



Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Geociências
Curso de Graduação em Geologia



Trabalho de Conclusão de Curso

**Caracterização dos movimentos de massa na bacia do
Córrego do Gigante, Serra da Prata, Paranaguá-
PR, no evento de março de 2011**

Aluno: Leonardo Lemes de Melo (RA 071492)

Orientador: Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço

Co-Orientadora: Maria José Maluf de Mesquita

Campinas, Janeiro de 2014.



Universidade Estadual de Campinas
Instituto de Geociências
Curso de Graduação em Geologia



**Caracterização dos movimentos de massa na bacia do
Córrego do Gigante, Serra da Prata, Paranaguá-
PR, no evento de março de 2011**

Leonardo Lemes de Melo

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.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pois sem ele nada seria possível. Agradeço aos meus pais, José Carlos de Melo e Sandra Regina Silva de Faria, pela oportunidade da vida, ensinamentos e apoio nas horas mais difíceis. Também sou agradecido pelo apoio que sempre tive de Fátima Barbosa da Silva Melo e Dirceu Pereira de Faria, pessoas que sempre aprendi muitas lições de vida. Agradeço muito aos meus irmãos, Fernanda, Jéssica e Dirceu pelo apoio e carinho, e principalmente a Fernanda pelos “puxões de orelha” que me fizeram enxergar melhor a vida. Agradeço também as minhas avós, tios, tias, primos e primas por todo o apoio durante a minha vida.

Agradeço imensamente meu orientador, Prof. Dr. Jefferson de Lima Picanço, e a minha co-orientadora Prof^a. Dr^a. Maria José Maluf de Mesquita, por todo o apoio que me deram na elaboração deste trabalho, nas atividades de campo. Sou agradecido também a todos os professores, técnicos e funcionários por todo apoio durante a graduação e na elaboração deste trabalho, em especial aos que tive mais contato, como Cássia, Márcia, Antonieta, Josefina, Celso, Robertinho, Wanilson, Emílson, Pedro, Sílvia, Dailto, Lúcia, Cristiano e Maria Helena da BC.

Também agradeço muito aos meus amigos da Geologia ou não: Rafael Boneco, Felipe, Renê, Raul, Flaviano, Mayra, Silvana, Euriana, Carolina Athayde, Cristiano, Luiz Augusto, Júlio Milan, Cauê, Jimmi, além de todos os demais, por todo o apoio, amizade, companheirismo e lealdade.

Agradeço ao SAE pelas bolsas concedidas, a FAEPEX-FUNCAMP pelo financiamento deste trabalho e ao Instituto de Geociências da UNICAMP por dar oportunidade de formação a tantas pessoas, assim como eu.

Muito obrigado!

1. Resumo:

Em março de 2011, entre os dias 08 e 11, foi registrado no litoral Paranaense uma quantidade de chuvas acima da média histórica, que desencadeou uma grande catástrofe. Este evento trouxe consequências mais sérias para os municípios de Antonina, Morretes e Paranaguá, onde houve uma grande quantidade de deslizamentos, fluxos de detritos, corridas de lama e inundações. O bairro Floresta, local do presente estudo, teve como decorrências desta catástrofe a destruição de plantações, casas, estradas, pontes, represas, e a perda de uma vida humana. Este trabalho foi realizado visando o entendimento da deflagração do processo de escorregamento. Inicialmente foi realizado um levantamento bibliográfico propendendo entender os tipos de movimentos gravitacionais de massa. Posteriormente houve uma atividade de campo de reconhecimento da área e coleta de amostras, que foram utilizadas nos ensaios geotécnicos de granulometria, umidade, consistência dos solos e densidade de partículas, na análise de lâminas petrográficas e também da análise de difratometria de raios X. Através dos resultados destas análises, foi possível entender a maneira como ocorreu os deslizamentos, e o processo de deflagração dos mesmos. Eles ocorreram de maneira translacional plano e raso na área de nucleação destes, apresentando ruptura de rocha e solo em planos bem definidos ao longo da fratura de descompressão principal do granito e de porções mais intemperizadas da rocha. O material perdeu seu equilíbrio, devido à carga excessiva de água sobre o mesmo e despreendeu-se do maciço, iniciando os deslizamentos. A intensidade destes eventos aumentava conforme desciam a vertente, ao ponto de se transformarem em corridas do tipo Debris Flow (Fluxo de detritos). O Debris Flow atuou de maneira catastrófica na paisagem porque transportou uma grande quantidade de matações de tamanhos variados, chegando a dimensões métricas, e os mesmos foram depositados ao longo do canal do Córrego do Gigante, na zona de planície, onde também se encontram os depósitos de tálus e colúvio. Este evento de proporções desastrosas transportou milhares de metros cúbicos de material de composição e granulometria variada, desde a vertente da Serra da Prata até a zona de planície.

Sumário:

1. Resumo.....	4
2. Introdução.....	7
2.1. Objetivos.....	8
2.2. Localização da área de estudo.....	8
2.3. Aspectos Fisiográficos.....	9
3. Materiais e Métodos.....	10
3.1. Atividade de Campo.....	10
3.2. Descrição dos Pontos.....	10
3.3. Amostras.....	12
3.4. Atividades de Laboratório.....	12
3.4.1. Análise Mineralógica dos Solos e Colúvios.....	13
3.4.2. Análises Geotécnicas.....	14
3.4.3. Análise Petrográfica.....	18
4. Fatores Predisponentes.....	18
4.1. Geologia Regional.....	18
4.2. Geologia Local.....	20
4.2.1. Análise Petrográfica.....	21
4.2.2. Análise Estrutural.....	22
4.3. Solos.....	23
4.3.1. Tipos de solos segundo análise geológico-geotécnica.....	24
4.3.2. Características geotécnicas de solos tropicais.....	26
4.3.3. Perfis de intemperismo em regiões tropicais.....	26
4.3.4. Estruturas e mineralogia de solos residuais.....	27
4.3.5. Resistência ao cisalhamento de solos tropicais.....	28
5. Processos Deflagradores.....	28
5.1. Movimentos de massa em solos residuais e coluvionares.....	28
5.2. Descrição dos processos.....	33
6. Resultados e Discussão.....	37
6.1. Ensaio Geotécnicos.....	37
6.2. Análise Mineralógica dos Solos e Colúvios.....	44
6.3. Relação dos minerais primários, neoformados e resistatos.....	48
6.4. Mapeamento.....	49

7. Discussão e Conclusão.....	50
8. Referências Bibliográficas.....	51
9. Anexos.....	53
9.1. Depoimento dos moradores da área atingida.....	53
9.2. Mosaico de Fotos dos pontos 100 até 106.....	56
9.3. Mosaico de Fotos dos pontos 107 até 111.....	57
9.4. Mosaico de imagens demonstrando as estruturas da rocha.....	58
9.5. Mapa de Pontos.....	59
9.6. Mapa de Curvas de Nível.....	60
9.7. Mapa de Litotipos.....	61
9.8. Mapa de Materiais Inconsolidados.....	62
9.9. Mapa de Declividade.....	63
9.10. Mapa Comparativo Antes e Depois dos Eventos de 2011.....	64
9.11. Difratoograma de fases dos minerais identificados, da lâmina glicolada e lâmina aquecida da amostra 106 A.....	65
9.12. Difratoograma de fases dos minerais identificados, da lâmina glicolada e lâmina aquecida da amostra 106 B.....	66
9.13. Difratoograma de fases dos minerais identificados, da lâmina glicolada e lâmina aquecida da amostra 106 C.....	67
9.14. Difratoograma de fases dos minerais identificados, da lâmina glicolada e lâmina aquecida da amostra 106 D.....	68
9.15. Difratoograma de fases dos minerais identificados, da lâmina glicolada e lâmina aquecida da amostra 108.....	69
9.16. Difratoograma de fases dos minerais identificados, da lâmina glicolada e lâmina aquecida da amostra 109 A.....	70
9.17. Difratoograma de fases dos minerais identificados, da lâmina glicolada e lâmina aquecida da amostra 109 B.....	71
9.18. Representação das estruturas utilizando o Stereonet.....	72

2. Introdução:

Eventos climáticos extremos estão cada vez mais frequentes e comuns, em função das mudanças climáticas no Brasil e no mundo. Nos últimos anos, O Brasil foi afetado por eventos extremos, com a ocorrência de estiagens, inundações, e a deflagração de movimentos de massa de diversas categorias. Algumas regiões como o oeste catarinense, litoral paranaense e região serrana do Rio de Janeiro foram as áreas mais afetadas por estas catástrofes nos últimos anos.

Os movimentos de massa são fenômenos naturais que, transformam de maneira drástica a paisagem da superfície terrestre, ocasionando prejuízos de bilhões de dólares no mundo todo, além de ceifarem centenas de vidas todos os anos (Fernandes & Amaral, 2003).

Os principais tipos de movimentos de massa são as corridas, os escorregamentos e as quedas de blocos. As corridas são movimentos muito velozes, onde o material apresenta um comportamento semelhante a um fluxo viscoso. Os escorregamentos sempre apresentam um plano de ruptura bastante definido e possuem um tempo de ação curto, por serem muito rápidos. As quedas de blocos ocorrem quando blocos caem em queda livre, devido à ação gravitacional, numa enorme velocidade.

O bairro Floresta, entre os municípios de Morretes e Paranaguá, foi fortemente afetado na catástrofe de março de 2011. A chuva contínua começou na segunda-feira, dia 07, intensificou na quinta-feira, dia 10, e perdurou até dia 13, quando os eventos já haviam cessado, segundo o relato de moradores.

Este estudo aborda a descrição e caracterização dos movimentos de massa ocorridos no evento citado, na bacia do Córrego do Gigante, afluente do rio Jacareí. Este córrego possui sua nascente no topo da Serra da Prata, onde seu padrão de drenagem que é controlado pelas fraturas dos granitoides, é dendrítico. O topo e as porções íngremes desta serra são compostos por neossolos e afloramentos rochosos. Suas porções centrais são constituídas por neossolos e cambissolos e as porções inferiores da vertente caracterizam-se pela presença de depósitos de tálus e colúvios e áreas aluvionares da bacia hidrográfica principal.

A sequência de grandes deslizamentos, fluxos de detritos, rolamento de matacões, corridas de lama e inundações causou enormes prejuízos ao local, com a interdição da BR-277, a mais importante rodovia da região devido à queda de pontes, destruição de casas e plantações. Houve o registro de apenas um óbito, devido à baixa densidade demográfica do bairro (Picanço&Nunes, 2013). Os ensaios laboratoriais foram realizados para a análise dos materiais presentes. Análises petrográficas de rochas foram utilizadas para a determinação da litologia presente na região e entendimento da origem dos solos locais.

Para os solos foram realizadas análises de Difractometria de raios X para o conhecimento da composição mineralógica e química dos materiais presentes nos deslizamentos de terra mencionados. Análises geotécnicas como granulometria, umidade, consistência, densidade de partículas e ensaio de argila dispersa em água foram utilizadas para o entendimento do comportamento do material.

Este trabalho buscou o entendimento sobre os fatores condicionantes que levaram a ocorrência dos movimentos de massa locais, sua descrição e a comparação da área antes e posteriormente aos eventos.

2.1. Objetivos:

O objetivo deste trabalho é avaliar os fatores predisponentes dos movimentos de massa ocorridos na catástrofe de março de 2011. Para alcançar este objetivo, é necessário entender a dinâmica da geologia, geomorfologia e pedologia. Outro objetivo é realizar um comparativo da área, antes e depois do evento, através de depoimentos de moradores, comparação de imagens aéreas e o estudo dos depósitos de talus que são posteriores ao evento. Posteriormente com a compilação dos dados através deste trabalho, será possível utilizar o mesmo para o estudo dos riscos na região da bacia estudada.

2.2. Localização da área de estudo:

A bacia do Córrego do Gigante está localizada na Serra da Prata, no bairro rural Floresta. Sua área está contida em grande parte no município de Paranaguá e uma pequena parte, no município de Morretes (figura 01).

Paranaguá é um município litorâneo do estado do Paraná, que se localiza a 91 km da capital Curitiba. Apresenta como limites, Antonina e Guaraqueçaba ao norte, Guaratuba e Matinhos ao sul, Pontal do Paraná a leste e Morretes a oeste. Segundo IBGE 2010, sua população é de 140469 habitantes com uma área de 826674 km².

Morretes é um município localizado no litoral do mesmo estado, distando 60 km da capital Curitiba. Seus limites são São José dos Pinhais, Piraquara e Quatro Barras a oeste, Campina Grande do Sul ao norte, Antonina e a Baía de Paranaguá a nordeste, Paranaguá a leste e Guaratuba a sul e sudeste. Segundo IBGE 2010, sua população é de 15718 habitantes com uma área de 684580 km².

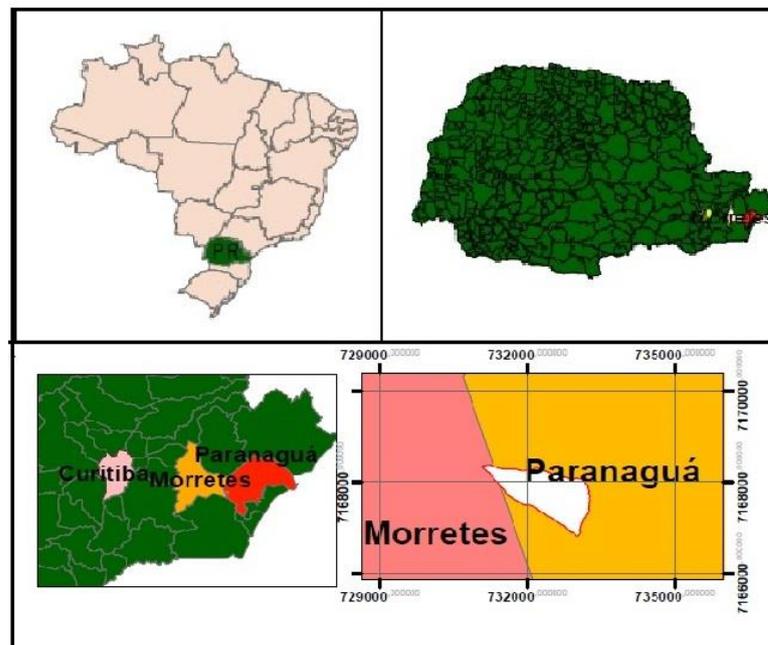


Figura 1: Localização da Bacia do Córrego do Gigante, em escala nacional, estadual e regional. Fonte: Modificado de IBGE.

O acesso a região de estudo ocorre através da BR 277. No seu Km 48 têm-se uma estrada de terra, de onde é possível chegar ao Bairro Floresta e ao sopé da Serra da Prata. A estrada termina um quilômetro antes da área de estudo. O restante do acesso foi realizado a pé, através de trilhas e ao longo da calha do Córrego do Gigante.

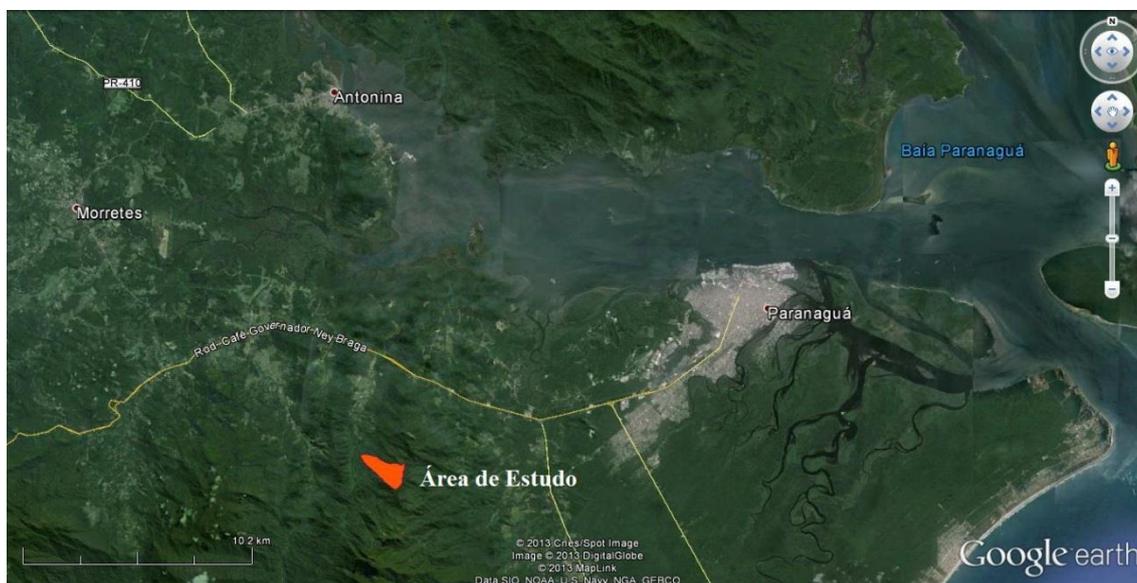


Figura 2: Localização e acesso a área de estudo. Fonte: Modificado de Google Earth.

2.3. Aspectos Fisiográficos:

O litoral do estado do Paraná é composto pelos municípios de Paranaguá, Antonina, Morretes, Guaratuba, Pontal do Paraná e Guaraqueçaba, e constituem a planície litorânea do estado e que apresenta clima subtropical úmido mesotérmico com temperaturas anuais superiores no verão a 22° C e inverno 18°C. Apresenta estação seca bem definida com verão quente ocorrendo poucas geadas no inverno. (Vanholi & Mendonça, 2008).

Nesta área a Serra do Mar atinge em média 700 metros de altitude com seu pico culminante como Marumbi com 1.539 m, ocasionando assim o microclima subtropical úmido-mesotérmico apresentando verão ameno com índice pluviométrico mais elevado que apresentando temperaturas médias de 22 graus.

Toda região é controlada pela atuação do anticiclone do atlântico sul que durante os meses mais quentes do verão é constituído pela massa tropical atlântica e no inverno pela massa polar Antártica.

Na hidrografia desta área destacam-se duas sub-bacias:

- a) da baía da área de Antonina cujo rio principal é o Cachoeira;
- b) sub-bacia do Nhundiaquara.

Todos esses rios e seus pequenos afluentes nascem na serra do mar entre 100 e 1900m, com cotas de nascente superiores a 1000 m para os principais rios.

As drenagens destas bacias secundárias de Antonina e Paranaguá apresentam deficiência hídrica durante a estação invernal e excedente hídrico no verão. Ambas apresentam, devido ao grande volume de água, estuários com grande potencial de erosão. (Noemberg, 2001).

Como vegetação predomina-se a Floresta Ombrófila densa Montana, aparecendo em algumas pequenas áreas a densa de terras baixas. Em pontos isolados aparece a Formação Pioneira com influência marinha, também conhecida como restinga. Em toda a costa da cidade temos a presença da Formação Pioneira de Influência Fluvio-Marinha, o Mangue. Na região urbana temos a vegetação degradada das áreas ocupadas nos morros. (COLIT, 2013)

3. Materiais e Métodos:

O presente trabalho foi elaborado em cinco etapas: levantamento bibliográfico, atividade de campo, preparação de amostras, análises (químicas, petrográficas, geotécnicas) dos exemplares e interpretação dos resultados obtidos. Também foram avaliados mapas geológicos, mapas topográficos e ortofotos do local avaliado, prévias e posteriores ao evento catastrófico de março de 2011. Assim, pode-se delimitar a área de estudo e obter informações acerca dos movimentos de massa ocorridos em diversos locais do mundo, bem como seus processos deflagradores e seus fatores condicionantes.

3.1. Atividade de Campo

As atividades de campo ocorreram nos dias 17 e 18 de julho, na bacia do córrego do Gigante, e tinham como objetivo realizar observações importantes, como a ocorrência e as características dos depósitos de Tálus e de Colúvio, assim como das porções erosionais, onde ocorreu a deflagração dos movimentos. Durante esse período foram realizadas coletadas de amostras de rochas e solos, e uma minuciosa coleta de dados estruturais. No entanto, devido a escassez de exposição de litotipos não intemperizados, foram amostrados apenas dois exemplares de rochas: um Saprólito, obtido em perfil de solo, e outro retirado do afloramento de rocha sã, de onde foram extraídas medidas estruturais. As amostras de solos foram coletadas no perfil de solo e no depósito de Tálus. Os exemplares recolhidos foram utilizadas da seguinte maneira: a amostragem de rocha foi utilizada na fabricação de lâminas petrográficas e ensaios - que serão descritos no decorrer deste trabalho -, os dados estruturais medidos em campo foram tratados no software Stereo Net e serão apresentados posteriormente. A atividade foi complementada com relatos de moradores da área atingida, os quais relataram todos os problemas que enfrentaram na fatídica semana do evento de 2011.¹

3.2. Descrição dos pontos

Na atividade de campo foram definidos 11 pontos, nos quais 6 foram realizados no dia 17, e outros 5 pontos no dia 18. A posição geográfica e altimetria de todos, estão abaixo na tabela 01, e as outras informações será descrita posteriormente. Para melhor entendimento dos mesmos, foi gerado um mapa de pontos, que se encontra no anexo 9.5.

¹ Os depoimentos foram transcritos e serão apresentados nos anexos.

Tabela 01: Posição geográfica e altimetria dos pontos.

Ponto Geológico	UTM Leste (X)	UTM Norte (Y)	Z (metros)
LLM 100	731965	7167855	314
LLM 101	732368	7167487	440
LLM 102	732261	7167359	495
LLM 103	732409	7167300	532
LLM 104	732462	7167202	563
LLM 105	732510	7167225	576
LLM 106	732636	7167177	615
LLM 107	731349	7168122	187
LLM 108	731352	7168081	196
LLM 109	731508	7168032	213
LLM 110	731635	7167963	231
LLM 111	731740	7167961	236

No primeiro dia de campo, após sair da drenagem principal e seguir pela trilha na mata com acesso as partes altas da área, chegou-se na área do primeiro ponto de observação.

O Ponto 100 está localizado na esquerda da trilha principal, em frente a um dos escorregamentos rotacionais na lateral do atual leito do Rio do Gigante. Não era possível descer até o escorregamento, devido à "quebra" do barranco, ficando muito alto. (anexo 9.2 A).

Seguindo trilha acima, desviando a esquerda novamente, foi possível fazer uma observação geral dos escorregamentos locais e da Serra do Gigante de maneira mais clara. Neste ponto também se observou uma quebra de relevo e rampas possivelmente originadas por fraturas de alívio (anexo 9.2 B). Igualmente pode ser notar a presença de ravinamentos e locais onde se o processo erosivo se aprofundou mais e solapou vários blocos.

O terceiro ponto foi alcançado seguindo a trilha e desviando-se a leste da área, ponto de visualização da bacia do Córrego Cruzília. Ali foi visto um escorregamento rotacional raso que atingiu o nível de base do saprólito. O solo estava com indícios de faturamento, que deve foi um dos condicionantes dos deslizamentos (anexo 9.2 C).

O ponto 103 encontra-se a norte do ponto 101, onde se presenciou sulcos no solo exposto, rompimento de talude de cor ocre de 5 a 6 metros de espessura, além de semelhanças com o ponto 101 (anexo 9.2 D).

Seguindo a trilha e desviando-se a leste, atingiu-se o local do ponto posterior, que apresenta grandes semelhanças ao ponto 102, mais um pouco acima.

A localização do ponto 105, a oeste da trilha principal, tornou possível uma excelente visão do processo de liberação do bloco por esfoliação esferoidal. Da mesma forma, foi possível constatar a zona de nucleação dos escorregamentos (anexo 9.2 E), e a presença de estrias no solo.

No último ponto deste dia, chegou-se a área de maior altimetria visitada. Neste local, obteve-se uma visão de forma ampla dos escorregamentos locais. Neste local foi possível coletar amostras do perfil inteiro do solo encontrado na parede do deslizamento

(anexo 9.2 F). A presença de blocos caóticos era comum, e uma amostra de rocha foi coletada.

No dia posterior, a atividade de campo iniciou-se na parte deposicional da área, um pouco acima da casa de seu João, dentro do canal de drenagem do Gigante. Neste ponto (107), notou-se presença de um novo talvegue depositado no evento de 2011 (anexo 9.3 A). Observa-se também a deposição de blocos de 0,5 a 6 metros.

O próximo ponto (108) foi definido a montante do ponto anterior. Encontrava-se dentro da drenagem, onde é possível observar blocos encaixados no solo (in situ) com foliação esferoidal (anexo 9.3 B) Também é possível observar depósitos antigos com depósitos novos sobrepostos.

A localização do ponto 109 é a montante do ponto anterior, onde se observa a presença de blocos de forma caótica. Neste local, é possível observar a drenagem se ramificando em 3 pontos a jusante do córrego. Ali claramente verificaram-se os dois depósitos de tálus citados anteriormente com a presença de blocos com dimensão entre 20 a 60 cm de diâmetro. Também é possível observar material fino depositado sobre os grandes blocos expostos (anexo 9.3 C).

O penúltimo ponto (110) visitado encontrava-se ao lado esquerdo do corpo do rio a montante, um pouco acima do ponto anterior. Ponto com características semelhantes ao anterior. Dentro do canal, ocorre a presença de blocos intemperizados em formas esferoidais (anexo 9.3 E).

Finalizando a atividade de campo, chegou-se a um local a montante do ponto anterior, onde se encontrou a rocha sã, com presença de alguns diques. Igualmente é possível observar que no local, houve o barramento do Córrego do Gigante (Anexo 9.3 D). Neste ponto foi possível encontrar o Granitóide estirado sem imtempéries, exposto, com a presença de diques de diabásio. A rocha apresenta uma família de fraturas, e um padrão anastomosados (feldspatos) circundados por um mineral máfico e por muscovitas.

3.3. Amostras

Na atividade de campo foram selecionados alguns pontos para a coleta de amostras para a realização dos ensaios de laboratório. As amostras de solo foram coletadas em um perfil de solo escavado dentro de uma área de nucleação dos escorregamentos, no ponto 106. Neste local, retirou-se 5 amostras, onde as amostras A, B, C, e D são amostras de solo que foram classificadas de acordo com a cor, textura e resistência a introdução de uma faca. A amostra E é um saprólito de alteração de Granodiorito, que será descrito posteriormente. A amostra obtida no ponto 108 corresponde a uma amostra de colúvio coletada ao lado da drenagem do Córrego do Gigante. A amostra do ponto 109 foi recolhida dentro de um depósito de colúvio, porém um pouco acima na drenagem em com condições distintas do outro. Com esta amostra foi realizada uma duplicata (109 B). A amostra colhida em um afloramento de rocha, correspondente ao ponto 111 é o Granodiorito que será descrito posteriormente.

3.4. Atividades de Laboratório:

As atividades laboratoriais foram divididas em quatro partes, Difratometria de Raios-X, Análises Geotécnicas, Análises Químicas e Análises Petrográficas. As amostras de rocha foram utilizadas nas Análises Petrográficas e as amostras de solo

foram utilizadas nas Análises Geotécnicas e na Difratomia de Raios-X. A seguir, apresenta-se o procedimento envolvido em cada análise.

3.4.1 Análise Mineralógica dos Solos e Colúvios

A análise mineralógica dos solos e colúvios foi realizada através da Difratomia de Raios-X, que consiste na caracterização de materiais através da determinação das fases cristalinas contidas na amostra. O método consiste no disparo de feixes de Raios-X sob os cristais presentes na amostra. Os átomos presentes nos cristais interagem entre si, ocasionando o fenômeno de difração, na qual é captado pelo receptor do aparelho, gerando um perfil de difração.

O procedimento é possível porque na maior parte dos cristais, os cristais encontram-se dispostos em planos cristalinos separados entre si por distâncias da mesma ordem de grandeza dos comprimentos de onda dos raios-X. Para a identificação, confronta-se o perfil de difração obtido da amostra ao conjunto de difração padrão mantido pelo JCPDS (Joint Committee on Powder Diffraction Standards).

A opção pelo método ocorreu devido a sua rapidez, e praticidade, além de sua conhecida confiabilidade nos resultados obtidos, pois o perfil de difração obtido é característico para cada fase cristalina.

A preparação das amostras inicia-se com o seu total secamento, pois o material a ser analisado não deve conter umidade. Com este totalmente seco, realizou-se o destorroamento das partículas, utilizando-se de um almofariz e um pilão de ágata, evitando-se deste modo, deixar o material agregado. Posteriormente, todo o material é quartado, utilizando-se de folhas de papel vegetal, até que se obtenha apenas uma quantidade suficiente para a realização da análise.

Com o auxílio de uma balança de precisão, pesa-se o material, até obter 10 gramas, dentro de um becker de tara conhecida. O Becker então foi preenchido com água deionizada até completar-se 50 gramas. Em seguida, coloca-se o Becker contendo o material, dentro de um aparelho de ultrassom com agitador, por 5 minutos, com o propósito de ajudar na dissociação das partículas do material. No término deste tempo, transfere-se o material contido no Becker para um tubo de centrífuga até atingir o volume de 50 ml.

