

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS  
CURSO DE MESTRADO EM GEOGRAFIA**

**ESTUDO DE MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO RIO INFERNINHO E  
SUA INFLUÊNCIA NA EVOLUÇÃO DAS VERTENTES  
SOROCABA DE DENTRO - BIGUAÇU/SC**

**Edna Lindaura Luiz**

**Orientador: Prof. Dr. Joel Pellerin**

**Co-orientador: Prof. Dr. Marcelo A. Teixeira de Oliveira**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

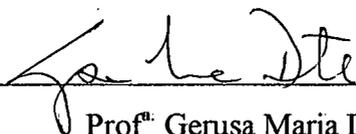
**Área de Concentração: UTILIZAÇÃO E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS**

**Florianópolis - SC, novembro de 1996.**

ESTUDO DOS MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO RIO INFERNINHO -  
SOROCABA DE DENTRO - BIGUAÇU/SC - E SUA INFLUÊNCIA NA EVOLUÇÃO DAS  
VERTENTES.

**EDNA LINDAURA LUIZ**

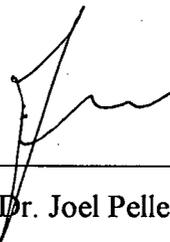
Dissertação submetida ao Curso de Mestrado em Geografia,  
concentração em Utilização e Conservação dos Recursos  
Naturais, do Departamento de Geociências do Centro de  
Filosofia e Ciências Humanas da Universidade Federal de Santa  
Catarina, em cumprimento aos requisitos necessários para a  
obtenção do grau acadêmico de Mestre em Geografia.



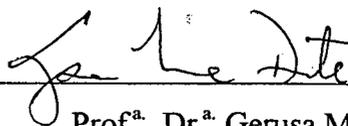
Prof<sup>a</sup> Gerusa Maria Duarte

Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Geografia

APROVADA PELA BANCA EXAMINADORA EM 18/11/1996.



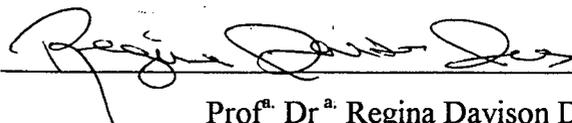
Prof. Dr. Joel Pellerin (Orientador)



Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Gerusa Maria Duarte



Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Selma Simões de Castro



Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Regina Davison Dias

## AGRADECIMENTOS

Uma dissertação de mestrado não é um trabalho solitário, ela envolve muitas pessoas na sua execução, por isso gostaria de agradecer a contribuição de algumas:

Ao Prof. Dr. Joel Pellerin, orientador deste trabalho, pelo companheirismo e amizade que permearam toda a sua orientação.

Ao Prof. Dr. Marcelo A. Teixeira de Oliveira, co-orientador deste trabalho, pelas discussões inspiradas.

Meus Orientadores me deixam seu entusiasmo por aquilo que estudam e os laços de companheirismo, surgidos muitas vezes durante os trabalhos de campo dentro de trincheiras!!

Aos amigos do Laboratório de Mecânica de Solos do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, em especial às Prof<sup>as</sup>. Glaci Trevisan Santos e Regina Davison Dias pela atenção e pela orientação nos caminhos da mecânica dos solos tropicais.

Aos bolsistas Maurício Nunes e Giuliano, alunos do Curso de graduação em Geografia da UFSC, pelo auxílio nos trabalhos de campo e pelo bom humor.

Ao Prof. Luiz Antônio Paulino e ao Geógrafo José Henrique Vilela do Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Geociências da Universidade Federal de Santa Catarina pela confecção de mapas e pela atenção.

À Prof<sup>a</sup> Neide Oliveira de Almeida pela apresentação da área de estudo, pela doação de materiais e pela confiança depositada.

Aos amigos Pedro, Manuel e Amilton pelo carinho e pelo auxílio na confecção de alguns mapas e figuras.

Aos bons amigos que sempre tive por perto para me dar colo e um bom papo, em especial ao Adelino e à Joseli (mais seus dois agregados: Marília e Vinícius) com os quais divido muitos sonhos, e ainda à Gisele, à Erika, ao Maurício, à Lilian, à Cinara, à Heloísa, ..

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| AGRADECIMENTOS .....  | ii        |
| LISTA DE FIGURAS .....  | vi        |
| LISTA DE TABELAS .....  | vii       |
| LISTA DE FOTOGRAFIAS .....  | vii       |
| LISTA DE MAPAS .....  | viii      |
| RESUMO .....  | ix        |
| RÉSUMÉ .....  | x         |
| <br>  |           |
| <b>INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>01</b> |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO I - OS MOVIMENTOS DE MASSA E SUA INFLUÊNCIA NO<br/>MODELADO DO RELEVO .....</b> | <b>02</b> |
| 1 - EVOLUÇÃO DE VERTENTES E MOVIMENTOS DE MASSA .....                                       | 02        |
| 2 - A IMPORTÂNCIA DO PROCESSO DE MOVIMENTO DE MASSA NA BACIA DO<br>RIO INFERNINHO .....     | 05        |
| 3 - ASPECTOS NATURAIS E DE USO DO SOLO NA BACIA DO RIO INFERNINHO ..                        | 13        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO II - OS MECANISMOS E OS TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA .....</b>                  | <b>23</b> |
| 1 - OS MECANISMOS ENVOLVIDOS NOS MOVIMENTOS DE MASSA .....                                  | 23        |
| 1.1- <i>O JOGO DE FORÇAS ATUANTE NA VERTENTE</i> .....                                      | 23        |
| 1.2 - <i>AS FORÇAS ATUANTES</i> .....   | 24        |
| 1.3 - <i>OS FATORES CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA</i> .....                        | 27        |
| 2 - OS TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA .....   | 29        |
| <br>  |           |
| <b>CAPÍTULO III - OBJETIVOS E METODOLOGIA UTILIZADA .....</b>                               | <b>34</b> |
| 1 - OBJETIVOS .....   | 34        |
| 1.1 - <i>GERAL</i> .....  | 34        |
| 1.2 - <i>ESPECÍFICOS</i> .....  | 34        |
| 2 - METODOLOGIA .....   | 34        |
| 2.1 - <i>PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS</i> .....   | 36        |
| 2.1.1 - <b>Escolha da Área para Estudos de Detalhe e Instrumentação</b> .....               | 36        |

