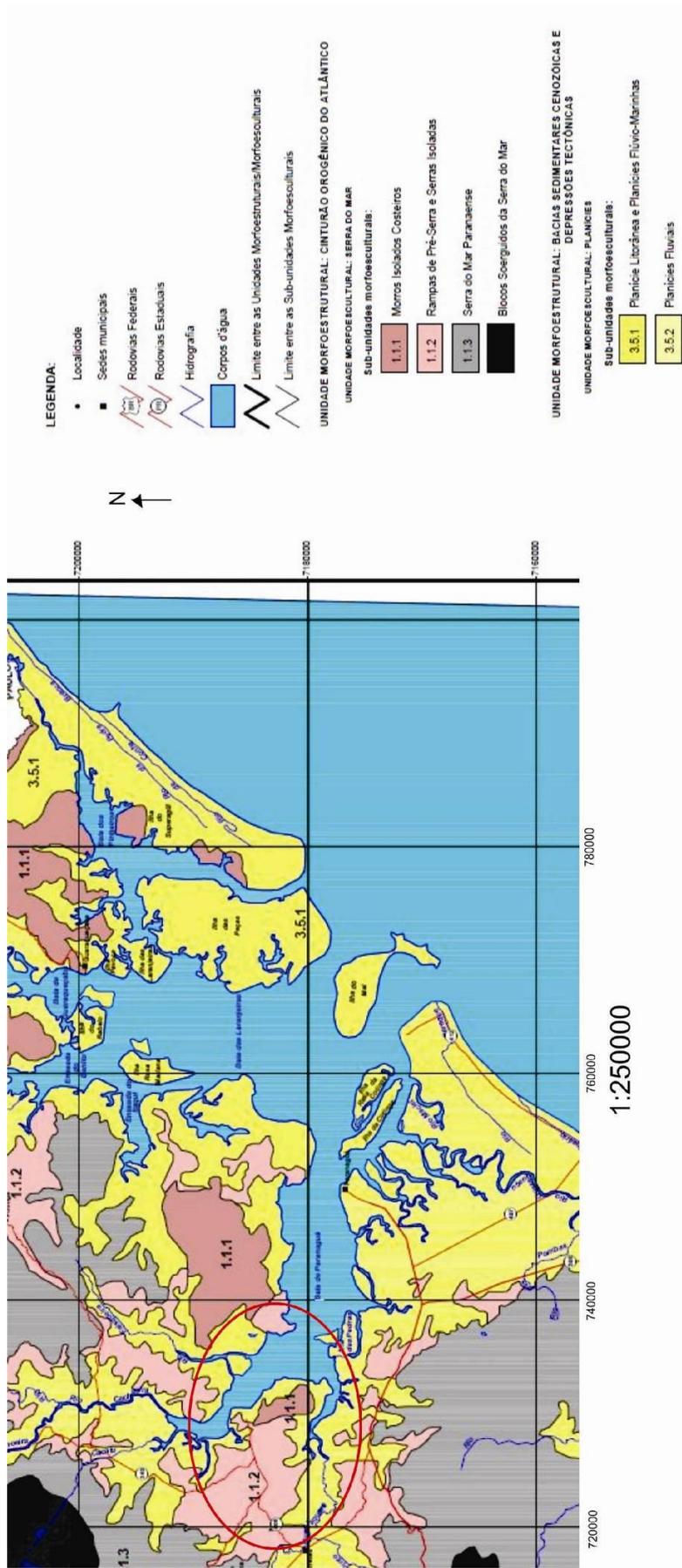
- **Morros Isolados Costeiros:** dissecação muito alta, sua área abrange cerca de 281 km². Com classe de declividade predominante ocupando cerca de 30-47% em uma área de 104,9 km². Seu relevo possui gradiente de 900 metros

e altitudes entre 20 a 920 metros em relação ao nível do mar. Sendo as formas predominantes do relevo: topos alongados e em cristas, vertentes retilíneas e vales em formato de “V” fechado. A direção preferencial dos morros é NW-SE, modelada em rochas do Complexo Gnáissico Migmatítico.

- **Serra do Mar Paranaense:** dissecação alta, abrangendo cerca de 2065 km². A classe de declividade predominante é de cerca de 12-30%, abarcando uma área de 796 km². Seu relevo possui gradiente de 1320 metros e altitudes entre 20 a 1340 metros em relação ao nível do mar. As formas predominantes do relevo são de topos alongados e em cristas com vertentes retilíneas e vales em forma de “V” encaixados. A direção preferencial do alinhamento dessa serra varia entre NE-SW, N-S e NW-SE, modelada em rochas da Suíte Álcali-Granitos e do Complexo Gnáissico Migmatítico.

- **Planície Litorânea e Planícies Flúvio-Marinhas:** dissecação baixa, sua área abrange cerca de 2038 km². Apresentando classe de declividade menor que 6% em uma área ao redor de 1868 km². O gradiente do relevo é de 200 metros com altitudes variando de 0 a 200 metros. As formas predominantes de relevo são planícies de restinga e flúvio-marinhas, terraços arenosos, dunas e praias, modeladas em sedimentos marinhos e flúvio-marinhos.

- **Rampas de Pré-Serra e Serras Isoladas:** estes tipos geomorfológicos são encontrados entre a Serra do Mar e a Planície Litorânea, apresentando dissecação alta e área de ocorrência de 440 km². Tem classe de declividade predominante entre 6-30%. O gradiente apresentado pelo relevo é de 400 metros com variações entre 200 a 600 metros em relação ao nível do mar. As formas encontradas do relevo são: topos alongados em crista e rampas dissecadas com vertentes retilíneas e vales em “V”, modeladas em rochas da Suíte Álcali-Granítica e do Complexo Gnáissico Migmatítico.



○ localização do município de Antonina-PR

Figura 5- Mapa Geomorfológico da região do Município de Antonina-PR, fonte: MINEROPAR (2006)

5. Características Geotécnicas de Solos Tropicais (regolitos).

A definição de solos depende da área científica e de sua finalidade, para a agronomia o solo é a camada superficial de terra cultivável, possuidora de vida microbiana. Para a engenharia civil, solo é todo material escavável, que perde sua resistência quando em contato com água. A definição de solos para a geologia é o produto do intemperismo físico e químico das rochas, sendo chamado de regolitos. A formação dos solos depende de cinco fatores principais, são eles:

- **clima:** os elementos do clima, cuja atuação sobre a pedogênese é mais direta, são: radiação solar (calor), precipitação pluvial (água) e pressão atmosférica.

- **material de origem:** é o material intemperizado, de natureza mineral que deu origem aos solos por processos intempéricos. Esse material pode já ter sofrido transporte e deposição, o que é muito comum nas condições de clima tropical.

- **organismos:** incluindo vegetais e animais, pois interferem no microclima, a atividade desses organismos gera como subprodutos elementos orgânicos e minerais que modificam as características físico-químicas.

- **relevo:** implica na elevação relativa da superfície da terra considerada coletivamente. Para a grande maioria dos solos, existe uma estreita relação com o tipo de relevo.

- **tempo:** fator que controla o produto gerado pelos fatores acima citados.

A classificação dos solos (regolitos) não é unânime entre a comunidade geotécnica, existem várias classificações, porém neste trabalho a classificação empregada será a de Vaz (1996), na qual os solos assim podem ser divididos em **Solos *in situ*** e **Solos Transportados**.

Os **solos *in situ*** ou residuais são aqueles formados pelo processo de intemperismo químico e/ou físico, e que não foram transportados, são solos que, dependendo do clima, podem apresentar espessura de dezenas de metros. No caso de clima tropical e clima temperado, o solo apresenta apenas poucos me-

tros. As características desses solos dependem do tipo de rocha fonte, do tempo de formação, do clima e do relevo, apresentando assim diferentes composições mineralógicas e granulométricas além de estruturas e espessuras diferentes.

Esse solos formam perfis de intemperismo como o da figura 6, onde classe S1, – Solo Eluvial (SE) – é uma camada de solo proveniente da evolução pedogenética situada subjacente ao solo de alteração; este tipo de solo também é referido como sendo solo laterítico ou solo residual maduro. A classe S2 – Solo de Alteração (SA) – é caracterizado como uma camada em processo de alteração intempérica, na qual os processos pedogenéticos atuam com menor intensidade; também é denominado saprólito ou solo residual jovem. A classe R3 – Rocha Alterada Mole – representa a rocha que sofreu ação intempérica e já não apresenta mais suas características de resistências originais. A classe R2 e R1 – Rocha Alterada Dura e Rocha Sã – representam a rocha sã, aonde a atuação do intemperismo foi pouco atuante, e a rocha ainda apresenta suas características originais de resistência.

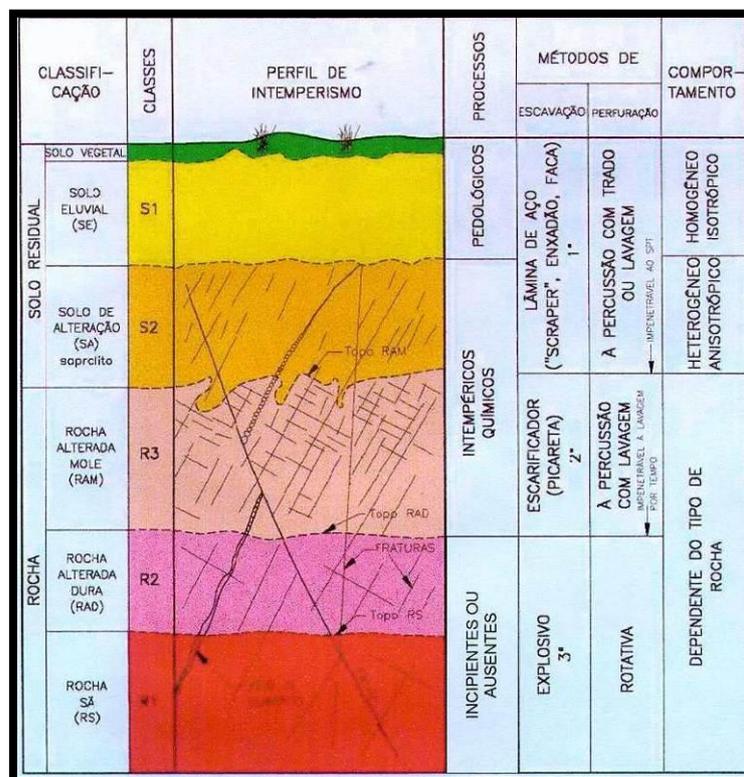


Figura 6- Perfil de intemperismo, fonte: (Vaz,1996)

Os **solos transportados** são aqueles que sofreram transporte do seu local de formação, e são divididos em categorias de acordo com o tipo de transporte, como:

- **Aluviões:** são constituídos por materiais erodidos, retrabalhados e transportado pela ação d'água, sendo depositados nas margens e leitos dos cursos d'água que o transportaram.

- **Terraços Fluviais:** são aluviões antigos, sendo encontrados em cotas maiores do que dos aluviões pois foram depositados quando o nível d'água encontrava-se em posição superior à atual.