Os tubos de centrífuga descritos acima então foram inseridos numa centrífuga de 6 compartimentos da marca MLW, modelo T 62.2. Ligou-se o aparelho, utilizando-se uma frequência de 800 rpm por um período de 5 minutos. Desta maneira, o silte presente na amostra foi realocado para o fundo do tubo, enquanto a argila permaneceu em suspensão na água deionizada. Em seguida, retirou-se a argila suspensa, e a transferiu para outro tubo, onde o volume foi completado com 50 ml de água deionizada. Então, coloca-se novamente os tubos na centrífuga, com uma frequência de 3500 rpm por um período de 30 minutos, com o intuito de separar a água deionizada do material argiloso.

Na etapa seguinte, o material argiloso é coletado com o auxílio de pipetas de plástico e alocado em lâminas de vidro. O material então é orientado segundo uma direção preferencial com o uso de uma espátula. Para cada amostra, foram feitas duas lâminas, sendo que na segunda lâmina, após o material ser orientado, foi adicionado Etileno Glicol na mesma. As lâminas orientadas sem Etileno Glicol, foram aquecidas através de uma mufla, com uma temperatura de 450° C, durante 5 horas.

Então, finalmente as lâminas preparadas são posicionadas no difratômetro de raios-X. A leitura ocorre até o entre os valores 02 e 70 no difratômetro, abrangendo

todos os minerais presentes na amostra, com um tempo equivalente a 45 minutos para cada lâmina. Posteriormente, os espectros obtidos são analisados com a utilização do software Xpert high Score Plus, onde cada pico observado é interpretado, indicando os argilo-minerais presentes nas amostras de solos coletadas em campo.

3.4.2 Análises Geotécnicas

Ensaio Granulométrico

Antes da realização deste ensaio, é obrigatório realizar uma etapa inicial de preparação das amostras. O primeiro passo é a secagem do material, onde as amostras de solo foram destorroadas cuidadosamente e espalhadas em formas plásticas, onde permaneceram durante três dias para o completo secamento do material.

O processo seguinte é o quarteamento, onde o material é homogeneizado e repartido em quatro partes, sendo que três frações são retidas. A porção restante tem o procedimento repetido até que se obtenha uma quantidade necessária do material para o processo.

A amostra selecionada então é peneirada utilizando-se a peneira de 2 mm de espessura. Nesta etapa do peneiramento, fica retido o material grosso, que é empregado na realização do peneiramento grosso do solo. O material que passou pela peneira, será utilizado no peneiramento fino, no ensaio de sedimentação, na determinação do peso específico dos sólidos e grãos e na determinação do teor de umidade do solo.

O ensaio de granulometria é realizado para a obtenção da distribuição granulométrica do solo, onde é determinada a percentagem em peso que cada faixa especificada do tamanho dos grãos representa na massa seca total aplicada no experimento.

A análise é dividida em duas partes, sendo uma a análise granulométrica por peneiramento e a outra, a análise granulométrica por sedimentação.

Solos que possuem uma granulometria grossa, com uma quantidade ínfima de finos podem ter a curva granulométrica inteiramente determinada somente com a aplicação do peneiramento. Entretanto os solos que possuem uma grande quantidade de materiais de granulometria fina, necessita proceder ao ensaio conjunto, que reúne fases de peneiramento e sedimentação.

A construção da curva de distribuição granulométrica do solo obtida com este ensaio é utilizada na caracterização geotécnica do solo. Esta caracterização está relacionada com a estimativa da percentagem de cada fração granulométrica do solo em relação ao peso seco total.

A análise granulométrica utiliza como materiais o Agitador de Wagner, Vibrador de Peneiras de 2 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,42 mm, 0,29 mm, 0,15 mm e 0,075mm), Balanças de 2 e 4 casas decimais e estufa com circulação de ar, termômetro e cronômetro. Como Reagentes e soluções foram utilizados:

Solução dispersante: NaOH 0,1N com 10% de hexametáfosfato de Sódio.

Água Oxigenada a 30%.

Solução de pirofosfato de sódio 0,1M onde se dissolve 44,6g de reagente em 1l de água destilada.

O procedimento experimental para o ensaio de granulometria divide-se em três partes que são o Peneiramento Grosso, o Peneiramento Fino e o Ensaio de Dispersão.

Peneiramento Grosso

O peneiramento grosso utiliza a quantidade de solo que fica retida na peneira de 2,0 mm. No momento da preparação da amostra, lava-se o material retido na peneira, colocando-se em seguida na estufa por 24 horas. Posteriormente, após a secagem, coloca-se esse material no Agitador de Wenger, com as peneiras de 2 mm, 1mm, 0,5 mm e 0,075mm, onde a malha é crescente da parte inferior para a superior.

Abaixo da peneira de menor malha, coloca-se um recipiente que coleta o material mais fino obtido. Uma tampa é colocada acima da peneira de maior abertura para que se evite a perda de partículas no início do processo de vibração. O Agitador de Wenger é utilizado por 8 minutos de modo que no final pesa-se a fração de solo retida em cada peneira.

Peneiramento Fino

O peneiramento fino é realizado utilizando-se cerca de 150g de solo que consegue passar na peneira de 2,00mm, no momento da preparação da amostra. Após isso, lava-se o material retido na peneira, colocando-o em seguida na estufa por 24 horas.

O peneiramento fino é realizado utilizando-se cerca de 150g de solo que consegue passar na peneira de 2,00mm, no momento da preparação da amostra. Após isso, lava-se o material retido na peneira, colocando-o em seguida na estufa por 24 horas. Após a secagem, esse material é posicionado no Agitador de Wenger, de modo que se colocam as peneiras de 2 mm, 1mm, 0,5 mm e 0,075mm, O Agitador de Wenger é utilizado por 8 minutos de modo que no final pesa-se a fração de solo retida em cada peneira.

Dispersão

Para a dispersão desses solos é colocado 10 g de solo pelo método da terra fina seca ao ar (TFSA), que é destorroada e passada em peneira de 2,0mm em Becker de 800 ml. Após isso é adicionado 200 ml de solução de pirofosfato de sódio 0,1 Molar e 50 ml de água oxigenada 30%, deixando o solo em repouso por 16 horas. Após o término deste tempo, a essa solução é aquecida em banho-maria a 400C durante 8 horas ou até seu clareamento. Depois eleva-se a temperatura para 800C até próximo a secagem. Após secagem ocorre a centrifugação da amostra, lavando-a duas vezes com água destilada e eliminando o sobrenadante. Após todo esse processo é feita a dispersão em seguida.

Para a dispersão de solos com menos de 5% de matéria orgânica, é pesado 10 g de amostra, transfere-se esse solo para a garrafa de Sthomann de 500 ml, e adiciona-se 50 ml de solução dispersante. Após isso, coloca-se a amostra numa mesa agitadora por 16 horas. Após o término desse processo, transfere-se a suspensão para uma proveta graduada de 500 ml passando essa por uma peneira de malha 0,053 mm, completando o volume para 500 ml. Depois, carrega-se a areia retida na peneira para um Becker de 400ml, e essa é seca em estufa a 1050C. Após essa etapa, submete-se o material a um jogo de 5 peneiras com as seguintes malhas (1,0mm – 0,5mm - 0,25mm- 0,125mm – 0,053mm) e coloca-se no vibrador de peneiras por 8 minutos, em seguida pesa-se as frações, em balanças de duas casas decimais.

Posteriormente as amostras são completadas com volume para 500 ml, depois são agitadas por 30 segundos, com um bastão de vidro com borracha na extremidade. O tempo de sedimentação acontece de acordo com a temperatura do ambiente, de acordo

com a Lei de Stokes, na qual \vec{F} é a força de fricção, r é o raio de Stokes da partícula, η é a viscosidade do fluido e \vec{v} é a velocidade da partícula.

$$\vec{F} = -6\pi r\eta\vec{v} \text{ (Lei de Stokes)}$$

Transcorrido o tempo de sedimentação da argila e do silte, pipeta-se 10 ml a 5,0 cm de profundidade, coletando-se o material e transferindo-o para um Becker de 25 ml de tara conhecida. Após isso, leva-se o solo para estufa a 105°C por 24 horas, para finalmente pesar-se esse, numa balança de quatro casas decimais. É válido ressaltar que é muito importante se realizar uma prova em branco da solução dispersante para se evitar possíveis erros.

Ensaio de consistência do solo

Para os ensaios de consistência do solo são realizados os ensaios de consistência através dos Limites de Liquidez e Limite de Plasticidade.

O Limite de Liquidez (wL) é compreendido como sendo a umidade abaixo da qual o solo se comporta como material plástico. Experimentalmente corresponde ao teor de umidade com que o solo fecha certa ranhura sob o impacto de 25 golpes oriundos do aparelho de Casagrande. O Limite de Plasticidade (wP) é 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. Em laboratório o wP é obtido determinando-se o teor de umidade no qual um bastonete de um solo com 3mm de diâmetro apresenta-se fissuras.

A obtenção dos limites de consistência (ou limites de Atterberg) do solo nos permite estimar, através da Carta de Plasticidade, suas propriedades, como a granulometria e a compressibilidade.

Limite de Plasticidade

O ensaio é iniciado colocando-se a amostra num recipiente, onde se adiciona água até a homogeneização da massa, então se molda certa quantidade da massa em forma de bastonete rolando-a em seguida sobre uma placa de vidro, até que fissure em pequenos fragmentos. Quando se atinge as dimensões do bastonete em 3 mm de diâmetro e 10 cm de comprimento, coletam-se alguns fragmentos fissurados para a determinação da umidade, colocando-se a amostra em um Becker de tara conhecida e pesando em uma balança com 4 casas decimais. Após isso o solo é levado para estufa a 105°C por 24 horas.

Limite de Liquidez

Para esse ensaio cada amostra de solo é seca ao ar e totalmente desagregada, posteriormente o material é introduzido numa peneira de malha igual a 0,42mm. Depois disso coloca-se 200g da amostra num recipiente e aos poucos se adiciona água até a homogeneização da massa, deixando o solo num recipiente fechado por 24 horas. Após este processo, transfere-se uma certa quantidade dessa massa de solo umedecido para a concha do aparelho de Casagrande, aplainado-a com a espátula, de tal forma que a parte central fique com cerca de 1,0 cm de espessura. Liga-se o aparelho de Casagrande na razão de duas pancadas por segundo até que se constate o fechamento da ranhura num comprimento de 1,0 cm, contando o número de golpes que a amostra de solo sofre até fechar as ranhuras. Posteriormente, são feitas cinco determinações para cada solo, de modo que o número de pancadas que cada solo sofresse deveria estar entre 12 e 38

pancadas, obtendo-se uma média de 25 pancadas para cada solo. Em seguida se remove para um Becker, de tara conhecida, uma pequena quantidade do material no local onde as bordas da ranhura se tocaram para a determinação da umidade. Então pesa-se esse solo em uma balança de 4 casas decimais. Por último, o solo é levado para estufa e aquecido a 105° C por 24 horas.

Depois do procedimento, realiza-se o cálculo através da fórmula:

$$\text{Limite de Liquidez} = W_n (N/25)^{0,12}$$

Sendo que W_n é a unidade de umidade do solo em porcentagem, e N o número de pancadas que o solo sofre durante o ensaio. Como resultado dos pares desses valores (número de golpes, teor de umidade) constrói-se um gráfico relacionando teores de umidade, em escala aritmética (nas ordenadas) com o número de golpes em escala logarítmica (nas abscissas).

O teor de umidade correspondente a 25 golpes, obtido por interpolação linear, sendo esse o (w_L), Limite de Liquidez. Já a média dos valores de umidade encontrados é o (w_P), Limite de Plasticidade, sendo que os valores da umidade não devem diferir da média em mais de 5%.

(O índice de plasticidade (IP) se obtém como resultado da subtração entre o limite de liquidez LL) e o limite de plasticidade (LP). Logo (IP = LL-LP).

Ensaio de densidade de partículas

O ensaio de Densidade de Partículas tem como objetivo a determinação da densidade das partículas que constituem um determinado tipo de solo. Para esse ensaio o procedimento inicia-se com a pesagem de 20g de solo seco, com uma amostra de cada solo que já havia sido seco, para a determinação da umidade do solo. Esse solo é transferido para um balão de volume igual a 50 ml e o resultado é aferido. Determina-se a umidade dessa amostra. Após esse procedimento coloca-se 25ml de álcool etílico 96° no balão volumétrico, agitando-o por 15 minutos de modo a se retirar o ar presente no recipiente. Finalizado esse procedimento, deixa-se o balão volumétrico em repouso por 24 horas e então se completa o volume do balão até a marca de aferição.

Os valores resultantes desse ensaio foram colocados na fórmula em que:

$$\delta = \frac{(B2 - B1)}{(B4 - B1) - (B3 - B2)}$$

B1 = Peso do Balão vazio e seco, em gramas.

B2 = Peso do balão somado com o da amostra presente, em gramas.

B3 = Peso do Balão somado ao peso da amostra e da água presentes, em gramas.

B4 = Peso do Balão somado com o peso da água presente, em gramas.

Com isso, através dessa fórmula pode-se obter o valor da densidade das partículas presentes em cada tipo de solo, pois a densidade é igual a:

$$d = \frac{m}{v}$$

Logo como se obtém o valor do peso de cada amostra, e afere-se o volume de cada amostra, se consegue a densidade das partículas.

O Laboratório de Solos da Feagri não pode, por questões temporárias, realizar o Ensaio de argila dispersa em água. Este fato impossibilitou uma comparação da porcentagem de argila obtida no teste granulométrico realizado com o que é obtido neste ensaio. No Ensaio de argila dispersa em água, a porcentagem de argila é maior, pois ela é totalmente floculada, não obtendo resultados nos quais a argila está “grudada” com outras partículas, resultando numa porcentagem menor de elementos de maior granulometria.

3.4.3 Análise Petrográfica

As amostras de rochas selecionadas em campo foram utilizadas na confecção de seções delgadas-polidas e parte do material de ambas, foi moída, visando a utilização deste material na preparação de pastilhas prensadas e discos de vidro. As seções delgadas polidas foram produzidas pelo técnico Cristiano Gonçalves da Silva do IG-Unicamp.

4. Fatores Predisponentes

4.1. Geologia Regional

De acordo Cury (2008), a porção sul do Cinturão Ribeira, onde está situada a região litorânea do Estado do Paraná, é constituída por vários domínios com características litológicas, geoquímicas e isotópicas distintas. Brito Neves *et al* (1999) apud Cury (2008), destaca que este cinturão, é um orógeno relacionado com o Gondwana Ocidental no Neoproterozóico. O ciclo Brasileiro-Pan Africano conforme Campanha *et al* (2009), é 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.

Segundo (Cury 2008), o embasamento da região 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, que possuem seu contato na região. As unidades acima descritas encontram-se cortadas por diques de diabásio de direção NW, de idade mesozoica, relacionados ao soergimento 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, pertencentes a Província Serra da Graciosa (Gualda e Vlach, 2007) apud Cury (2008). Ocorrem também na região do município depósitos sedimentares de origem fluvial marinha e mista, com idade do quaternário (Angulo, 1992). As unidades presentes no Cinturão Ribeira serão descritas abaixo:

O Terreno Paranaguá

O Terreno Paranaguá está demarcado a sudoeste pelas rochas gnáissico-granulíticas da Microplaca Luiz Alves e a noroeste pela Microplaca Curitiba. Apresenta um contato tectônico em sua porção sul-sudoeste, o Lineamento Palmital; no setor oeste-noroeste o contato se dá pelos Lineamentos Alexandra e Serra Negra. É representado em quase sua totalidade por um complexo ígneo que inclui uma grande variedade de rochas graníticas, distribuídas ao longo de uma faixa oriental, que se estendem desde a Ilha de São Francisco do Sul – SC a Iguape – SP. Os encaixantes desses granitoides podem ser gnaisses, mica-xistos, quartzitos e anfibolitos, que podem ser encontrados em diferentes graus de metamorfismo. Na Serra da Prata é possível verificar cinco litotipos graníticos, denominados de Morro Inglês, Rio Canavieiras,

Cubatãozinho, Rio do Poço e Estrela. Os metassedimentos que ocorrem nessa região foram denominados como Sequência Rio das Cobras. Os trabalhos geocronológicos realizados na região tem um maior desenvolvimento a partir da década de 70, nos quais se destacam os feitos por Siga junior (1995) e Cury (2009).

A geocronologia do Terreno Paranaguá indica idades de formação e cristalização desses litotipos de 620-570 Ma, e padrão de resfriamento entre 560 – 480 Ma (Método K-Ar em micas).

Os primeiros resultados obtidos pelos autores que estudaram a região inicialmente sugeriam a predominância de rochas gnáissicas, que posteriormente foram classificadas como migmatitos. Recentemente, o consenso é que o predomínio é de rochas graníticas, heterogeneamente deformadas, com ocorrências mais restritas de sequências metassedimentares consideradas como encaixantes.

As características das rochas graníticas dominantes no Terreno Paranaguá são sua composição cálcio-alcálica, sua deformação que varia de incipiente a intensamente deformada, e a presença de fenocristais de k-feldspatos brancos com formas tabulares, raramente arredondadas.

Lopes (1987a), na caracterização do Terreno Paranaguá, classifica os granitos denominados como Morro Inglês, pertencentes a região da Serra da Prata, como leucocráticos, cinza claros, foliados e isotrópicos, de granulação média a grossa, a megacristais de K-feldspatos (2 a 5 cm), ocorrendo ainda variedades de granulação grossa a muito grossa, onde os megacristais atingem dimensões da ordem de 10 cm (região de Guaraqueçaba). Muitas vezes ocorrem enclaves de composição diorítica, granulação fina, com formas variadas, desde angulares a esféricas e dimensões que atingem até 50 cm. Feições migmatíticas são comuns, principalmente na porção sul desse domínio, nas cercanias de São Francisco do Sul.

No setor ocidental há o predomínio de granitos leucocráticos cinza claro à cinza rosado, equigranulares à inequigranulares, de granulação fina, que exibem normalmente feições de deformação simples. Esses granitóides foram denominados de Granito Rio Canavieiros por Lopes (1987b), sendo representados por corpos alongados balizados por zonas de cisalhamento. Foram reconhecidas variações desses granitóides, com granulação média e foliados somente nas bordas, o qual denomina de Granito Rio do Poço. Estes granitos foliados na borda também foram identificados nos arredores de Antonina. O Granito Estrela é uma ocorrência restrita de rochas leucocráticas, cinza claras a cinza rosadas, equi a inequigranulares e raramente porfíricas.

Reconheceram-se estas rochas com dimensões batolíticas, situadas desde a região de Garuva (porção sul) até o Rio Canavieiro (limite norte). Análises petrográficas comprovaram que há predomínio de k-feldspato, além de plagioclásio (oligoclásio a andesina), biotita e hornblenda.

As exposições pouco expressivas, normalmente métricas a decamétricas, de rochas gnáissicas (biotita-gnaíse, gnaíse granatífero, anfibólio-gnaíse), assim como xistos (biotita xistos, moscovita-biotita-xistos, calco xistos, granada-moscovita-xistos, xistos máficos), anfibólitos e quartzitos são mencionadas na literatura. Estes terrenos foram denominados na região da Serra da Prata de Sequência Rio das Cobras e considerados como substrato encaixante dos litotipos granitos.

O contato ocidental desse domínio com os terrenos pertencentes à Microplaca Luis Alves é representado pelos lineamentos Rio Palmital, Alexandra e Serra Negra. Nestas porções predominam rochas miloníticas cujas lineações minerais sugerem uma tectônica de cisalhamento com importante componente lateral. Os indicadores cinemáticos localizados nas proximidades do Lineamento Palmital sugerem para este setor sentido de movimentação sinistral.

A foliação (Sn) apresenta características de cisalhamento dúctil a dúctil-rúptil e orientação geral N-NW, com mergulhos para E-NE / W-SW nas proximidades do Lineamento Rio Palmital (porção sul da área, perto da Bahia de São Francisco do Sul). Essa superfície sofre uma inflexão ao longo do Lineamento Alexandra (porção central e norte da área, próximo à Bahia de Paranaguá a Serra Negra), apresentando direções N-NE, com mergulhos E-SE / W-NW. Dobramentos cilíndricos, tardios a essa superfície, são sugeridos pela dispersão dos pólos de Sn em diagramas de equiárea.

Litotipos:

Os litotipos existentes na região da área pesquisada abrangem o Complexo Pré-Setuva, a Suíte Morro Inglês, as Intrusivas Básicas, a Sequência Rio das Cobras e os Sedimentos Recentes do Quaternário também ocorrem na área analisada.

Complexo Pré-Setuva – É constituído por rochas que alcançaram condições de metamorfismo de fácies anfíbolito, no Proterozóico Inferior (2,2 Ga) e são compostas por migmatitos, gnaisses, xistos, metabasitos e anfíbolitos.

Suíte Morro Inglês – A Suíte Morro Inglês é uma das suítes pertencentes às suítes graníticas do Terreno Paranaguá, que sobrevivem posteriormente aos eventos de metamorfismo, no Proterozóico Superior e Proterozóico Inferior, entre 500 a 600 Ma, na qual houve intensa granitogênese, onde os corpos graníticos intrudiram as rochas metamórficas. São denominados dessa forma em função da natureza alcalina, muitas vezes pórfiros, cinza a avermelhados. Seus exemplares mais conhecidos são os corpos Graciosa, Marumbi, Serra da Igreja, etc.

Intrusivas Básicas – são unidades representadas por diques de diabásio que em algumas ocasiões incluem dioritos pórfiros – São originadas no Mesozóico (120/140 Ma) e afetaram o Escudo Brasileiro.

Sequência Rio das Cobras – A Sequência Rio das Cobras é composta por metassedimentos que ocorrem como faixas alongadas, pouco expressivas, em meio ao complexo ígneo. Nesta suíte predominam biotita-quartzo-xisto, muscovita-quartzo-xisto, calco-xisto, granada-silimanita-sericita-quartzo-xisto, quartzito, biotita-gnaiss, gnaiss granatífero, anfíbolitos e biotititos. Todavia, na região de Antonina – PR ocorrem mármore calcícticos de coloração cinza escura, que se encontram intensamente deformados, com dobras em padrão assimétrico, e possuindo níveis com diferentes graus de pureza, como níveis com sericita, tremolita e/ou biotita.

Sedimentos Cenozóicos (Sedimentos Recentes) – São considerados neste litotipo os sedimentos das mais variadas origens, incluindo colúvios, aluviões (nos vales encaixados onde há ocorrência de grandes diferenças no relevo); sedimentos fluviais e lacustres, areno-siltico-argilosos; marinhos e paludais próximos da costa (sedimentos depositados em ambiente de água doce a pouco salobra, formados pelos depósitos de lagos e caracterizado por conter uma argila plástica de coloração cinza-negra, com alto conteúdo de matéria orgânica; formado por depósitos pantanosos ou brejos, caracterizados por turfas); sedimentos marinhos e praias com cordões orientados e sedimentos areno-siltico-argilosos de fundo de baía.

4.2. Geologia Local

Na atividade de campo, foram encontrados afloramentos rochosos pertencentes a Suíte granítica Morro Inglês e diques de rochas diabásicas. As rochas graníticas desta

suíte predominam na área de estudo. São encontradas no relevo mais plano e baixo como na zona deposicional de tálus e colúvios até a zona de nucleação dos escorregamentos, no topo da Serra da Prata. Um mapa de litotipos, contendo as estruturas principais, foi confeccionado e encontra-se no anexo 9.X.

4.2.1. Análise Petrográfica

No retorno da atividade de campo, selecionaram-se duas amostras para a confecção de lâminas delgadas para a determinação da litologia encontrada na área de estudo. Essas amostras correspondem ao ponto 106 (próximo ao topo da serra, no núcleo do escorregamento). Ali também foi coletado amostras de solos de diferentes horizontes. A outra amostra selecionada foi coletada no ponto 111, dentro da calha do Córrego do Gigante.

A amostra do ponto 106 encontra-se num estágio inicial de intemperismo e foi selecionada visando uma comparação com a outra amostra mais fresca correspondente ao ponto 111, um granitoide cinza claro, de textura porfírica, os fenocristais de feldspato com tamanho de até 5 cm de comprimento e foliação em toda sua extensão. Os minerais observados macroscopicamente são o quartzo, feldspato potássico e plagioclásio.

Através da descrição microscópica classificou-se a amostra como Granodiorito. A lâmina de rocha inalterada apresenta mineralogia composta por quartzo (45%), plagioclásio (17%), K-feldspato (12%), epidoto (11%), biotita (6%), pertita (3%), sericita (3%), clorita (2%) e outros (1%).

O quartzo apresenta extinção ondulante, subgrãos (cristais recristalizados), e em menor ocorrência, observar-se fitas de quartzo (ribbon) inclusos nos plagioclásios. O K-feldspato aparece como cristais bem formados, podendo ser indeformados em meio a matriz, as maclas estão deformadas e também apresentando subgrãos. Ainda encontra-se cristais de biotita, muscovita e sericita. Os plagioclásios é representado por cristais bem formados a sub-grãos, com maclas deslocadas e dobradas em alguns casos. Nota-se cristais destes feldspatos alterados do para Epidoto e outros sericitizados.

A lâmina da rocha alterada apresenta mineralogia composta por quartzo (45%), plagioclásio (14%), epidoto (13%), K-feldspato (9%), clorita (6%), biotita (5%), sericita (6%), pertita (2%) e outros (1%). Nesta lâmina é possível observar com mais clareza o processo de seritização mineral, principalmente alterando Plagioclásio e o K-Feldspato. Também se observa claramente, a alteração do plagioclásio em epidoto, assim como o processo de cloritização, onde a Biotita transforma-se em Clorita (figura 3).

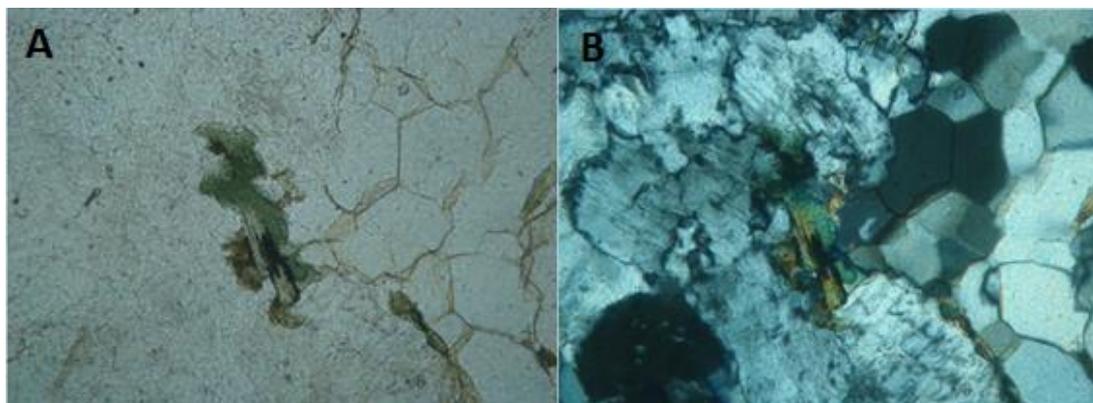


Figura 3: A: B: Transformação da biotita em clorita. Em A , luz natural e B, luz polarizada. Fotos com aumento de 10X.

Outra rocha presente na área é o Diabásio, que aparece como intrusões que cortam os corpos graníticos da suíte Morro Inglês, e são evidenciadas principalmente em afloramentos ao longo da calha do Córrego do Gigante. Comparando-se com a literatura, ressalta-se que esta unidade, correlaciona-se com o enxame de diques do Arco de Ponta Grossa, comuns na região.

Os afloramentos apresentam de 0,5 a 1 metro de largura e centenas de metros de comprimento. Suas bordas apresentam textura mais fina que o restante do corpo, características de uma intrusão em um corpo granítico em fase avançada de resfriamento.

4.2.2. Análise Estrutural

Importantes zonas de cisalhamento balizam o Terreno Paranaguá. As rochas graníticas presentes, possuem diferentes intensidades de milonitização, apresentando-se até como ultramilonitos, tonando fácil de ser confundido com xistos em alguns casos.

As estruturas foram observadas, principalmente no ponto 111, onde se presenciou foliação milonítica, fraturas de cisalhamento e fraturas de alívio no granodiorito. O azimute do mergulho e o mergulho de cada estrutura, medida neste local, encontram-se na tabela 02 abaixo. Neste ponto também pode observar-se a presença de diques diabásicos intrudidos na rocha principal.

Tabela 02: Estruturas encontradas no ponto 111

Tipo de Estrutura	Azimute do Mergulho	Mergulho
Foliação milonítica	98	75
Dique diabásico	29	90
Família de fraturas de resfriamento do dique	120	70
Idem	121	20
Idem	130	25
Família de fraturas de descompressão	130	25
Idem	135	25
Família de fraturas de cisalhamento	34	90
Idem	38	90
Fratura de Cisalhamento Conjugado 01	26	85
Idem	32	90
Idem	28	90
Fratura de Cisalhamento Conjugado 02	90	80
Fratura descompressional	290	20

Para o melhor entendimento das estruturas, foi utilizado o programa Stereonet, que gerou os dados apresentados no anexo 9.18.