|   |    |
|---|----|
| 2.1.2 - Construção de Toposseqüências .....   | 36 |
| 2.1.3 - Descrição sucinta da Metodologia dos Ensaios e Cálculos Realizados para a<br>Caracterização e Comportamento Geomecânico das Amostras Coletadas: ..... | 38 |
| 2.1.3.1 - <i>Densidade Real dos Grãos (G)</i> .....   | 38 |
| 2.1.3.2 - <i>Densidade Aparente</i> .....   | 39 |
| 2.1.3.3 - <i>Porosidade Total (n<sub>p</sub>)</i> .....   | 39 |
| 2.1.3.4 - <i>Índice de Vazios (e)</i> .....   | 39 |
| 2.1.3.5 - <i>Grau de Saturação (S)</i> .....  | 40 |
| 2.1.3.6 - <i>Índices de Atterberg</i> .....   | 40 |
| 2.1.3.7 - <i>Resistência ao Cisalhamento</i> .....  | 41 |
| 2.1.4 - <b>Análises Granulométricas</b> .....   | 42 |
| 2.1.5 - <b>Monitoramento de Alguns Aspectos Relacionados ao Funcionamento Hídrico<br/>da Vertente</b> .....   | 42 |
| 2.1.5.1 - <i>Medidas de Precipitação na Área de Estudo</i> .....  | 42 |
| 2.1.5.2 - <i>Umidade Gravimétrica</i> .....   | 43 |
| 2.1.5.3 - <i>Piezometria</i> .....  | 43 |
| <br>  |    |
| CAPÍTULO IV - RESULTADOS: ANÁLISES E DISCUSSÕES .....   | 45 |
| 1 - ESBOÇO TRIDIMENSIONAL DA VERTENTE ESTUDADA .....  | 45 |
| 2 - ORGANIZAÇÃO E NATUREZA DOS VOLUMES ENCONTRADOS NA<br>VERTENTE: .....  | 48 |
| 2.1 - <i>TOPOSSEQÜÊNCIAS LONGITUDINAIS</i> .....  | 48 |
| 2.1.1 - <b>Toposseqüência - 1. Longitudinal à Vertente Estável</b> .....  | 48 |
| 2.1.2 - <b>Toposseqüência - 3. Longitudinal ao Centro da Cicatriz de Deslizamento</b> .....   | 54 |
| 2.1.3 - <b>Toposseqüência - 2. Longitudinal ao Eixo de Drenagem Dentro da Cicatriz</b> .....  | 63 |
| 2.2 - <i>TOPOSSEQÜÊNCIAS TRANSVERSAIS</i> .....   | 64 |
| 2.2.1 - <b>Toposseqüência - 4. Transversal ao Topo da Cicatriz de Deslizamento</b> .....  | 64 |
| 2.2.2 - <b>Toposseqüência - 5. Transversal à Parte Mediana da Cicatriz de Deslizamento</b> ..   | 67 |
| 2.2.3 - <b>Toposseqüência - 6. Transversal ao Terço Inferior da Cicatriz de Deslizamento</b> ..   | 67 |
| 2.2.4 - <b>Toposseqüência - 7. Transversal à Base da Cicatriz de Deslizamento</b> .....   | 68 |
| 2.3 - <i>PERFIS DE TEXTURA DE ALGUNS PONTOS SELECIONADOS NA VERTENTE<br/>ESTÁVEL E NA CICATRIZ</i> .....  | 69 |
| 3 - <b>CARACTERIZAÇÃO E COMPORTAMENTO GEOMECÂNICO DOS VOLUMES</b> :... ..   | 72 |

|   |         |
|---|---------|
| 3.1 - <i>CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS</i> .....  | 75      |
| 3.1.1- <b>Textura</b> .....   | 75      |
| 3.1.2 - <b>Índices de Atterberg</b> .....   | 75      |
| 3.1.3 - <b>Densidade Real e Aparente</b> .....  | 78      |
| 3.1.4 - <b>Porosidade Total</b> .....   | 78      |
| 3.1.5 - <b>Relação Grau de Saturação-Umidade Gravimétrica</b> .....   | 78      |
| 3.2 - <i>PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO (COESÃO E ÂNGULO DE FRICÇÃO INTERNA)</i> .....                                       | 79      |
| 4 - <b>FUNCIONAMENTO HÍDRICO</b> .....  | 80      |
| 4.1 - <i>COMPORTAMENTO DAS PRECIPITAÇÕES DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO NA ÁREA DE ESTUDO</i> .....                                 | 80      |
| 4.2 - <i>COMPORTAMENTO DA UMIDADE GRAVIMÉTRICA NOS PERFIS</i> .....   | 84      |
| 4.3 - <i>VARIAÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS E CARGA TOTAL</i> .....  | 91      |
| 5 - <b>HIPÓTESES SOBRE A ORIGEM DA FORMA DE ANFITEATRO ESTUDADA</b> .....   | 97      |
| 6 - <b>PROPOSTA DE UM MODELO DE EVOLUÇÃO DOS ALVÉOLOS DA BACIA DO RIO INFERNINHO A PARTIR DOS PROCESSOS DE MOVIMENTOS DE MASSA</b> .... | 105     |
| <br><b>CONCLUSÕES</b> .....   | <br>109 |
| <br><b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | <br>115 |
| <br><b>ANEXOS:</b> .....  | <br>122 |
| 1- <b>Descrições de Furos de Sondagens, da Parede da Cicatriz e das Paredes das Trincheiras 1, 2 e 3</b> .....                          | 122     |
| 2- <b>Tabelas de Percentuais de Textura dos Perfis Analisados</b> .....   | 128     |

## LISTA DE FIGURAS

|  |     |
|--|-----|
| Figura nº 01 - Composição Colorida a Partir da Imagem do Satélite Landsat TM (bandas 2, 3, e 4) da Bacia do Rio Inferninho.....            | 17  |
| Figura nº 02 - Relação de Forças na Análise de Equilíbrio Limite .....   | 24  |
| Figura nº 03 - Classificação dos Movimentos de Massa como uma Função da Fração Sólida e Tipo de Material .....                             | 31  |
| Figura nº 04 - Principais Características dos Horizontes de Solos <i>in-situ</i> das Colinas Convexas de Sorocaba do Sul/Biguaçu, SC ..... | 49  |
| Figura nº 05 - Topossequências Longitudinais à Vertente.....   | 50  |
| Figura nº 06 - Detalhe da Parte Superior da Topossequência 3 .....   | 59  |
| Figura nº 07 - Topossequências Transversais à Vertente.....  | 66  |
| Figura nº 08 - Perfis de Textura .....   | 71  |
| Figura nº 09 - Caracterização Geomecânica das Amostras.....  | 74  |
| Figura nº 10 - Identificação dos Argilo-Minerais .....   | 77  |
| Figura nº 11 - Comparação entre as Médias Mensais de Precipitação e as Precipitações Ocorridas durante o Período de Monitoramento.....     | 82  |
| Figura nº 12 - Gráfico de Precipitação Diária na Área de Estudo durante o Período de Monitoramento .....                                   | 83  |
| Figura nº 13 - Perfis de Umidade.  |     |
| a) Ponto 4 .....   | 85  |
| b) Ponto 5 .....   | 86  |
| c) Ponto 7 .....   | 87  |
| d) Ponto 12 .....  | 88  |
| Figura nº 14 - Perfis de Umidades Máximas e Mínimas.....   | 90  |
| Figura nº 15 - Comparação entre a Variação dos Níveis Piezométricos e a Ocorrência de Precipitações na Área de Estudo .....                | 92  |
| Figura nº 16 - Perfis das Variações dos Níveis Piezométricos .....   | 93  |
| Figura nº 17 - Formação de Fluxo Subsuperficial, Exfiltração e Fluxo Superficial Saturado na Vertente.....                                 | 95  |
| Figura nº 18 - Limite da Rocha Alterada na Topossequência 3 Considerando o Volume de Blocos <i>in situ</i> .....                           | 102 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 01 - Textura das Amostras .....  | 73 |
| Tabela 02 - Caracterização das Amostras.....  | 73 |
| Tabela 03 - Parâmetros de Resistência das Amostras .....                                | 73 |
| Tabela 04 - Valores Extremos de Carga Total Encontrados nos Piezômetros Instalados..... | 91 |

## LISTA DE FOTOGRAFIAS

|  |         |
|--|---------|
| Foto 01 - Vertentes do compartimento de colinas da bacia do Rio Inferninho apresentando concavidades inscritas e terracetes .....                                | 06      |
| Foto 02 - Vertente do compartimento de colinas da bacia do Rio Inferninho com presença de pequenos deslizamentos ao longo de fendas provocadas por rastejo ..... | 07      |
| Foto 03 - Vertente do compartimento de morros na bacia do Rio Inferninho exibindo movimentos de massa logo após o evento de pluviosidade excepcional de nov/91 . | 07      |
| Foto 04 - Meandro abandonado do Rio Inferninho reativado durante o evento de chuvas excepcionais de novembro 1991 .....  | 08      |
| Foto 05 - Solapamento basal de vertente do compartimento de colinas pelo Rio Inferninho durante o evento de chuvas excepcionais de novembro 1991.....            | 08      |
| Fotos 06, 07, 08 - Três momentos da evolução da vertente estudada .....  | 10 a 12 |
| Foto 09 - O alvéolo onde está instalada a comunidade de Sorocaba de Dentro.....  | 19      |
| Foto 10 - Depressões fechadas nos topos das colinas do alvéolo de Sorocaba de Dentro.....  | 20      |
| Foto 11 - Visão da vertente estudada a partir do topo da elevação frontal.....   | 46      |
| Foto 12 - Corte de um solo típico da cobertura pedológica das colinas da bacia do Rio Inferninho.....  | 52      |
| Foto 13 - Visão da parede da cicatriz.....   | 56      |
| Foto 14 - Detalhe da rocha com estrutura conservada na parede da cicatriz .....  | 57      |
| Foto 15 - Visão detalhada do interior da trincheira 3.....   | 60      |
| Foto 16 - Perfil da parede da cicatriz mostrando o volume de isoalterita .....   | 65      |