- **Coluviões:** são solos transportados pela ação da gravidade e, em menor escala, pela ação d'água, ocorrendo ao longo de encostas íngremes.

- **Tálus:** tem como agente transportador a gravidade e em menor escala a água, diferenciando-se dos coluviões por apresentarem blocos de rocha de variados tamanhos arredondados, não apresentando necessariamente matriz areno-silto-argilosa. Os depósitos de tálus ocorrem de forma localizada, com morfologia própria sendo encontrados nos sopés das encostas de relevos acidentados como serras, escarpas, entre outras formas de relevo, o que não é padrão para os coluviões.

- **Sedimentos marinhos:** agente transportador água do mar, ocorrendo em praias e manguezais, depósitos de areia fina a médias quartzosas.

- **Glacial:** solos transportados pela ação das geleiras.

- **Solos Eólicos:** são solos transportados pela ação dos ventos, ocorrência dos depósitos junto à costa, com maior incidência nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste do Brasil, são depósitos de areia fina quartzosa.

A área de estudo é formada por regolitos aluvionares e coluvionares, assim um aprofundamento no detalhamento destes regolitos foi feita. Os solos coluvionares são depósitos de materiais inconsolidados, encontrados recobrimdo encostas íngremes, são pouco espessos (0,5 a 1 m), e constituídos por mistura de solo e blocos de rocha pequenos (15 a 20 cm). Apresentam baixa resistência ao cisalhamento, propiciando movimentos lentos, como o rastejo (creep) e são envolvidos pela maioria dos escorregamentos das encostas aonde ocorrem.

Já os solos aluvionares devido às suas características de formação (ambientes fluviais) apresentam espessura, continuidade lateral, mineralogia e granulometria particulares, determinados pela capacidade de transporte do fluxo d'água. Assim são heterogêneos em relação à sua formação.

5.1. Constituição dos solos

Os solos em geral são constituídos por uma fase sólida e uma fase líquida. A fase sólida é constituída por componentes inorgânicos e orgânicos. Neste trabalho destacam-se as argilas que fazem parte dos componentes inorgânicos.

Segundo Luchese, et al (2002), as argilas são consideradas minerais secundários do solo, e são compostos inorgânicos de natureza cristalina, resultante da ressíntese dos materiais, devido à atuação do intemperismo nos minerais primários.

Ainda segundo Luchese, et al (2002), os argilominerais são subdivididos de acordo com sua estrutura cristalina, em:

- **Argilas bilaminares do grupo 1:1**, que apresentam arranjo de uma lâmina tetraédrica contendo silício, intercalado com uma lâmina octaédrica contendo alumínio ao centro. Como principal representante desta classe pode-se destacar a caulinita, considerada de estrutura rígida, não expansível, e de menor plasticidade em relação à argilas 2:1.

- **Argilas trilaminares do grupo 2:1** chamadas de argilas expansíveis, são formadas por duas lâminas tetraédricas de Silício, intercaladas por uma lâmina octaédrica de Alumínio. Os principais representantes das argilas 2:1 são: as vermiculitas, esmectitas e as montmorilonitas, essas argilas apresentam a características de serem expansíveis, apresentando maior plasticidade e assim influenciam mais nos processos que ocorrem nos solos.

5.2 Perfis de intemperismo em regiões tropicais.

Os solos tropicais (regolitos) apresentam espessuras distintas de um local para outro devido a diferenças nas condições inerentes a sua formação.

Assim têm-se perfis de intemperismo para regiões tropicais; onde ocorrem materiais completamente decompostos, podendo apresentar relação com a rocha fonte, blocos de rocha alterada ou preservada imersas em uma matriz de solo.

Vargas (1971) definiu parâmetros para a compreensão do intemperismo das rochas:

- resistência de determinados fragmentos de rochas.
- presença de cristais de quartzo.
- presença de argilas provenientes de minerais de feldspato e mica.
- presença de minerais e ou substâncias precipitadas que possam alterar as propriedades do solo, como a gibbsita e a limonita.

Assim, em rochas metamórficas observam-se aspectos de intemperismo diferencial o qual resultou em blocos de rocha sã emersos na matriz de solo e que possuam resistência ao cisalhamento relativamente baixa. Isto pode acarretar deslizamentos de placas de rochas, pela perda da resistência do material decomposto que não suporta a tensão atuante.

As rochas apresentam estruturas tais como fraturas, juntas, foliações e falhas gerando zonas de fraqueza. Tais estruturas são herdadas pelo solo gerado pelo intemperismo das rochas, sendo essas zonas susceptíveis a deslizamentos, Suzuki (2004) descreve, em perfis de solos tropicais, que as variações mineralógicas e estruturais herdadas da rocha intemperizada são mantidas, influenciando nas propriedades físicas dos solos no que tange ao comportamento mecânico e hidráulico dos mesmos.

Nas porções superficiais dos solos tropicais ocorre a presença de precipitados de óxido de ferro e alumínio, além de caulinita. Esses óxidos presentes no solo podem acarretar na formação de estruturas porosas caracterizadas por agregados de partículas podendo ser facilmente destruídas (dependendo do grau de cimentação); assim solos finos argilosos, tendem a comportar-se como solo arenoso e menos plástico no seu estado natural, com elevada permeabilidade e parâmetros de resistência semelhantes a solos arenosos.

5.2.2- Resistência ao Cisalhamento de Solos Tropicais.

Ainda segundo Vargas (1971), a resistência a cisalhamento de solos tropicais depende das características do solo, tais como grau de intemperismo, estruturas, mineralogia e grau de saturação.

A mecânica dos solos em relação à resistência é praticamente friccional, com uma pequena parcela da sua dilataância. Quando horizontes superficiais são constituídos por solos coluvionares ou formações residuais, a presença de matações imersos em uma matriz de solo pode ocorrer, como exemplo os solos de granito. Assim a resistência do solo será dominada pela matriz do mesmo; no entanto, em solos saprolíticos o comportamento é determinado pelas estruturas provenientes da rocha matriz.

6. Movimentos de Massas Gravitacionais.

Os Movimentos de massa gravitacionais são o foco de estudo desse trabalho. Esses movimentos também denominados de escorregamentos são o deslocamento de porções de solo devido à perda de sua coesão interna, e estão relacionados com os fatores formadores de solos.

As características dos movimentos de massa foram relacionadas com o tipo de material envolvido e a geometria da encosta, segundo Cruden (1990) dentre outros autores, os tipos de movimentos são:

-rastejo (creep) (figura7): movimentação lenta e contínua da massa de solo de um talude, podendo ser sazonal ou contínuo, envolvendo grandes porções de solo. Sua geometria e uma superfície clara do plano de ruptura não são definidas.

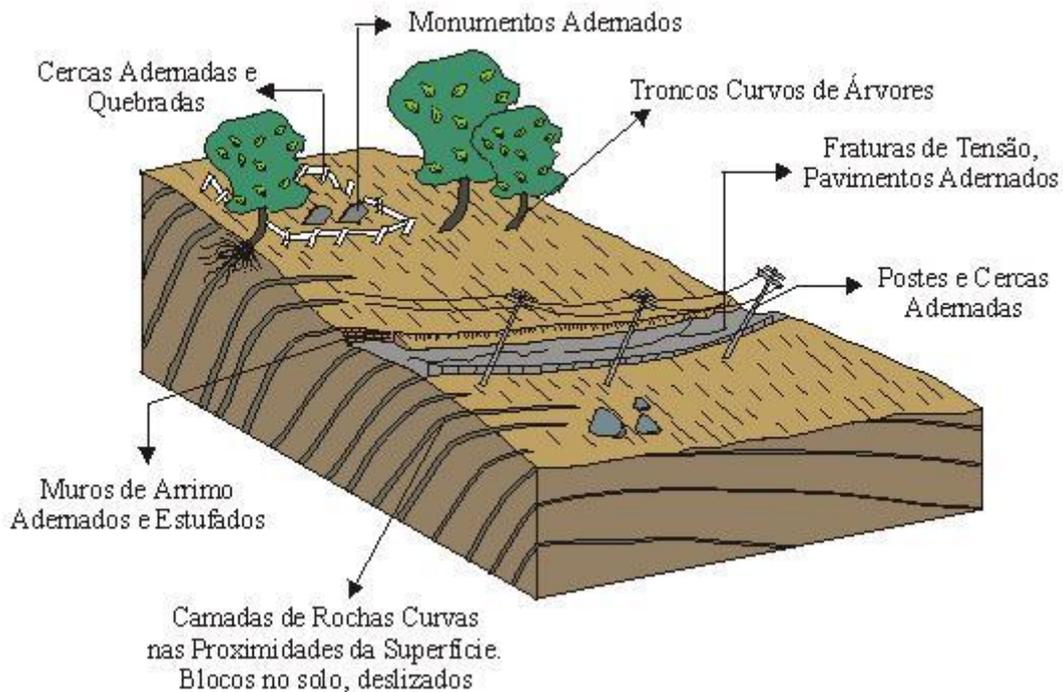


Figura 7- Representação de Rastejo e seus indícios, fonte: (Proin/Capes &Unesp/IGCE,1999).

- **escorregamentos** (figuras 8,9 e 10): principais tipos são: translacionais, rotacionais ou em cunha.

- **translacionais ou planares**: são condicionados por estruturas planares desfavoráveis à estabilidade, tais como xistosidade e foliação. Ocorrem em solos superficiais, em taludes e em solos saprolíticos.

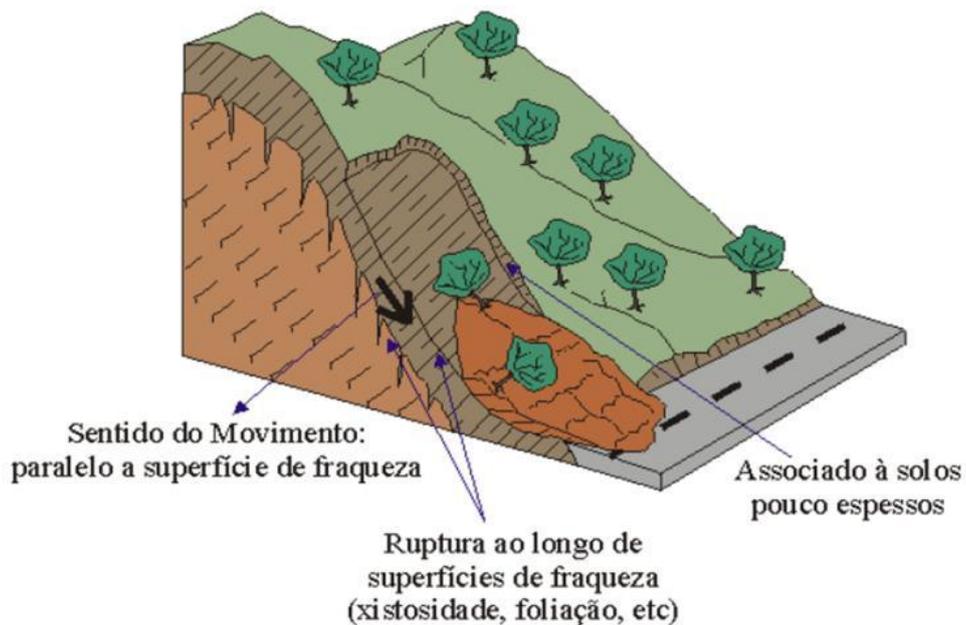


Figura 8- Representação de escorregamento do tipo translacional ou planar, fonte: (Proin/Capes &Unesp/IGCE,1999).