Foliação Milonítica

A foliação milonítica observada em campo é bem definida pelo estiramento dos porfiroclastos de feldspatos, formando um bandamento composicional, e pela

intercalação de níveis ricos em muscovita com níveis de quartzo. A foliação é penetrativa, uma vez que é encontrada em toda a extensão do granodiorito milonitizado (anexo 9.4 A e anexo 9.18 A).

Fraturas de Cisalhamento

Existem três famílias de fraturas de cisalhamento, sendo as duas últimas conjugadas. A primeira possui a mesma direção do dique a esquerda do afloramento olhando a montante. É aproximadamente retilínea, com espaçamento centimétrico e continuidade de 0,2 m na rocha.

A segunda família presente apresenta espaçamento centimétrico, com forma anastomosada e 3 metros de continuidade, até o limite da rocha.

A terceira família encontram-se aproximadamente retilíneas, com espaçamento de 0,1 metros e continuidade de 0,3 metros na rocha (anexo 9.4 B e anexos 9.18 B, C e D).

Dique Diabásico

Os diques diabásicos presentes, com direção 29/90, cortam o granodiorito (corpo principal), em sua parte leste (sentido montante da drenagem). O dique mergulha reto e sua espessura é de 1 metro. Eles apresentam uma família de fraturas de resfriamento bem destacada (anexo 9.4 C e anexo 9.18 E).

Fraturas de Resfriamento do dique

Neste dique, a família de fraturas de resfriamento encontra-se aproximadamente retilínea, com espaçamento de 30 cm entre elas e continuidade de 1 metro, a mesma do dique (anexo 9.4 C e anexo 9.18 F).

Outras fraturas

No local, também foi possível identificar uma família de fraturas de descompressão, com formas aproximadamente onduladas, espaçamento de 1,2 metros entre cada uma e continuidade de 20 cm. Esta descompressão ocorreu no processo de exumação do granodiorito citado (anexo 9.4 D e anexo 9.18 G).

Fraturas de Alívio

Após a exumação deste granodiorito, as condições báricas tornaram-se menores, criando a fratura descompressional presente na mesma. Sua forma é ondulada e continua por toda a extensão da rocha. É o plano preferencial de deslocamento do granodiorito, e um dos fatores de deflagração dos processos de escorregamentos de massa (anexo 9.4 E e anexo 9.18 H).

4.3. Solos

Existem cinco fatores que definem a constituição dos solos nos processos pedogenéticos, o clima, o material de origem, organismos vivos, relevo e tempo. Respectivamente, eles influenciam no condicionamento da ação da água e da temperatura, composição e mineralogia, bioturbação atuando como processo atuante de

modificação do material de origem, processos de erosão e sedimentação agindo segundo a morfologia do relevo e tempo transcorrente em função dos processos intempéricos e pedogenéticos.

Os processos geológicos de intemperismo são controlados por estes fatores. A desagregação e decomposição da rocha subjacente que após este evento, sofre a atuação dos processos pedológicos, de erosão e transporte, onde o produto ao final do processo são os solos.

4.3.1. Tipos de solos segundo análise geológico-geotécnica

Solos residuais ou in situ e solos transportados são as duas categorias de solos, segundo a classificação geotécnica de Vaz (1996).

Solos Residuais

Esta classe é representada pelos solos produzidos a partir de processos dependentes de fatores como a rocha matriz, clima, tempo decorrido, do relevo e dos agentes biológicos. A rocha matriz define a mineralogia do solo, que sofrerá a ação intempérica do clima, que por sua vez define a espessura e a quantidade de horizontes de solo. Sua composição será determinante para os parâmetros de plasticidade, granulometria e na composição dos argilominerais presentes nos quais possuem grande importância no comportamento geomecânico de solos residuais.

Esta classe de solos pode ser subdividida em solos eluviais e de alteração. Estes solos respectivamente dizem respeito a processos pedogenéticos e de intemperismo químico vistos na figura 04.

Categoria S1 – Solo Eluvial (SE) – Conhecido como solo laterítico ou residual maduro, trata-se de uma camada de solo proveniente da evolução pedogenética situada subjacente ao solo de alteração.

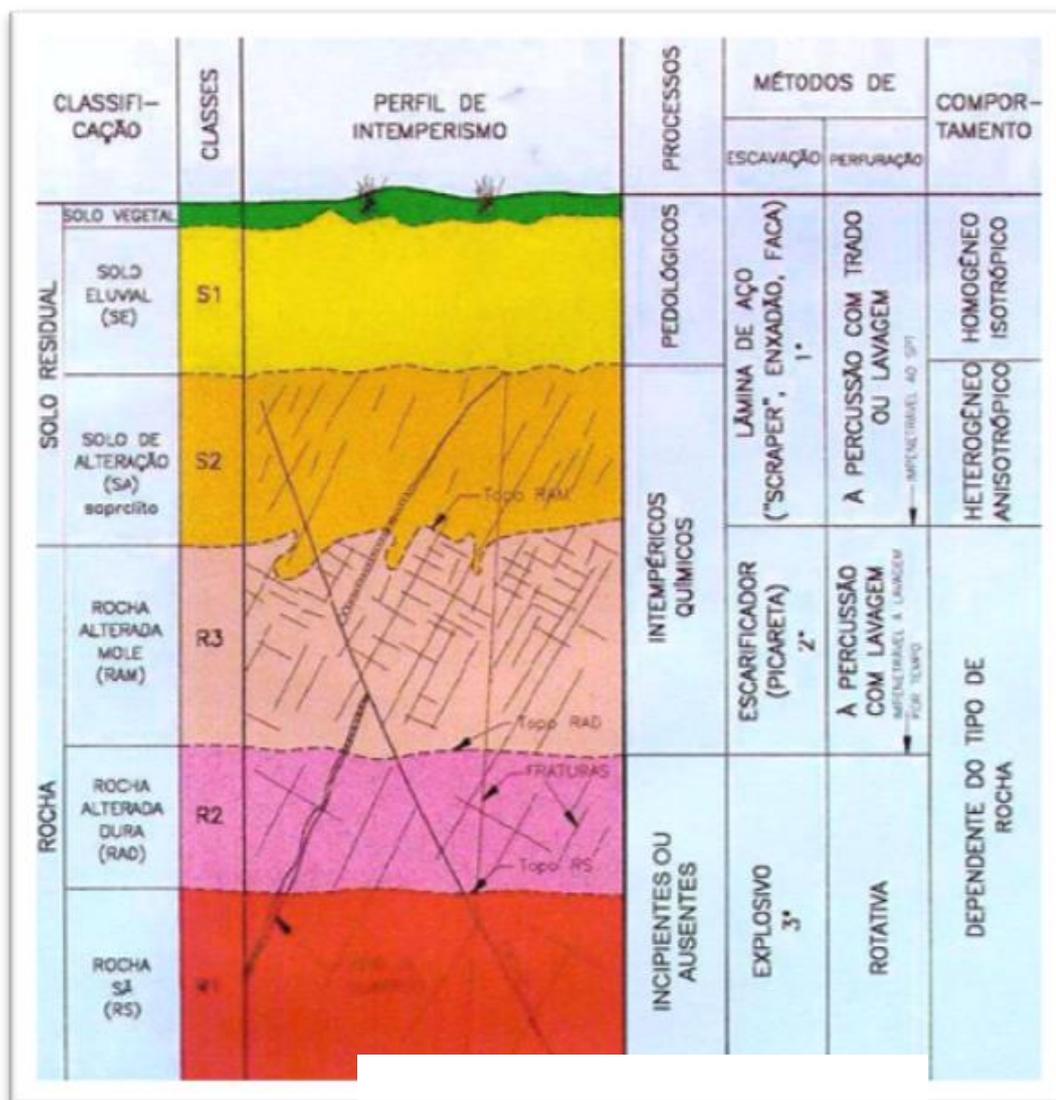


Figura 04. Perfil de Intemperismo. Fonte: Vaz (1996).

Categoria S2 – Solo de Alteração (AS) – Solo caracterizado como uma camada que ainda se encontra em processo pedogenético modesto. É conhecido também soprólito ou solo residual jovem.

Solos Transportados

Os solos carregados de um local para outro e depositados, porém sem serem consolidados são denominados solos transportados. Estes ainda estão em formação, mas seu auge de transporte ocorreu no Cenozóico. A diferenciação entre este solo e do material de origem é possível através do meio de transporte e do clima.

Eles variam em consenso com o material de origem e condições de acumulação, entretanto o meio de transporte é o principal fator de diferenciação. Em regiões tropicais, os meios de transportes mais ativos são o fluvial e o gravitacional, pelos rios e através dos escorregamentos respectivamente.

Estes solos são definidos segundo seu estrato pedogenético, dos quais são representados pelos solos coluvionares, que são os transportados pela ação da

gravidade, os aluvionares, os transportados de acordo com a ação de águas correntes, os glaciares, movidos pela ação das geleiras e o eólico, transportado pela atuação do vento.

É importante advertir sobre a diferença existente entre os depósitos de tálus e coluvionares. Apesar da mesma origem, por processos gravitacionais, o depósito de tálus contém blocos de rochas contidos no substrato.

4.3.2. Características geotécnicas de Solos Tropicais

Os solos tropicais são definidos como os que recobrem o substrato rochoso em localidades de clima tropical. Também são utilizados os termos “solo residual tropical” ou simplesmente, “solo residual”, pelo fato da maioria dessas formações serem o produto intempericos de uma rocha matriz.

O desenvolvimento do perfil de intemperismo abrange os processos físicos, químicos e biológicos ao longo do tempo. Fatores ambientais e geomorfológicos, tais como: clima, vegetação, topografia e rocha matriz influenciam na espessura do perfil.

Estes fatores citados acima influenciam não só na formação dos solos residuais, como também na formação de solos coluvionares ou outra formação de solo transportado que foram submetidas à ação do intemperismo em ambientes tropicais.

São considerados solos residuais todo aquele que apresente características mineralógicas e estruturais da rocha matriz. O solo coluvionar, ou colúvio, é um material decorrente de um depósito composto por blocos ou grãos de qualquer dimensão e um material transportado, principalmente, por gravidade e acumulados no sopé ou a pequena distância de taludes mais íngremes ou escarpas rochosas.

4.3.3. Perfis de Intemperismo em Regiões Tropicais

Em regiões tropicais, é comum a coexistência de materiais completamente decompostos com pouca ou nenhuma relação com a rocha matriz ou até materiais com blocos de rocha sã, imersa na matriz do solo.

Em 1971, Vargas definiu para engenharia alguns indicativos para a compreensão do resultado do intemperismo sofrido pelas rochas:

- * Resistência de determinados fragmentos de rochas;
- * Observação de cristais de quartzo que resistiram aos processos de intemperismo;
- * 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 gibsita e limonita por exemplo.

No caso das rochas metamórficas, é importante atentar-se a aspectos de intemperismo diferencial, no qual resultam blocos de rocha sã emersos na matriz de solo e que possuem resistência ao cisalhamento relativamente baixa. Nestes casos, pode haver a ocorrência de deslizamentos de placas de rochas, quando a resistência do material decomposto não mais consegue suportar o estado de tensões atuante.

As ocorrências de estruturas nas rochas também determinam o comportamento da massa de solo residual, uma vez que planos de fraturas, foliações e falhas podem preservar-se na mesma.

No Brasil, de maneira geral, de acordo com a visão da engenharia, constituem-se perfis típicos de solos residuais, os de origem:

a) rochas graníticas ou metamórficas que ocorrem ao longo da Serra do Mar. As rochas ígneas e metamórficas brasileiras têm o quartzo, o feldspato e a mica como

principais constituintes;

- b) rochas basálticas e arenitos que ocorrem no planalto sul - brasileiro;
- c) rochas sedimentares que ocorrem no planalto do interior.

Os perfis são determinados não apenas pela origem das rochas, mas também pelos minerais resultantes do intemperismo, permeabilidade e porosidade do solo em questão. Para solos coluvionares e residuais perfis de intemperismo típico estão estabelecidos (figura 05) e admitem que as propriedades dos solos como porosidade, permeabilidade e mineralogia variem com a profundidade. Uma característica que indica os limites entre as camadas de solo coluvionar e solo residual, em campo, é a presença de linhas de seixos, todavia estas nem sempre estão presentes.

CAMADA VEGETAL		
SOLO POROSO (COLÚVIO)	<ul style="list-style-type: none"> - PRESENÇA DE "GRUMOS" DE SOLO E PARTÍCULAS DE QUARTZO - ELEVADA POROSIDADE - PRESENÇA DE ÓXIDOS DE FERRO E ALUMÍNIO - ESTRUTURA QUASE SEMPRE COLAPSÍVEL - PERMEABILIDADE ELEVADA - BAIXO GRAU DE SATURAÇÃO 	
LINHA DE SEIXOS (ÀS VEZES AUSENTE)		
SOLO RESIDUAL LATERÍTICO	<ul style="list-style-type: none"> - PERMEABILIDADE DECRESCENTE COM A PROFUNDIDADE - MINERALOGIA E RESISTÊNCIA DOS "GRÃOS" MUITO VARIÁVEL - POROSIDADE MUITO VARIÁVEL - COMPONENTE DE RESISTÊNCIA E RIGIDEZ DEVIDA A "LIGAÇÕES", ASSOCIADA A ALTERABILIDADE - EFEITO DESPREZÍVEL DA HISTÓRIA DE TENSÕES ASSOCIADA A ALTERABILIDADE 	
PASSAGEM GRADUAL		
VARIACÃO SAZONAL ↑ ↓	SOLO SAPROLÍTICO MENOS INTEMPERIZADO OU POUCO LATERIZADO	<ul style="list-style-type: none"> - ESTRUTURA RELÍQUIAR PRESENTE - PARTÍCULAS DE ROCHA ALTERADA RESISTENTE EM MATRIZ DE "SOLO"
	PASSAGEM GRADUAL SAPROLITO MAIS FINOS	
	MENOS FINOS	PERMEABILIDADE CRESCENTE COM A REDUÇÃO DE "FINOS"
	ROCHA ALTERADA ROCHA Sã	

Figura 05: Perfil de intemperismo. Fonte: Cruz 1987

A presença de planos de foliação reliquiare ou juntas, presentes nas rochas metamórficas, contribuem para os deslizamentos ao longo desses planos.

Os perfis de formação de solos em encostas evidenciam a influência das condições de clima, rocha de origem, topografia e drenagem na formação dos solos. A espessura de cada camada ao longo da encosta é determinada pela combinação dos fatores ambientais associados ao intemperismo local sofrido pela encosta.

Um exemplo apresentado são os constituintes típicos de um perfil que representa as encostas da Serra do Mar:

- formação de solo saprolítico em encosta típico de regiões tropicais úmidas;
- perfil de alteração de rochas ígneas, com grau de alteração variando com a profundidade e existência de juntas e estruturas reliquiare;
- perfil de solo bem desenvolvido acima e abaixo da encosta, típico de regiões úmidas;
- manto de alteração antigo com depósitos de tálus e colúvio.

4.3.4. Estruturas e mineralogia de solos residuais

De acordo com Suzuki (2004), nos perfis de solos tropicais, as variações mineralógicas e estruturais são mantidas, e são as mesmas vistas em campo; tais

aspectos influenciarão nas propriedades físicas dos solos no que tange o comportamento mecânico e hidráulico dos mesmos.

Nas porções superficiais dos solos tropicais são as presenças de precipitados de óxido de ferro e alumínio, assim como a argila caulinita (principal argilo-mineral do grupo das argilas) e muitas vezes a última ocorre revestida por óxidos. Esses óxidos presentes no solo podem ocasionar a formação de estruturas porosas que se caracterizam por agregados de partículas que podem ser facilmente destruídas (dependendo do grau de cimentação).

Nestas condições, solos finos, predominantemente argilosos, comportam-se como solo arenoso e menos plástico no seu estado natural, com elevada permeabilidade e parâmetros de resistência semelhantes a solos arenosos.

As camadas subjacentes de solos residuais jovens ou saprolíticos são diferenciadas por exibir mineralogia e estrutura complexas, nas quais variam com o tipo de rocha matriz. A fração granulométrica grossa desses solos, principalmente os originados de rochas ácidas (ígneas e metamórficas), tem sua mineralogia constituída, fundamentalmente, de quartzo, feldspatos, micas e fragmentos de rocha, com proporções variando de acordo com o tipo de rocha e o grau do intemperismo.

A granulometria na fração silte apresenta os mesmos minerais existentes encontrados na fração grossa, com o acréscimo da caulinita, geralmente associada a outros minerais, como micas e haloisitas. Na fração argila, além da caulinita, é comum a existência de illitas e, algumas vezes, argilas do grupo das esmectitas.

4.3.5. Resistência ao Cisalhamento de Solos Tropicais

A resistência dos solos está ligada diretamente a sua mineralogia, seus aspectos estruturais e as condições de saturação. A influência destas condições depende do grau de intemperismo, do nível de estruturas do solo e da rocha matriz.

Na mecânica das rochas, a coesão é muito elevada e a resistência será dominada pela resistência das fissuras. Na mecânica dos solos a resistência será quase friccional, com uma pequena componente relativa à dilatância. Estes dois aspectos mencionados podem ocorrer juntos, o que pode ocorrer com frequência em solos tropicais.

Em episódios nos quais os horizontes superficiais são compostos por solos coluvionares ou formações residuais, como os solos de granito, pode ocorrer matações imersos em uma matriz de solo. Para estes, a resistência do solo será controlada pela matriz do mesmo. Todavia, em solos saprolíticos que possuem estruturas derivadas da rocha matriz, seu comportamento será determinado por tais feições.

Na ausência de argilas expansivas em camadas de solos superficiais e ocorrência de óxidos de ferro e alumínio, estes últimos irão participar na resistência aos cisalhamentos do solo, agindo no acréscimo da coesão e do ângulo de atrito. Nas camadas de solos residuais, a mineralogia tende a influenciar de forma mais significativa na resistência.

5. Processos Deflagradores:

5.1. Movimentos de Massa em Solos Residuais e Coluvionares

Os movimentos de massa são classificados há muito tempo, sob diferentes formas e modelos, de acordo com a necessidade de cada área. Porém foi necessária uma

uniformidade de categorização para um entendimento científico das características e efeitos dos mesmos. Alguns modelos propostos foram o de Sharpe (1938), Varnes (1978); no Brasil merece destaque os modelos de Freire (1965), Guidicini e Nieble (1984) e IPT (1991).

O entendimento das características geotécnicas destes Movimentos gravitacionais de massa deve ser acompanhado do entendimento da geomorfologia, condições de estabilidade, e projetos de medidas para contenção dos mesmos.

Identificação e classificação dos movimentos de massa

As características dos movimentos de massa e suas movimentações em função do material envolvido, e na geometria da encosta, foram relacionadas por autores como Augusto Filho (1992) e Vargas (1999). Uma classificação dos movimentos de massa foi criada baseada nos seguintes critérios:

Características do material instabilizado (textura, estrutura e quantidade de água) e sua natureza (rocha, solo, detritos, depósitos, etc.);

Características dos deslocamentos (direção, recorrência e velocidade);

Geometria das massas em movimento;

Modalidade de deformação do movimento.

São utilizadas neste trabalho quatro tipos de movimentos de massa, as corridas (flows), os escorregamentos, as quedas e os rastejos (creep).

As corridas são definidas por proporcionar um rápido escoamento em função de aspectos hidrodinâmicos, onde o material atuante no processo como solos, rochas ou detritos, perde o atrito interno entre as partículas e flui na presença excessiva de água (GUIDICINI & NIEBLE (1984)).

A diferenciação entre corridas de detrito, corridas de terra e corridas de lamas são definidas pela quantidade de água e pela velocidade de deslocamento presente. A definição de cada uma encontra-se abaixo:

- Corrida de lama (mud flow): Nestas corridas estão presentes os solos com alto teor de umidade;

- Corrida de detritos (debris flow): Corridas que envolvem vários tipos de materiais como fragmentos de rocha de várias dimensões, solo, restos vegetais e outros;

- Corrida de terra (earth flow): Seu material predominante é o solo, porém com baixo teor de umidade.

De acordo com Guidicini e Nieble (1984), os escorregamentos são caracterizados pela formação de uma superfície de ruptura bem definida, com presença de tensões cisalhantes. Ocorrem quando a relação entre a resistência ao cisalhamento do material e a tensão de cisalhamento na superfície potencial de movimentação reduz até atingir uma unidade, no momento dos escorregamentos, a força gravitacional vence o atrito interno entre as partículas que davam estabilidade, resultando no escorregamento do material talude abaixo.

Os escorregamentos são divididos em rotacionais e translacionais, dependendo da forma da superfície de deslizamento (figura 06).

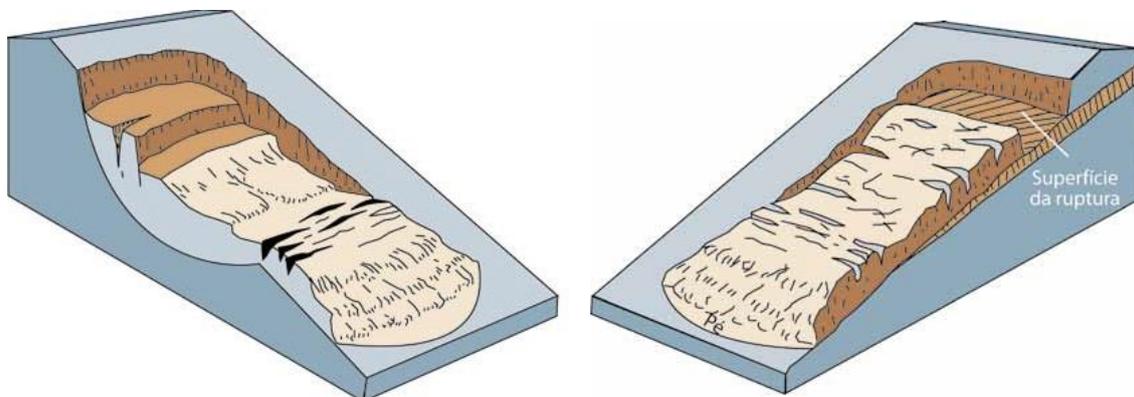


Figura 06: Esquema mostrando um deslizamento rotacional (figura direita) e translacional (figura esquerda). *Fonte: Modificado de Varnes (1978)*

Os movimentos rotacionais apresentam como característica principal sua superfície e ruptura curva, por isso são também conhecidos como circulares. Ocorrem em solos espessos e homogêneos, como os produtos intempéricos de rochas argilosas. O início do processo pode ocorrer em função de cortes realizados na base destes materiais. Outra característica deste movimento é que o material que compõe o talude, muitas vezes desliza sem que haja distorções, de forma côncava.

Já os movimentos translacionais, o movimento ocorre segundo um plano de estratificação, plano de falhas, fraturas ou entre contatos entre litotipos distintos, que estejam paralelos à superfície do talude.

A diferença de definição entre os dois tipos de deslizamentos ocorre não apenas em função das formas das superfícies de ruptura, mas também envolve um sistema de forças atuantes no talude. O sistema de forças que provocam o rompimento do talude é constante nos deslizamentos translacionais.

O processo de queda de massas abrange material rochoso de diferentes litologias e dimensões, como placas, lascas, blocos, etc. De acordo com Guidicini e Nieble (1984), as quedas podem ser classificadas como rolamento de blocos, no qual ocorre o movimento de matacões ao longo da superfície inclinada, devido a uma perda de apoio. Também podem ser classificadas em queda de blocos, cujo material se desprende da parede e cai sob o movimento de queda livre. Outro tipo de queda de blocos são os tombamentos, no qual há uma rotação dos blocos devido a condicionantes geológicas tais como sistema de fraturas ou juntas com mergulho desfavorável ao equilíbrio da encosta. Já o deslocamento de blocos consiste no desprendimento de placas ou lascas das encostas devido a variações térmicas e alívio de tensão. Esse desprendimento pode ocorrer por queda livre ou por deslizamento em superfície com alto ângulo de inclinação.

A principal característica dos rastejos são movimentos lentos e contínuos de material de encostas com limites geralmente indefinidos. Podem envolver amplas massas de solo, onde não há distinção entre material em movimento e material estável. Dois tipos de rastejos são definidos: o contínuo e o sazonal.

O rastejo contínuo advém da gravidade atuante e abaixo da zona de alteração sazonal e alcança uma maior profundidade.

O rastejo sazonal ocorre em função da mudança de umidade e temperatura do solo ou rocha superficial. É um movimento de contração e expansão de massa que atinge pouca profundidade. Uma revisão efetivada por Carregã (1996) relacionou os mecanismos atuantes com a posição no perfil de intemperismo, e encontra-se abaixo:

Horizonte do perfil de intemperismo	Constituição	Características	Permeabilidade subjacente	Mecanismo principal de movimentação	
Superficial	solo pedogeneticamente modificado (residual ou coluvionar)	espessos, homogêneos (normalmente laterizados)	menor	Escorregamento rotacional	E T O S O
		camadas delgadas (normalmente laterizadas)	maior	Translacional (com rede de fluxo vertical)	
			menor	Translacional (com rede de fluxo subparalela)	
Solo saprolítico	solo de decomposição "in situ" com estruturas preservadas	camadas espessas (não laterizadas)	menor	Translacional (com rede de fluxo subparalela)	R a s t e j o
			maior	Translacional (com rede de fluxo vertical)	
			variável	Estruturados	
Saprolito	rocha muito alterada	espessuras variáveis (não laterizados)	menor	Estruturados	
Tálus	variável	variáveis	variável	Rastejo	
				Escorregamentos	

Figura 07: Relação entre os mecanismos de instabilização e perfil de intemperismo em ambiente tropical. Fonte Carregã (1996).

Os movimentos de massa também podem ser divididos em critérios, em função da tensão-deformação-tempo dos solos e seus aspectos mecânicos: pré-ruptura, ruptura, pós-ruptura, reativação e deslizamento ativado (Lacerda, 2002).

A pré-ruptura representa o processo de deformação que evolui até a ruptura. Neste caso a massa de solo está fundamentalmente sobre-adensada, intacta e contínua. Esta fase é caracterizada por possuir baixas velocidades, controladas por fenômenos de ruptura progressiva. À medida que a ruptura se aproxima, a velocidade aumenta em função da zona de cisalhamento no solo e de acordo com a variação das tensões iniciais que variam intensamente a partir desse momento.

A etapa de ruptura consiste na formação de uma área de cisalhamento, onde as forças atuantes de resistência igualam-se as forças cisalhantes, resultante também da soma de diversos fatores. É influenciada pelos efeitos da velocidade de deformação, ruptura progressiva e descontinuidades.

A fase de pós-ruptura é o movimento de massa de solo ou rocha presente no deslizamento, posteriormente a ruptura. Nesta fase ocorre o acréscimo de velocidade e uma redução na massa que está em movimento. O comportamento do material envolvido no movimento depende da redistribuição da energia potencial empregada no processo de ruptura. Esta energia é representada pelas energias cinética de desagregação e de fricção.

A reativação descreve o movimento de massa ao longo de uma ou várias superfícies de ruptura pré-existentes. Atua de acordo com o comportamento do atrito entre as partículas de solo posteriores aos eventos de deslocamentos. Pode ser ocasional ou contínua e possuir mudanças temporais de velocidade de movimento.

Segundo autores como Lacerda (2002), casos onde há solos coluvionares espessos, com cerca de 5 metros, localizados em depressões de vales e permanentemente saturados, apresentam o maior risco. Os mesmos estão acima do lençol freático e possuem resistência devido à sucção e estrutura estável mesmo estando bastante inclinados. A geomorfologia presente denota que as encostas proporcionar linhas de cumeada (divisor de águas) normais em direção ao vale principal, onde suas espessuras são mínimas. Eles se depositarão nos talvegues, a partir de escorregamentos de capas superficiais alteradas.

Condicionantes de instabilidade de encostas

Diferentes processos como geologia, geomorfologia, hidrogeologia, assim como a ação antrópica são responsáveis pela instabilização de uma encosta.

Nos estudos realizados por Terzaghi (1950) que tiveram como foco as causas das instabilidades dos taludes, ele dividiu em duas categorias as razões das mesmas, denominando-as em causas externas e internas.

As causas externas são definidas como aquelas que são provocadas por um aumento das tensões cisalhantes ao longo da superfície potencial de ruptura. Como exemplo das mesmas têm-se a sobrecarga na parte superior do talude, escavação no pé, efeito de vibração, entre outros.

As causas internas são aquelas provocadas pela redução da resistência ao cisalhamento do solo. A perda de resistência sob ação do intemperismo e aumento do poro-pressão na superfície de ruptura são exemplos desta.

As outras causas são condicionadas por causas antrópicas, geológicas, morfológicas e físicas. Exemplos destas outras causas, algumas improváveis no Brasil, são o levantamento tectônico ou vulcânico, alívio por degelo, erosão glacial, derretimento de neve, terremotos e erupções vulcânicas.