**LISTA DE MAPAS**

|  |       |
|--|-------|
| Mapa 1 - Localização da Bacia do Rio Inferninho.....   | 15    |
| Mapa 2 - Geologia da Bacia do Rio Inferninho .....   | anexo |
| Mapa 3 - Mapa Geomorfológico da Bacia do Rio Inferninho.....   | anexo |
| Mapa 4 - Topografia da Vertente e Localização das Topossequências e Pontos de Coleta de<br>Amostras..... | anexo |
| Mapa 5 - Esboço tridimensional das feições da vertente.....  | anexo |
| Mapa 6 - Situação da Área de Estudo Inserida em uma Bacia de Primeira Ordem.....                         | 47    |

## RESUMO

A Bacia do Rio Inferninho/SC é uma bacia costeira que apresenta uma paisagem formada por um compartimento de colinas e outro de morros e montanhas modelados a partir de rochas pré-cambrianas do complexo metamórfico-migmatítico e da Suíte Intrusiva Pedras Grandes.

A área é muito susceptível a movimentos de massa, numerosas cicatrizes abertas e formas de anfiteatro são visíveis nas encostas. Períodos de precipitações excepcionais podem provocar deslizamentos, inclusive com reativações de antigas formas.

Visando compreender os mecanismos dos movimentos de massa que ocorrem na área, foi escolhida uma vertente, cuja forma e cobertura pedológica são representativas do compartimento de colinas, com presença de cicatrizes, para a realização de estudos de detalhe e experimentação.

Procurou-se reconhecer a organização e a natureza dos volumes da cobertura móvel, o comportamento geomecânico dos volumes e o funcionamento hídrico da vertente.

Os estudos efetuados mostraram que a organização e a natureza dos volumes e a forma da encosta são condicionantes importantes dos movimentos de massa. Os horizontes acompanham a topografia. Os volumes do solo são extremamente argilosos enquanto a alterita subjacente é siltico-arenosa. Essa descontinuidade provoca mudanças de características e comportamento geomecânico, e do comportamento hídrico.

Hipóteses como o solapamento basal da vertente pelo rio em épocas passadas, geração de poro-pressões positivas, exfiltração de fluxos, perda de coesão aparente provocada por frentes de saturação, auxiliados por fendas provenientes do movimento de rastejo, fluxos subsuperficiais, entre outros, são levantados para explicar a cicatriz inscrita na vertente.

Um modelo de evolução para a Bacia é idealizado a partir de movimentos de massa que atingiram e atingem as vertentes durante mudanças do nível do mar e de pequenas oscilações climáticas que possam ter ocorrido ao longo do Holoceno, ou até mesmo durante episódios de chuvas excepcionais. Além de causar um recuo lateral das vertentes, os movimentos de massa podem também alcançar seus topos e ocasionar-lhes um rebaixamento.

## Résumé

Le bassin côtier du Rio Inferninho/SC-Brésil, se compose d'un compartiment de collines polyconvexes et d'un ensemble montagneux, le relief étant modelé à partir des roches précambriennes du Complexe Métamorphico-Migmatitique, régionalement le plus ancien, et de la série Intrusive Pedras Grandes.

La région est sujette à des mouvements de masse. De nombreuses cicatrices vives et amphithéâtres végétalisés sont visibles sur les versants. Des périodes de précipitations exceptionnelles peuvent être à l'origine de ces glissements de terrain, certains étant des réactivations de formes plus anciennes.

Dans le but de comprendre les mécanismes originaires des diverses formes de glissements, fut choisi un versant dont les formes et la couverture pédologique sont représentatifs du compartiment de collines et présentant des cicatrices de glissement. Y furent effectuées des études de détail sur l'organisation et la nature de la couverture meuble ainsi que des mesures sur le comportement géomécanique et hydrique des sols et altérites sous-jacentes.

En conclusion, des hypothèses sont proposées pour expliquer l'origine de la cicatrice inscrite dans le versant étudié, entre autres, le sapement basal du versant par la rivière à des périodes anciennes, les variations de charge hydraulique provoquant des variations de potentiel matriciel, l'écoulement en pression de nappe de pied de versant, la perte de cohésion apparente provoquée par un front de saturation alimenté par des fentes liées au creeping, l'existence d'écoulement subsuperficiels.

Enfin, un modèle d'évolution des versants est proposé pour l'ensemble du bassin, à partir des mouvements de masse dont ont pu faire l'objet les versants durant les périodes de variations du niveau marin, les petites oscillations climatiques de l'Holocène ou lors d'épisodes de pluies exceptionnelles. Ces mouvements de masse, outre de provoquer un recul latéral des versants, peuvent, atteignant les points les plus élevés du relief, contribuer à un abaissement généralisé du paysage.

## INTRODUÇÃO

O processo de movimento de massa é muito atuante na Bacia do Rio Inferninho, principalmente durante episódios de chuvas excepcionais, por isso o objeto deste estudo constitui-se no conhecimento dos mecanismos de movimentos de massa e seu papel na evolução das vertentes da bacia, mais especificamente no seu compartimento de colinas na localidade de Sorocaba de Dentro - Biguaçu/SC.

Os movimentos de massa são um processo muito eficaz na modificação rápida da paisagem, contudo a combinação de fatores condicionantes para desencadear esses movimentos não se dá de forma regular no ambiente como acontece com outros processos geomorfológicos, como o processo de escoamento pluvial superficial em clima úmido por exemplo. A sua ocorrência em um determinado ambiente pode ser muito esporádica e imprevisível.

Por esse motivo, neste trabalho partiu-se para o estudo em detalhe de uma vertente que já apresentava cicatrizes de movimentos de massa. Esta é uma vertente representativa do compartimento de colinas policonvexas presentes na bacia.

Para compreender a forma de cicatriz inscrita na vertente foi realizado um reconhecimento da organização e da natureza dos volumes que formam a cobertura móvel da parte estável da vertente e dos volumes que preenchem a cicatriz maior, comparando-os. Em seguida, ensaios de caracterização geomecânica foram feitos em amostras dos volumes da cobertura pedológica e do interior da cicatriz, visando reconhecer comportamentos diferenciados em relação a pressões e à água.

Um acompanhamento de alguns elementos do funcionamento hídrico da vertente foi também realizado, como as alturas piezométricas e os respectivos potenciais totais de pressão de pontos situados na base da vertente e a umidade gravimétrica no perfil até a profundidade de 5.0 m para pontos situados: no topo e meia encosta e no interior da cicatriz. O monitoramento desses elementos é importante para a análise "in loco" do comportamento das condições hídricas na vertente, pois sabe-se que não basta apenas ter dados sobre o comportamento geomecânico dos materiais sem levar em conta as condições da água no seu interior ao longo do tempo.

A partir da análise dos dados levantados e da observação de mecanismos atuantes em outras vertentes da bacia, são descritas algumas hipóteses sobre os mecanismos envolvidos na formação da cicatriz inscrita na vertente, sendo também elaborada uma proposta sobre a evolução dos alvéolos da Bacia do Rio Inferninho com destaque para os movimentos de massa.

## CAPÍTULO I

### OS MOVIMENTOS DE MASSA E SUA INFLUÊNCIA NO MODELADO DO RELEVO.

#### 1 - EVOLUÇÃO DE VERTENTES E MOVIMENTOS DE MASSA

Vertente é uma superfície inclinada do terreno, não horizontal, porém considerando os processos modeladores do relevo terrestre que interagem para formá-la, pode-se defini-la como: uma forma tridimensional modelada por processos de denudação presentes e passados e que representa a ligação dinâmica entre o interflúvio e o fundo do vale (DYLIK, 1968, *apud* CHRISTOFOLETTI, 1980).