- **rotacionais ou circulares:** superfície de ruptura curva. Ocorrem em aterros, pacotes de solo ou depósitos mais espessos, rochas sedimentares ou cristalinas intensamente fraturadas.

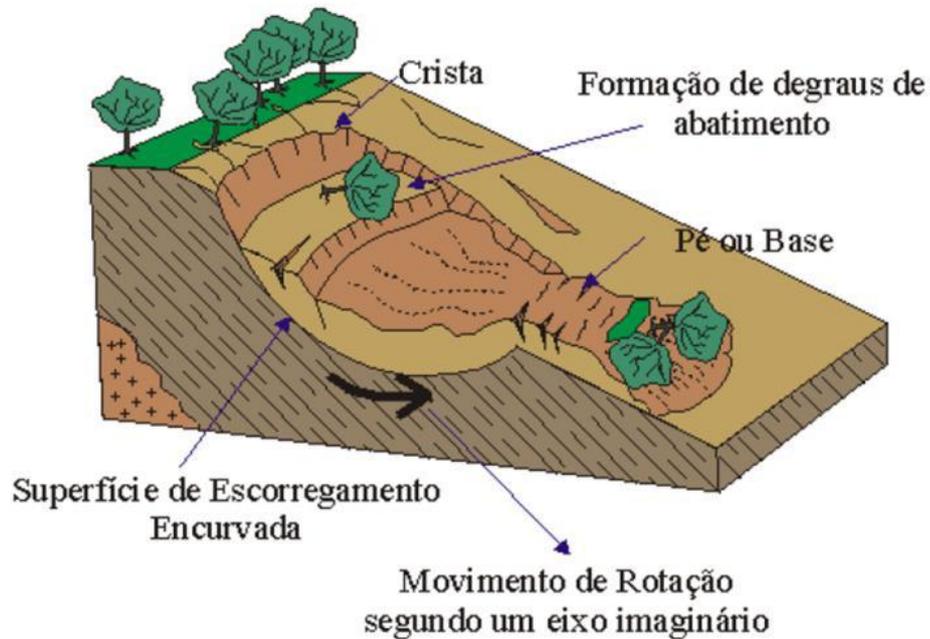


Figura 9- Representação de escorregamento do tipo circular ou rotacional, fonte: (Proin/Capes &Unesp/IGCE,1999).

- **cunha:** são condicionados pela ocorrência de duas estruturas planares desfavoráveis à estabilidade, gerando em um deslocamento na forma de um prisma ao longo do eixo de interseção destes planos. Ocorrem em taludes de corte ou em encostas que sofreram algum tipo de desconfinamento, natural ou antrópico.

Escorregamento em Cunha

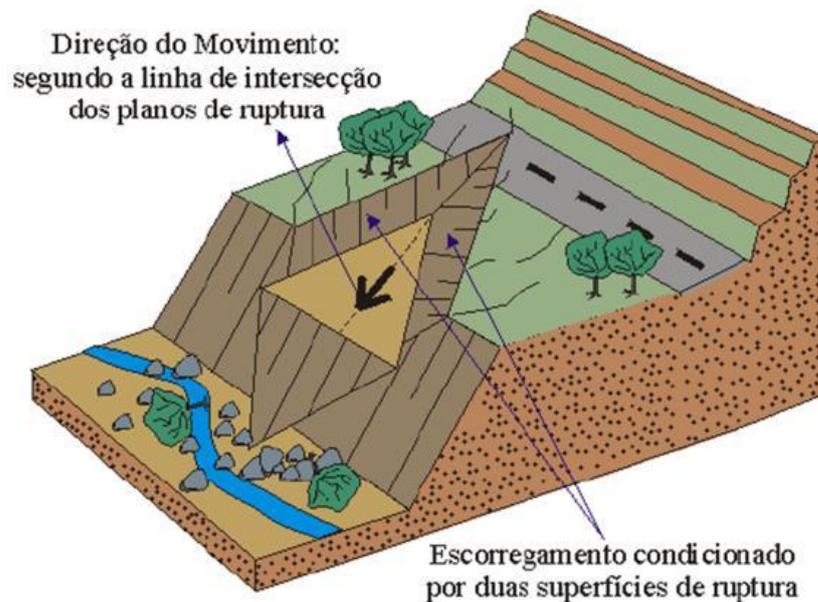


Figura 10- Representação de escorregamento do tipo em cunha, fonte: (Proin/Capes &Unesp/IGCE,1999).

6.1- Movimentos de blocos rochosos.

Os MMG estudados não apresentam blocos de rochas em sua constituição, porém a classificação de movimentos de blocos rochosos abrange as corridas de lama que ocorreram na área de estudo, justificando assim a apresentação dessa classificação no contexto do trabalho.

Os movimentos de blocos de rocha acontecem por deslocamento, por gravidade, de blocos rochosos, e são subdivididos em:

- **rolamento de blocos:** corresponde ao movimento de matacões ao longo de superfície inclinada, devido à perda de apoio.

- **tombamento de blocos:** há uma rotação dos blocos devido a condicionantes geológicos, sistema de juntas ou falhas com mergulho desfavorável à estabilidade da encosta.

- **queda de blocos:** material se destaca da encosta e se desloca em queda livre.

- **deslocamento:** consiste no desprendimento de placas ou lascas da encosta devido a variações térmicas ou por alívio de tensões. O desprendimento pode ocorrer em queda livre ou por deslizamento em superfície inclinada.

- **corridas** (figura11): caracterizadas por um escoamento rápido em função de aspectos hidrodinâmicos, no qual o material envolvido no processo, seja ele solo, rocha ou detrito, irá perder o atrito interno entre as partículas e fluirá na presença de excesso de água (Guidicini&Nieble (1984)). As corridas podem ser subdivididas de acordo com o material deslocado e a velocidade desse deslocamento, assim as subdivisões são:

- **corrida de lama (mudflow)**: solo com alto teor de água.

- **corrida de terra (Earth flow)**: solo com menor teor de água.

- **corrida de detritos (debrisflow)**: material grosseiro, fragmentos de rocha de diferentes tamanhos.



Figura 11- Exemplo de Corrida de detritos, Município de Morretes - PR.

6.2- Fatores condicionantes de movimentos de massa.

Cada processo de movimentação de massas tem suas origens ligadas a eventos em cadeia, na maioria das vezes de caráter cíclico, originado na formação da rocha e evoluindo com a história geológica e geomorfológica da região, envolvendo movimentos tectônicos, erosão, ação antrópica etc. Guidicini e Nieble (1976) chamam de **agentes** os fatores que atuam de forma direta e imediata na deflagração deste processo. Sob esta definição, esses agentes podem ser classificados como predisponentes ou efetivos.

Fatores predisponentes

Fatores predisponentes (GUIDICINI e NIEBLE, 1976) são condições geológicas, geométricas e ambientais a partir das quais acontecem movimentos de massa. As características internas do maciço representam somente condições naturais intrínsecas à rocha, sem participação, em nenhum momento, da ação antrópica. Distinguem-se os seguintes fatores:

- **complexo geológico:** petrografia, estado de alteração por intemperismo, tectonismo (falhamentos, dobramentos), atitude das camadas (orientação e mergulho), formas estratigráficas, intensidade de diaclasamento e etc;
- **complexo morfológico:** inclinação superficial, massa, forma de relevo;
- **complexo climático-hidrológico:** clima, regime de águas meteóricas e subterrâneas;
- **gravidade;**
- **calor solar;**
- **tipo de vegetação original.**

Os fatores mais específicos para que um movimento de massa seja desencadeado são: tipos de litologias e seu grau de alteração, foliação (presentes ou não) nas rochas e discontinuidades (como sistemas de juntas, falhas, fraturas de alívio e etc).

Fatores efetivos

São considerados fatores efetivos aqueles que atuam diretamente no desencadeamento dos movimentos de massas, sob inúmeras combinações possíveis, incluindo a ação antrópica, de acordo com participação de cada agente. Os agentes efetivos se dividem em duas categorias: os agentes **efetivos preparatórios** e **efetivos imediatos**.

Fatores efetivos preparatórios

Os fatores efetivos preparatórios podem ter origem *climática* ou *antrópica*. Podem ser citados como fatores efetivos preparatórios climáticos: variações de temperatura, erosão pela água (ou vento), eventos pluviométricos significativos anteriores a um determinado episódio de chuva etc. Nos maciços rochosos, a erosão pode gerar alterações na geometria externa, além de facilitar acumulações detríticas, em situações instáveis, chamados corpos de

tálus. Pontos de fluxo de água subterrânea podem contribuir para instabilização do maciço, por retirada de material incoerente. Fatores efetivos preparatórios de ordem antrópica podem ser classificados em três conjuntos: desmatamento, mudanças na drenagem e uso inapropriado da área.

Fatores efetivos imediatos

Os fatores efetivos imediatos são aqueles que desencadeiam o evento, ou seja, atuam de forma direta no movimento de massas nos momentos finais do processo de instabilização do maciço, com intervalo de tempo podendo variar da ordem de segundos, alguns minutos ou poucas horas. O agente mais importante é a chuva intensa, mas vibrações provenientes de sismos, terremotos, cortes para obras civis ou do desmonte de pedreiras nas redondezas com explosivos podem ser considerados agentes deflagradores em encostas cujas condições de estabilidade sejam críticas.

Terzaghi (1967) define que as *causas* de movimentos de massa podem ser definidas em função da sua posição em relação ao talude ou encosta considerada, podendo ser distinguidas três categorias:

- **causas internas:** levam a desestabilização sem que de uma diminuição da resistência interna do material (aumento seja notada qualquer mudança nas condições geométricas do talude e que resultam da pressão hidrostática, diminuição da coesão e ângulo de atrito interno por processo de alteração);
- **causas externas:** exercem um aumento nas tensões de cisalhamento, sem que haja uma diminuição da resistência do material (aumento da declividade do talude por processos de origem naturais ou artificiais, deposição de material na porção superior do talude, sismos ou vibrações);
- causas intermediárias:** efeitos gerados por agentes externos no interior do talude (liquefação espontânea, rebaixamento rápido, erosão retrogressiva).

7. Aspectos Geológicos da Área.

A área de estudo tem aproximadamente 2 km², estando constituída predominantemente por rochas máficas a ultramáficas indiferenciadas e ainda, uma faixa de biotita clorita milonito, diques de diabásio e sedimentos recentes, o mapa geológico e o mapa de pontos encontram-se respectivamente no Anexo 1 e 2. Neste item é feita uma descrição dos litotipos, relacionando-os com os pontos coletados de amostras de solo e rocha. De maneira geral, as rochas encontram-se milonitizadas em função da proximidade com uma zona de cisalhamento dúctil.