De acordo com Augusto Filho e Virgili (1998), as causas dos grandes deslizamentos nas encostas brasileiras são:

A composição do material do substrato, suas propriedades e distribuições abrangem aspectos que dizem respeito aos solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas (xistosidade, fraturas, etc). Foi definida também a atuação dos eventos climáticos, especialmente no que tange o regime pluviométrico dessas áreas, assim como as feições geomorfológicas (inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas – retilíneo convexo e côncavo). Além desses aspectos citados, também é enfatizado pelos autores a questão dos regimes de águas superficiais e subsuperficiais, assim como as características de uso e ocupação, nas quais abrangem os aspectos de cobertura vegetal e as diferentes formas de intervenção antrópica das encostas, como cortes, aterros e concentração de águas pluviais e servidas.

Condicionantes de instabilidade de encostas

Diferentes processos como geologia, geomorfologia, hidrogeologia, assim como a ação antrópica são responsáveis pela instabilização de uma encosta.

Nos estudos realizados por Terzaghi (1950) que tiveram como foco as causas das instabilidades dos taludes, ele dividiu em duas categorias as razões das mesmas, denominando-as em causas externas e internas.

As causas externas são definidas como aquelas que são provocadas por um aumento das tensões cisalhantes ao longo da superfície potencial de ruptura. Como exemplo das mesmas têm-se a sobrecarga na parte superior do talude, escavação no pé, efeito de vibração, entre outros.

As causas internas são aquelas provocadas pela redução da resistência ao cisalhamento do solo. A perda de resistência sob ação do intemperismo e aumento do poro-pressão na superfície de ruptura são exemplos desta.

As outras causas são condicionadas por causas antrópicas, geológicas, morfológicas e físicas. Exemplos destas outras causas, algumas improváveis no Brasil, são o levantamento tectônico ou vulcânico, alívio por degelo, erosão glacial, derretimento de neve, terremotos e erupções vulcânicas.

De acordo com Augusto Filho e Virgili (1998), as causas dos grandes deslizamentos nas encostas brasileiras são:

A composição do material do substrato, suas propriedades e distribuições abrangem aspectos que dizem respeito aos solos, rochas, depósitos e estruturas geológicas (xistosidade, fraturas, etc). Foi definida também a atuação dos eventos climáticos, especialmente no que tange o regime pluviométrico dessas áreas, assim como as feições geomorfológicas (inclinação, amplitude e forma do perfil das encostas – retilíneo convexo e côncavo). Além desses aspectos citados, também é enfatizado pelos autores a questão dos regimes de águas superficiais e subsuperficiais, assim como as características de uso e ocupação, nas quais abrangem os aspectos de cobertura vegetal e as diferentes formas de intervenção antrópica das encostas, como cortes, aterros e concentração de águas pluviais e servidas.

5.2. Descrições dos Processos

O Brasil cuja área territorial apresenta tamanhos continentais, com clima tropical, onde as chuvas se concentram entre os meses de novembro a março, é um país com um dos maiores números de deslizamentos do planeta. A principal causa destes deslizamentos é a saturação de água provocada pelas fortes chuvas de verão, num curto espaço de tempo. Os deslizamentos que já apresentam um alto poder de destruição acabam desencadeando outros processos com grande poder de destruição, como as corridas de lama, debris flow e inundações.

Segundo o Banco de Dados de Desastres Naturais, do Instituto de Pesquisas Meteorológicas da Unesp (IPMet), foram registradas 2446 desastres naturais entre 1980 e 2006 no Estado do Paraná, sendo que 71% como efeito de fortes precipitações. Estes dados demonstram como este Estado é propenso a este tipo de ocorrência. Em função destas várias ocorrências, foi criado na Universidade Federal do Paraná, O CENACID (Centro de Apoio Científico em Desastres) com a missão de auxiliar a defesa civil a mitigar os efeitos destes desastres. De acordo com o CENACID, o ano de 2011 apresentou uma alta taxa de acidentes geo-ambientais significativos no Paraná, sendo

responsável por 15,9% de todas as ocorrências deste tipo do Brasil.

Os eventos ocorridos em março de 2011 ajudaram a aumentar a estatística apresentada, por apresentar uma intensidade jamais vista na região, de acordo com os moradores afetados pelo evento na área de estudo. A precipitação acumulada de chuvas entre os dias 9 e 11, foi de aproximadamente 400 mm/m², segundo informações da CIMEPAR (Figura 8). O resultado foi mais desastroso, porque os solos já apresentavam uma saturação em água, porque estava chovendo desde o dia 01 do mesmo mês.

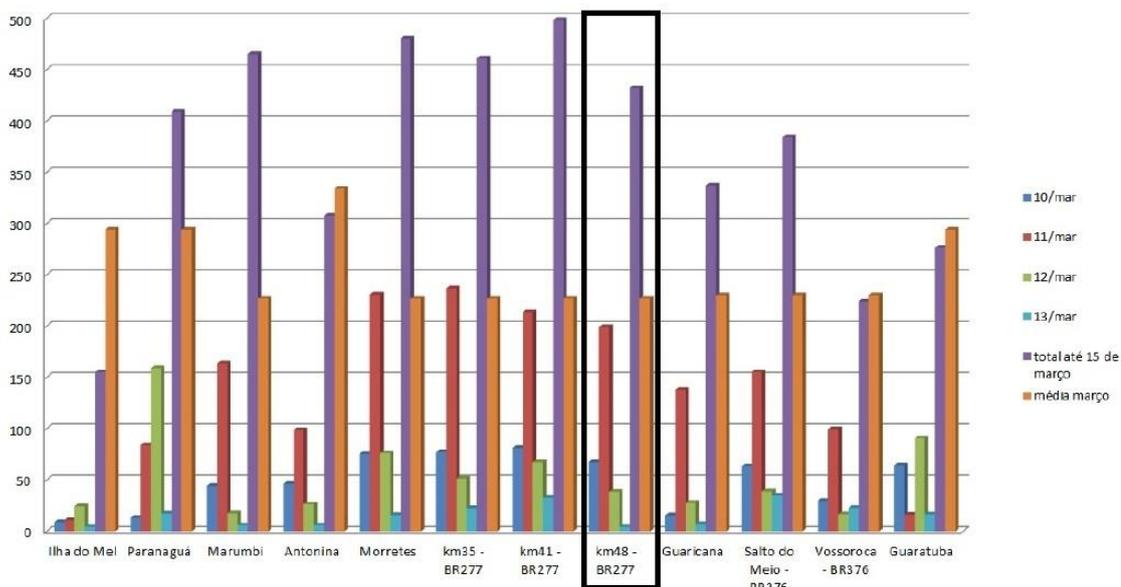


Figura 8: Precipitação axumulada na Serra do Mar e litoral, em destaque o Km 48 da BR - 277, local próximo ao bairro Floresta. Fonte: modificado de SIMEPAR

Em decorrência desta quantidade enorme de precipitação, houve enorme prejuízo para a região com a destruição de casas, plantações e represas, mudanças significativas nas bacias hidrográficas e perda de boa parte da infraestrutura local como queda de pontes, destruição de estradas e sistemas de alimentação de água e energia. Estima-se que 16 milhões de pessoas foram afetadas, incluindo as operações do porto de Paranaguá, o segundo em importância para o país (Picanço & Nunes, 2013).

A partir destas precipitações citadas, houve a deflagração de vários movimentos gravitacionais de massa, a partir do topo da Serra da Prata, que ficam evidenciados nas imagens abaixo.

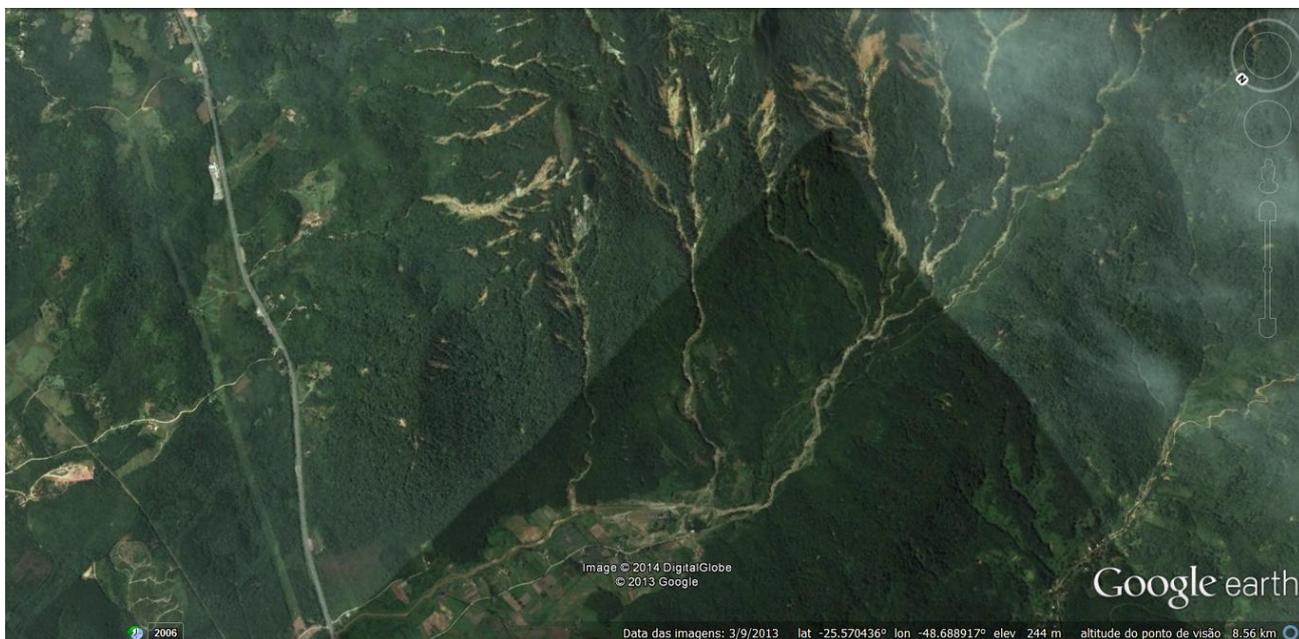


Figura 9: Visão geral dos escorregamentos. A bacia do córrego do gigante encontra-se a nordeste na imagem, o bairro Floresta a sul e a BR-277 a oeste. . Imagem do Google Earth atualizada em Dezembro de 2013.

As observações de campo permitiram o entendimento dos eventos ocorridos na fatídica semana. Através das mesmas, notou-se que as porções mais elevadas, constituíam as áreas de erosão de material, conseqüentemente, áreas de nucleação dos escorregamentos. As porções medianas das encostas receberam este fluxo de material erodido. Nestes locais, houve erosão ao longo das calhas da drenagem da bacia de materiais depositados em eventos anteriores (depósitos de tálus e colúvios antigos) e a deposição de novos sedimentos, de tamanhos diversificados (Foto 10 A).

As áreas correspondentes às porções mais baixas do relevo, onde a energia é reduzida, houve a uma grande deposição de grandes blocos rochosos e sedimentos mal selecionados de fluxos de detritos, nos quais deflagraram o movimento de massa. Para melhor entendimento da dinâmica de deposição destes materiais, foi criado um mapa de materiais inconsolidados (anexo 9.8).

Movimentos de massa – Descrição dos Processos

A compreensão das feições observadas nos locais dos eventos é realizada necessariamente com a análise dos processos, enfatizando o modo de ocorrência do rompimento do talude e a perda da massa presente no local, resultando em uma grande quantidade de blocos rolados e depósitos de colúvio e tálus nas áreas mais baixas (Figura 10 B).

O ponto 106, local visitado com ocorrência de nucleação de escorregamentos, o solo derivado de matriz granítica de composição areno-siltosa, apresenta um alto índice de porosidade (aproximadamente 45%), o que ajudou na saturação de água no mesmo. A matriz granítica presente na área tem como processo intempérico o processo de

esfoliação esferoidal (figura 10 C), acarretando num deslocamento do material e na geração dos matacões que rolaram no evento.

Os solos com planos de quebra (anexo 9.2 C), declividade acentuada da área (ver mapa de declividade no anexo 9.9), e os planos de fraturas da rocha que intercedem, formando “cunhas” (anexo 9.4 F) são os fatores predisponentes principais para a ocorrência do processo de escorregamentos translacionais rasos (figura 10 D).



Figura 10: A: Contato entre o depósito pretérito de tálus (direita) e o depósito recente (esquerda). B: Blocos rolados de dimensões métricas e depósitos de colúvio e tálus nas áreas mais baixas. C: Esfoliação esferoidal dos granodioritos. D: Escorregamento Translacional na Serra da Prata.

Após o desencadeamento destes escorregamentos, o material fluiu pela drenagem principal da bacia, na forma de corrida de detritos (debris flows), transportando materiais diversificados, como troncos de árvores, grandes matacões, e materiais de diferentes granulometrias, como seixos e areias. Este fluxo causou um intenso processo erosivo do canal e dos depósitos colúviars pretéritos ao redor do canal.

O canal principal apresenta indícios de estrangulamento, formando barramentos (figura 11 B). Estes indícios são corroborados pelos depoimentos dos moradores (ver anexo 9.1), onde eles relatam que o fluxo de material cessou em alguns instantes e posteriormente voltavam com uma força maior. A origem destes barramentos é o grande aporte de sedimentos em locais estreitos. O rompimento destes acontecia com a chegada de novos fluxos, provocando o surgimento das “ondas” relatadas, que causaram uma enorme destruição. Esta maior energia proveniente do rompimento dos barramentos, também é responsável pela criação de ramificações antes inexistentes, mudando toda a dinâmica hídrica da bacia. Além disso, a largura dos canais presentes também foi modificada, pois houve um aumentando drástico dos mesmos, que pode ser observado no depoimento acima citado e também no anexo 9.10, onde há um mapa comparativo da área, antes e posteriores aos eventos.

Outro fator deposicional evidenciado em campo, comum em corridas de detrito, é a presença de materiais coluvial, depositados sob os matacões de dimensões métricas, que se depositaram anteriormente, quando a energia ainda era muito alta. (foto 11 C)

Nas porções mais baixas no relevo, com a redução energética do movimento de massa, ocorreu o espriamento do material, resultando na deposição de sedimentos grosseiros, junto aos depósitos mais finos, que eram anteriormente retrabalhados pelo Córrego do Gigante (foto 11 D). Outro fator observado ali é a grande presença de vegetação, que já recobriu os depósitos de colúvio recentes, o que também provavelmente ocorreu no passado, em eventos pretéritos.



Figura 11: A: fratura de alívio, presente no granodiorito coincidente com os planos de quebra dos escorregamentos. B: canal principal com indícios de estrangulamento. C: Depósitos de Tálus depositados sob blocos rolados. D: Espriamento de sedimentos grosseiros no canal.

6. Resultados:

6.1. Ensaios geotécnicos

Ensaios geotécnicos foram realizados nas amostras de solos coletadas no Ponto 106, onde se subtraiu amostras desde o horizonte A até o horizonte D para estas análises. As outras amostras forma coletadas dentro da calha do Córrego do Gigante, na zona de deposição de Tálus e Colúvio. A amostra 109 foi realizada em duplicata.

Os ensaios realizados nestas amostras foram análise granulométrica, de umidade, de densidade de partículas e de consistência. Os resultados obtidos serão demonstrados abaixo.

Ensaio granulométrico

O ensaio foi realizado, utilizando partículas que eram menores que 2 mm. Os resultados obtidos são expressos em g/Kg e encontram-se na tabela abaixo.

Tabela 3 – resultados dos ensaios de granulometria

Amostra	AREIA						ARGILA	SILTE	total
	Muito Grossa	Grossa	Média	Fina	Muito Fina	AREIA TOTAL			
106 A	1,5	2,7	4,5	12,4	15,3	36,4	38,5	25,0	100,0
106 B	8,0	10,7	9,9	14,3	20,4	63,3	8,0	28,7	100,0
106 C	7,0	8,5	9,3	16,3	18,1	59,2	12,3	28,5	100,0
106 D	20,5	15,2	11,2	13,6	14,6	75,1	3,5	21,4	100,0
108	5,8	6,4	9,8	16,6	16,9	55,5	22,7	21,8	100,0
109 A	4,2	6,0	8,4	14,4	17,2	50,2	25,7	24,1	100,0
109 B	4,1	5,2	8,0	15,3	16,5	49,1	26,2	24,7	100,0

Através da tabela 03 nota-se que o horizonte A do solo coletado na área de nucleação dos escorregamentos possui uma pequena quantidade de Areia total, em comparação aos outros horizontes. Em contrapartida é o horizonte que apresenta a maior percentagem de argila. Os resultados dos horizontes B e C proporcionaram valores próximos de areia, silte e argila entre si. Aproximadamente 60% de areia total, 10% de Argila e 30% de Silte. O horizonte D, que apresenta o menor grau de intemperismo, exhibe valores discrepantes em relação às outras amostras do perfil. Destacam-se os valores de areia muito grossa (20,5%) e areia total (75,1%), além do baixo valor de argila encontrado no mesmo (3,5%). Vale ressaltar esta divisão de horizontes foi realizada no campo, usando como fator diferencial a cor, textura e resistência à introdução de uma faca.

As amostras 108, 109 A e 109 B, apresentam valores bem próximos entre si. São constituídas de uma percentagem de areia total de aproximadamente 50%, onde destaca-se a areia muito fina (aprox. 17%), valores de silte próximos de 23% e valores de argila próximos de 25%. Estas três amostras então podem ser classificadas como Areno-Silto-Argilosas.

Utilizando os dados da tabela acima, foi possível criar uma tabela de frequência acumulada, de onde é possível obter as curvas granulométricas de cada análise.

Tabela 04: Frequência acumulada da granulometria em ordem inversa

Amostra	Argila	Silte	Areia M. F.	Areia Fina	Areia M.	Areia G.	Areia M.G.
106 A	38,5	63,5	78,8	91,2	95,7	98,4	100
106 B	8	36,7	57,1	71,4	81,3	92	100
106 C	12,3	40,8	58,9	75,2	84,5	93	100
106 D	3,5	24,9	39,5	53,1	64,3	79,5	100
108	22,7	44,5	61,4	78	87,8	94,2	100
109 A	25,7	49,8	67	81,4	89,8	95,8	100
109 B	26,2	50,9	67,4	82,7	90,7	95,9	100

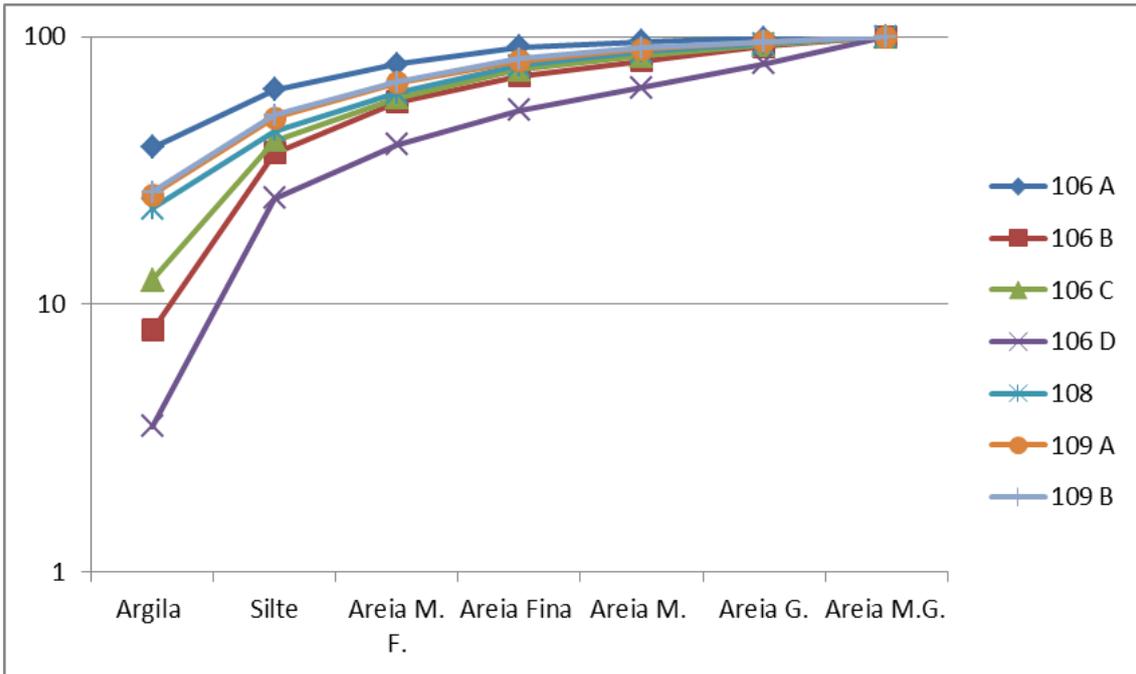


Gráfico 01: Curvas granulométricas de todas as amostras analisadas.

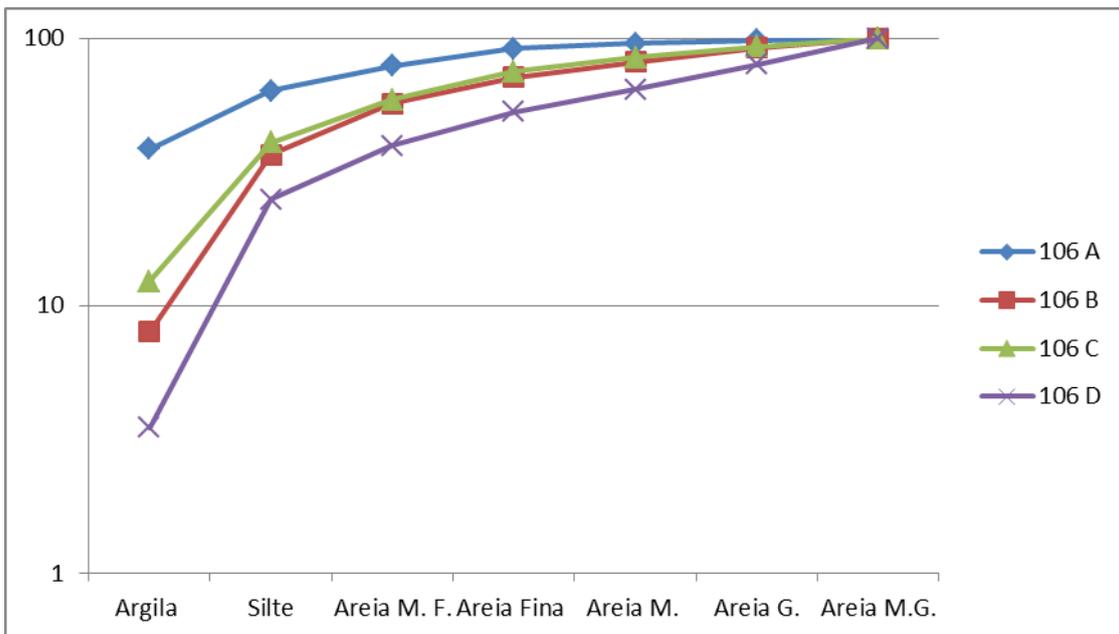


Gráfico 02: Curvas granulométricas das amostras do perfil de solo obtido do ponto 106

Analisando o gráfico acima dos materiais do perfil de solo do ponto 106, é possível comparar de maneira geral com a figura 12, que corresponde a algumas curvas granulométricas de alguns solos brasileiros de acordo com Pinto 2006. A granulometria deste perfil de maneira conjugada se comporta como a de um material saprolítico de gnaiss (curva **d** na figura 12)

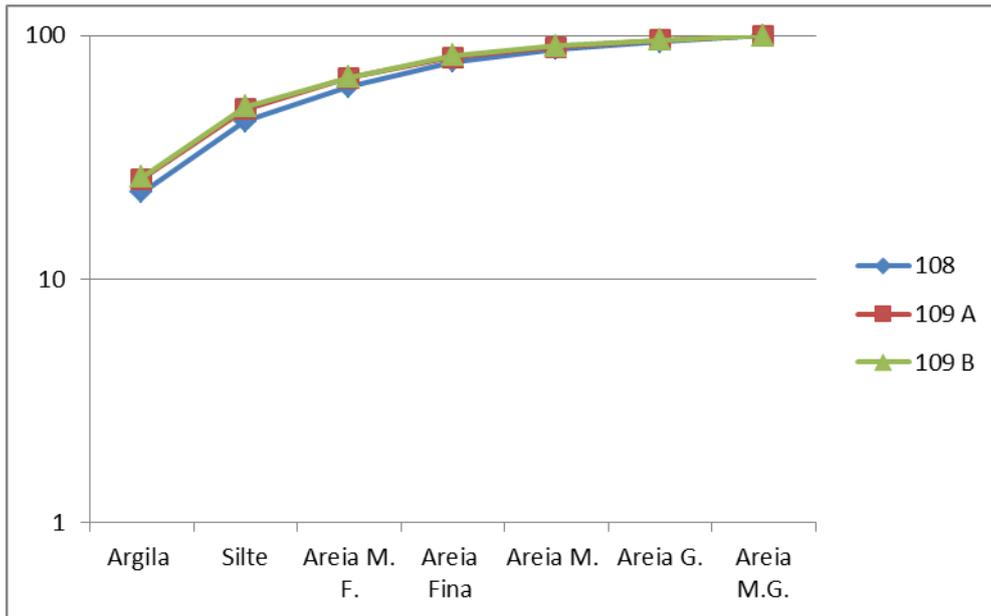


Gráfico 03: Curvas granulométricas das amostras dos depósitos de colúvio obtidas

Analisando o gráfico acima dos materiais coluviare, seu comportamento em comparação a curva granulométrica da figura 12, é possível classificar o comportamento granulometrico destas amostras como de um material saprolítico originado de um granito (curva e na figura 12).

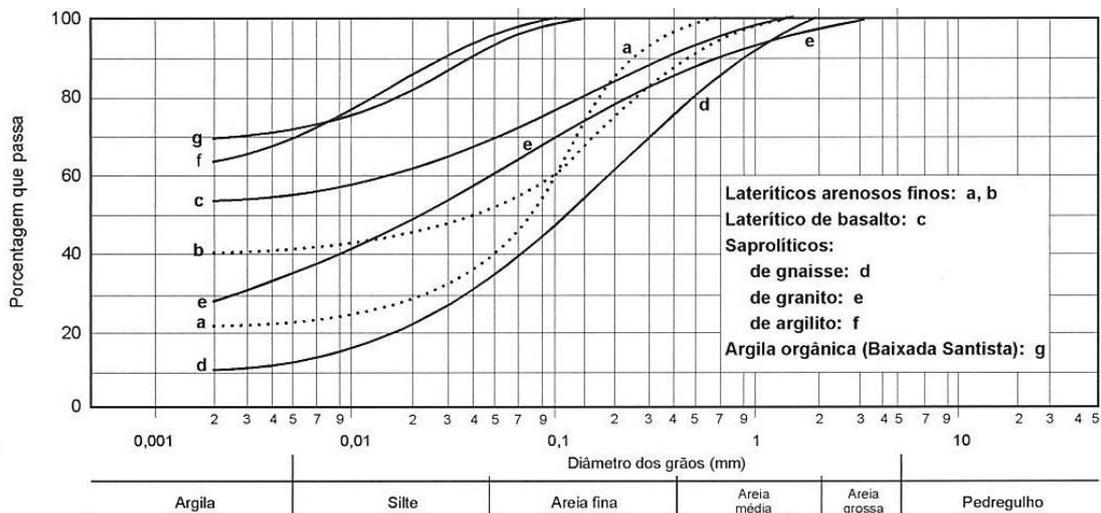


Figura 12: Curvas granulométricas de diversos materiais. Fonte: Modificado de Pinto 2006

Densidade de partículas

Realizou-se a medição da densidade para cada amostra de solo, gerando resultados apresentados na tabela 05. É importante destacar que o Vol Part se refere ao volume da partícula e PU, PS, PT, U e Dp se referem, respectivamente, a peso úmido, peso seco, peso da tara, umidade e densidade e partículas. Calculado esses valores se obteve o valor final da densidade de partículas.

Tabela 05: Resultados da análise de Densidade de Partículas.

Amostra	Vol Gasto	Vol Part	sub amostra				Peso específico natural	Densid. de partícu.	Porosidade
			Solo Umido + Tara	Solo Seco + Tara	Peso Tara	Umidade			
	MI		G			g/g	G	Kg/m ³	%
106 A	17,15	7,9	28,94	28,42	12,79	0,0333	19,356	2,47	46,0
106 B	17,3	7,7	34,65	34,43	12,88	0,0102	19,7979	2,57	44,5
106 C	17,2	7,8	29,26	28,97	13,08	0,0183	19,6415	2,52	45,3
106 D	17,4	7,6	28,89	28,83	12,89	0,0038	19,925	2,62	43,6
108	17,2	7,8	27,65	27,32	13,27	0,0235	19,541	2,51	45,8
109 A	17,8	7,2	30,02	29,58	12	0,025	19,5117	2,71	40,4
109 B	17,3	7,8	30,4	29,94	13,03	0,0272	19,4704	2,51	45,0

Com os valores obtidos, foi possível calcular os valores da porosidade através da equação vol part/vol gasto, obtendo os valores entre 40 e 46% (vide tabela acima).