O sistema de vertente apresenta sua evolução condicionada, entre outros aspectos, aos “inputs” externos ao sistema, tais como as chuvas. Ao se adaptar a esses “inputs”, modificam-se os mecanismos responsáveis pela dinâmica da água na sua superfície e no seu interior, as características intrínsecas dos materiais das suas formações superficiais, os processos erosivos atuantes e a sua forma. Modificando-se apenas uma dessas características da vertente, **todo o sistema se reorganiza buscando um novo estado de equilíbrio dinâmico** (CHRISTOFOLETTI, 1980).

As variações climáticas são geralmente consideradas na literatura geomorfológica como capazes de provocar significativas modificações no equilíbrio das vertentes, principalmente a partir da mudança da quantidade e regime de precipitações e da temperatura. Modificando a quantidade de água que chega ao sistema a partir das precipitações e a quantidade de energia térmica, modificam-se a cobertura vegetal, o tipo e o grau de intemperismo das rochas, os processos pedológicos e erosivos na vertente. Tais mudanças acabam modificando toda a paisagem ao longo do tempo. BIGARELLA *et al.* (1965), estudando as características de depósitos de colúvio e a compartimentação topográfica no Sul do Brasil, apresentam a possibilidade da existência de flutuações climáticas durante o quaternário para climas semi-áridos. Nessas mudanças, toda a paisagem adaptada a um clima úmido se modifica: a cobertura vegetal luxuriante é substituída por outra mais aberta e que deixa o solo mais exposto; a ocorrência de

chuvas concentradas promove, entre outros processos de erosão areolar, a atuação de movimentos de massa que eliminam de forma rápida o manto de alteração e colaboram no recuo das vertentes, contribuindo para o aparecimento de formas como pedimentos e pediplanos na paisagem.

IIDA e OKUNISHI (1983) colocam que o processo de movimento de massa é o mais eficiente para o desenvolvimento rápido das vertentes, apesar de ocorrer mais esporadicamente que o processo de escoamento pluvial superficial em clima úmido, pois pode mobilizar uma grande quantidade de materiais por episódio erosivo.

A ocorrência de chuvas excepcionais em dezembro de 1995 no sul do Estado de Santa Catarina, mais precisamente nos municípios de Timbé do Sul e Jacinto Machado, desencadearam uma grande quantidade de movimentos de massa nas vertentes da Serra Geral, modificando a paisagem em poucas horas (PELLERIN *et al.*, 1996). As vertentes anteriormente vegetadas e que possuíam solo raso, atualmente exibem afloramentos rochosos, enquanto os vales e as planícies se encontram recobertos por um manto de detritos que inclui muitos blocos de rochas.

Fato semelhante também ocorreu no litoral paulista em 1967, mais especificamente na área de Caraguatatuba, onde como diz CRUZ (1974), as vertentes da Serra do Mar literalmente “descascaram” e a lama tingiu o mar de vermelho, com troncos “forrando” a praia.

Durante o Encontro do Quaternário do Sul do Brasil em 1975, foi já discutida a manifestação de movimentos de massa catastróficos em eventos pluviométricos excepcionais dentro de climas úmidos (BIGARELLA e BECKER, 1975).

Desta forma, apenas pequenas modificações periódicas na quantidade de chuvas em clima úmido podem ocasionar movimentos de massa e modificar as vertentes, como o episódio de Jacinto Machado e Timbé do Sul citado anteriormente, que precisou apenas de três horas de duração para modificar a paisagem, principalmente as planícies e os fundos de vale. BROOKS (1994) chega a relacionar intensidade e duração de chuvas à ocorrência de diferentes tipos de movimentos de massa na Escócia ocidental, em vertentes com solos do tipo podzol.

Para THOMAS (1994), a ocorrência atual de movimentos de massa, principalmente nas regiões tropicais de clima úmido, expressam pequenas alterações externas e internas do sistema de vertente, modificando as paisagens tropicais em longos espaços de tempo. MONDENESI

(1988) trabalhando com as formas de anfiteatros e de “lombas” e seus depósitos correlativos no Planalto de Campos de Jordão, aponta os movimentos de massa como processos ativos no passado recente e na atualidade, modelando a paisagem da área.

A esse processo natural de evolução de vertentes a longo prazo, cada vez mais passa a estar associada a **interferência do homem**, através da ocupação dessas vertentes por atividades agro-pastoris, por construções, entre outras, quebrando o equilíbrio dinâmico natural do sistema. COLÂNGELO (1990) verificou que após a implantação do lago da Barragem de Paraibuna em São Paulo, as vertentes marginais perderam suas condições naturais de equilíbrio dinâmico, pois novas condições hidrodinâmicas foram introduzidas no sistema pela ação humana. Tais vertentes possuíam condições naturais geradas pela evolução do perfil de intemperismo das rochas e pelo desenvolvimento do solo que forneciam resistência ao sistema, inclusive aos segmentos mais íngremes, sendo que processos erosivos do tipo movimentos de massa estavam associados apenas a precipitações excepcionais. A implantação do lago de barragem provocou um grande número de movimentos de massa na área sem que tenham ocorrido condições de precipitações anormais.

A resistência que as vertentes apresentam em relação aos movimentos de massa é fruto de um jogo de forças, que em última análise representa uma adaptação dinâmica ao seu próprio meio ambiente. FERNANDES (1990) argumenta que os estudos sobre ruptura de solos devem abordar não só as características mecânicas das diferentes formações superficiais que constituem a vertente, como também sua forma e sua dinâmica hidrológica, pois muitas vezes a ruptura em uma vertente não se dá necessariamente na camada menos resistente do ponto de vista mecânico, mas sim onde as condições hídricas forem as mais adversas. A forma da vertente foi uma importante condicionante verificada por OLIVEIRA e MEIS (1985) para o aparecimento de voçorocas no Médio Vale do Paraíba do Sul, destacando-se sua ocorrência nas formas côncavas em planta e perfil preenchidas por colúvios.

A manifestação de movimentos de massa pode modificar a organização e o funcionamento hídrico dos materiais da vertente (FURIAN, 1994), bem como a sua forma. Para AVELAR e COELHO NETTO (1991), os movimentos de massa são responsáveis pelo desenvolvimento de concavidades suspensas nas vertentes do Médio Vale do Paraíba do Sul, no Município de Bananal-SP.

As modificações provocadas pelos movimentos de massa podem ser geradas, muitas vezes, de maneira rápida (grandes deslizamentos). Os deslizamentos produzem feições íngremes (parede da cicatriz) e diminuem o gradiente de segmentos a jusante através da deposição do material deslizado, preenchendo irregularidades da superfície. As cicatrizes formam zonas preferenciais de concentração de fluxos e geração de outros processos erosivos, como ravinas e voçorocas (MOYERSONS, 1991; OLIVEIRA, 1992).

A análise dos depósitos e feições produzidas na vertente pelo processo de movimento de massa pode permitir o conhecimento dos períodos de morfogênese e pedogênese pelos quais passou a referida vertente, bem como as condições ambientais a que ela estava submetida em cada período (BIGARELLA *et al.*, 1965; MEIS e MOURA, 1984, MONDENESI, 1988). Pode também indicar a sua susceptibilidade em relação a novos processos de movimento de massa e portanto, a sua conseqüente evolução futura.

## 2 - A IMPORTÂNCIA DOS MOVIMENTOS DE MASSA NA BACIA DO RIO INFERNINHO

São comuns as cicatrizes de movimento de massa inscritas nas vertentes tanto das serras como das colinas na área de Sorocaba de Dentro (médio vale do Rio Inferninho), contudo a maioria delas se encontra suavizada e vegetada formando anfiteatros. Nas vertentes cobertas por pastagens surgem feições de terracetes acompanhadas, nos períodos com menores quantidades de precipitação, de fendas de contração no terreno. (Fotos 1 e 2).

Segundo depoimentos de moradores, as cicatrizes surgem a partir de processos de movimento de massa quando a quantidade de precipitação é elevada, sendo comum a reativação de antigas cicatrizes. Em episódios pluviométricos excepcionais, ocorrem também enchentes nas planícies, onde se associa ainda o seu entulhamento pelo material que desce das encostas através dos processos de movimentos de massa e escoamento pluvial superficial.