7.1 Rochas Máficas a Ultramáficas Indiferenciadas.

As **Rochas Máficas a Ultramáficas Indiferenciadas**, aqui denominadas informalmente de **unidade 1**. Os afloramentos encontram-se majoritariamente intemperizados (figura 12) e suas dimensões são entre 7 a 10 metros. A amostra PT-45 foi descrita macroscopicamente como sendo um protomilonito, cujo protólito é um gabro, constituído por 40% de matriz de coloração esbranquiçada e granulação de 250 a 350 micrometros. É composto por quartzo e biotita, sendo que esta ora apresenta uma coloração levemente dourada no interior destes cristais, podendo indicar uma alteração para a vermiculita. A amostra PT-54 apresenta maior porcentagem de matriz e a mesma mineralogia citada anteriormente.

Foram coletadas amostras de solo, in situ, de textura argilosa e coloração majoritariamente vermelho-escuro, o que demonstra que estes são o produto do intemperismo das rochas dessa unidade. A partir das amostras obtidas em campo, foram confeccionadas duas lâminas delgadas (PT-45 e PT-54). Além disso, quatro amostras de regolitos foram posteriormente analisadas e seus resultados estão apresentados adiante.



Figura 12- Afloramento de solo derivado da intemperização da Unidade 1.

A lâmina PT-45 (figura 13) exhibe feições de rocha gabróica sã, incluindo o aspecto máfico, embora sejam perceptíveis as marcas do metamorfismo ao qual foi submetida a rocha. Os minerais apresentam-se levemente estirados, definindo padrão milonítico sobretudo em função da orientação da biotita e da clorita.

Os minerais identificados ao microscópio petrográfico são, do mais abundante ao menos: plagioclásio (30%), biotita (~20%), quartzo (20%), clorita (15%), opacos (>5%) e acessórios (>5%).

A ausência de minerais máficos comumente associados à composição padrão de gabros (piroxênios e/ou anfibólios) é aqui interpretada como resultado da cristalização de biotita e clorita à partir dos minerais primários em resposta às condições P-T às quais a rocha foi submetida ao longo de sua trajetória de metamorfismo dinâmico.

Os cristais de plagioclásio são subédricos à anédricos, podendo ou não exibir maclas polissintéticas. Juntamente com o quartzo, é comum apresentarem-se intensamente fraturados e policristalinos, provavelmente em reação à milonitização.

A biotita pode ocorrer intersticialmente à matriz de quartzo e plagioclásio segundo um padrão que provavelmente é um indicativo de formação tardia, isto é, a biotita representaria uma fase secundária, formada em decorrência da percolação de fluidos hidrotermais circulantes na zona de cisalhamento rúptil-dúctil e que agiram sobre as fases minerais primárias (anfíbólios e piroxênios). Associada à biotita, tem-se titanita e clorita. O primeiro mineral (titanita) também pode ser correspondente a uma fase hidrotermal. O epidoto (clinozoisita) surge como uma terceira fase mineral identificada, também associado à biotita e titanita. A magnetita apresenta-se parcialmente alterada para hematita, segundo o padrão de clivagem.

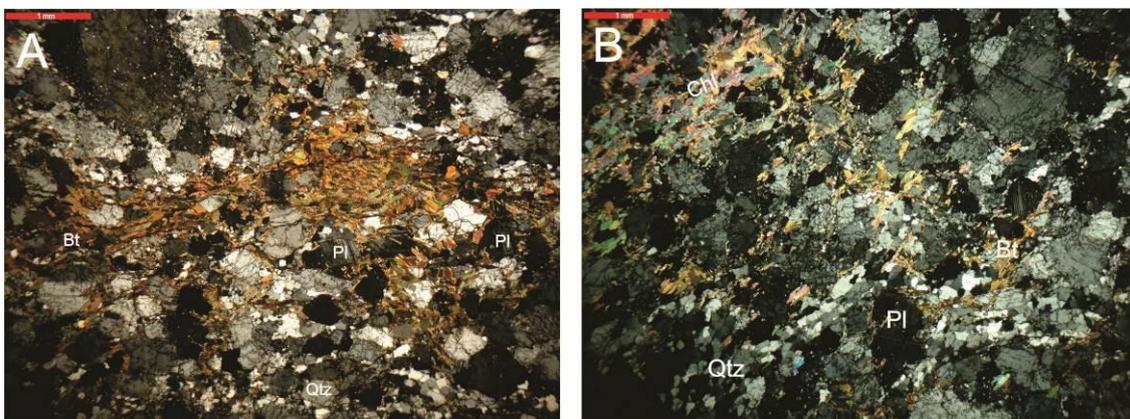


Figura 13-Fotomicrografia da rocha máfica (lâmina PT-45). A) biotita ocorrendo intersticialmente, quartzo policristalino (luz polarizada); B). minerais levemente alterados. A e B com aumento de 2,5X. Legenda: Bt= biotita, Pl= plagioclásio, Qtz= quartzo e Chl= clorita.

Na lâmina PT-54 (figura14) o grau de milonitização é maior do que na lâmina anterior, fazendo com que o reconhecimento das fases minerais primárias seja mais difícil. A textura geral da rocha é bastante foliada, segundo padrão anastomosado, apresentando crenulação na porção rica em quartzo.

Foram reconhecidos porfiroclastos de plagioclásio, envolvidos por sombras de pressão. Os grãos de quartzo apresentam-se bastante estirados, ondulantes e fraturados. Ribbons de quartzo são identificáveis.

Assim como na lâmina anterior, biotita ocorre estirada e cortada por zonas ricas em sericita tardia. Juntamente com clinozoisita, esses três minerais correspondem às fases geradas em resposta à alterações das condições de P-T às quais a rocha foi submetida ao longo de sua trajetória metamórfica.

Porcentagem estimada da concentração de minerais na lâmina PT-54: quartzo (~35%), plagioclásio (~15%), sericita (~25%), biotita (~10%), clinozoisita (~10%) e opacos (~5%).

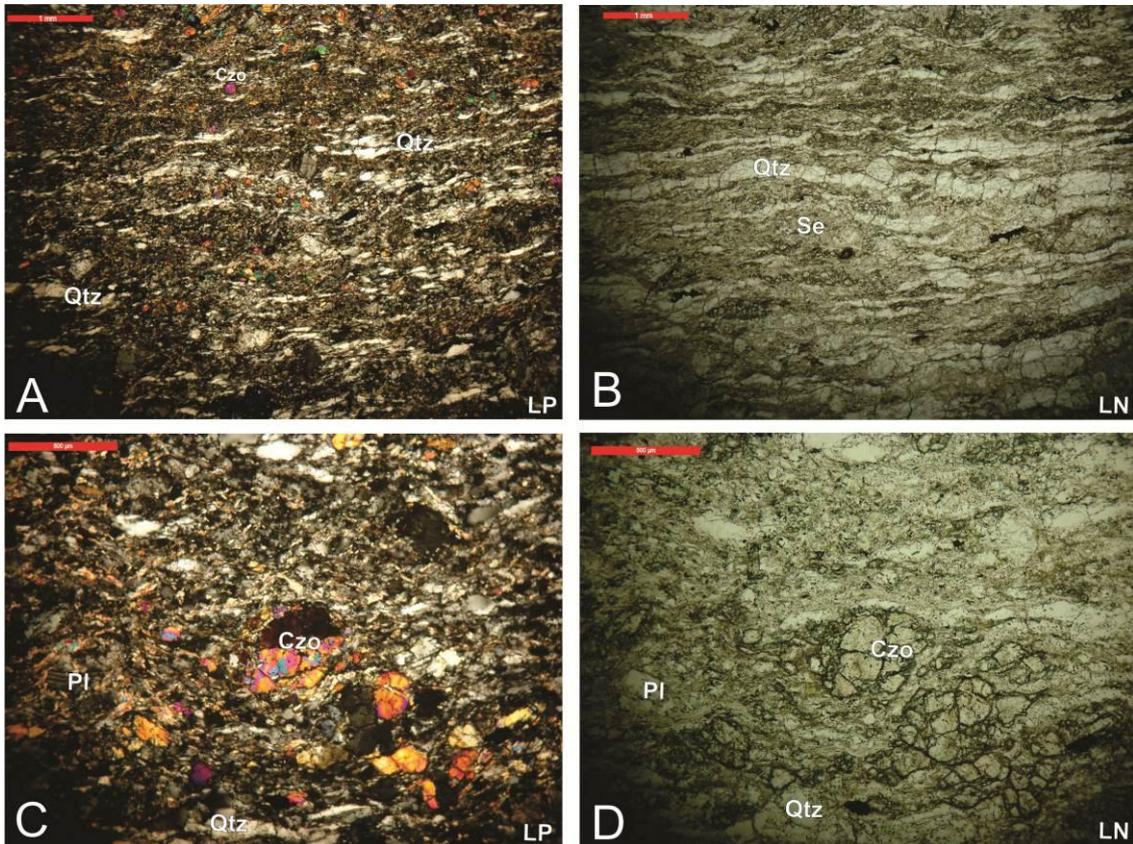


Figura14– Fotomicrografia da rocha máfica (lâmina PT-54), as fotos A e B indicam as crenulações ocorrentes na rocha. Já as fotos C e D representam a mineralogia encontrada na rocha. Fotos A e B (2,5X zoom). Fotos C e D (10Xzoom), Legenda: LN= luz natural, LP= luz polarizada, Czo= clinozoisita, Qtz= quartzo, PI= plagioclásio, Se= sericita.

7.2 Biotita Clorita Milonito.

O **Biotita Clorita Milonito**, informalmente denominado de **unidade 2**, ocorre em um único afloramento de rocha sã, e suas características são: matriz fina e completamente recristalizada, de coloração marrom esbranquiçada. Foi possível obter uma medida de foliação de 90/85 e uma medida de lineação mineral 022/35.

As amostras de solo retiradas nessa unidade apresentam coloração vermelho-amarelado, com textura argilosa e grande cerosidade.

Foi confeccionada uma lâmina delgada (PT-73C) com as seguintes características:

Na lâmina PT- 73C (figura15) encontramos o maior grau de milonitização da área, em padrão de foliação anastomosado e com crenulações.

A lâmina é constituída por zonas onde prevalece uma associação composta de clorita, quartzo e clinzoisita (~30%), outra onde prevalece a hornblenda (~25%), além de quartzo (~20%), opacos (~10%) e biotita (~10%), plagioclásio (~5%).

O quartzo é moderadamente ondulante, bastante fraturado e pode ser do tipo ribbon. Localmente observa-se textura nematoblástica desenvolvida pelos grãos alongados de hornblenda.

A biotita pode ser identificada em contato com hornblenda, provavelmente representando a alteração do anfibólio.