Os valores de densidade de partículas obtidos para estas amostras são bastante semelhantes, próximos a 2,55 Kg/m³. O maior valor foi da amostra 106 D, que possui uma percentagem maior de granulometria de areia, portanto maior densidade e o menor valor refere-se à amostra 106 A, que possui a maior percentagem de argila, portanto menor densidade.

Ensaio de umidade

Para esse caso foi realizado a medição da umidade para cada amostra de solo, sendo que os resultados podem ser vistos segundo a tabela 06 a seguir.

Tabela 06: Umidade das amostras

Umidade	Umidade
g/g	%
0,0333	3,33
0,0102	1,02
0,0183	1,83
0,0038	0,38
0,0235	2,35
0,025	2,50

Ficou evidenciado neste ensaio que as amostras apresentam parâmetros muito abaixo das condições normais de umidade (10-40%) (Pinto, 2006). Provavelmente este fator deve-se a maneira inadequada de algum procedimento realizado, que acabou comprometendo drasticamente os resultados.

Ensaio de consistência de solos

Para essa amostragem foi realizada a medição da consistência para cada amostra de solo, é importante ressaltar que as amostras 106 B, 106 C e 106 D não estão mencionadas porque se apresentavam com alto teor de areia, portanto não tendo

consistência. Logo os resultados podem ser vistos segundo a tabela 07 a seguir. É importante destacar que L.P se refere a limite de plasticidade, L.L se refere a limite de liquidez e I.P. se refere a índice de plasticidade.

Os índices de plasticidade obtidos foram 4,86; 4,38; 5,05 e 4,87. Assim as amostras com o índice foram classificadas como fracamente plásticas e a amostra com índice 5,05 foi considerada altamente plástica. Vale ressaltar que mesmo esta amostra que obteve um valor acima de 5, este valor ficou muito próximo de sua amostrada replicada, considerando o erro presente, ela pode também ser considerada fracamente plástica.

Tabela 7: Resultados da análise de consistência de solos

LIMITE DE PLASTICIDADE						LIMITE DE LIQUIDEZ						
106 A	Becker n°	P.U.	P.S.	P.T.	%U	Becker n°	N°Panc	P.U.	P.S.	P.T.	%U	Wn(N/25) ^{0,12}
	78	25,05	24,59	23,18	32,66	92	12	15,95	14,38	10,43	39,71	36,37
	93	20,52	19,99	18,31	32,16	71	17	18,75	17,36	13,85	39,39	37,61
	95	22,74	22,16	20,33	32,06	104	20	17,44	15,71	11,02	36,88	35,91
LP 32,29						103	26	18,27	17,02	13,73	37,99	38,17
						91	33	28,25	26,90	23,19	36,47	37,71
						L.L. 37,15 I.P. 4,86 (fracamente plástico)						

LIMITE DE PLASTICIDADE						LIMITE DE LIQUIDEZ						
108	Becker n°	P.U.	P.S.	P.T.	%U	Becker n°	N°Panc	P.U.	P.S.	P.T.	%U	Wn(N/25) ^{0,12}
	84	21,27	20,8	19,32	28,97	101	14	14,29	13,39	10,86	35,42	33,04
	85	11,89	11,5	10,30	28,43	105	17	15,26	14,39	11,89	35,03	33,44
	94	12,25	11,9	10,81	28,35	107	21	23,60	22,26	18,17	32,88	32,20
LP 28,58						73	27	26,03	25,23	22,79	32,59	32,89
						74	30	24,66	23,47	19,80	32,52	33,24
						L.L. 32,96 I.P. 4,38 (fracamente plástico)						

LIMITE DE PLASTICIDADE						LIMITE DE LIQUIDEZ						
109 A	Becker n°	P.U.	P.S.	P.T.	%U	Becker n°	N°Panc	P.U.	P.S.	P.T.	%U	Wn(N/25) ^{0,12}
	100	20,09	19,59	17,77	27,64	71	15	22,45	21,37	18,09	33,02	31,06
	102	21,56	20,91	18,56	27,36	72	20	16,12	14,82	10,88	32,94	32,07
	105	12,94	12,34	10,17	27,32	14	24	27,51	26,43	23,14	32,71	32,55
LP 27,44						15	34	21,86	20,99	18,29	32,13	33,34
						16	38	16,00	14,95	11,63	31,81	33,45
						L.L. 32,49 I.P. 5,05 (Altamente plástico)						

LIMITE DE PLASTICIDADE						LIMITE DE LIQUIDEZ						
109 B	Becker n°	P.U.	P.S.	P.T.	%U	Becker n°	N°Panc	P.U.	P.S.	P.T.	%U	Wn(N/25) ^{0,12}
	109	16,09	15,61	13,89	27,94	96	14	14,26	13,31	10,41	32,85	30,64
	111	20,60	20,07	18,18	27,94	103	18	14,23	13,26	10,27	32,32	31,07
	113	16,23	15,63	13,30	25,69	97	26	13,66	12,85	10,33	32,12	32,27
						107	31	15,11	13,99	10,50	32,05	32,89
					106	37	16,03	14,82	11,04	31,89	33,43	

LP 27,19

L.L. 32,06 I.P. 4,87 (fracamente plástico)

Índice de atividade de argila

O índice de atividade de argila é utilizado para determinar a atividade da fração argila. Sua aplicação é bem conhecida para solos de materiais sedimentares. Entretanto, sua aplicação em solos de alteração intempérica não é totalmente conhecida. É calculado através da seguinte fórmula:

$$\text{Índice de atividade} = \frac{\text{Índice de plasticidade (IP)}}{\text{fração argila (menor que 0,002 mm)}}$$

Tabela 08: Tabela com o índice de atividade de argila.

Amostra	IP	fração argila	Índice de Atividade
106 A	4,86	38,5%	12,62
108	4,38	22,7%	19,30
109 A	5,05	25,7%	19,65
109 B	4,87	26,2%	18,59

Segundo o índice de atividade de argila obtido acima, todas as amostras apresentam um alto índice de atividade, o que significa que as argilas são ativas.

Índice de Compreensão

O índice de compressão criado por Terzaghi mostra que quanto maior for o LL, mais compressivo (sujeito a recalques) ele será. Este índice é expresso pela fórmula $C_c = 0,009 \cdot (LL - 10)$

Tabela 09: Tabela com o índice de compreensão.

Amostra	LL	Índice de Compreensão Cc
106 A	37,15	0,2443
108	32,96	0,2066
109 A	32,49	0,2024
109 B	32,06	0,1985

6.2. Análise Mineralógica dos Solos e Colúvios

As amostras de solos e colúvios foram submetidas à análise de composição mineralógica através do método de Difratomia de Raios X. Como resultante, foi obtido de cada uma, um difratograma. Através deste difratograma é possível observar alguns picos com um determinado comprimento de onda. Utilizando-se do software Xpert high Score Plus, foi possível determinar os picos de alguns minerais presentes na amostra. É importante destacar que para cada amostra, foram produzidos três difratogramas, um com a lâmina orientada, o outro com a lâmina glicolada e outro com a lâmina aquecida. A comparação entre os três difratogramas para cada amostra é essencial para uma interpretação de resultados mais segura.

Os resultados obtidos para cada amostra serão apresentados com o difratograma da lâmina orientada com os picos de minerais identificados, a identificação de fases de cada mineral identificado, além dos difratogramas da lâmina glicolada e da lâmina aquecida.

Para a amostra 106 A, encontrou-se os seguintes minerais: caulinita, clinocloro, gibbsita e quartzo (Figura 13 e anexo 9.11).

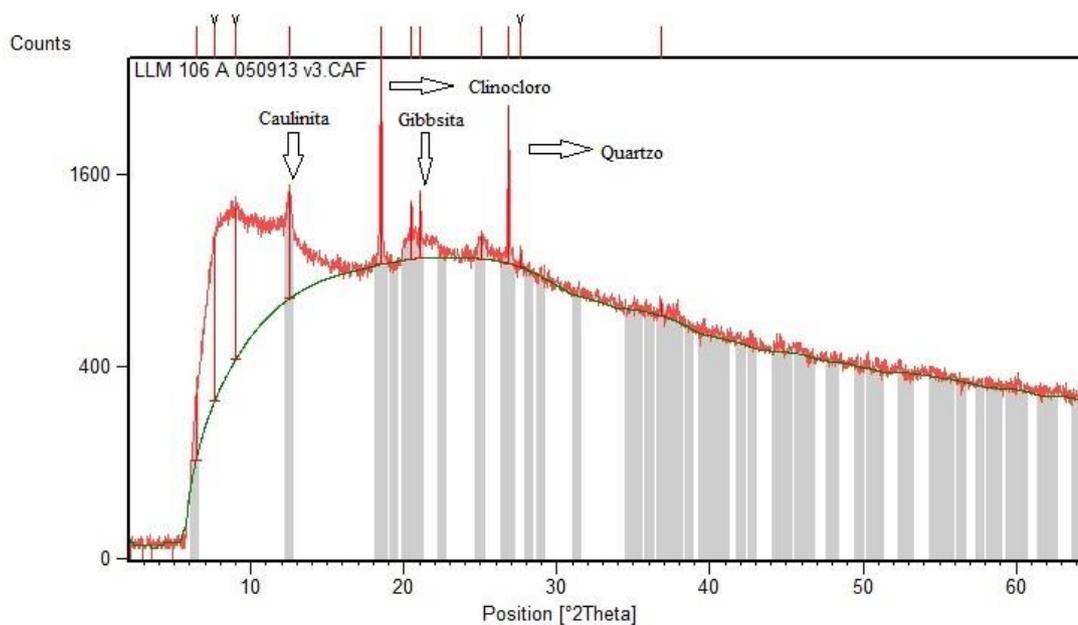


Figura 13: Difratograma da lâmina orientada da amostra 106 A com os minerais identificados.

Para a amostra 106 B, encontrou-se os seguintes minerais: illita, caulinita, gibbssita, halloysita e quartzo (Figura 14 e anexo 9.12).

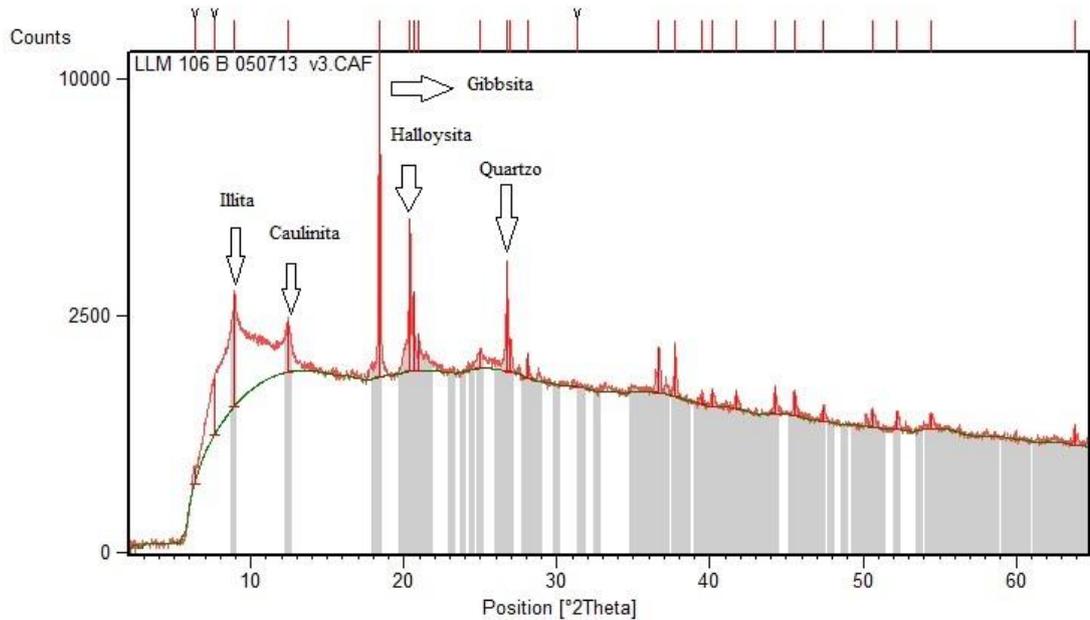


Figura 14: Difratoograma da lâmina orientada da amostra 106 B com os minerais identificados.

A amostra 106 C, apresentou os seguintes minerais: illita, caulinita, gibbsite, halloysita e quartzo (Figura 15 e anexo 9.13).

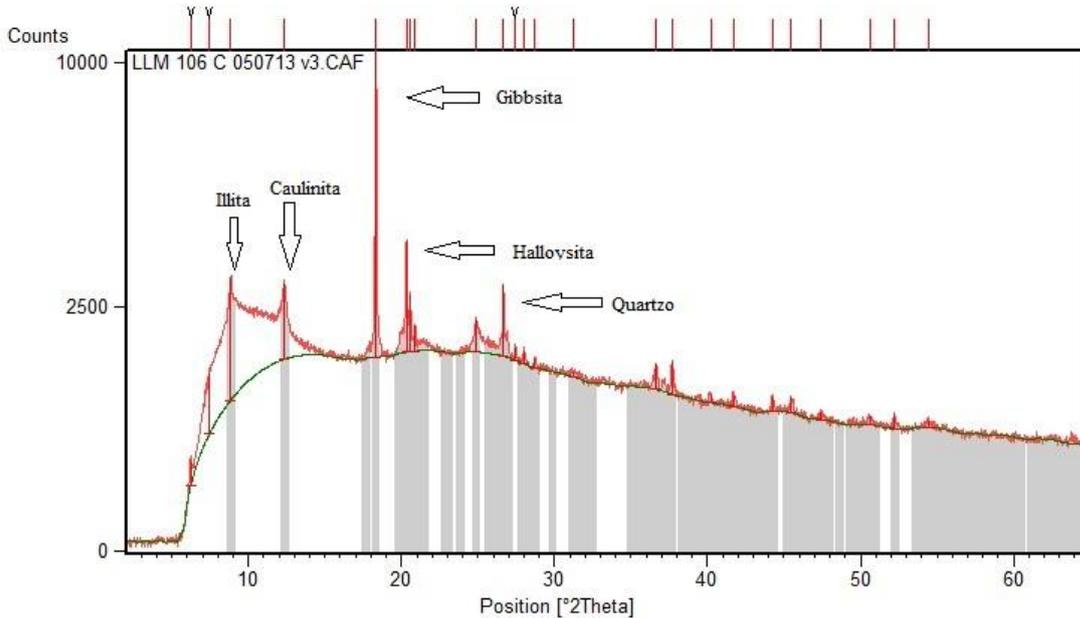


Figura 15: Difratoograma da lâmina orientada da amostra 106 C com os minerais identificados

Através da interpretação utilizando o software citado acima, foi encontrado os seguintes minerais na amostra 106 D: biotita, gibbsite, illita e quartzo (Figura 16 e anexo 9.14).

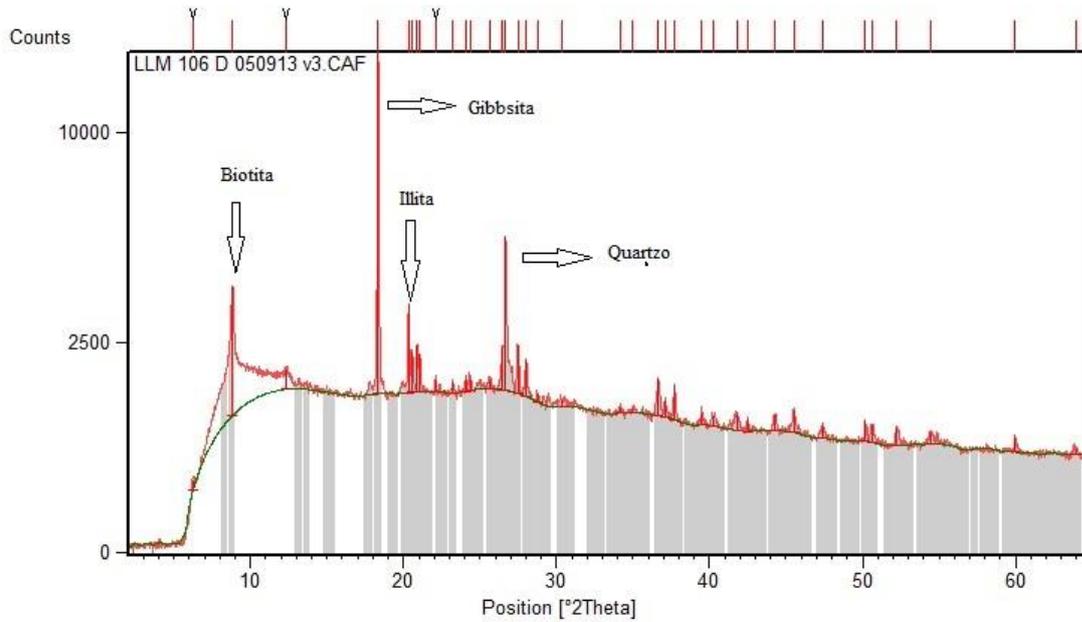


Figura 16: Difratoograma da lâmina orientada da amostra 106 D com os minerais identificados

Através da interpretação, os seguintes minerais foram identificados na amostra 108: illita, caulinita, gibbsita e quartzo (Figura 17 e anexo 9.15).

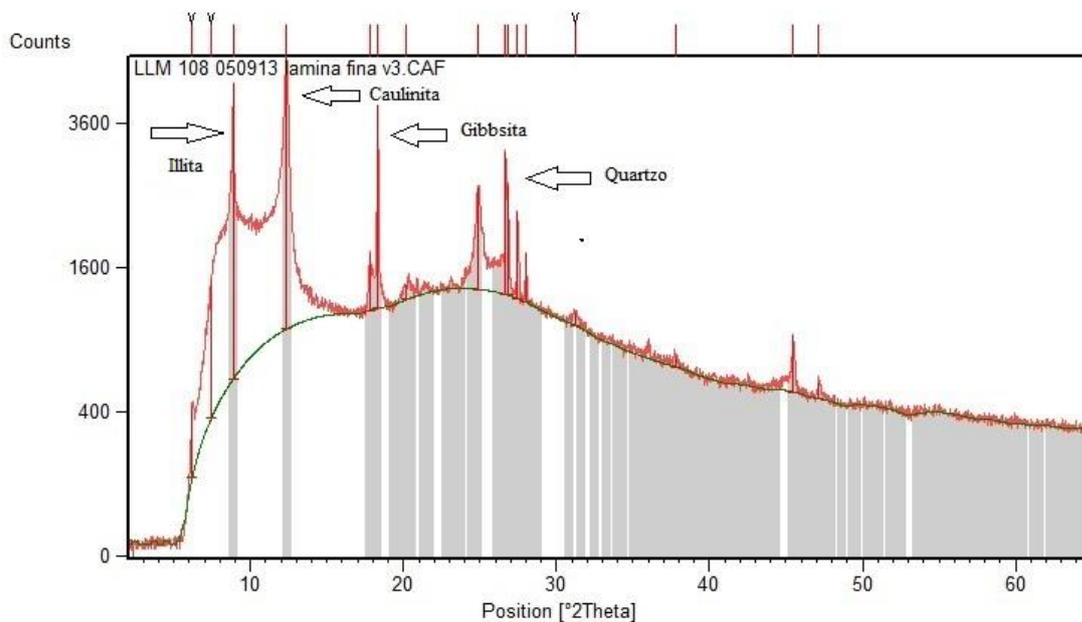
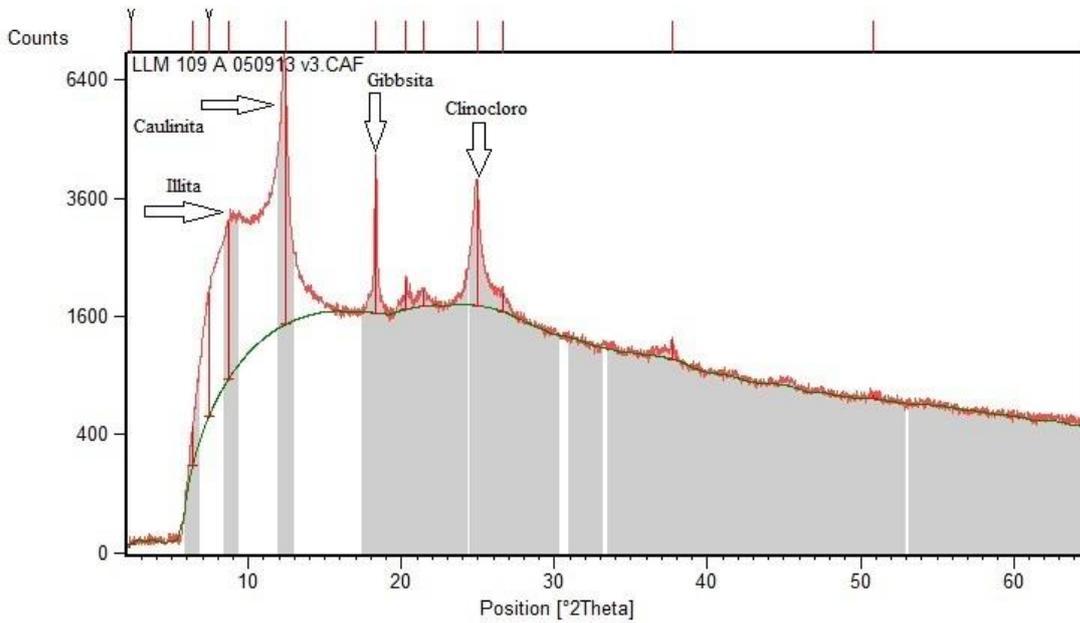


Figura 17: Difratoograma da lâmina orientada da amostra 108 com os minerais identificados.

Através da interpretação, os seguintes minerais foram identificados na amostra 109 A: illita, caulinita, gibbsita e clinocloro (Figura 18 e anexo 9.16).

Figura 18: Difratoograma da lâmina orientada da amostra 109 A com os minerais identificados



Aplicando os mesmos conceitos de interpretação, obtiveram-se os seguintes minerais para a amostra 109B: illita, caulinita, gibbsita e clinocloro (Figura 19 e anexo 9.17).

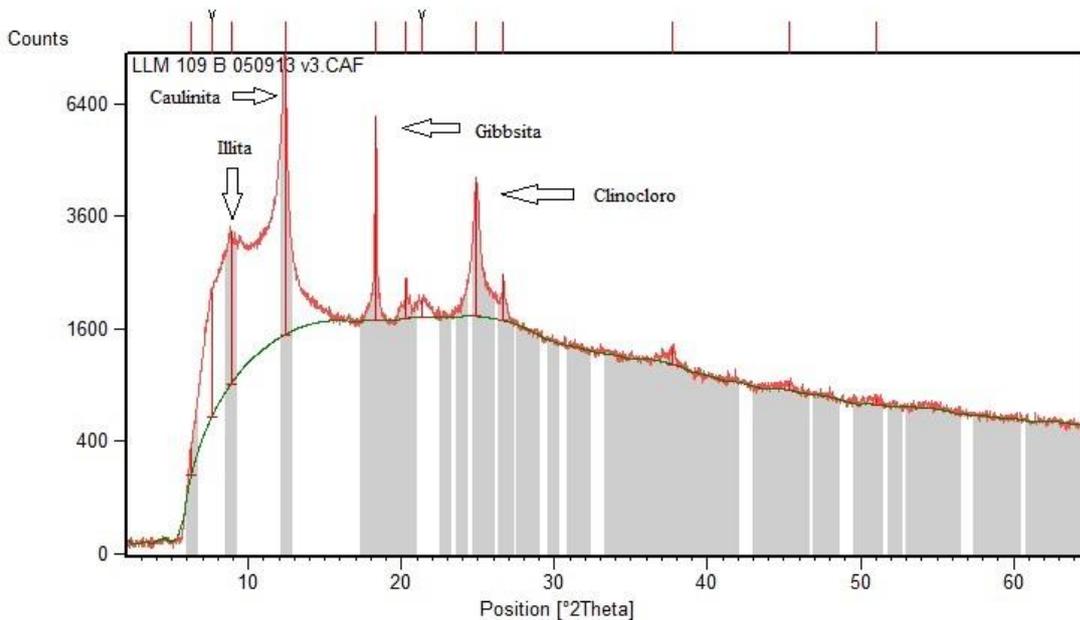


Figura 19: Difratoograma da lâmina orientada da amostra 109 B com os minerais identificados.

Analisando os resultados, fica explícito que os resultados obtidos pelas amostras 109 A e 109 B são iguais, como esperado, devido ao fato da amostra B ser duplicata da primeira.

É possível observar-se que a Gibbsita está presente em todas as amostras. É um mineral gerado por intemperismo químico em rochas com alto teor de feldspatos, como os granodioritos da área. Também está relacionada a condições de altas pluviosidades.

O quartzo, considerado mineral resistato foi encontrado em todas as amostras com exceção das amostras 109 A e B.

O clinocloro, presentes nas amostras 106 A, e amostras 109, é um mineral do grupo da clorita, gerado por processos secundários, hidrotermais ou metamórficos.

Os argilo-minerais encontrados nas amostras são a caulinita, illita e halloysita. A caulinita, encontrada nas amostras 106 A, 106 B, 106 C, 108 e nas 109, é um silicato de alumínio hidratado formado na alteração de feldspatos por um processo de intemperismo químico A illita, observada nas amostras (106 B, 106 C, 106 D, 108, 109 A e 109 B), é um produto do intemperismo de feldspatos e moscovitas, minerais presentes nos litotipos da área. A halloysita, identificada nos difratogramas das amostras 106 B e 106 C é um mineral neoformado pela decomposição de minerais aluminosos, como os encontrados no Granodiorito presente no local.

A biotita só foi observada na amostra 106 D, condizendo com o fato desta amostra de solo apresentar o menor grau de intemperismo.

Através dos resultados obtidos, pode-se determinar que todos os minerais observados nesta na análise, apresentam como origem o Granodiorito da Suíte Morro Inglês.

6.3. Relação dos minerais primários, neoformados e resistatos.

Através das análises de difração de raio-X dos materiais de solo e de colúvio, e de análise petrográfica das rochas, foi possível estabelecer as mudanças da composição mineral presente nos materiais. Estas mudanças aconteceram devido a grande exposição intempérica do material, submetido a grandes pluviosidades e alta umidade. Na assembleia mineral primária, predominam o quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita. Os minerais neoformados, encontrados no solo e nas amostras de colúvio e tálus são principalmente a caulinita, illita, gibbsita, clinocloro e a halloysita. Já nas amostras de rocha, os principais minerais neoformados são a clorita, epidoto e sericita. O quartzo é o principal resistato encontrado nos solos, enquanto que sua presença não é significativa nas amostras de depósito de colúvio. Todas as informações citadas foram resumidas na tabela 12, disponibilizada abaixo.

Tabela 12. Alteração das assembleias minerais presentes na área.

Nome Amostra	Tipo de amostra	Tipo de Análise	Minerais Primários Principais	Minerais Neoformados	Resistatos
106 A	Solo	difração de raio X	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita	caulinita, gibbsita e clinocloro	Quartzo
106 B	Solo	difração de raio X	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita	caulinita, illita, halloysita e gibbsita	Quartzo
106 C	Solo	difração de raio X	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita	caulinita, illita, halloysita e gibbsita	Quartzo
106 D	Solo	difração de raio X	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita	illita e gibbsita	biotita e quartzo
106 E	rocha alterada	lâmina petrográfica	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita	clorita, epidoto e sericita	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita
108	colúvio	difração de raio X	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita	illita, caulinita e gibbsita	Quartzo
109 A	colúvio	difração de raio X	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita	illita, caulinita, clinocloro e gibbsita	-
109 B	colúvio	difração de raio X	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita	illita, caulinita, clinocloro e gibbsita	-
111	rocha sã	lâmina petrográfica	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita	clorita, epidoto e sericita	quartzo, K-feldspato, plagioclásio e biotita

6.4. Mapas

Através do software ArcGis 10, foram produzidos 6 mapas da área de estudo. O primeiro criado foi o Mapa de Pontos (anexo 9.5). Nele estão demarcados os pontos visitados em campo, além disso, é possível visualizar os pontos que foram amostrados. O segundo mapa é um Mapa de Curvas de Nível da área (anexo 9.6), onde nota-se a grande diferença altimétrica presente na área, com altitudes variando entre 150 e 910 metros. O terceiro mapa construído foi o Mapa de Litotipos (anexo 9.7), a partir de informações de campo (amostras de rochas) e interpretação de ortofotos cedidas pela MINEROPAR (alinhamentos). O anexo 9.8 contém o Mapa de Materiais Inconsolidados, onde através das observações de campo e também da fotointerpretação das mesmas ortofotos, foi possível identificar os depósitos de tálus e de colúvios, além de locais com solos expostos, afloramentos de rocha e presença de matacões rolados no evento de 2011. Através dos recursos do software citado e com as curvas de nível construídas, foi possível a obtenção do Mapa de Declividade (anexo 9.9), onde a área foi classificada de acordo com sua declividade em graus, e que enriqueceu o trabalho, devido ao fato da alta declividade encontrada na área, corresponder as áreas de nucleação dos escorregamentos. Por fim, o anexo 9.10 mostra com clareza, através de ortofotos da área, feitas antes e depois dos eventos, toda a destruição causada pelo mesmo e a grande mudança na drenagem que ocorreu.