Essa dinâmica foi documentada através de fotografias pela prof<sup>a</sup>. Neide O. De Almeida, durante o período de chuvas excepcionais ocorrido na área em novembro de 1991. Como conseqüência dessas chuvas excepcionais na Bacia do Rio Inferninho, mais especificamente na localidade de Sorocaba de Dentro, ocorreram muitos movimentos de massa, provocando o

aparecimento e a reativação de inúmeras cicatrizes nas vertentes, enquanto formaram-se vários depósitos colúvio-aluvionares na planície, onde o Rio Inferninho já estava ocupando seu leito maior. (Fotos 3, 4 e 5).

Os registros recentes de ocorrências de movimento de massa na área mais as evidências de sua existência no passado próximo através da presença de concavidades inscritas nas vertentes, ressaltam a importância desse processo geomorfológico na evolução da paisagem do local.

A partir da importância tomada pelo processo morfogenético do tipo movimento de massa na dinâmica geomorfológica dessa área, define-se a questão central deste projeto: o conhecimento dos mecanismos que desencadeiam esses movimentos de massa na área, e sua importância na evolução do modelado do relevo dos pequenos alvéolos da Bacia do Rio Inferninho.

A localidade de Sorocaba de Dentro (Distrito de Sorocaba do Sul-Biguaçu/SC) encontra-se instalada em um pequeno alvéolo da Bacia, onde a paisagem é marcada por dois compartimentos geomorfológicos: as serras e os morros cobertos por mata, e as colinas cobertas em sua quase totalidade por pastagens e/ou cultivos. Nas vertentes íngremes do compartimento de serras, os movimentos de massa observados parecem ser rasos e do tipo corrida de terra, enquanto nas vertentes das colinas, algumas cicatrizes parecem mais profundas, contudo demandam um estudo mais acurado.



Foto 01 - Vertentes do compartimento de colinas da bacia do Rio Inferninho apresentando concavidades inscritas e terracetes.



Foto 02 - Vertente do compartimento de colinas da bacia do Rio Inferninho com presença de pequenos deslizamentos ao longo de fendas provocadas por rastejo.



Foto 03 - Vertente do compartimento de morros na bacia do Rio Inferninho exibindo movimentos de massa logo após o evento de pluviosidade excepcional de novembro de 1991.



Foto 04 - Meandro abandonado do Rio Inferninho reativado durante o evento de chuvas excepcionais de novembro 1991.



Foto 05 - Solapamento basal de vertente do compartimento de colinas pelo Rio Inferninho durante o evento de chuvas excepcionais de novembro 1991. Observe que após o fenômeno de erosão formou-se, na margem fluvial, um depósito de material colúvio-aluvial.

Essa área vem sendo alvo de inúmeros estudos, iniciados por ALMEIDA em 1982, seguido por um estágio do Curso de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, ministrado pelos Professores R. BOULET, J. PELLERIN, A. RUELLAN, S. CASTRO, J.P. de QUEIROZ NETO, P. CURMI, a partir de 1988; além de monografia de conclusão de curso em Geografia (CARDOSO, 1995), que trata das perdas de solo e de sua fertilidade em consequência do escoamento superficial; dissertação de mestrado em Geografia (WOLFF, 1995) tendo uma abordagem do ponto de vista da análise ambiental da área; uma tese de doutoramento em andamento (BELTRAME, A.), que pretende contribuir para o conhecimento da dinâmica hídrica da cobertura pedológica do compartimento de colinas da bacia.

Em função do conhecimento já acumulado sobre o alvéolo onde está instalada a localidade de Sorocaba de Dentro e de ser esta uma paisagem representativa dos pequenos alvéolos interiores da Bacia do Rio Inferninho, foi aí escolhida uma vertente do compartimento de colinas com presença de cicatrizes para o estudo mais aprofundado dos movimentos de massa.

O estudo detalhado na vertente escolhida parte do ponto de vista de que se está trabalhando com a forma herdada de um processo que já aconteceu, apesar da ocorrência de reativações junto ao topo em épocas de precipitações elevadas, segundo documentação fotográfica dos anos de 1988, 1991, 1994 e 1995. (Fotos 06, 07 e 08).

O caráter esporádico desse processo não permite um monitoramento do seu mecanismo de ocorrência, sendo possível, porém, obter algumas explicações a partir do conhecimento da natureza e da organização dos materiais na porção estável da vertente e no interior da cicatriz, bem como do funcionamento hídrico nessas duas porções. O objetivo desse procedimento é esclarecer os mecanismos de atuação dos movimentos de massas geradores das cicatrizes presentes na área de estudo.

**Fotos 06, 07, 08 - Três momentos da evolução da vertente estudada:**



Foto 06 - Em Agosto de 1988, a vertente possuía uma forma de anfiteatro inscrita, com apenas uma pequena reativação de sua parede.

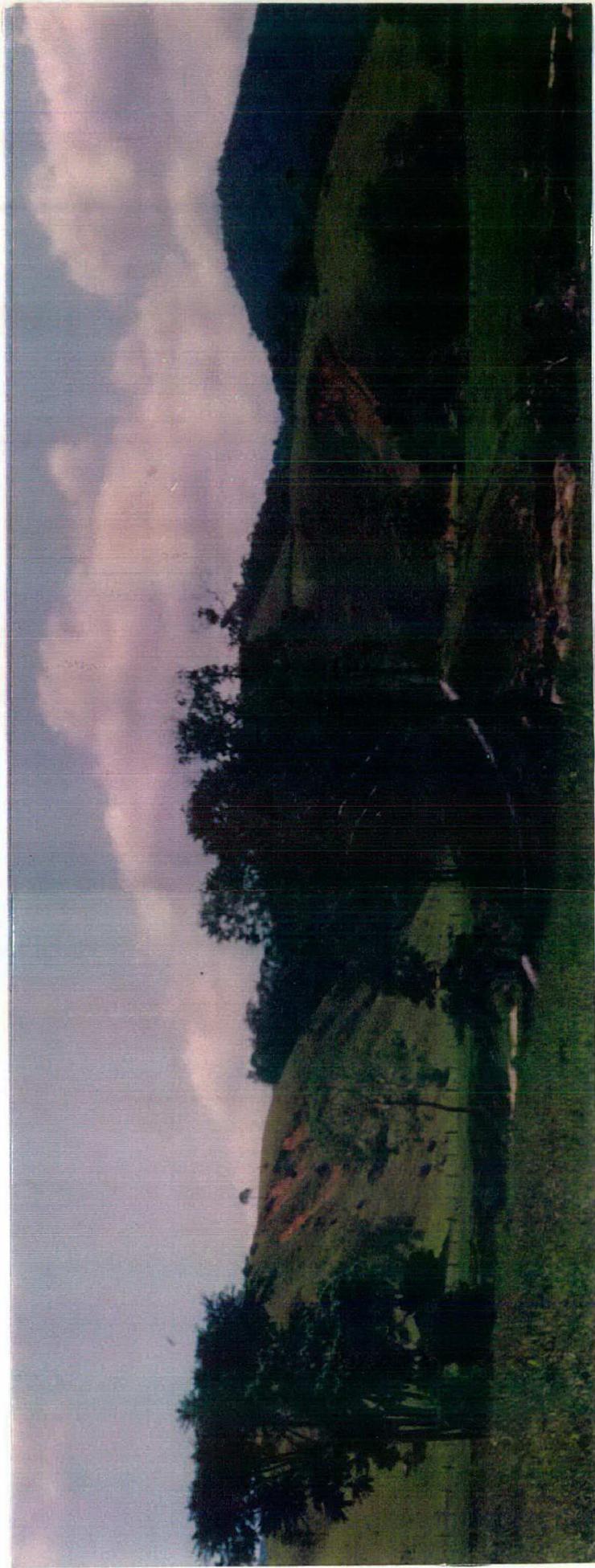


Foto 07 - A vertente após ter sofrido reativação de sua parede durante o evento de chuvas excepcionais de novembro 1991. Observe o depósito de material ao pé da vertente em análise e os movimentos de massa que ocorreram junto ao topo da vertente da frente.