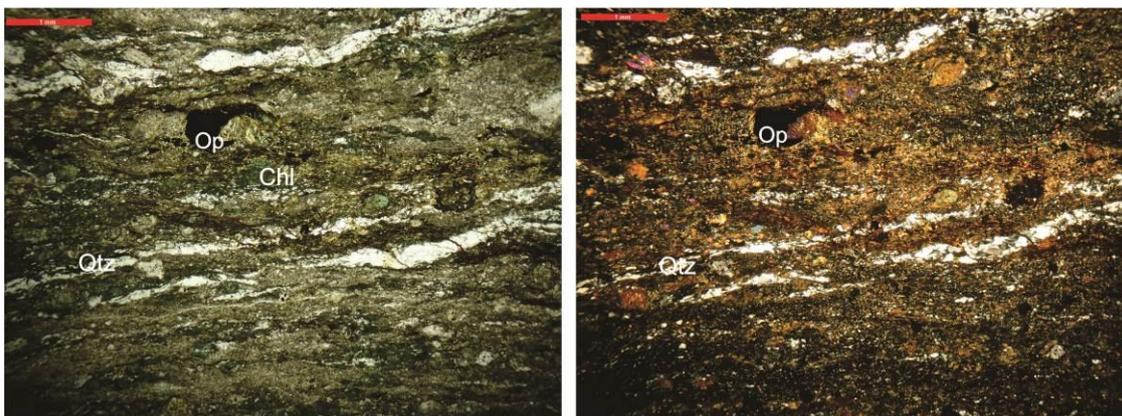


Figura 15- Fotomicrografia do Biotita Clorita Milonito -Lâmina PT-73C, as fotos na sequência da esquerda para a direita foram tiradas em LN e LP e zoom de 2,5X. As fotos demonstram a mineralogia da rocha e o máximo grau de milonitização encontrado na área.

7.3 Dique de Diabásio.

O **Dique de Diabásio**, denominado de **unidade 3**, corta as duas unidades acima descritas no sentido sudeste-noroeste da área, e tem importância na configuração do relevo, dando-lhe uma maior resistência ao processo erosivo diante dos morros vizinhos onde a intrusão esta ausente. A ocorrência de afloramentos de rocha in situ na área não foi encontrada, porém sua delimitação de ocorrência na região foi inferida tendo como base a ocorrência de blocos

rolados. Os blocos rolados apresentavam coloração cinza-escura a preta, com granulação fina e estrutura maciça.

7.4 Sedimentos Recentes.

Os **Sedimentos Recentes**, denominados de **unidade 4**, constituem a unidade de mapeamento mais jovem, estando formada por sedimentos fluviais, estuarinos, e coluviões dos morros. Os coluviões estão relacionados com a evolução do relevo continental e os demais sedimentos estão relacionados com a atividade dos rios de estuário e dos mangues, sendo associados às flutuações do nível do mar no Quaternário.

8. Análise dos dados obtidos.

Neste capítulo são apresentados os dados obtidos nas análises descritas no texto, tais dados foram interpretados e possíveis correlações foram efetuadas.

8.1 Análise Difratométrica.

Os dados obtidos com a difratometria de raio-x de amostras do regolito encontram-se no quadro 2.

Quadro 2- Dados Obtidos na difratometria de raio-X

Amostra	Unidade geológica	Minerais
PT-45	1	quartzo alfa, haloisita, caulinita.
PT-47	1	quartzo alfa, caulinita, quartzo.
PT-49	1	quartzo alfa, caulinita.
PT-50	1	ferro-alumino tschermakito, montmorilonita, caulinita.
PT-55	2	quartzo, caulinita-montmorilonita, anortita, illita.
PT-55 _(duplicata)	2	quartzo alfa, montmorilonita, albita.
PT-67	1	quartzo alfa, caulinita.
PT-116	2	muscovita, quartzo alfa, caulinita.

A partir da mineralogia dos regolitos obtida pela difratometria de raio-X, foi feita uma correlação de sua origem comparando-se com a mineralogia do material de origem,

Assim para a **unidade 1** a mineralogia do protólito é:

- plagioclásio $(Ca,Na)Al(Al,Si)Si_2O_8$
- biotita $K_2(Mg,Fe^{2+})_{6-4}(Fe^{3+},Al,Ti)_{0-2}Si_{6-5}Al_{2-3}O_{20}(OH,F)_4$
- quartzo SiO_2
- clorita $(Mg,Al,Fe)_{12}(Si,Al)_8O_{20}(OH)_{16}$

- clinozoisita $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}_3\text{O}_{11}\text{OH}$
- sericita $\text{KAl}_2(\text{OH})_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})$

E a mineralogia encontrada para o solo é:

- quartzo SiO_2
- haloisita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- caulinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- montmorillonita $(\text{Mg,Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}_5\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- ferro-alumino tschermakito $[\text{Ca}_2][\text{Fe}_3^{2+}\text{Al}_2](\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{22})(\text{OH})_2$

Analisando as diferentes mineralogias e suas composições químicas encontradas, é possível considerar a formação da caulinita, da haloisita e do ferro-alumino tschermakito advinda da hidrólise total dos seguintes minerais: biotita, clorita e plagioclásio. Já a hidrólise parcial dos minerais: biotita, clorita e plagioclásio, possivelmente deram origem à montmorillonita. O quartzo presente na mineralogia do solo é devido ao fato dele ser mineral resistato.

Em relação à **unidade 2** a mineralogia do protólito é:

- clorita $(\text{Mg,Al,Fe})_{12}(\text{Si,Al})_8\text{O}_{20}(\text{OH})_{16}$
- quartzo SiO_2
- clinozoisita $\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}_3\text{O}_{11}\text{OH}$
- hornblenda $\text{Ca}_2\text{Na}(\text{Mg,Fe})_4(\text{Al,Fe,Ti})\text{AlSi}_8\text{AlO}_{22}(\text{OH,O})_2$
- biotita $\text{K}_2(\text{Mg,Fe}^{2+})_{6-4}(\text{Fe}^{3+},\text{Al,Ti})_{0-2}\text{Si}_{6-5}\text{Al}_{2-3}\text{O}_{20}(\text{OH,F})_4$
- plagioclásio $(\text{Ca,Na})\text{Al}(\text{Al,Si})\text{Si}_2\text{O}_8$

E a mineralogia encontrada para o solo é

- quartzo SiO_2
- caulinita $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
- montmorillonita $(\text{Mg,Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3\text{Si}_5\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- anortita $(\text{Na}_{0,1-0},\text{Ca}_{0,9-1})\text{Al}(\text{Al}_{0,9-1},\text{Si}_{0,1-0})\text{Si}_2\text{O}_8$
- illita $(\text{K,H}_3\text{O})(\text{Al,Mg,Fe})_2(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}[(\text{OH})_2,\text{H}_2\text{O}]$
- albita $(\text{Na}_{1-0,9},\text{Ca}_{0-0,1})\text{Al}(\text{Al}_{0-0,1},\text{Si}_{1-0,9})\text{Si}_2\text{O}_8$
- muscovita $\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH,F})_2$

A ocorrência de caulinita, montmorillonita e quartzo foi explicada anteriormente na unidade 1, sendo respectivamente formada por hidrólise total e hidrólise parcial da biotita, clorita e plagioclásio, e mineral resistato.

A illita pode ter se originado da hidrólise parcial dos seguintes minerais: plagioclásio, clorita, biotita e hornblenda. Enquanto que a muscovita tem

sua formação relacionada com processos pneumatolíticos, hidrotermais e metamórficos. E por fim, a ocorrência da albita e anortita tanto na rocha fonte (plagioclásios) quanto no solo se deve às condições de intemperismo que atuaram na área e não foram o suficiente para a sua intemperização.

8.2 Análises Geotécnicas

As análises granulométrica e de consistência estão nos quadros 3 e 4, seus valores indicam que os regolitos da região são argilo-siltosos, com alguns picos na plasticidade relacionados à porcentagem de argila que as amostras PT-45 e PT-49 apresentam. Na maior parte da área a plasticidade varia entre média a fraca isso provavelmente se deve à ocorrência de caulinita, que possui estrutura interna 1:1, conforme dito no tópico 5.1 (pág. 20), esse arranjo estrutural implica em uma menor plasticidade desses argilominerais em comparação com argilominerais com estrutura interna 2:1. Os limites de liquidez são próximos entre si, estando relacionado com a homogeneidade dos regolitos da região, porém existem locais aonde o solo apresenta menor grau de saturação como na amostra PT-50.

Quadro 3 - Granulometria das amostras colhidas em campo.

Amostra	Unidade geológica	Areia			Argila (%)	Silte (%)
		AG(%)	AF(%)	AT(%)		
PT-45	1	15,0	16,5	31,5	37,1	31,4
PT-47	1	21,7	12,8	34,5	22,0	43,5
PT-49	1	39,0	14,8	18,7	53,3	28,0
PT-50	1	25,9	76,0	33,5	18,8	47,7
PT-55	2	15,6	12,1	27,7	10,4	61,9
PT-67	1	14,0	12,7	14,1	30,1	55,8
PT-116	2	16,4	50,0	21,4	32,4	46,2

AG= areia grossa, AF= areia fina, AT= areia total. Areia grossa: fração da TFSA entre 2,0mm e 0,21mm (obtida por tamisagem), areia fina: fração da TFSA entre 0,21mm e 0,053mm (obtida por tamisagem), silte: fração da TFSA entre 0,053mm e 0,002mm (obtida por diferença), argila: fração da TFSA < 0,002mm (obtida por pipetagem). Referência do método: Camargo et al., 1986 e EMBRAPA, 1997.

Quadro 4- Valores de consistência obtidas pelos ensaios de limite de liquidez e limite de plasticidade.

Amostra	Unidade geológica	L.P. (%)	L.L. (%)	I.P. (%)	Característica
PT-45	1	39,87	52,33	12,46	mediamente plástico
PT-47	1	39,37	45,57	6,20	fracamente plástico
PT-49	1	40,95	59,23	18,29	altamente plástico
PT-50	1	47,91	53,68	5,76	fracamente plástico
PT-55	2	29,99	39,26	9,27	mediamente plástico
PT-67	1	41,75	47,49	5,75	fracamente plástico
PT-116	2	43,22	51,77	8,56	mediamente plástico

L.P.= limite de plasticidade; L.L.= limite de liquidez; I.P.= índice de plasticidade.