7. Discussão e Conclusão:

O fator deflagrador do evento catastrófico de março de 2011 foi o alto índice pluviométrico concentrado num curtíssimo espaço de tempo, que ocasionou no saturamento dos solos locais. Os movimentos de massa então aconteceram devido aos fatores predisponentes pesquisados na atividade de campo e posteriormente em laboratório na análise das amostras.

Entre os dias 9 e 11, a precipitação acumulada de 400 mm/m² (CIMEPAR), que é maior que a média histórica mensal, teve seus efeitos potencializados, porque os solos já se encontravam saturados de água, pois estava chovendo desde o dia 01 do mesmo mês. No depoimento do senhor Eurides Luchetta, ele deixa claro que o solo não mais comportava água, tendo em vista que o mesmo tentou plantar mudas de palmeiras no dia 08, e quando se abria o solo para a deposição de sementes, o mesmo jorrava água em grande quantidade. Segundo ele, nunca havia caído uma quantidade de chuvas tão grande naquele lugar.

O fator predisponente primordial nesta ocorrência é a geologia presente no local. A principal rocha constituinte dos taludes da Serra da Prata, os granitoides pertencentes a suíte granítica do Morro Inglês, estão sujeitos a um forte intemperismo químico. O resultado deste é uma esfoliação esferoidal, resultando em grandes matacões, envoltos numa massa de solo no alto da serra, que se torna destacável do talude com grande facilidade.

Outro fator correlacionado, que contribuiu para os eventos foi a grande presença de planos de fraturas presentes na litologia. A intersecção de planos de fraturas em função da existência de famílias de fraturas distintas, produziu planos preferenciais de rompimento, além da redução da coesão do corpo rochoso, facilitando o processo de ruptura do mesmo.

Os solos desenvolvidos no talude são pouco desenvolvidos, devido a grande inclinação do mesmo. Apresentam uma alta porosidade (média de 45%), que de acordo com Pinto (2006), equivale a solos derivados de rocha de composição granítica. Eles também exibem uma textura areno-siltosa, o que facilita o acúmulo de água. Outro agravante observado em campo nos mesmos são os planos de fratura nos mesmos, planos reliquias das rochas.

A soma de todos estes fatores combinados resultou nos escorregamentos translacionais planos, originado para movimentos de massa rasos, que posteriormente evoluíram para corridas de materiais. Quando a água resultante das fortes chuvas começou a infiltrar na rocha e nos solos, o peso excessivo gerou uma alta tensão cisalhante no material, que se quebrou ao longo dos planos de fraturas citados. A força peso superou a coesão do material, transformando o atrito estático em cinético. Este processo é concordante com o que foi proposto por Gudicini & Nieble (1984), IPT (1991), e Guerra (2006).

A geomorfologia também teve seu papel no processo, porque o colapso do material ocorreu devido a alta declividade observada no local (Anexo 9.9). Através do mapa de declividade apresentado, foi possível relacionar que as áreas de nucleação dos escorregamentos sempre se encontravam em declividades superiores a 35 graus. Esta alta declividade também contribuiu para a alta velocidade que o fluxo atingiu ao se tornar uma corrida de detritos ou debris flow, onde uma gama de materiais de diferentes dimensões é movimentada ao longo de uma vertente. Estes movimentos são associados com uma alta quantidade de água no sistema, como se observou no local e que condiz com o que foi proposto por Guerra 2006.

A forma da bacia, afunilada no centro também colaborou no processo, uma vez que o estrangulamento da drenagem gerou barramentos, que quando rompidos, dispersavam uma grande quantidade de água, com alta energia, principal responsável pelo transporte dos blocos rolados e conseqüente destruição da zona de planície e alteração dos cursos de água, como pode se observar no Mapa Comparativo da área (anexo 9.10).

A presença de depósitos coluviários de tálus sugere que na região houve eventos pretéritos de escorregamentos. Em campo foi possível notar o limite entre os depósitos recentes deste evento e depósitos de eventos pretéritos (figura 10 A). Este fato é corroborado pelo relato dos moradores, informando que antes deste evento, na região já havia uma grande presença de matacões, próximos ao canal pretérito do córrego.

As análises geotécnicas evidenciaram o comportamento heterogêneo dos horizontes do perfil de solo. Estes valores variáveis são resultantes do fato dos solos se apresentarem pouco desenvolvidos no local analisado, por se tratar de solos jovens. O horizonte superficial do solo analisado apresentava um alto valor de argila, valor que provavelmente é maior, devido o fato do ensaio de argila dispersa não ter sido realizado, não é possível conhecer o verdadeiro valor, já uma parte das argilas provavelmente estavam aglutinadas, comportando-se como granulometrias maiores como silte e areia. Este fator provavelmente influenciou nos resultados de plasticidade apresentados na análise de consistência de solos, pois a amostra apresentou-se como fracamente plástica. O índice de atividade de argilas obtido apresenta-se como alto para todos os materiais analisados, solos e principalmente colúvios.

Através da análise de difração de raios-x e petrográfica, obteve-se os minerais predominantes na rocha, no perfil de solo e nos depósitos coluviários. Através das informações obtidas, construiu-se uma tabela da assembleia mineral presente na rocha, os minerais neoformados e os resistatos (tabela 12). Foi possível notar uma grande presença de argilo-minerais, como a illita, a caulinita e a halloysita nos solos e depósitos de colúvio. A gibbsita, um mineral neoformado sob condições de alta pluviosidade, está presente em várias amostras de colúvio e de solo. O quartzo é o principal mineral resistato presente, principalmente nas amostras de solo.

Por fim, para um melhor entendimento das condições dos fatores predisponentes da área, sugere-se a continuidade do estudo, com uma maior contribuição geotécnica, onde seja possível determinar com mais precisão as condições de tensão e cisalhamento dos solos, tendo em vista que algumas das análises deste trabalho, como argila dispersa e umidade apresentaram problemas.

8. Referências Bibliográficas:

- AMARAL, R., GUTJAHR, M. R. **Desastres Naturais** (2011). Instituto Geológico. 82 pp.
- ANGULO, R.J. 1992. **Geologia da planície costeira do Estado do Paraná**. Dissertação de Doutorado. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo. 334 pp
- 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, 26p.
- CAMPANHA, G.A.C., BASEI, M.A.S., FALEIROS, F.M., TASINARI, C.C.G., NUTMAN, A.P., VASCONCELOS, P.M., DANTAS, E.L., 2009. **Geocronologia do Terreno Apiaí no Sul do Estado de São Paulo**. In: 45 Anos de Geocronologia no Brasil. Boletim de Resumos Expandidos. São Paulo: IGc-USP, p. 220-221.
- 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.
- CENACID. **Centro de Apoio Científico em Desastres**. Disponível em: <<http://www.cenacid.ufpr.br/>>. Acesso em: 15 Nov. 2013.
- COLIT – **Conselho de Desenvolvimento Territorial do Litoral Paranaense**. Disponível em: <<http://www.colit.pr.gov.br/>>. Acesso em: 04 Nov. 2013.
- CORDANI, U.G. & GIRARDI, V.A.V. 1967. **Geologia da Folha de Morretes**. Boletim da Universidade Federal do Paraná, Geologia, 26:40p.
- CURY, L.F. 2008. **Geologia do Terreno Paranaguá**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- FERNANDES, N.F. & AMARAL, C.P. Movimentos de massa: Uma abordagem geológico- geomorfológica in: **Geomorfologia e Meio ambiente**. GUERRA, A.J.T.; CUNHA, S.B. 5ª Ed Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 372p
- FIORI, A. P.; CARMIGNANI, L. **Fundamentos de Mecânica dos Solos e das Rochas** - Aplicação na estabilidade de taludes. 2ª edição. Editora Oficina de Textos, 2009.
- GUERRA, J.T. & CUNHA, S.B. **Degradação Ambiental**. 2006
- 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 . **Área Territorial Oficial- Consulta por Município**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/painel/painel.php?codmun=411820>> Acesso em: 11 Ago. 2013.
- LACERDA, W.A., 2002, **Comportamento Geotécnico de Massas Colúvies**, In: Geosul, Joinvile, pp. 219-231.
- LOPES, O.F. **Zoneamento metamórfico da Formação Rio das Cobras do pré-Cambriano do Estado do Paraná**. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 3. Curitiba, SBG, 1987^a
- LOPES, O.F. **O granito sin-tectônico Cubatãozinho: petrogênese e evolução geológica** in: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA,3. Curitiba, SBG, 1987B
- MINEROPAR. **Serviço Geológico do Paraná**. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/>> Acesso em: 31 Ago 2013.
- OLIVEIRA, A. M. S., BRITO, S. N. A. (1998) **Geologia de Engenharia**. ABGE.São Paulo SP

- PARANÁ. Coordenadoria Estadual de Defesa Cível do Estado do Paraná – **Ocorrências de desastres**. Disponível em: <http://www4.pr.gov.br/sdc/publico/lis_ocorrenciapublica.jsp?pesquisar=1&dtinicial=01%2F03%2F2011&dtfinal=31%2F03%2F2011&desastre_codigo=1&localizacao_codigo=233&situacao=&dtvigencia=&municipal_inicial=&municipal_final=>>. Acesso em: 10 Ago. 2013.
- PICANÇO, J.L. & NUNES, L.H. **A Severe Convective Episode Triggered by accumulated precipitation in the coast of Parana State, Brazil**. 7th European Conference on severe storms (ECSS2013). Helsinque, 2013
- PINTO, Carlos de Sousa (2006), **Curso Básico de Mecânica dos Solos em 16 Aulas**, Oficina de Textos. 3ª Ed. 367 pp.
- SIGA JUNIOR, O. 1995. **Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: Geocronologia e evolução crustal**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 212 p.
- SIMEPAR. **Tecnologia e informações ambientais**. Disponível em: <<http://www.simepar.br/>>. Acesso em: 20 Dez. 2013.
- SUZUKI, S. **Propriedades Geomecânicas de alguns solos residuais e coluviais ao longo do oleoduto Curitiba-Paranaguá**. Tese de doutorado. Rio de Janeiro, 2004.
- TERZAGHI, K. (1950), “**Mechanisms of Landslides**”, The Geological Society of America – Engineering Geology (Berkey), pp. 83-123.
- TOMINAGA, L. K., Santoro, J., Amaral, R. **Desastres Naturais: Conhecer para Prevenir** (2009). Instituto Geológico. 1ª Ed. 177 pp.
- 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.
- 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, cap 17,p.283-300,1996.

9. Anexos:

9.1. Depoimento dos moradores da área atingida

Os eventos catastróficos ocorridos em Março de 2011 foram marcantes nas vidas de algumas pessoas, como os moradores da região afetada, os senhores José Severino Nogueira, João dos Santos Batista e Eurides Lucheta.

O senhor João dos Santos Batista (figura 20) contou que quando começou a forte chuva, ele já não estava mais em seu sítio, pois já havia ido a Paranaguá ficar com a família lá residente.

O senhor Eurides Lucheta estava no bairro floresta durante toda a duração do evento, ele participou da gravação de um vídeo nos relatando os fatos ocorridos naquela semana fatídica de março de 2011.

Em seu depoimento, o senhor Eurides realata que antes das chuvas mais fortes, havia um cheiro de terra agradável, *“parece que estavam mexendo em terra lá pra cima, aquele cheiro gostoso”*. Ele continua descrevendo *“aí a água estava passando assim né, nunca tinha acontecido aquilo, se eu for lá pegar a cachorra e a bicicleta, a água vai me carregar”*. *“Quando eu acabei de falar veio aquela animar daquela porrada d’água assim, da artura deste parmito, cubriu o barraco, levou tudo, levou cachorro, levou bicicleta...eu estava escondido no barranquinho ali ó... Quando cheguei ali perto da bananeira eu parei né, nunca vi aquilo, nunca me aconteceu de passar água ao redor do barraco... aí parei, e pensei, se eu for lá, eu acho que eu vou morrer... Aí eu parei ali e fiquei olhando, quando eu parei de falar que eu vou morrer veio a bomba d’água, bruum, levou tudo, cachorro, bicicleta.”* Eurides ainda explica como foi a chegada da forte correnteza que se formou com as fortes chuvas. *“Veio tipo uma onda do mar, veio com espuma, com tudo, aquela espumaiada né, e rapou o barraco, e deixou só na lama e nas pedras.”*

Outro ponto destacado por ele, é que próximo a seu sítio, antes do evento, havia uma cachoeira, que segundo o mesmo possui até filmagens realizadas dela, e que posteriormente ao evento, ela deixou de existir. *“Lá era uma cachoeira bonita né, tenho tudo firmado na internet lá em Paranaguá. Era uma cachoeira muito linda né, era depois deste matinho aí.”*

Ele explica que inicialmente veio uma forte correnteza assim como uma onda do mar, depois veio uma mais fraca, posteriormente a cachoeira silenciou-se, indicando provavelmente um barramento do canal. Posteriormente, veio o fluxo mais forte, onde houve a mudança do fluxo do canal, deixando o sítio ilhado em meio ao canal antigo e o novo canal. *“Aí quando eu tava ali, de repente deu aquela, deu uma porradona, daqui a pouco outra porradinha, aí silenciou a cachoeira, parou tudo, parou de repente, aí quando eu me virei pra cá, tinha aberto aqui e aberto aqui.”*

Ele continua descrevendo que não era possível estimar a profundidade que o córrego se encontrava, o que deixou ilhado, pois era arriscado demais atravessá-lo. *“Não via a artura da água, porque está água aí né João, qualquer coisinha esta água já fica sem cor, fica só barro puro. Aí eu não podia passar pra lá, eu já estava fraco de fome, só sobrou no barraco dele um pouco de açúcar e farinha né.”*

A espera do resgate, Lucheta aguardou dentro do sítio de João, desde a quinta feira quando ficou ilhado, até no sábado, quando finalmente foi resgatado. *“Eu entrei no barraquinho, tinha uma cobertura enxuta, e um pouquinho de farinha, aí e trouxe pra cá, e fiquei sentado em cima de uma mesa desta aí, a lama estava por aqui na mesa, então eu fiquei sentado em cima, e quando anoitecia, eu me encostava na parede e me cobria daqui pra cima, que estava sem lama, para não sujar a cobertura dele. Aí cade de resgate, a família preocupada lá, telefone meu sem bateria. Aí quando foi na sexta feira, passou um helicóptero particular né, aí eu saí do lado aqui, fiz assim com a toalha, ei dei sinar, sinar, foi embora, não voltou mais. Aquele acho que chegou em Paranaguá, e avisou né, em tal parte assim, tem um cara dando sinar lá, em tal lugar assim e assim né, na serra, mais ou menos lá né. Aí quando foi duas horas, passou o helicóptero da força verde, dei sinar, dei sinar, mandaram eu carmar né, deram duas voltas e mandaram carma que iam vortar. Era cinco horas e nada, nada. Cinco e meia da tarde, papapapapa, quando ele baixou pegou na folha de banana, fez crack, deu uma chicotada, o cara recuou mais pra trás, não tinha este varal aqui, aí o bombeiro, não sei o nome do cara, correu lá no barraco do homi, bombeiro desceu, entrou na lama com a bota, arrancou dois pau do barraco dele aí e forrou no chão, na hora que o helicóptero encostar no chão, se joga dentro que eu me joga atrás, ele subiu lá por cima do morro, subiu e me levaram lá no aeroparque, depois de lá a guarda municipal*

me pegou de lá e me levou lá em casa. Cheguei em casa oito horas da noite, sentei na beira da casa, parti a bota daqui até aqui pra poder arrancar. Saiu quase um quilo de terra seca, já estava seca, de dentro de cada pé. Eu não conseguia nem andar, já tava fraco. Noutra dia me acordei de manhã lá em casa, no Valadares, faz 49 anos que moro lá. Me levaram no portão da minha casa, fui bem atendido, a polícia me pegou o nome, a idade, tudo.”

Na continuação do vídeo depoimento, ele conta que a chuva havia começado na terça feira e neste dia a terra já não suportava a quantidade de água, visto que ele estava plantando Palmeiras Reais, e água vinha para superfície no solo, quando este era manuseado. *“A chuva já tinha começado na terça feira. Eu tava fazendo os buraco lá pra prantar palmeiras real, cavucava o chão assim, a água subia, a terra não suportava mais água, a água vinha pra cima, a terra não esta suportando mais água, não dá nem pra prantar. Ninguém esperava que ia dar aquilo.”*

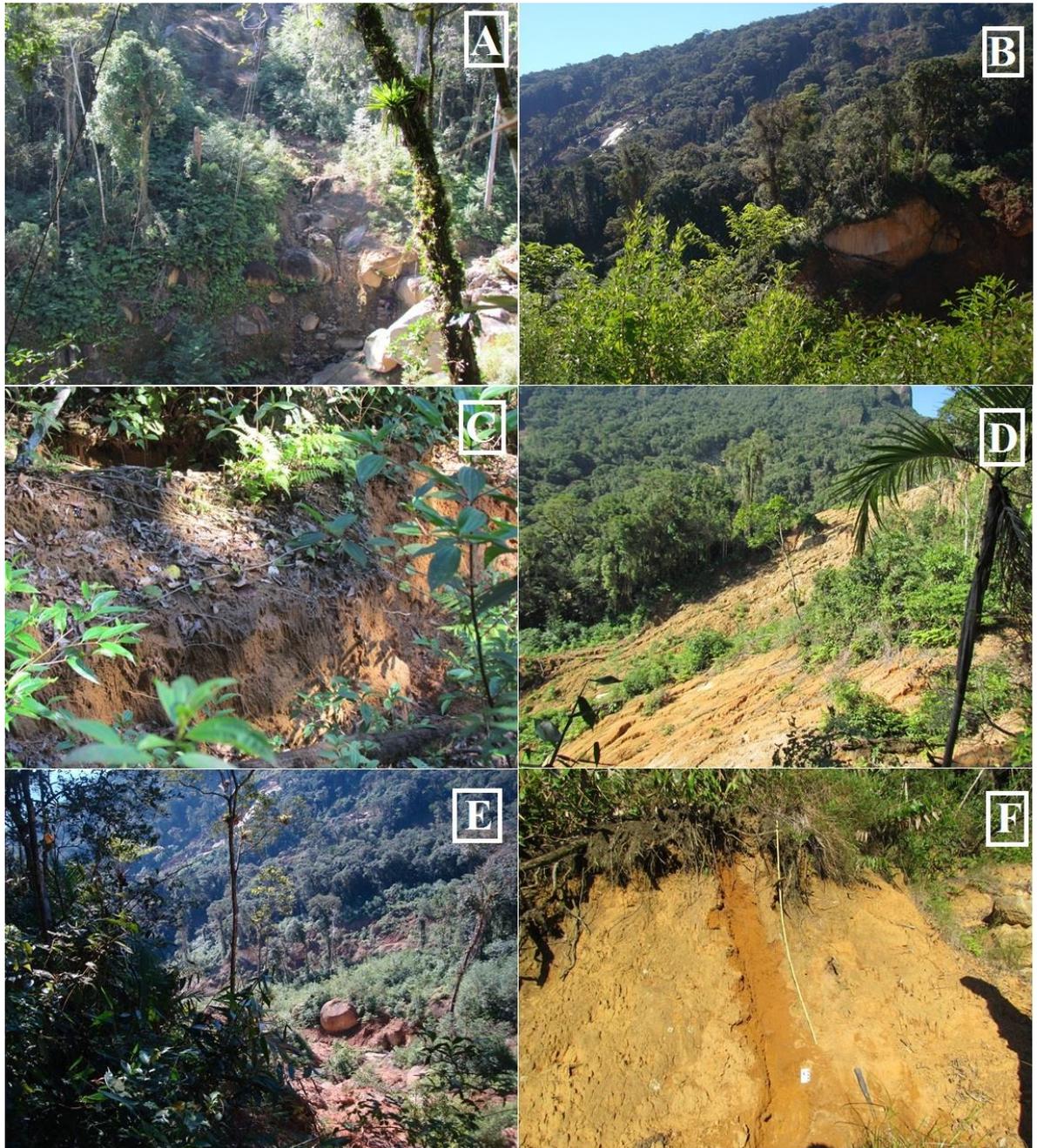
Também é relatado pelo senhor Lucheta, que graças a pequena ponta de mata presente no sítio dele e no sítio do senhor João que salvou um pouco, pois se não houvesse esta proteção, o estrago causado teria sido ainda maior. *“Se a chuva continuasse e tivesse mais uma porrada d’água, ia acabar com esta ponta de mato aqui, que Deus deixou pra mim, porque foi milagre.”*

O senhor Eurides relatou que posteriormente a defesa civil foi até o local para fazer uma avaliação, onde foi constatado o alto risco que o senhor João estava submetido continuando no local. A casa atual que o senhor Lucheta utiliza está num local sem risco, pois se encontra num local mais alto, onde não risco de uma enchente atingir a mesma.

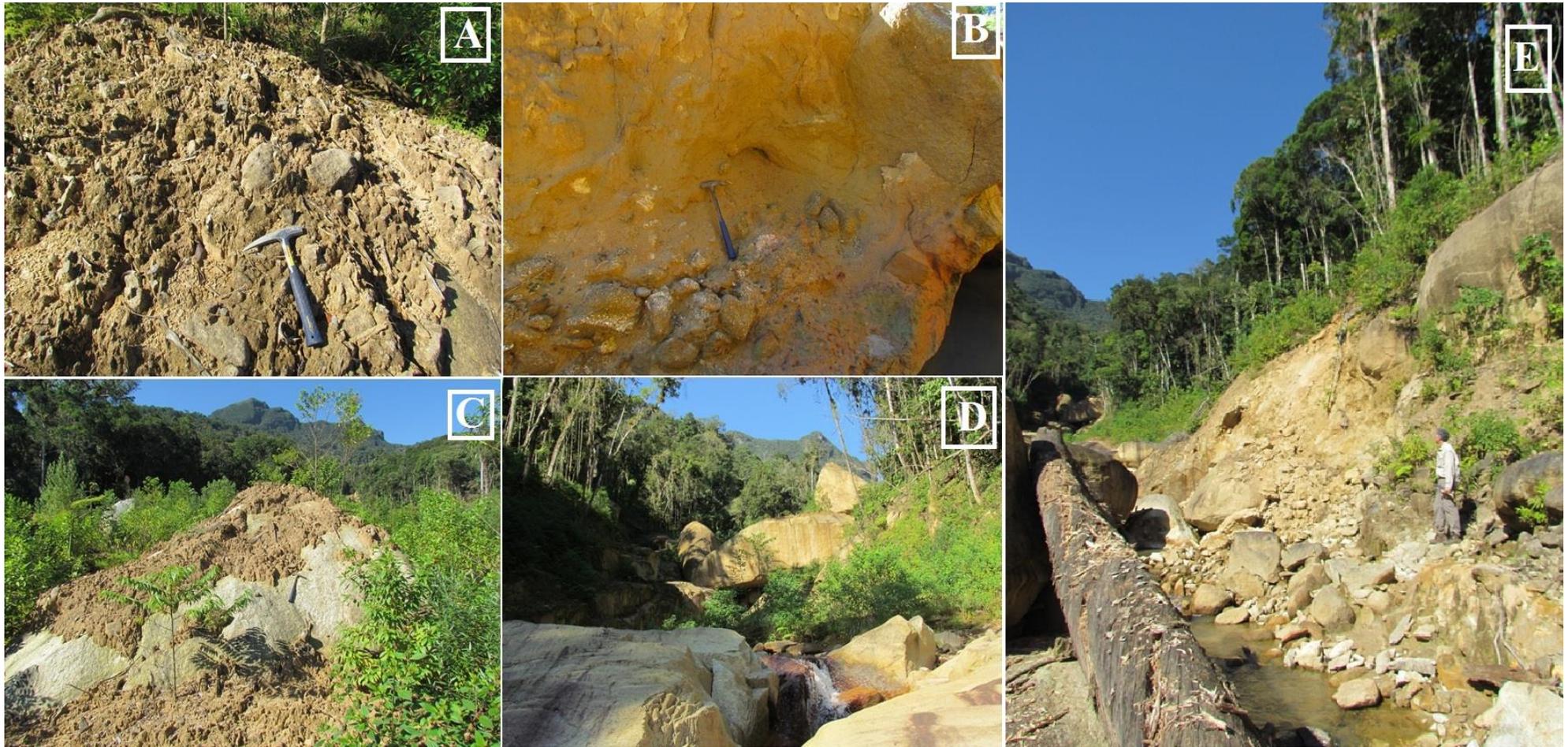


Figura 20. Morador concedendo depoimento. Fonte: MELO.

Anexo 9.2.



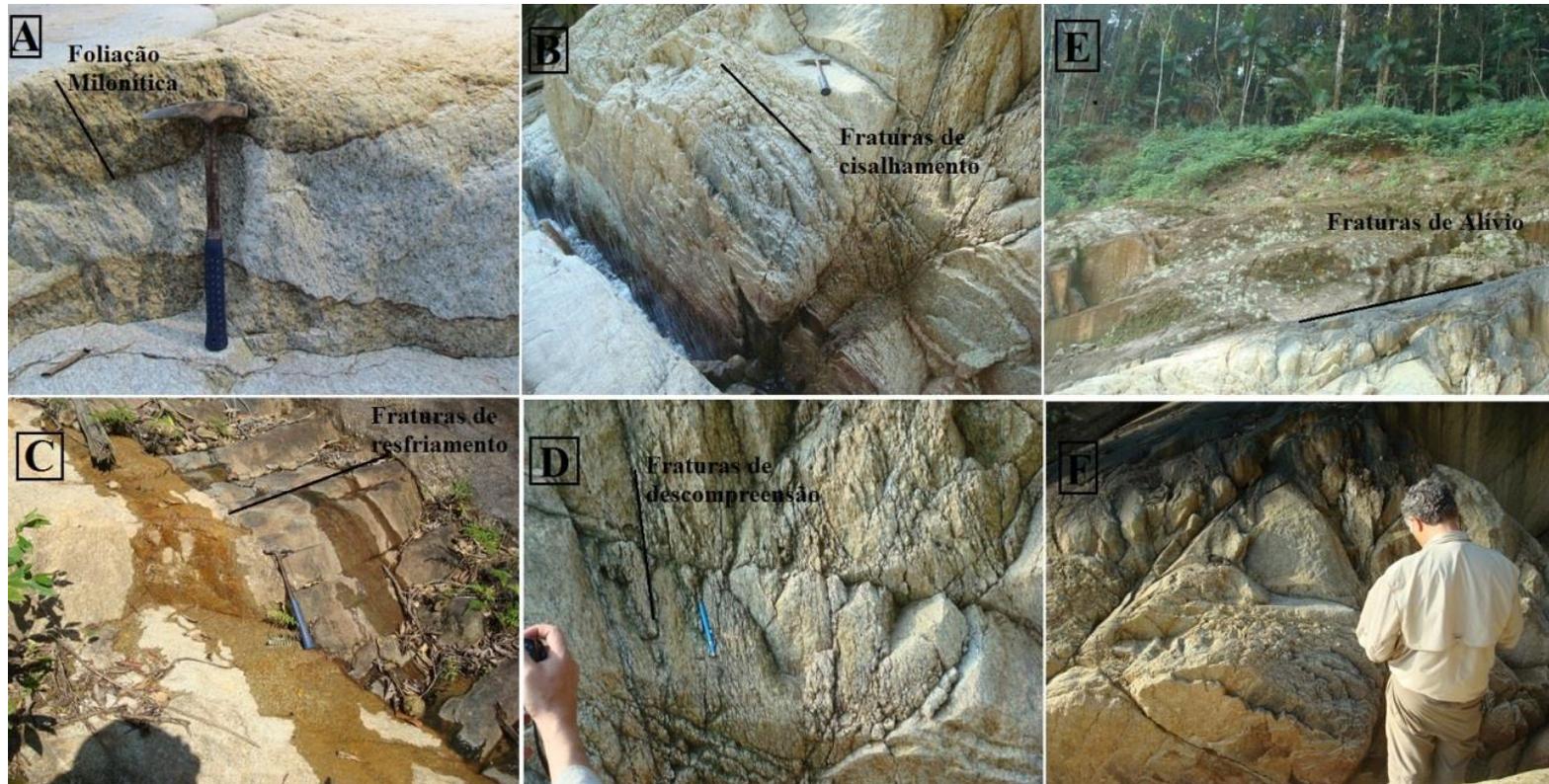
A: Ponto 100. B: Ponto 101. C: Ponto 102. D: Ponto 103 E: Ponto 105. F: Ponto 106



Anexo 9.3.

A: Ponto 107. B: Ponto 108. C: Ponto 109. D: Ponto 111 E: Ponto 110.