Foto 08 - Visão da vertente em estudo em Maio 1995, com solo exposto na parede superior da forma de anfiteatro e abertura de uma cicatriz menor na base da vertente.

### 3 - ASPECTOS NATURAIS E DE OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO RIO INFERNINHO

A Bacia do Rio Inferninho é uma bacia costeira inserida na Região Geomorfológica Serras do Leste Catarinense (SANTA CATARINA, 1986), estando situada entre as coordenadas de 27° 19'12" e 27° 24'48" lat. S e 48° 34'06" e 48° 50'07" Long. W, aproximadamente. (Mapa 1).

O Rio Inferninho nasce na Serra da Boa Vista a 860 m de altitude, no limite entre os municípios de Biguaçu e São João Batista e deságua na Enseada de Ganchos, Município de Governador Celso Ramos. A bacia encontra-se em quase toda a sua totalidade nos limites do Município de Biguaçu, contudo seu baixo curso faz parte dos municípios de Governador Celso Ramos e Tijucas. O Rio Inferninho tem cerca de 25 km de extensão e seu baixo curso foi retificado e canalizado.

Os terrenos da bacia têm como substrato rochas do Complexo Metamórfico-Migmático, formadas durante o Ciclo Orogênico Brasileiro e rochas graníticas tardi-tectônicas da Suíte Intrusiva Pedras Grandes, ambas de idade pré-cambriana. No Jurássico, ocorreram reativações de antigos falhamentos do embasamento permitindo a intrusão do magma basáltico, e conseqüentemente a formação de diques de diabásios (TRAININI *et al.*, 1978). (Mapa 2 em anexo).

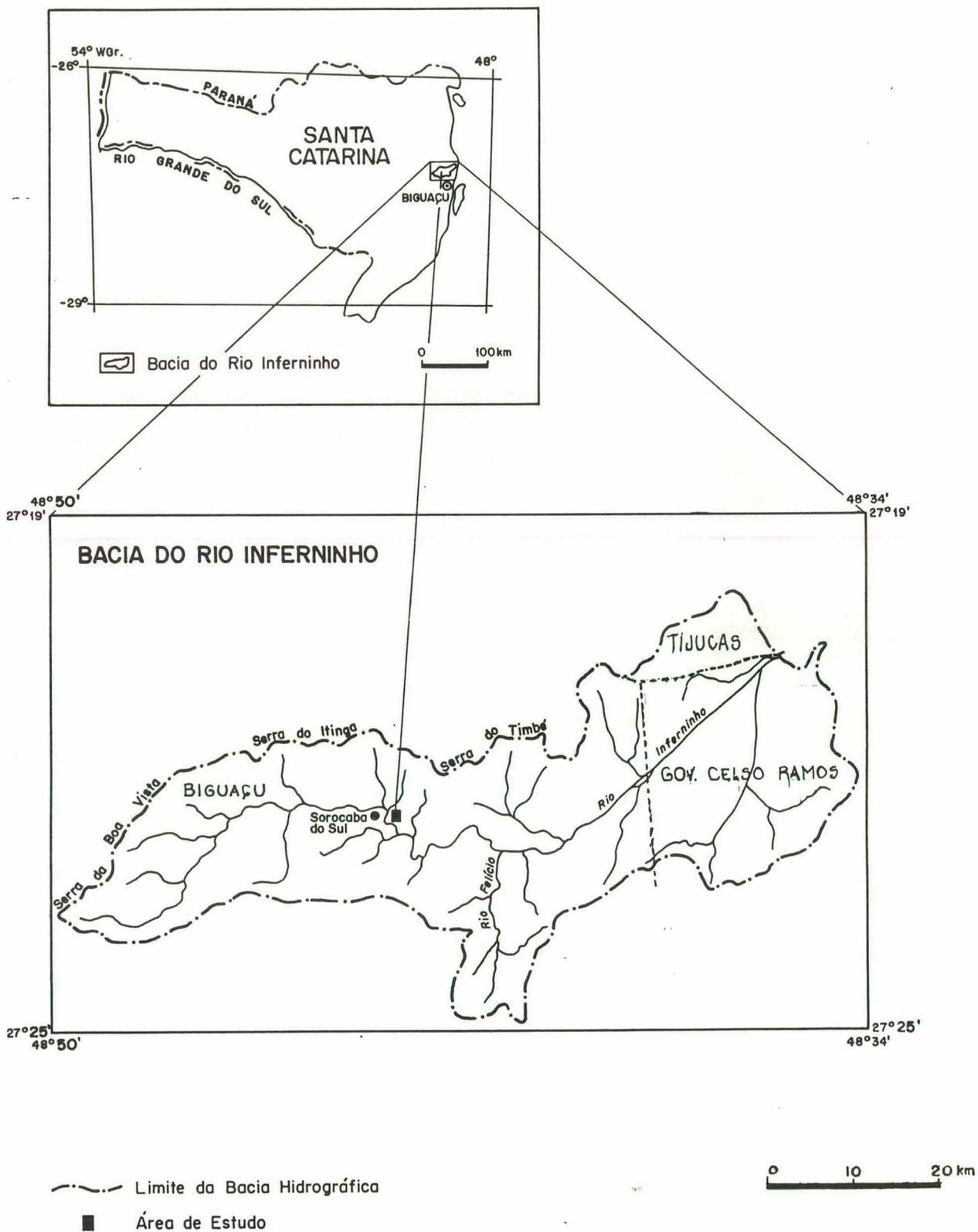
O Complexo Metamórfico-Migmatítico se apresenta muito heterogêneo tanto do ponto de vista petrográfico como estrutural, enquanto a Suíte Intrusiva Pedras Grandes é relativamente mais homogênea nesses aspectos. A falta de um mapa geológico de detalhe para a área, pois a maior escala de mapeamento disponível é 1:50.000, não permite uma localização mais precisa de mantos de alteração com composição diferenciada, lineamentos, bandeamentos e outros aspectos que poderiam influenciar as formas e processos modeladores do relevo, como a ocorrência de movimentos de massa, por exemplo.

O Complexo Metamórfico-Migmatítico compõe os terrenos do alto e do médio vale do Rio Inferninho e, segundo TRAININI *et al.* (1978), está dividido em:

- Metatextitos: são rochas metamórficas formadas a partir de fusão parcial *in situ* mais aquelas que evoluíram por metassomatose e anatexia incipiente e que, em determinada fase, foram

injetadas por neossoma granítico. Possuem estruturas variadas, contudo as principais são do tipo agmatítica, estromatítica e dobrada. Os dobramentos estão mascarados em função da intensidade da migmatização regional. A grosso modo, os sinformes e antifomes possuem eixos orientados segundo a direção NE.

### MAPA 01 - LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO RIO INFERNINHO



Em função de sua gênese, apresentam diferentes composições petrográficas relacionadas a paleossomas e neossomas. Os paleossomas são de origem ígnea e predominantemente de natureza intermediária à básica, formados por anfibolitos, quartzo-dioritos, dioritos, microgranodioritos, microquartzo dioritos, biotita-gnaisses e biotita-hornblenda-gnaisses e mais raramente por metadioritos, metagabros, microdioritos, metadiabasitos e metabasaltos.

Os neossomas são formados predominantemente por veios ou bolsões quartzo-feldspáticos de espessura variada.

- Diatexitos: Rochas formadas no final do evento tectônico, possuindo estrutura maciça. São rochas granitóides com cores claras em tons de cinza, com granulação variando de fina a grossa, predominantemente porfiríticas, isotrópicas. Mineralogicamente são constituídas por quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, biotita e/ou hornblenda, sendo observadas também concentrações biotíticas.