Os valores de Limite de Liquidez e Índice de Plasticidade, apresentados no quadro 4, foram interpretados na Carta de plasticidade (figura 16) para classificação de solos finos pelo SUCS (Vargas, 1978). A seguir, obtivemos os seguintes resultados dessa interpretação:

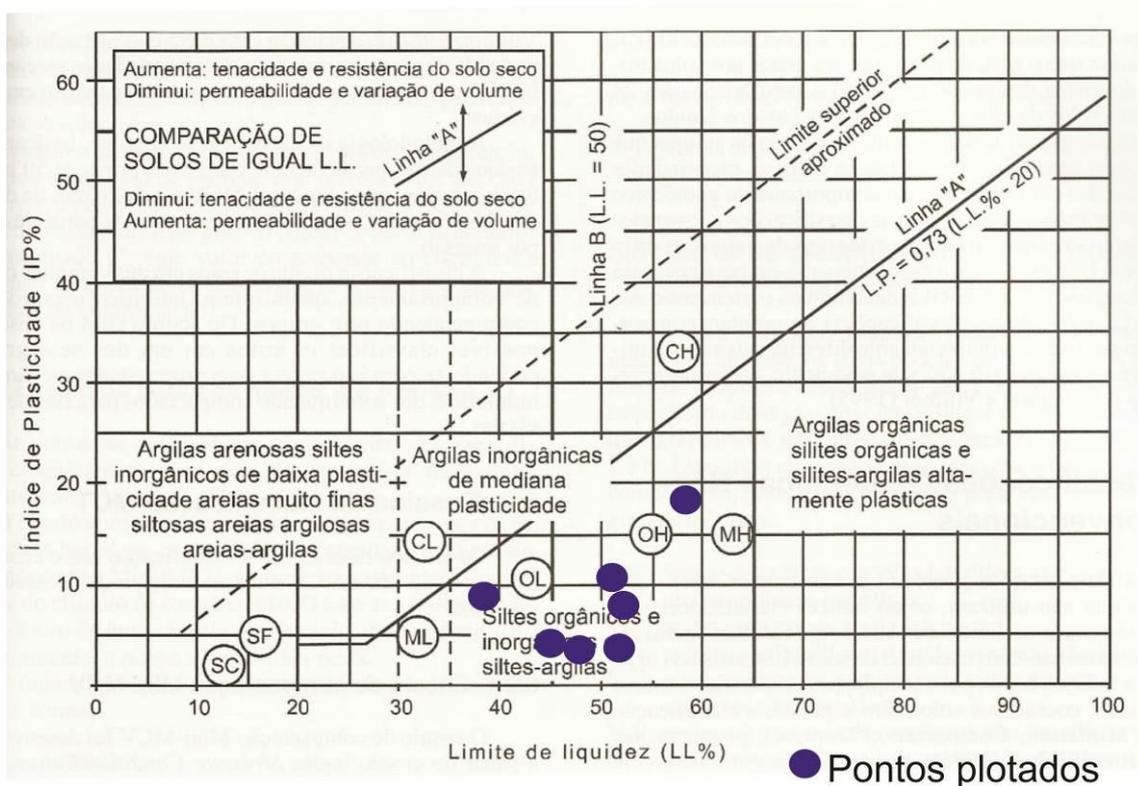


Figura 16- Carta de plasticidade para classificação de solos finos pelo SUCS (Vargas, 1978).

Com exceção da amostra PT-49 que caiu no grupo OH, todas as demais pertencem à classificação OL. As características do grupo OH são: má qualidade no quesito trabalhabilidade como material de construção, impermeável quando compactado, baixa resistência quando compactado e saturado, alta compressibilidade compactado e saturado, valor como fundação muito má, e características de drenagem má. Já as características do grupo OL são: má trabalhabilidade como material de construção, semipermeável a permeável quando compactado, baixa resistência compactado e saturado, média compressibilidade compactado e saturado, valor como fundação má e características de drenagem má. Essa classificação no entanto não possibilitou uma associação entre o tipo de comportamento do solo com a ocorrência de determinado argilomineral, uma vez que com a exceção da amostra PT-49, todas as demais foram plotadas no mesmo campo de características. A amostra PT-49 foi caracterizada como sendo diferente das demais devido ao seu alto teor de argila (quadro 4).

9. Descrição dos Movimentos Gravitacionais de Massa.

Foi constatado no morro da caixa d'água uma série de movimentos de massa gravitacionais (MMG), sendo eles aqui denominados como sendo MMG 1 e MMG 2. Para a área estudada, observamos que os movimentos de massa aconteceram em regolitos derivados majoritariamente de rochas máficas, por conseguinte, regolitos ricos em argilominerais.

Segundo Lopes (2012) entre os dias 10 e 13 de março o volume de chuvas em Antonina foi de 380 mm, essas chuvas saturaram os regolitos da região, e os locais de área de risco tornaram-se instáveis, levando ao colapso de algumas encostas e taludes.

A ocorrência do MMG 1 está relacionada a uma grande precipitação pluviométrica ocorrida em um curto período de tempo na região, que fez com que os regolitos alcançassem seus limites de saturação a ponto de se tornarem colapsáveis. Associado à grande declividade encontrada no local do acidente, esses fatores combinados resultaram em um escorregamento rotacional, seguido de vários escorregamentos translacionais ao longo da drenagem existente logo abaixo do plano de ruptura, a superfície de rompimento era solo saprolítico. A massa deslocada foi então confinada nessa drenagem e passou a ter características de corrida de lama.

Ao chegar no sopé do morro, o fluxo de material sofre uma perda de energia, resultando em um espriamento do MMG 1 no seu ponto de chegada, causando o acúmulo do material deslocado, destruindo cerca de 6 casas e matando 1 pessoa. A figura 19 representa uma esquematização dos acontecimentos do MMG1.

Segundo os moradores: “na data em que aconteceu o escorregamento, a água que fluía pelo córrego começou a ficar turva e logo em seguida o deslizamento ocorreu”.

As dimensões do escorregamento são de aproximadamente 280 metros de extensão e sua abrangência é de um raio de 15 metros do centro dessa drenagem (figura 18). Por ser um fluxo encaixado na drenagem os danos causados foram poucos, todavia, na região em que houve o espriamento as con-

sequências foram catastróficas. A esquematização do evento está esquematizada na figura 19.

As amostras PT-54 e PT-55 foram coletadas na área superior do escorregamento (figura 17) e mostraram que o solo da região é rica em argilominerais expansivos (montmorillonita), tal característica influenciou na ocorrência do MMG 1.



Figura 17- Foto da porção em que teve início o MMG 1.

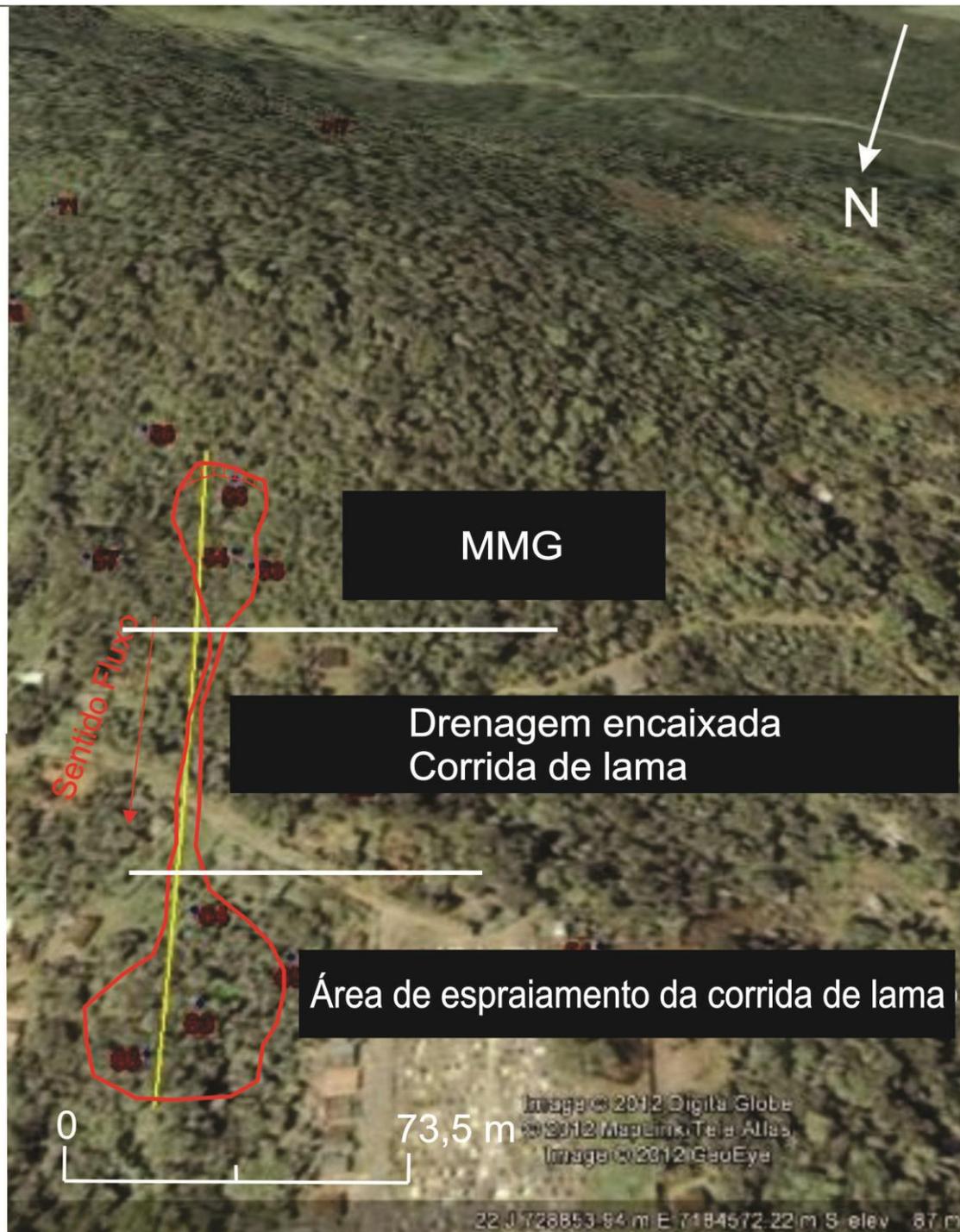


Figura 18- Esquema do deslizamento principal e seu alcance, imagem retirada do Google Earth.