Anexo 9.4:



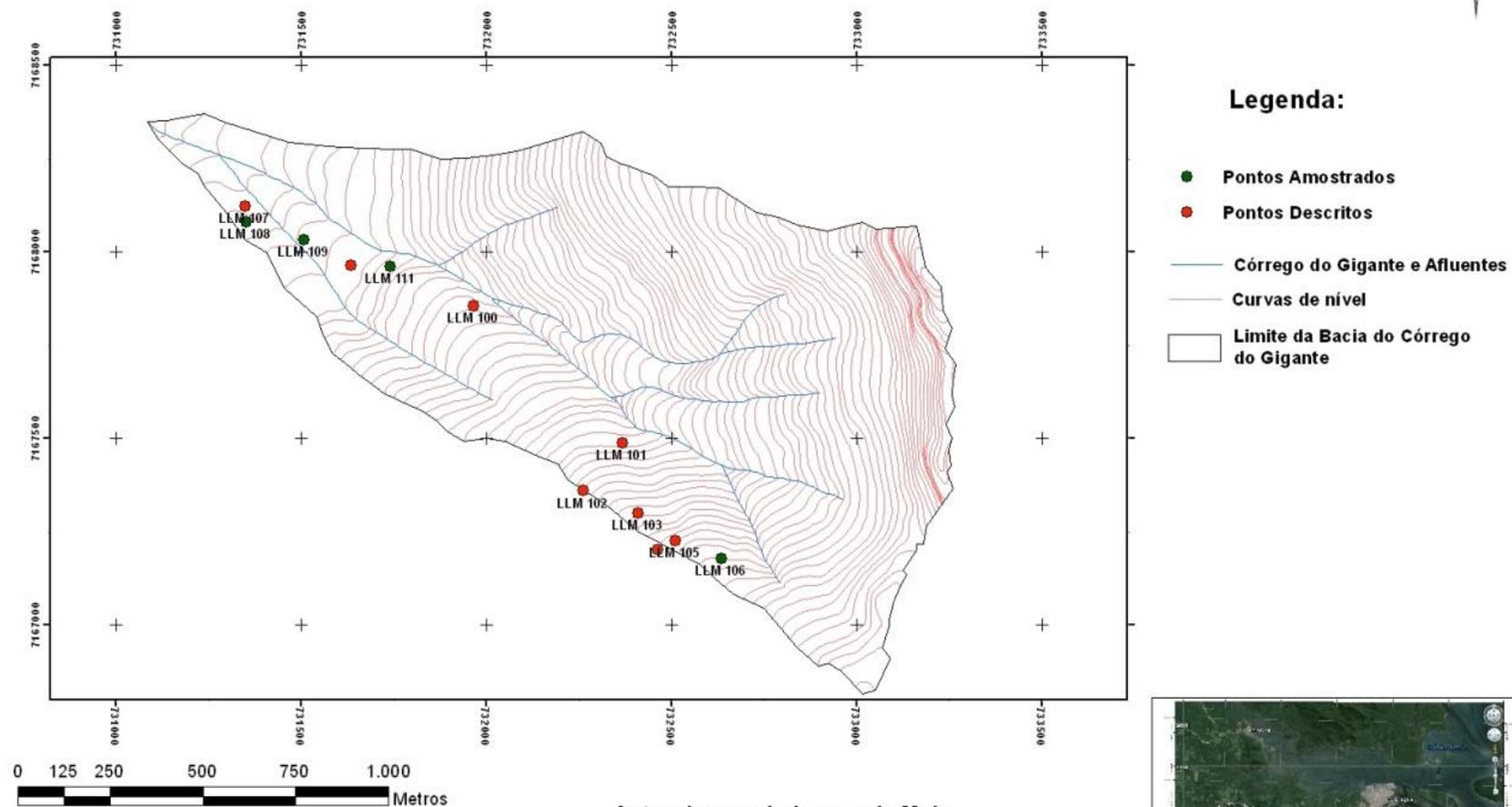
Mosaico de imagens demonstrando as estruturas presentes.

A: Foliação milonítica. B: Fraturas de cisalhamento. C: Dique diabásico apresentando fraturas de resfriamento. D: Fraturas de descompressão.

E: Fratura de alívio. F: Encontro das fraturas de cisalhamento e alívio.

Anexo 9.5.

Mapa de Pontos - Bacia do Córrego do Gigante

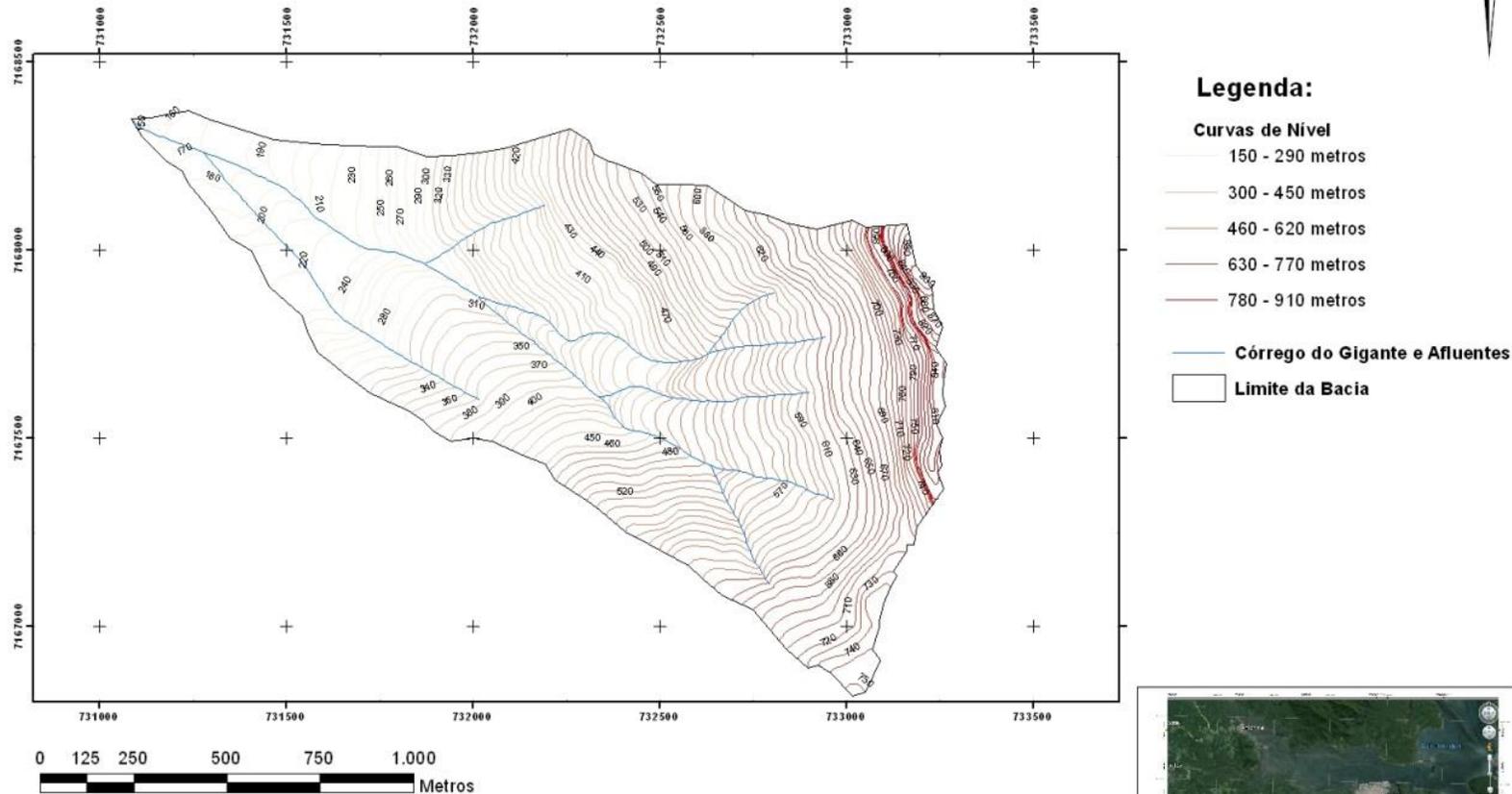


Autor: Leonardo Lemes de Melo
Orientador: Dr. Jefferson de Lima Picanço
Co-Orientadora: Dra. Maria José Mesquita
Trabalho de Conclusão de Curso



Anexo 9.6.

Mapa de Curvas de Nível - Bacia do Córrego do Gigante



1:10.000

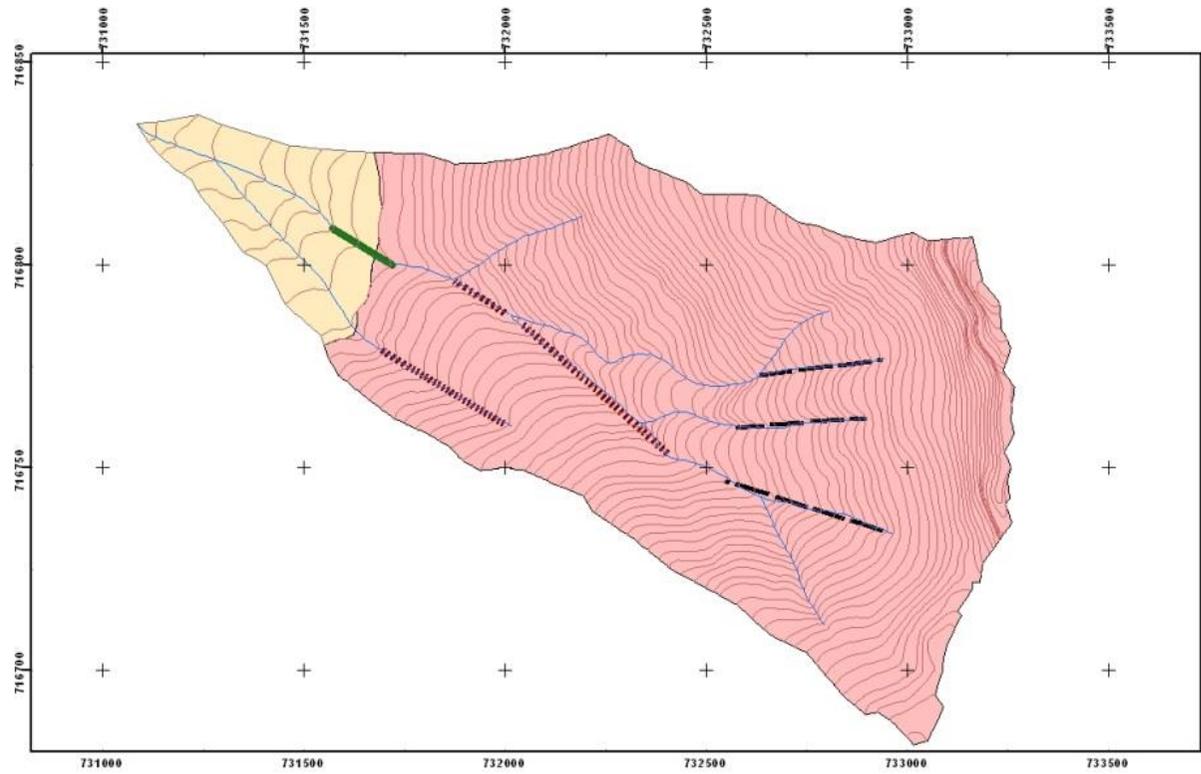
Sistema WGS 84
Área 22 J
Meridiano Central 51°

Autor: Leonardo Lemes de Melo
Orientador: Dr. Jefferson de Lima Picanço
Co-Orientadora: Dra. Maria José Mesquita
Trabalho de Conclusão de Curso



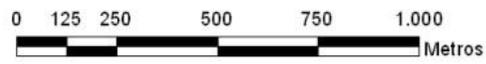
Anexo9.7.

Mapa de Litotipos - Bacia do Córrego do Gigante



Legenda:

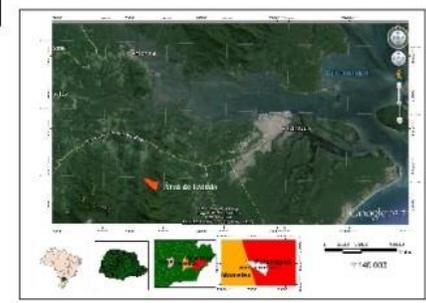
-  Depósito Coluvionar
-  Granito Morro Inglês
-  Dique_medido
-  Dique_Inferido
-  Lineamentos_inferidos
-  Curvas de Nivel
-  Córrego do Gigante e Afluentes



1:10.000

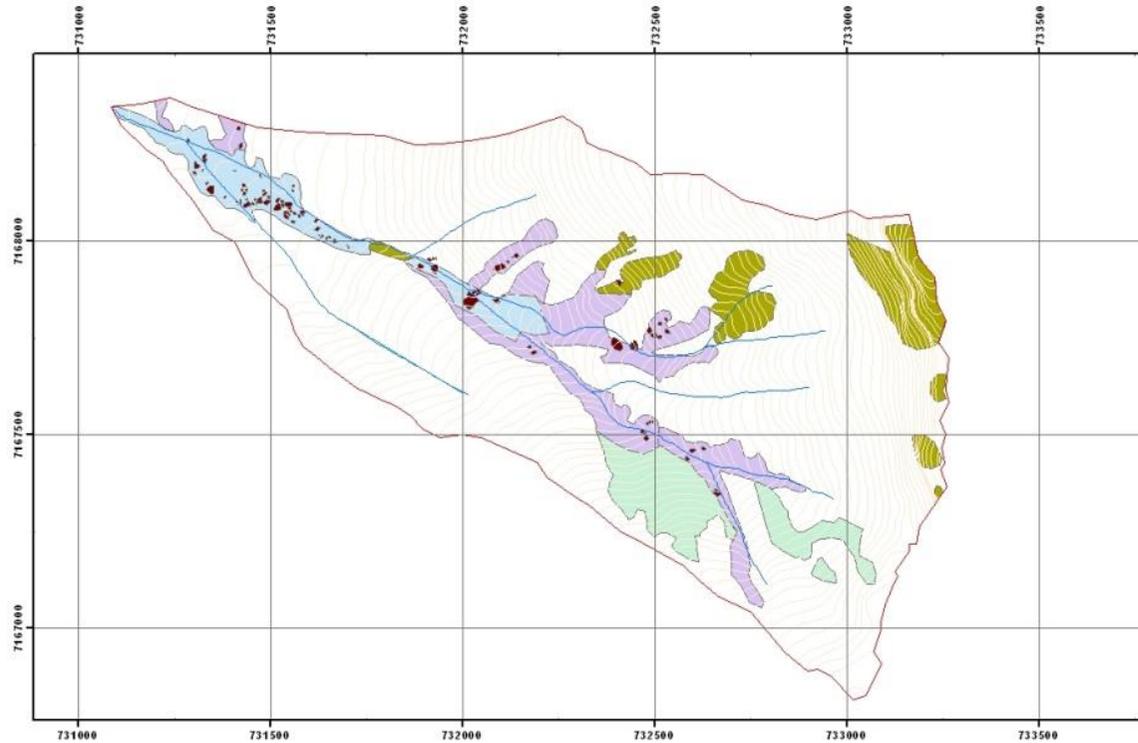
Sistema WGS 84
Área 22 J
Meridiano Central 51°

Autor: Leonardo Lemes de Melo
Orientador: Dr. Jefferson de Lima Picanço
Co-Orientadora: Dra. Maria José Mesquita
Trabalho de Conclusão de Curso



Anexo9.8.

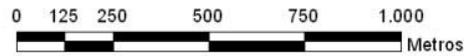
Mapa de Materiais Inconsolidados - Bacia do Córrego do Gigante



Legenda:

-  Depósito Alúvio-Coluvionar
-  Depósitos de Talus
-  Solos Residuais
-  Matacões
-  Afloramento de Rocha

-  Curvas de Nivel
-  Córrego do Gigante e Afluentes
-  Limite da Bacia



1:10.000

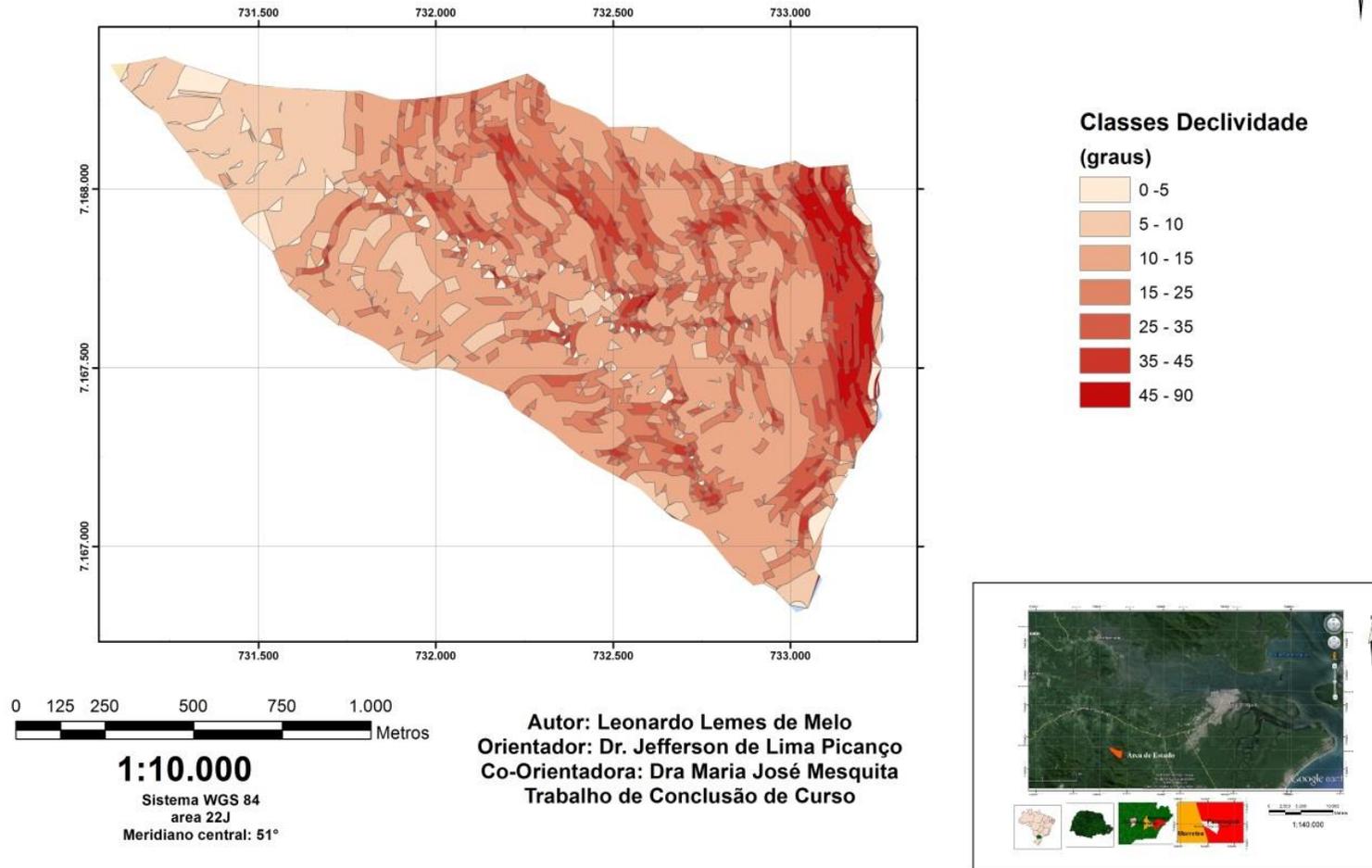
Sistema WGS 84
Área 22 J
Meridiano Central 51°

Autor: Leonardo Lemes de Melo
Orientador: Dr. Jefferson de Lima Picanço
Co-Orientadora: Dra. Maria José Mesquita
Trabalho de Conclusão de Curso



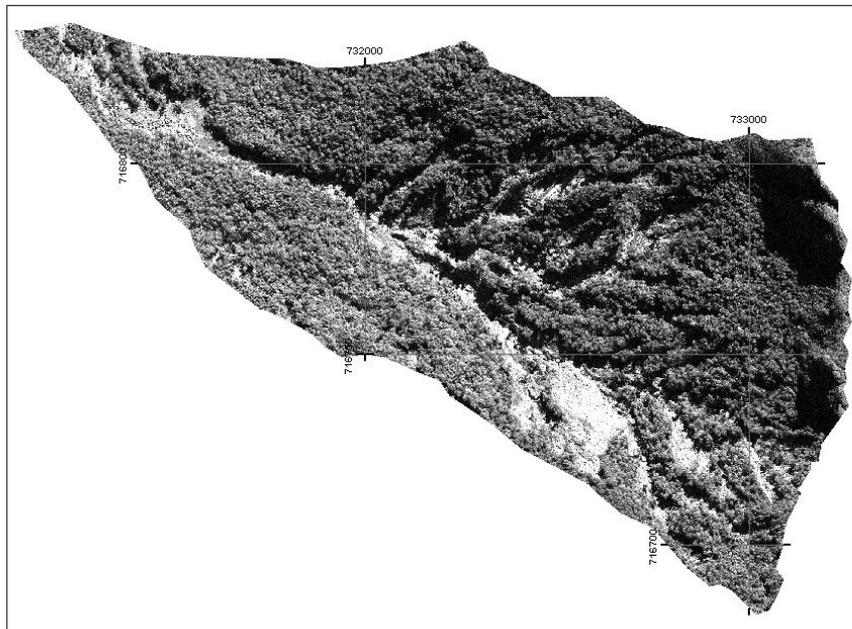
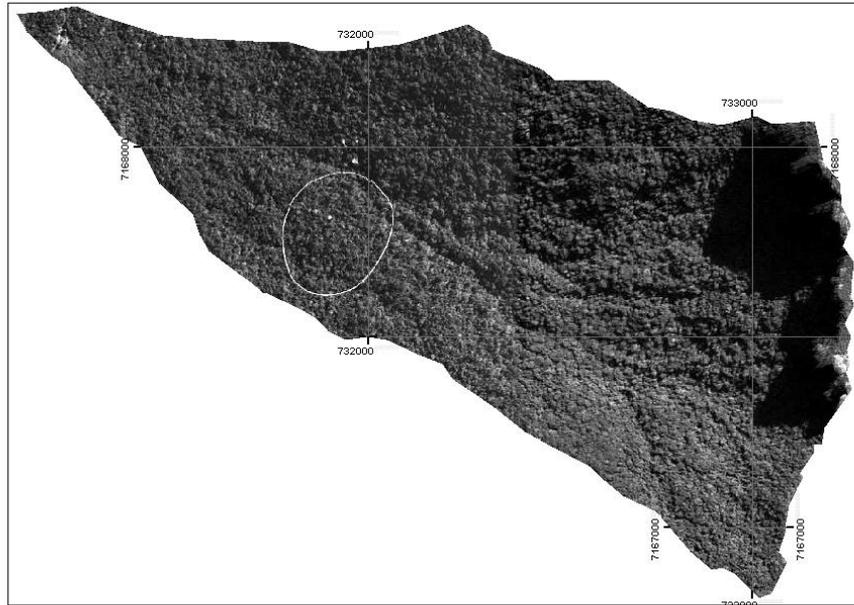
Anexo 9.9.

Mapa Classes Declividade - Bacia do Córrego do Gigante



Anexo
9.10.

Mapa Comparativo da Bacia do Gigante: Antes e Depois dos eventos de Março de 2011



1:10.000

Sistema WGS 84
Área 22 J
Meridiano Central 51°

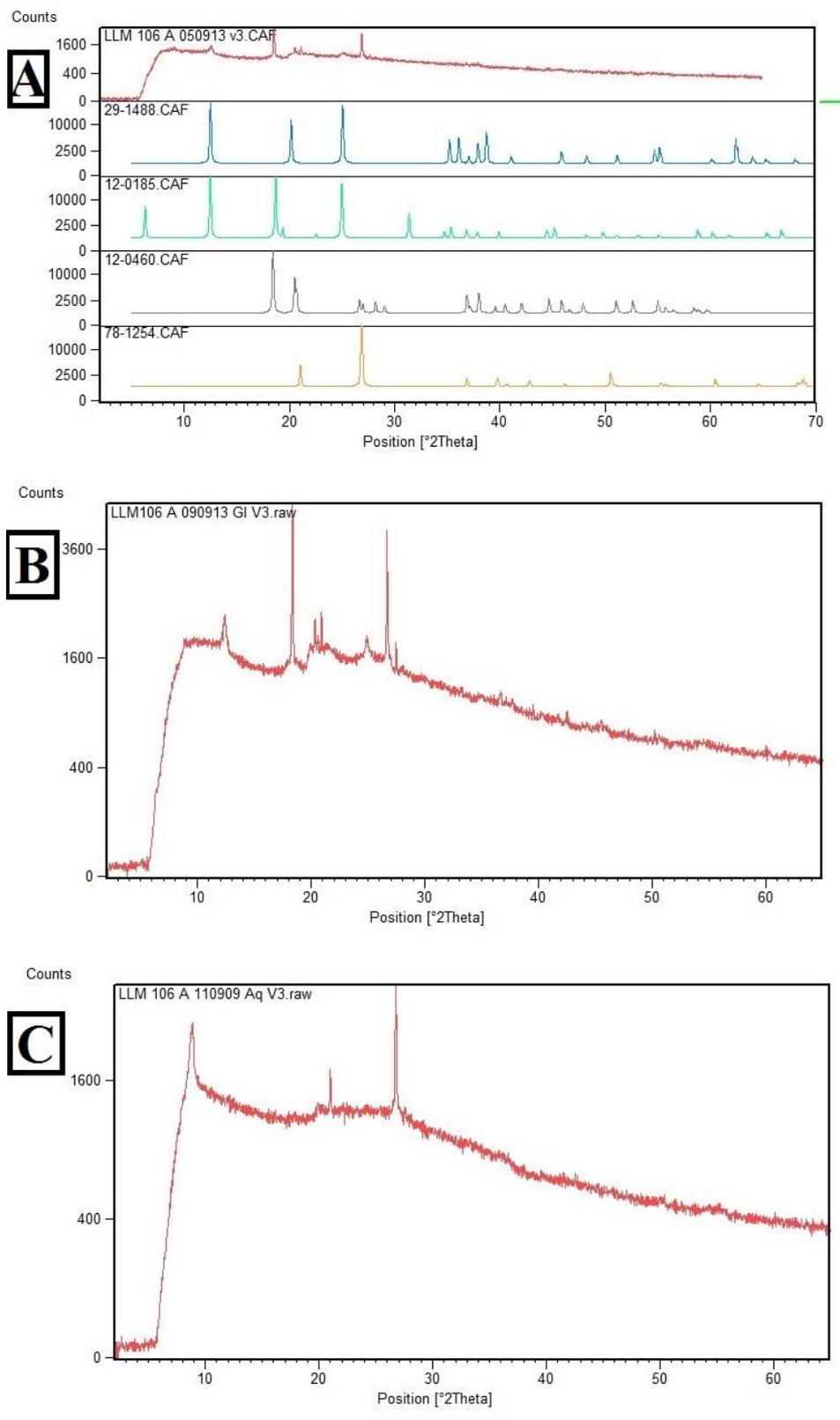
Legenda:

Mapa 01: Ortofoto c28582no ITCG-PR 1980

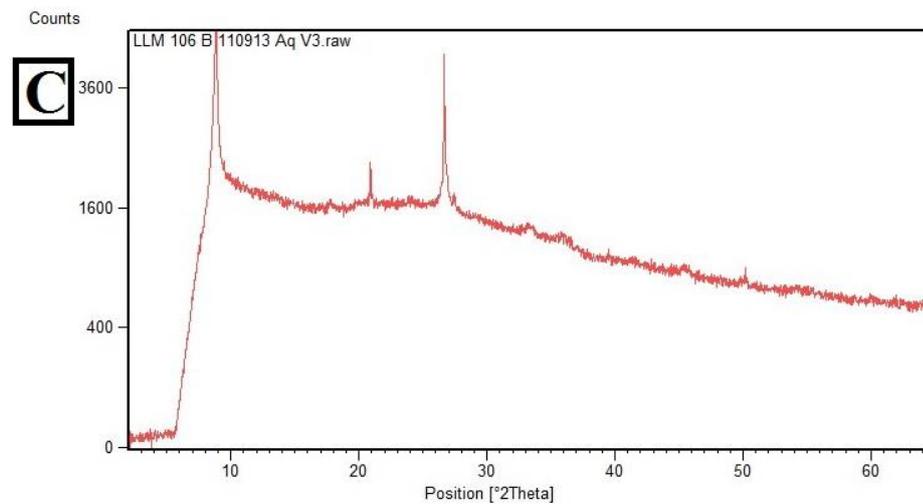
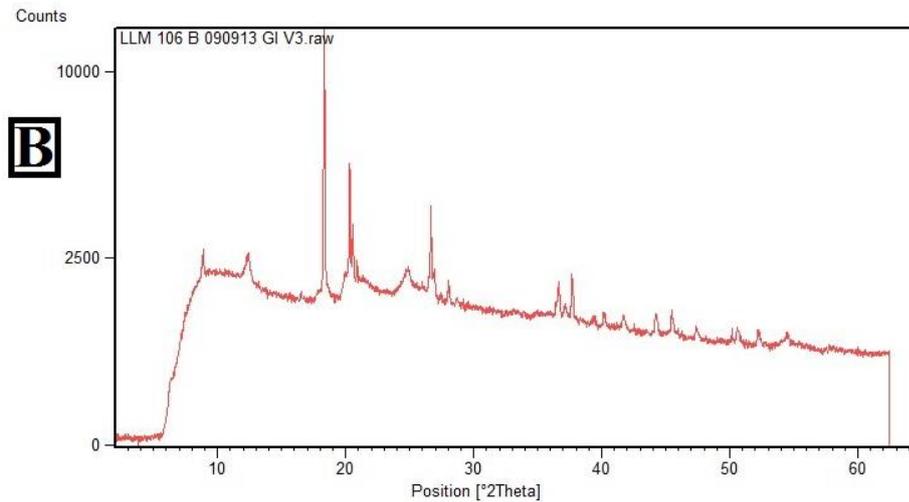
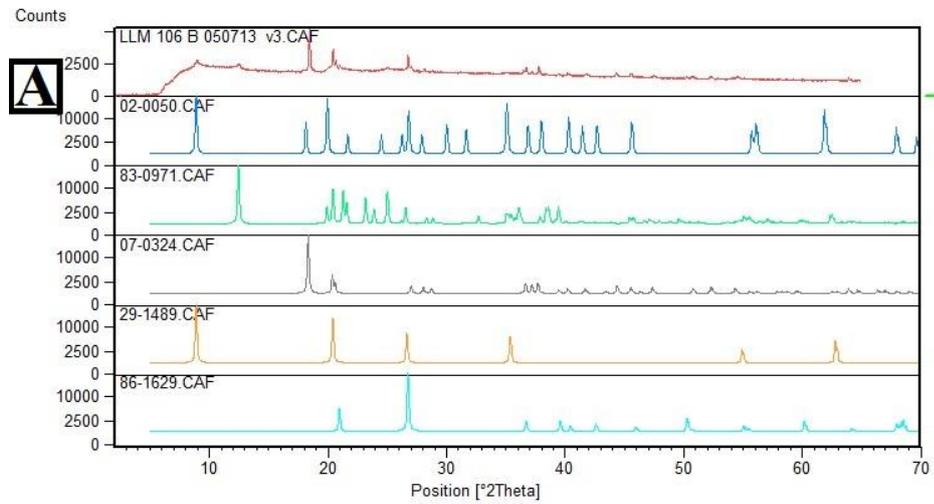
Mapa 02: Imagem Satélite World View 2011

Autor: Leonardo Lemes de Melo
Orientador: Dr. Jefferson de Lima Picanço
Co-Orientadora: Dra. Maria José Mesquita
Trabalho de Conclusão de Curso

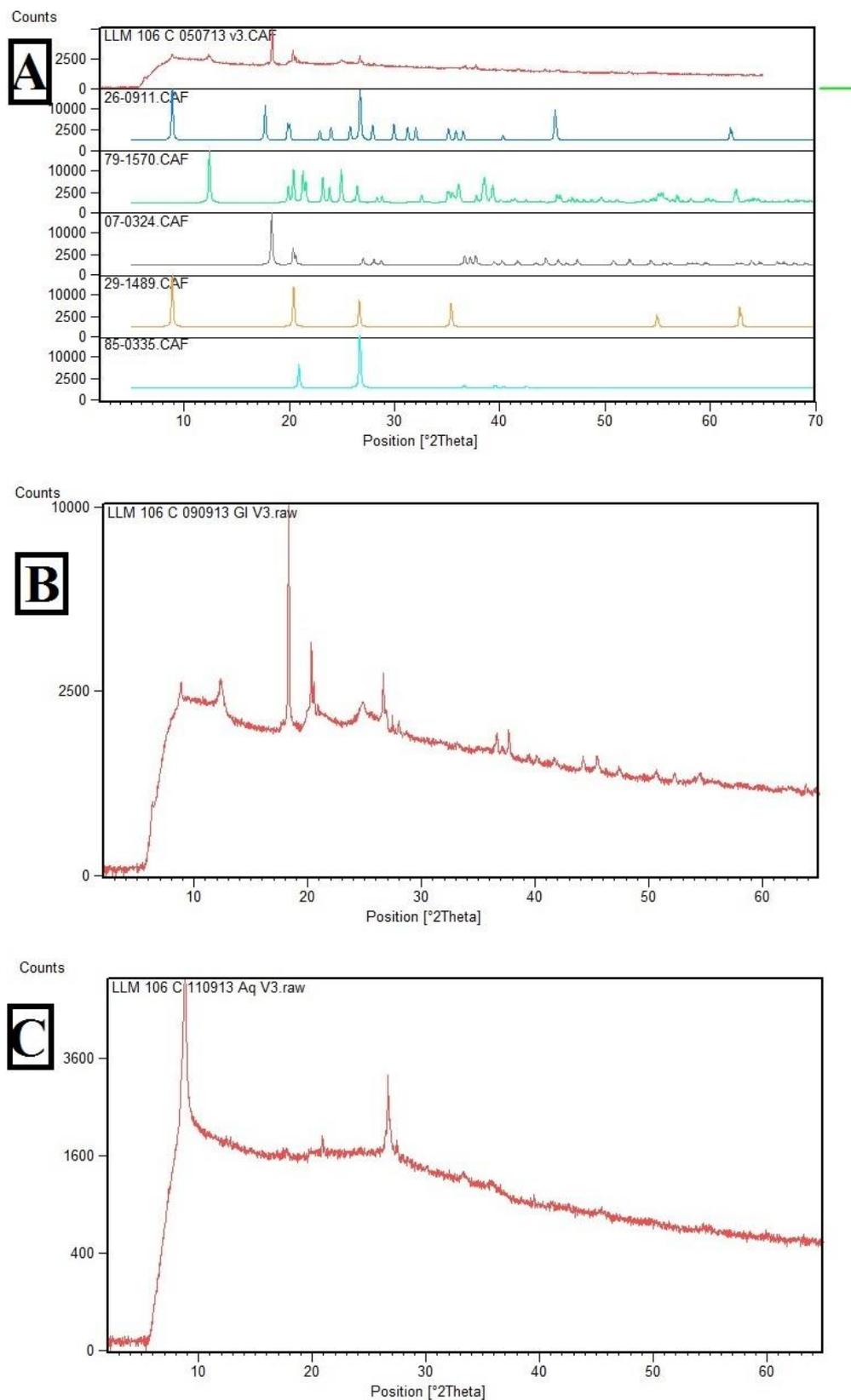
Anexo 9.11. Difratoograma da lâmina orientada da amostra 106 A. **A:** As fases da caulinita, clinocloro, gibbsita e quartzo respectivamente de cima para baixo. **B:** Lâmina glicolada. **C:** Lâmina aquecida.



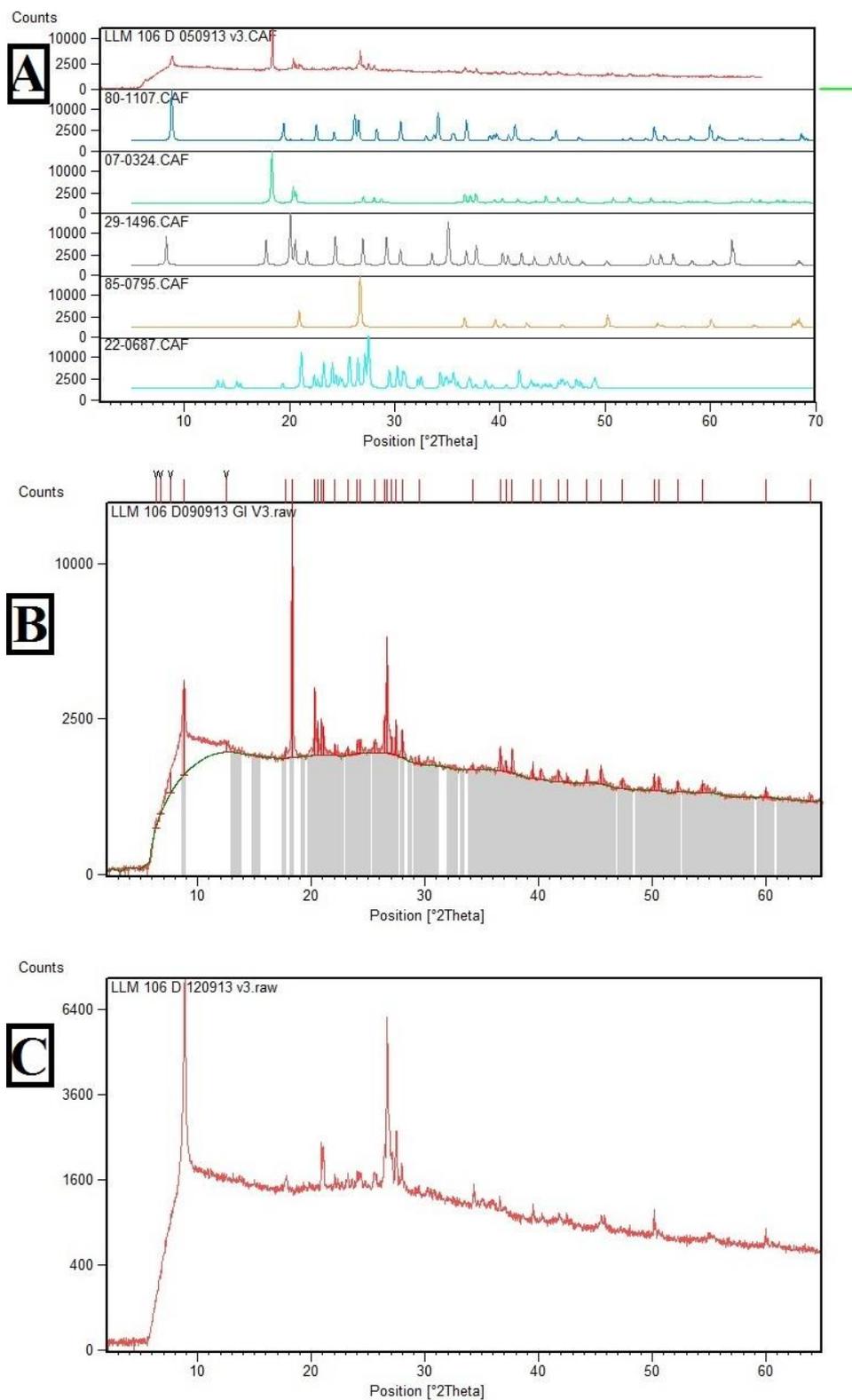
Anexo 9.12. Difratoograma da lâmina orientada da amostra 106 B. **A:** As fases da illita, caulinita, gibbsita, halloysita e quartzo respectivamente de cima para baixo. **B:** Lâmina glicolada. **C:** Lâmina aquecida.



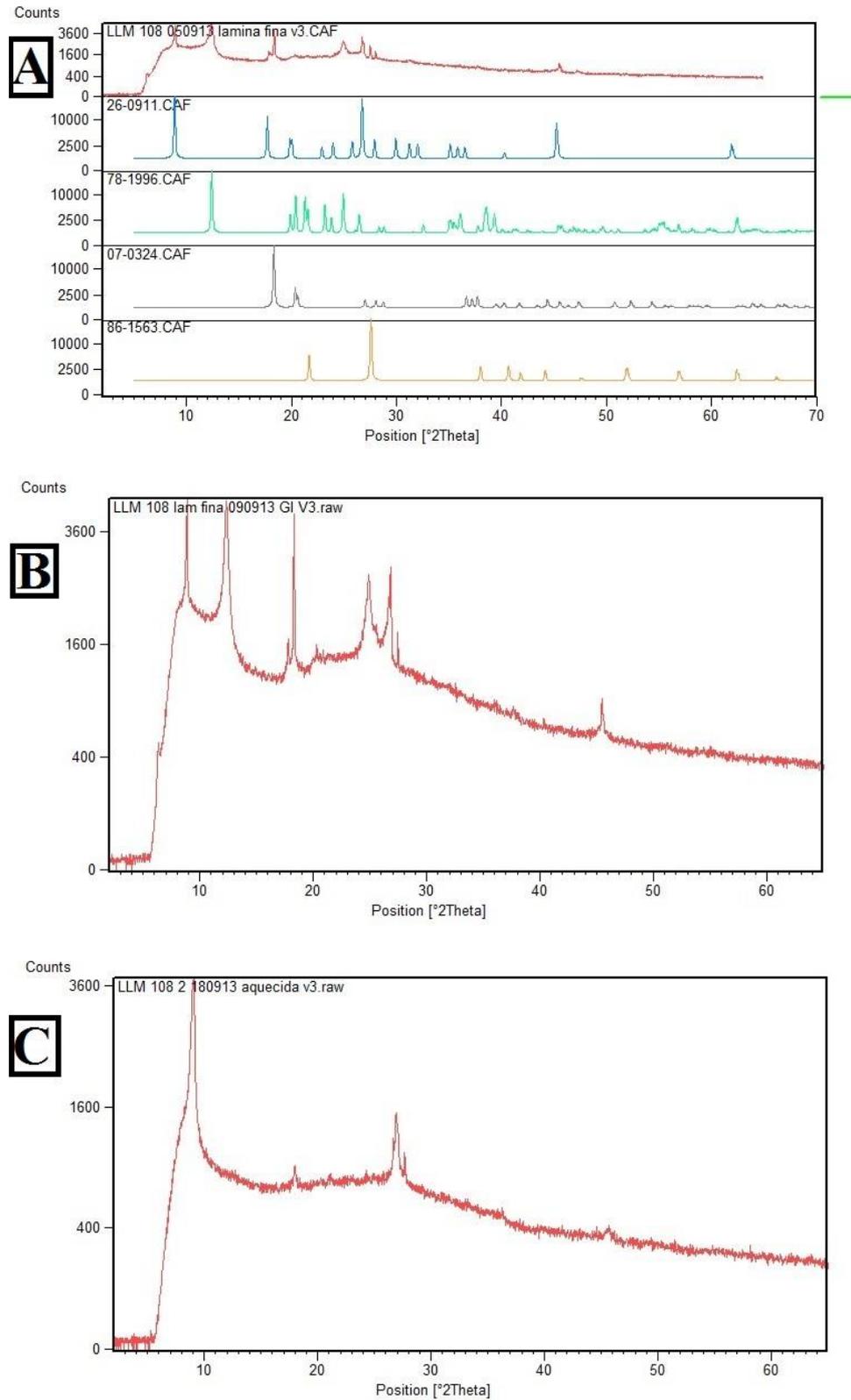
Anexo 9.13. Difratoograma da lâmina orientada da amostra 106 C. **A:** As fases da illita, caulinita, gibbsita, halloysita e quartzo respectivamente de cima para baixo. **B:** Lâmina glicolada. **C:** Lâmina aquecida.



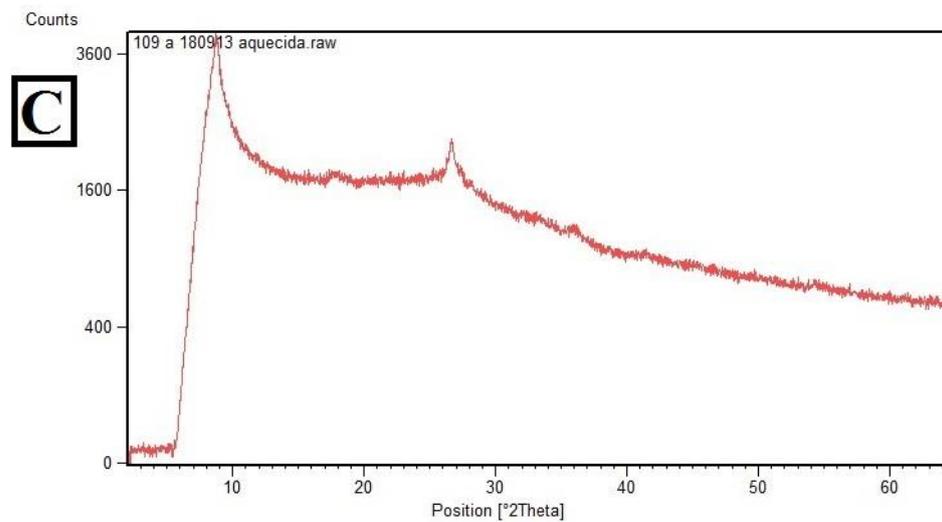
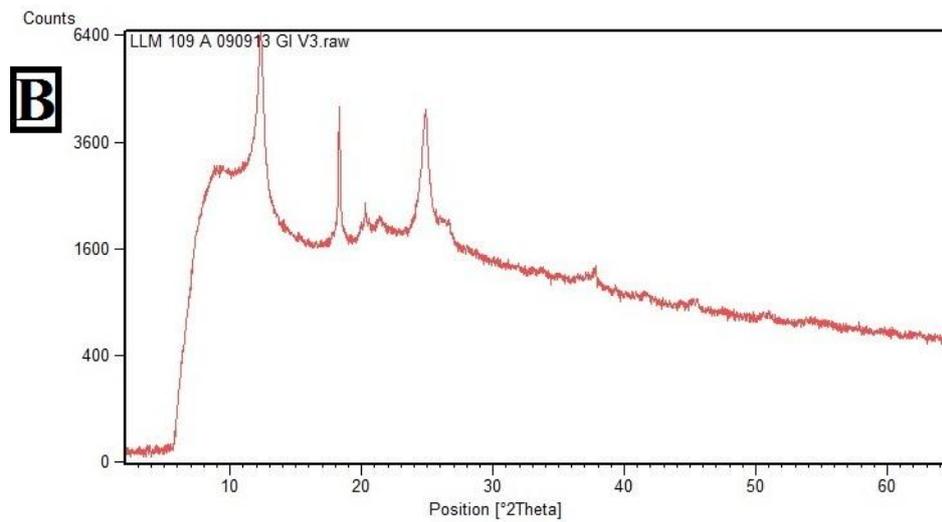
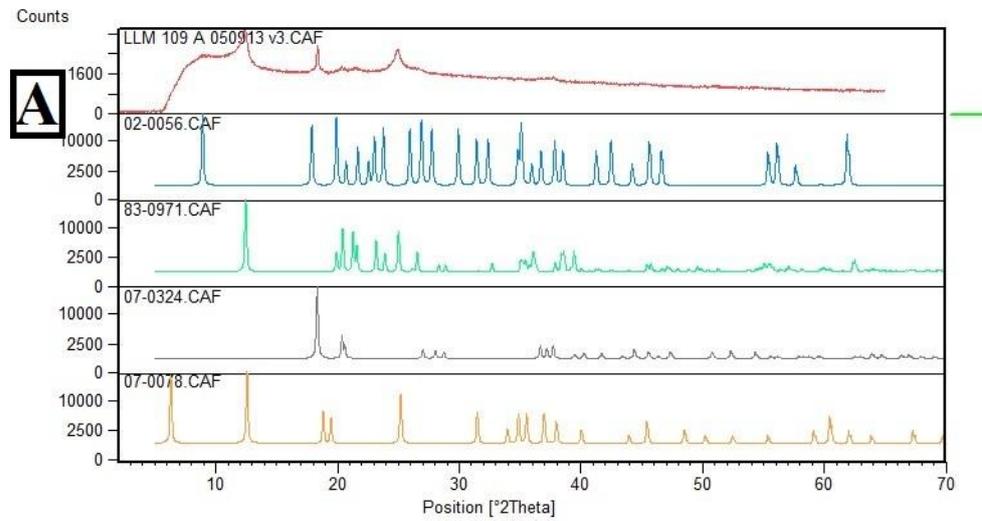
Anexo 9.14. Difratoograma da lâmina orientada da amostra 106 D. **A:** As fases da biotita, gibbsita, illita e quartzo respectivamente de cima para baixo. **B:** Lâmina glicolada. **C:** Lâmina aquecida



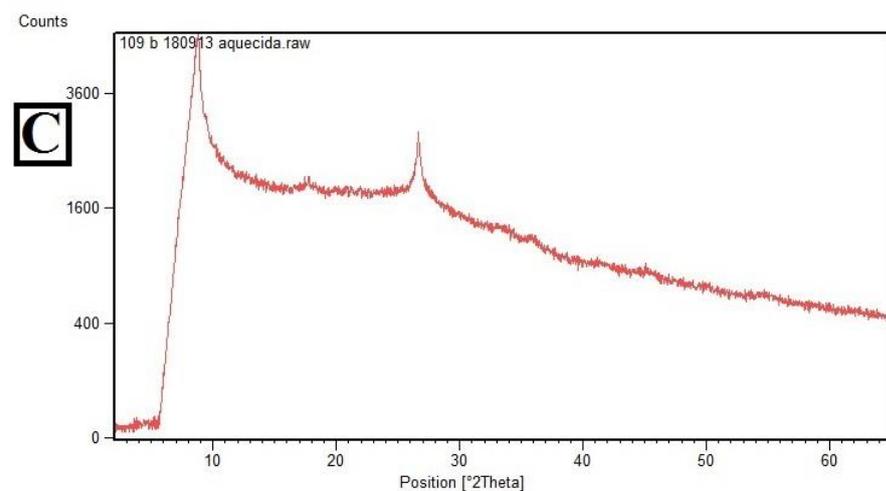
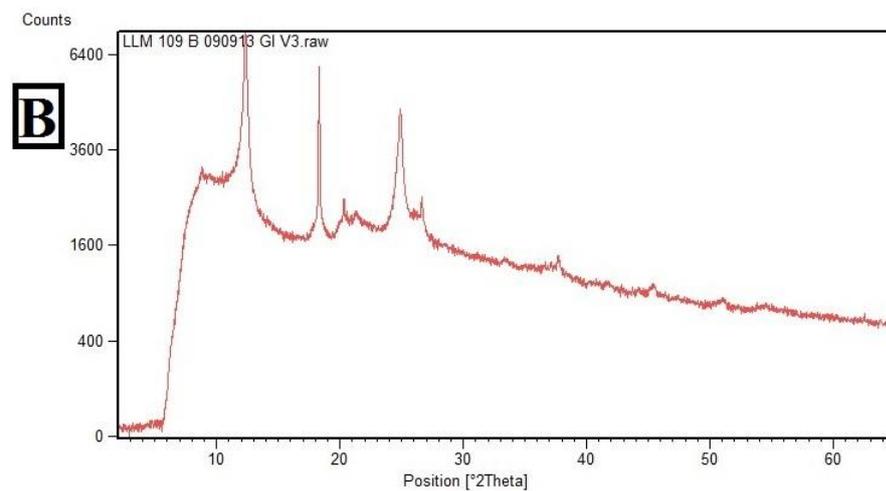
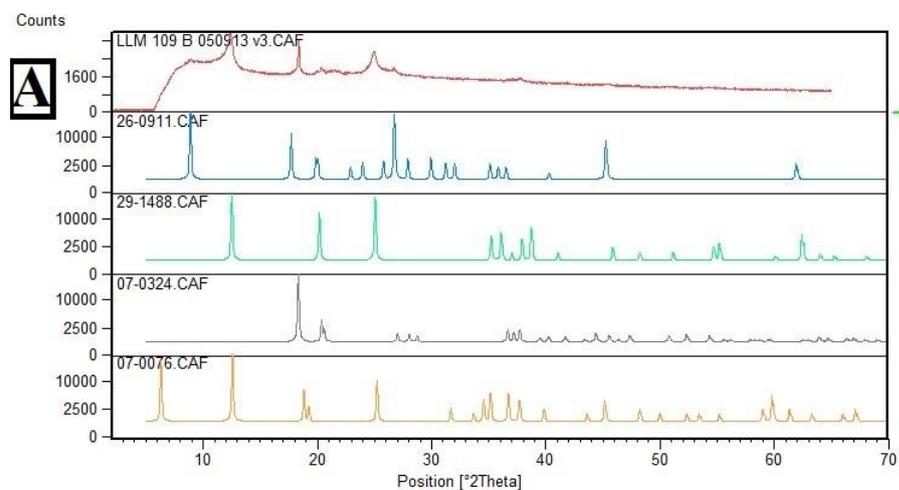
Anexo 9.15. Difratoograma da lâmina orientada da amostra 108. **A:** As fases da illita, caulinita, gibbsita e quartzo respectivamente de cima para baixo. **B:** Lâmina glicolada. **C:** Lâmina aquecida



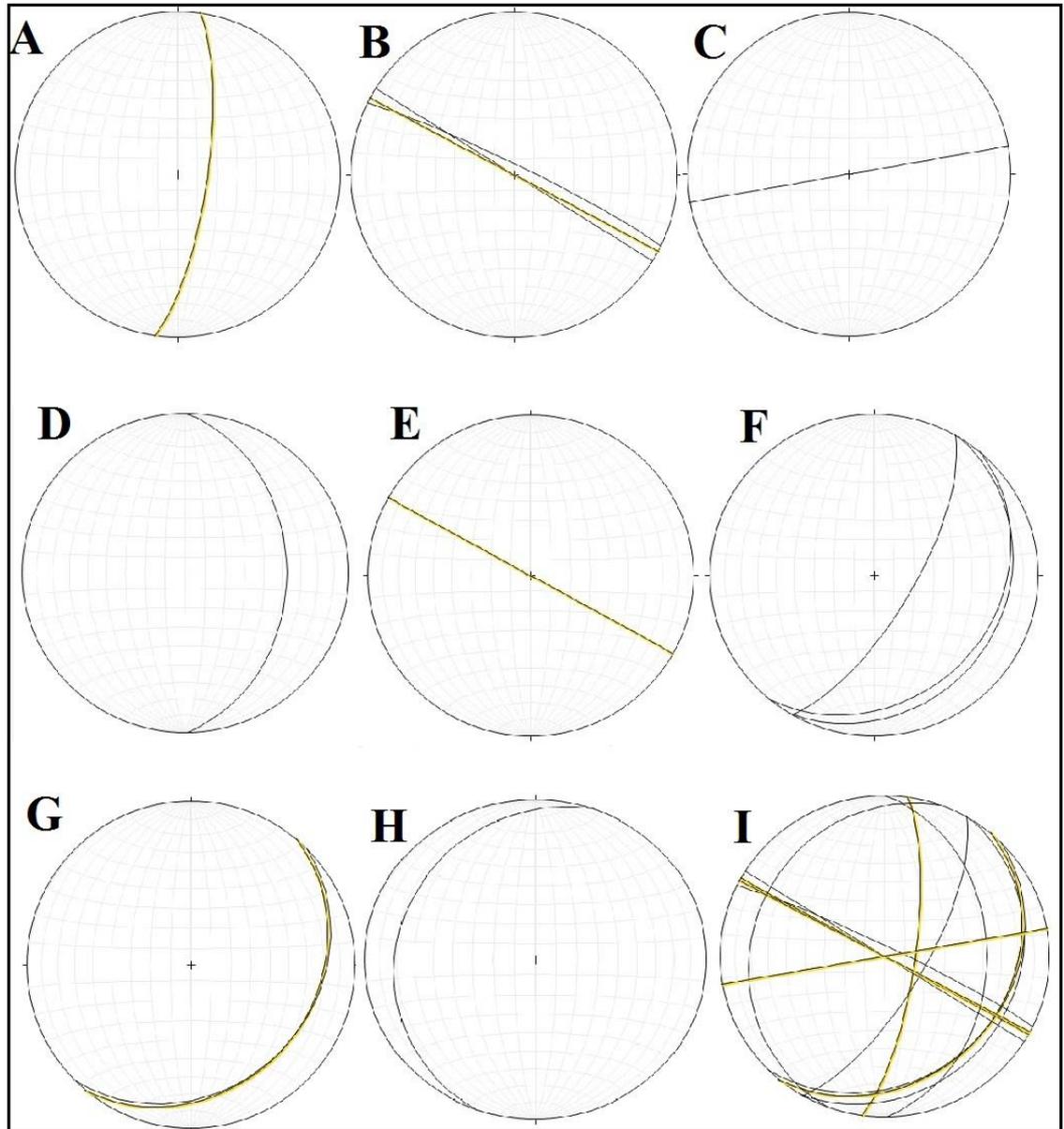
Anexo 9.16. Difratograma da lâmina orientada da amostra 109 A. **A:** As fases illita, caulinita, gibbsita e clinocloro respectivamente de cima para baixo. **B:** Lâmina glicolada. **C:** Lâmina aquecida



Anexo 9.17. Difratoograma da lâmina orientada da amostra 109 B. **A:** As fases illita, caulinita, gibbsita e clinocloro respectivamente de cima para baixo. **B:** Lâmina glicolada. **C:** Lâmina aquecida



Anexo 9.18. Representação das estruturas utilizando o Stereonet: A: Foliação Milonítica, **B:** Família de fraturas de cisalhamento 01. **C:** Família de fraturas de cisalhamento conjugado 02. **D:** Família de fraturas de cisalhamento conjugado 03. **E:** Dique diabásico. **F:** Fraturas de Resfriamento do dique. **G:** Família de fraturas de descompressão. **H:** Fraturas de alívio. **I:** Todas as representações juntas.



Fonte: MELO