No baixo curso do Rio Inferninho, o embasamento é formado pelas rochas graníticas da Suíte Intrusiva Pedras Grandes. Estas rochas graníticas apresentam uma composição com quimismo mais alcalino, com cor cinza a rosa, textura equigranular média a grossa. Possuem um contato gradacional com as rochas do Complexo Metamórfico-Migmático (TRAININI *et al.* 1978). Contudo, observando-se imagens de satélite LANDSAT TM verifica-se uma diferença no grau de dissecação entre o Complexo Metamórfico e a Suíte Intrusiva Pedras Grandes na Bacia do Rio Inferninho. Os terrenos formados pela Suíte Intrusiva Pedras Grandes se apresentam mais dissecados, com maior número de lineamentos. (Figura 01).

Os lineamentos encontrados na Bacia do Rio Inferninho são de duas direções predominantes: NE-SW e NW-SE. Muitos segmentos de cristas e vales seguem a orientação estrutural, com esporões cristalinos seccionando os vales e formando alvéolos. As rupturas de declive ao longo dos cursos fluviais sustentadas por linhas de falhas e/ou diferenças nas litologias promovem níveis de base locais limitados por rápidos e corredeiras, como é o caso do salto do Rio Inferninho situado a montante da localidade de Sorocaba do Sul (ALMEIDA, 1982).

Os níveis de base locais permitem a retenção de sedimentos em planícies aluviais alveolares e a contenção relativa da incisão do talvegue a montante. Nas planícies alveolares, o Rio Inferninho começa a meandrar sobre depósitos de sedimentos aluviais e coluviais. Tais sedimentos são resultantes dos processos de intemperismo e de esculturação do relevo ao longo

do Quaternário, sendo constituídos por camadas e lentes argilosas, silticas e arenosas, podendo apresentar níveis conglomeráticos e cascalheiras intercaladas, no caso dos depósitos de origem aluvial, e por sedimentos pouco selecionados e sem estratificação correspondentes aos depósitos de encosta.

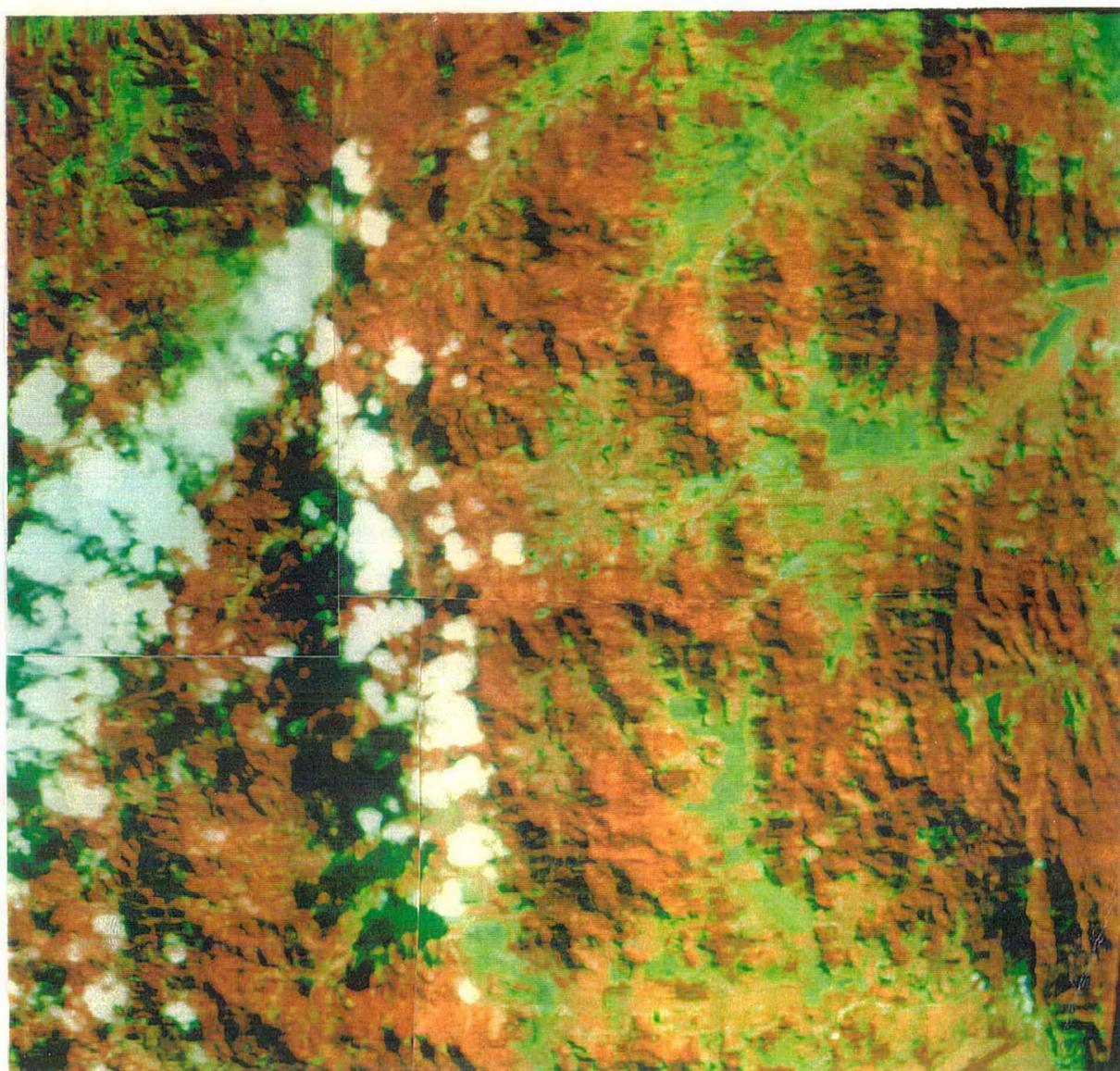


Figura nº01 - Composição colorida a partir da imagem do satélite Landsat TM (bandas 2, 3, e 4). No centro da foto, observa-se os terrenos do Complexo Metamórfico-Migmatítico (com o alveólo onde está instalado a localidade de Sorocaba de Dentro) apresentando uma estrutura mais maciça, poucos lineamentos e vales mais amplos do que os terrenos constituídos pelas rochas da Suíte intrusiva Pedras Grandes à direita na foto.

A presença de minerais com baixa resistência ao intemperismo em clima úmido, como os anfibólios, as micas, e os feldspatos, favorecem a geração de mantos de alteração espessos nas áreas de migmatitos, principalmente onde ocorrem os paleossomas dos metatexitos, pois são predominantemente de natureza intermediária à básica. Geralmente estas rochas são a matriz dos mantos de alteração mais siltosos encontrados na área. Por outro lado, os lugares com substrato formado por rochas de composição mais quartzo-feldspáticas, como os neossomas graníticos e os diatexitos com estrutura mais maciça, apresentam mantos de alteração mais arenosos, pois são relativamente mais resistentes ao intemperismo.

O manto de alteração espesso favorece o poder de incisão dos cursos fluviais e processos areolares mais profundos nas vertentes. Contudo, o relevo da bacia se caracteriza pela presença de serras com vertentes côncavas íngremes e altitudes em torno de 500 m, como as serras da Boa Vista, do Itinga, do Cabo Frio, com modelado de dissecação em montanhas e outeiros. (Mapa 03 em anexo). Segundo HERRMANN e ROSA (1991), a dissecação em montanhas possui vales encaixados, interflúvios angulosos, vertentes com diferentes graus de declividade e amplitudes altimétricas superiores a 200 metros, enquanto a dissecação em morraria possui vales pouco encaixados, vertentes convexo-côncavas e amplitudes altimétricas inferiores a 200 metros. Provavelmente, os processos erosivos nesses modelados foram mais intensos do que os processos de alteração das rochas. É possível identificar depósitos de colúvios, e mais especificamente do tipo cones de dejeção, localizados junto ao sopé de algumas elevações e entulhando as calhas fluviais. Algumas vezes, estes depósitos não são apenas constituídos por argilas, siltes, areias e cascalhos, mas também por matacões e blocos de rocha alterada.