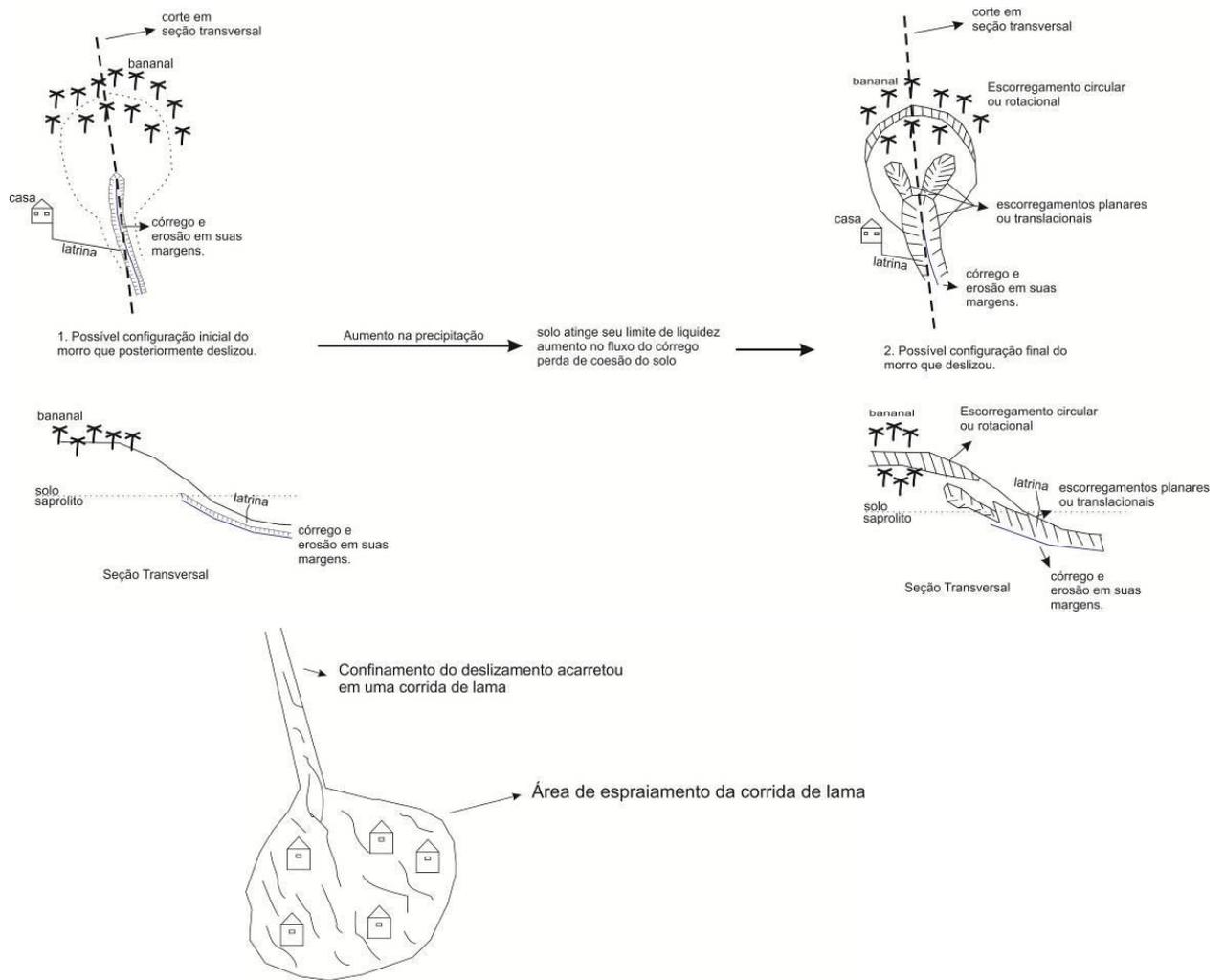


Figura 19- Esquematização do MMG 1.

Os MMG 2 ocorreram ao longo de cortes no terreno que foram feitos para a construção de uma rua e para a passagem de uma linha de força (figura 20). Os taludes criados não receberam os cuidados necessários para a sua estabilização. Acrescidos a essa ação antrópica, a alta precipitação descrita no início deste capítulo, fez com que os regolitos desses taludes ficassem saturados e conseqüentemente menos coesos, o que resultou em um evento de escorregamento circular desses taludes.

Esses MMG 2 foram encontrados ao longo da linha de transmissão de energia elétrica e ao longo da estrada que circunda o morro, e as dimensões dos deslizamentos secundários eram de poucos metros (5 a 7 metros) tanto na extensão quanto na abrangência, causando danos materiais e interdição de algumas casas.

Os regolitos encontrados no MMG 2 eram ricos em argilominerais do grupo 1:1 (caulinita), amostras PT-47 e PT-49 do quadro 2, que não apresen-

tam caráter expansivo e por conseqüência não tem relação direta com o evento.

A figura 20 representa um esquema da ocorrência dos MMG 2.

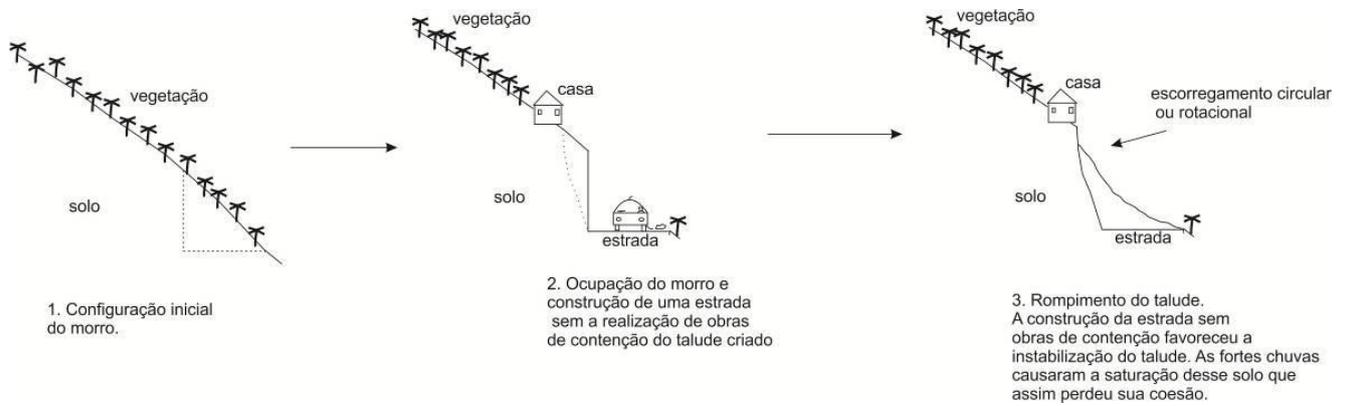


Figura 20- Esquemática do MMG 2.

10. Discussão e Conclusão.

Os pontos 49,50 e 55 foram coletados na área em que aconteceram os escorregamentos. O MMG 2 ocorrido no ponto PT-49 foi de pequenas proporções e teve como diferencial a ação antrópica, pois na área foi feita uma estrada e o talude não foi devidamente escorado. Já as amostras dos pontos PT-50 e PT-55 são do MMG 1 e uma correlação com a ação antrópica não foi identificada durante os estudos.

Uma possível correlação para a ocorrência dos escorregamentos é a relação entre: Limite de Liquidez (L.L.), ocorrência de argilominerais expansivos e não expansíveis, o relevo, a pluviosidade e a proximidade com o contato entre as unidades 1 e 2.

Observando-se as amostras PT-50 e PT-55, podemos notar que são as amostras de solo com menor limite de saturação, e nelas ocorrem argilominerais do grupo 2:1, como as montmorilonita, que são expansivas. O fato do argilomineral ser expansivo ou não influencia na sua estrutura cristalina e na força de suas interações. As argilas com essa estrutura podem formar regolitos colapsíveis. Como descrito por Silva (2006), a estrutura desses regolitos é constituída por partículas de silte ou areia e agregações de argila, encobertos por outras argilas. A presença de água nesses regolitos faz com que essas argilas absorvam água ou sejam lixiviadas por essa água, modificando assim a coesão dos regolitos. As argilas expansíveis sofrem mudança na sua estrutura interna quando em contato com água, o que fragiliza suas ligações químicas. A lixiviação diminui a coesão pela remoção de elementos mais móveis, tornando o regolito colapsível devido ao enfraquecimento das suas estruturas internas.

A alta pluviosidade ocorrida entre os dias 10 e 13 de março, com índices pluviométricos de cerca de 380 mm de chuvas, possibilitou a saturação (limite de liquidez) desses regolitos tornando-os colapsíveis, e o fato do relevo apresentar no local do MMG 1 uma alta inclinação, favoreceu a atuação da força da gravidade, que não encontrando mais a resistência ao cisalhamento do regolito, gerou o escorregamento.

A proximidade do MMG 1 com o contato entre as unidades máficas e miloníticas provavelmente favoreceu o enfraquecimento da estruturação interna dos regolitos que herdou da rocha geradora, planos preferenciais de fratura.

Assim podemos concluir que o deslizamento ocorreu principalmente pela ocorrência da alta pluviosidade excepcional para o período, que acarretou na perda da coesão do regolito. As demais áreas do morro também estão suscetíveis a escorregar, desde que os fatores deflagradores sejam alcançados.

11. Bibliografia.

AB'SABER, A. N.; BIGARELLA, J.J. 1961. Considerações sobre a morfogênese da Serra do Mar no Paraná. Boletim Paranaense de Geografia, 16, 17.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14724: Informação e documentação. Trabalhos Acadêmicos - Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ALMEIDA, F. F. M. (1967), Origem e Evolução da Plataforma Brasileira, DNPM, Bol. Div. Geol. Min. 241: 1 – 36. Rio de Janeiro-RJ.

AUGUSTO FILHO, O. (1992), “Caracterização Geológico-Geotécnica Voltada à Estabilização de Encostas: uma Proposta Metodológica”, In:1a Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas (COBRAE), v. 2, pp. 721-733, Rio de Janeiro.

AUGUSTO FILHO, O.; VIRGILI, J. C. Geologia de Engenharia – Cap. 15 – Estabilidade de Taludes, São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

BARTORELLI, A.; MINIOLI, B.; KAWASHITA, K. 1968. Nota preliminar sobre rochas ultrabásicas de Itajuba - Santa Catarina. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, SBG, v.1, p.243-246.

BASEI, M. A. S. , SIGA Jr, O.; MACHIAVELLI, A. e MANCINI, F. Evolução tectônica dos terrenos entre cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). Revista Brasileira de Geociências 22(2):216-221, junho de 1992

BIGARELLA, J. J.; BECKER, R. D.; MATOS, D. J. & WERNER, A.A Serra do Mar e a Porção Oriental do Estado do Paraná -Um problema de segurança ambiental e nacional. Secretaria de Estado do Planejamento e Associação de Defesa e Educação Ambiental, Curitiba, 1978.

Boletim 106, IAC.

BUENO, B.S.; VILAR, O.M., Mecânica de Solos, volume I, USP/São Carlos, 1999.

CARREGÃ, D. L. (1996), Estudo de Movimentações de Encostas Aplicado ao Perfil de Intemperismo em Ambientes Tropicais, In: 8o. Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia, Rio de Janeiro, Anais: ABGE, volume 2, pp.415-427.

CORDANI, U.G. & GIRARDI, V.A.V. 1967. Geologia da Folha de Morretes. Boletim da Universidade Federal do Paraná, Geologia, 26:40p.

CRUZ, P.T. (1987), Solos Residuais: Algumas Hipóteses de Formulações Teóricas de Comportamento, Seminário em Geotecnia de Solos Tropicais, Brasília.

FIGUEIREDO, M.C.H.; BASEI, M.A.S.; MANTOVANI, M.S.M.; FRYER, B.J. (1991) O Complexo Granulítico de Santa Catarina: um arco insular arqueano? Boletim IG-USP, Publicação Especial, 9:35-40.

FOOKES, P.G. (1997), Tropical Residual Soils, Geological Society Professional Handbooks. The Geological Society, London.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. (1984), Estabilidade de Taludes Naturais e de Escavação, 2 ed., São Paulo, Editora Edgard Blucher Ltda.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. CENSO 2010- População do Estado do Paraná. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/tabelas_pdf/total_populacao_parana.pdf > Acesso em: 13 abr. 2011.

INFANTIL JR, N; FORNASARI FILHO, N.; Geologia de Engenharia – Cap. 9 – Processos de Dinâmica Superficial, São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

LACERDA, W.A., 1985, Casos de Escorregamentos em Encostas Colúviais em Regiões Tropicais, Anais Colóquio sobre Solos Tropicais e suas Aplicações em Engenharia Civil, Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, pp. 211-234.

LACERDA, W.A., 2002, Comportamento Geotécnico de Massas Colúviais, In: Geosul, Joinville, pp. 219-231.

LEPSCH, IGO F., 19 Lições de Pedologia, São Paulo, ed. Oficina de Textos, 2011.

LOPES, F.C.A., Análise de um evento extremo e desastre natural nas cidades de Antonina/PR e Morretes/PR. Universidade Federal do Paraná, 2002.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L. O. B.; LENZI, E., Fundamentos da Química do Solo, ed. Freitas Bastos, 2002.

MESQUITA, M. J. M. de, CURY, L. F. PÍCANÇO, J. L; Roteiro de campo “As rochas do litoral paranaense” UFPR, Curitiba, 2010.

MINEROPAR. Levantamentos das potencialidades Minerais dos municípios de Antonina, Guaraqueçaba e Morretes. Curitiba, 1990. 110p., anexos.

PARANÁ. Atlas Geomorfológico do Estado do Paraná – Escala 1:250.000 modelos reduzidos Minerais do Paraná; Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2006. 63 p.; il.

PELLERIN, J. & QUEIROZ NETO, J.P. (1992) Relations entre La distribution-dessols, les formes et l'évolution géomorphologique du relief dans la haute vallée du Rio do Peixe (Etat de São Paulo, Brésil). Science du Sol, vol.30, n°3: 133-147.

SANTOS, L. J. C. Mapeamento geomorfológico como subsídio a identificação e à estima dos solos na área de drenagem da Baía de Antonina (PR). Revista Brasileira de Geomorfologia - v. 10, nº 2 (2009).

SEVERINO, Antonio Joaquim. Metodologia do trabalho científico. 22. ed. rev. e ampl. São Paulo: Cortez, 2002.

SILVA, J. D., Estudo da Colapsibilidade da Argila Porosa de Brasília pelo Fluxo de Contaminantes. Dissertação de Mestrado, Publicação G.DM-146/06, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, UnB, 2006.

SUGUIO, K; MARTIN, L. 1994. Geologia do Quaternário, cap. 03, in: Falconi, F.F. ; Junior, A.N. (eds.)

Solos do Litoral de São Paulo, pp. 69-97. ABMS (NR-SP) e ASSECOB, Santos (SP).

TERZAGHI, K. (1950), "Mechanisms of Landslides", The Geological Society of America – Engineering Geology (Berkey), pp. 83-123.

TOMINAGA, L. K., Santoro, J., Amaral, R. (Org.). Desastres naturais: conhecer para prevenir. Instituto Geológico – SMA – Governo do Estado de São Paulo.

TREIN, E.; MURATORI, A.; BASUMALLICK, S.; BERTOLDO, A.L. 1970. Folha geológica de Antonina (escala 1:70.000). Curitiba, Comissão da Carta Geológica do Paraná.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F.; O Clima do Litoral Paranaense – Revista Brasileira de Climatologia, agosto de 2008.

VARGAS, M. (1971), Geotécnica dos Solos Residuais, Revista Latino Americana de Geotecnia, volume 1, Venezuela, pp. 20-41.

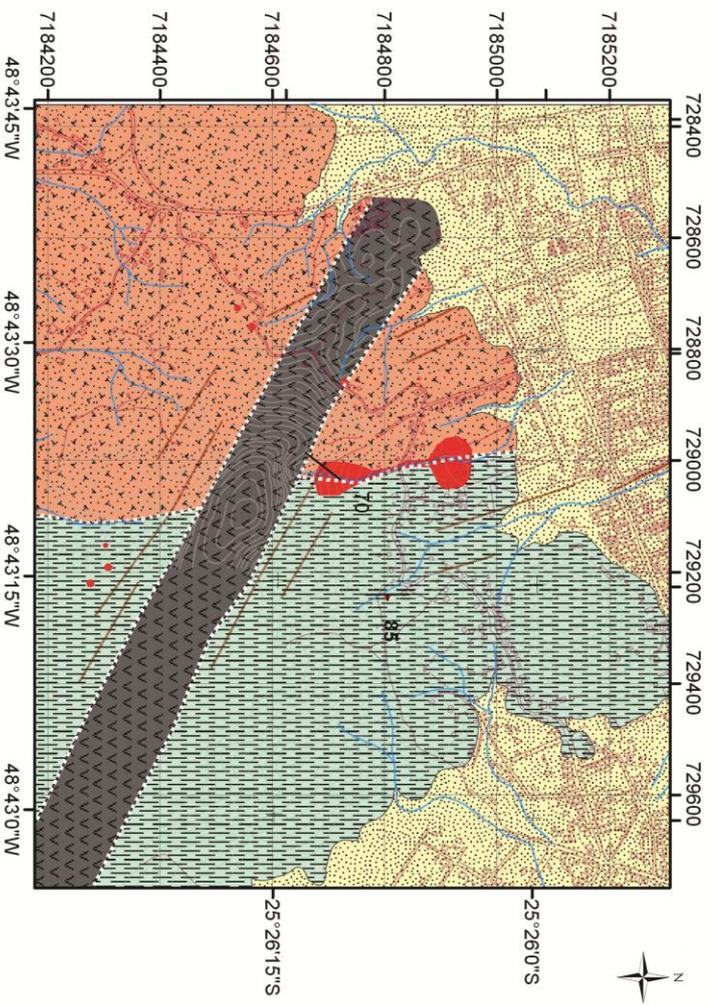
VARGAS, M., 1999, Revisão Histórico-Conceitual dos Escorregamentos da Serra do Mar. Solos e Rochas, São Paulo, volume 22, no. 1, pp.53-83.

VAUGHAN, P. R. (1988) Characterizing the Mechanical Properties of in Situ Residual Soil. General Report, Session 2". Proc. of the 2nd International Conference on Geomechanics Tropical Soils. Singapore, 2, 469-487.

ZUQUETTE, L. V; NAKAZAWA, V. A.; Cartas de Geologia de Engenharia. Geologia de Engenharia. 2ª edição. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia – ABGE, cap17, p.283-300, 1998.

ZUQUETTE, L. V.; Gandolfi, N. Cartografia Geotécnica – Oficina de textos.

Mapa Geológico do Morro da Caixa D'Água, Antonina/PR



Legenda

Unidades Geológicas

- Quaternário
- Depósitos Sedimentares do Quaternário
- Juro-Cretáceo
- Diques de Diabásio
- Proterozóico Superior
- Biotita Clorita Milonito
- Proterozóico Inferior - Arqueano
- Rochas Máficas a Ultramáficas Indiferenciadas

hidrografia

- curvas de nível
- infraestrutura
- Contatos ínteridos
- Lineamentos

- 0 0,15 0,3
- 1:10000
- km

medidas

- Movimentos Gravitaionais de Massa
- Zona de Cisalhamento

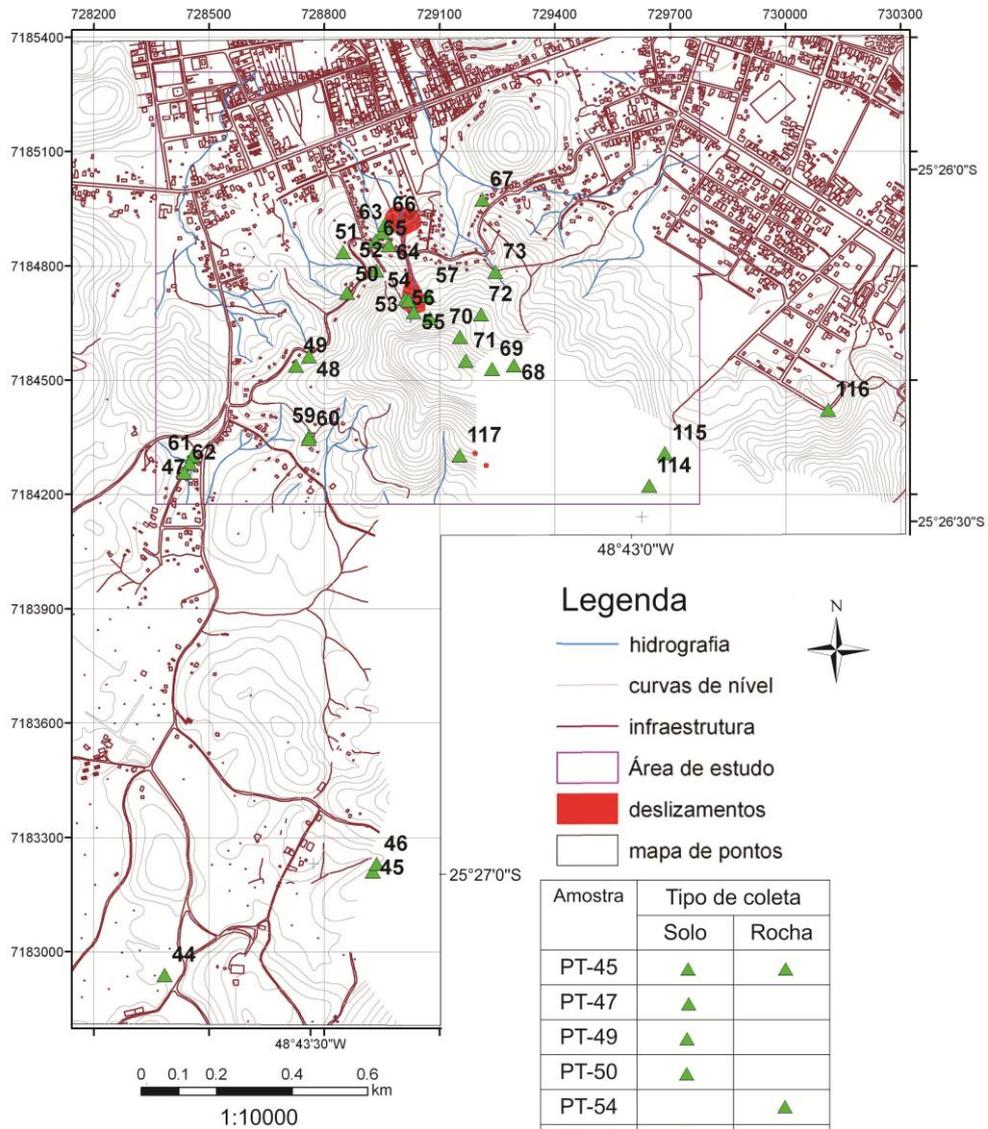


Anexo 1:

Datum Vertical: Imbulsa - Sinal Ceiluma
 Datum Horizontal: SADC-99
 Coordenadas UTM: 22S, 22S
 Mapa 1:50000, com a topografia da Região Sul do Brasil, IBGE
 Escala 1:50000
 Trabalho de Graduação de Curso: ICA/UNICAMP
 Mapa de Geológico elaborado por: Cardoso, F.T.V.,
 Data: 07/12/13

Anexo 2:

Mapa de pontos



Datum Vertical: Imbuiba - Santa Catarina
 Datum Horizontal: SAD-89
 Coordenadas UTM Zona 22S
 Mapa Base: Carta Topográfica da Região Sul do Brasil, IBGE
 Escala 1:50000 (1992)
 Trabalho de Conclusão de Curso- IG/UNICAMP
 Mapa de Pontos elaborado por Cardoso, F.T.V.
 Data: 5/1/2013