Junto às planícies aluviais, ocorrem áreas com modelado mais rebaixado, formando um compartimento de colinas policonvexas, conseqüência da maior intensidade de atuação dos processos lineares e areolares de esculturação do relevo. A presença de concavidades inscritas nas vertentes dessas colinas demonstra que os processos areolares têm atuação significativa nesse modelado durante o Holoceno, acompanhados por um maior poder de incisão do Rio Inferninho nos sedimentos que preenchem o fundo do vale, sendo evidenciado pela presença de níveis de terraço. (Foto nº 09). Datação efetuada ( $C_{14}$  - GIF-8573) em troncos de árvores encontrados nos sedimentos arenosos do fundo do vale permite avaliar que esses depósitos são recentes, cerca de  $2.140 \pm 55$  anos A.P. (PELLERIN *et. al.*, 1995).

É comum a ocorrência de depressões fechadas (doliniformes) nos topos das colinas policonvexas da Bacia. Sua origem ainda é controversa, contudo existe a hipótese de que sejam formadas a partir de processos de transformação geoquímica e exportação de substâncias, com hidromorfização dos volumes da cobertura pedológica dos topos e acúmulo de manganês em profundidade, ou seja, no limite superior da rocha alterada com estrutura conservada. Uma dessas depressões fechadas se encontra preenchida por água durante todo o ano (BELTRAME *et al.*, 1991; BOULET *et al.*, 1991). (Foto n<sup>o</sup> 10).

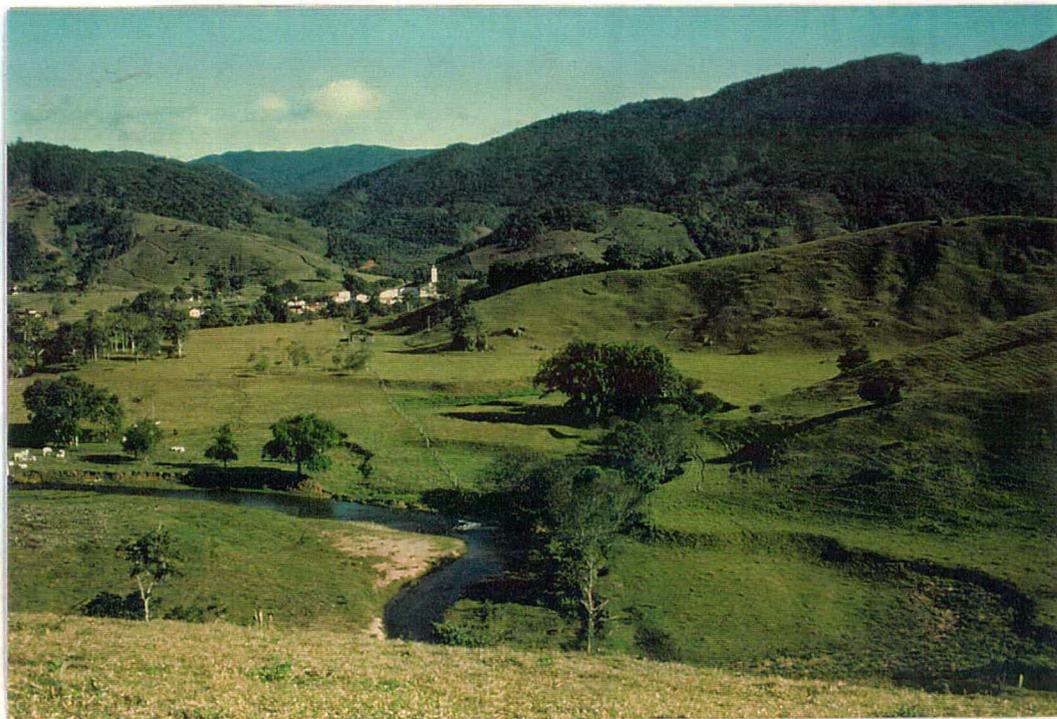


Foto 09 - O alvéolo onde está instalada a comunidade de Sorocaba de Dentro (Distrito de Sorocaba de Fora). Nota-se a presença de um compartimento de morros e montanhas ao fundo, um compartimento de colinas policonvexas mais próximas da planície, um nível de terraço bem marcado na paisagem e o leito do Rio Inferninho. À esquerda na foto, observa-se outro nível de terraço próximo ao canal.

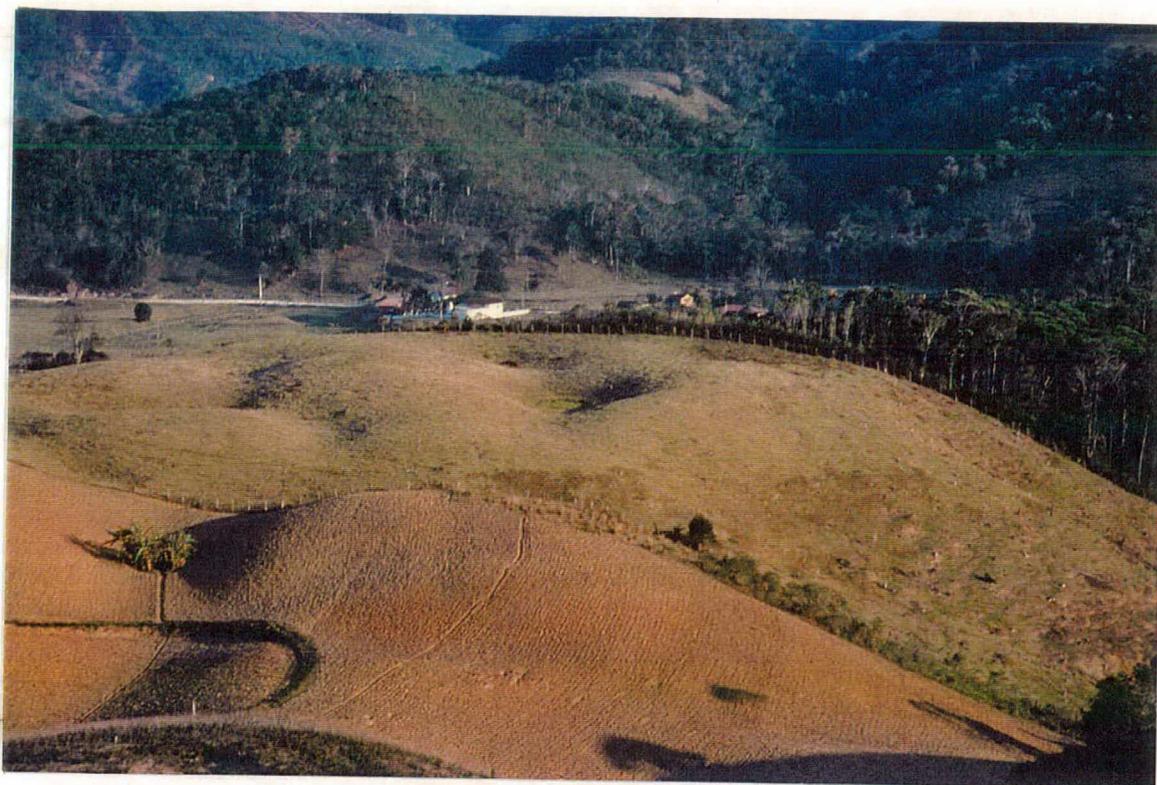


Foto 10 - Depressões fechadas nos topos das colinas do alvéolo de Sorocaba de Dentro.

Perto da foz do Rio Inferninho dominam os terrenos formados por planícies de influência flúvio-marinha e marinha.

Nas planícies aluviais, segundo o Levantamento de Reconhecimento de Solos do Estado de Santa Catarina realizado pela Superintendência de Desenvolvimento do Sul (SUDESUL) e pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM) (1973), desenvolvem-se solos hidromórficos do tipo glei, ou seja, um solo argiloso, com horizontes do tipo “A/C”, com cores acinzentadas em função da presença de ferro reduzido, normalmente sem incremento de argila do horizonte A para o C e podendo esses teores se manterem constantes ao longo de todo perfil ou até decrescer. Já nos compartimentos de colinas e serras, o solo encontrado é do tipo podzólico vermelho-amarelo com horizonte B textural e textura muito argilosa, sendo relativamente profundo, cerca de um metro e meio, apesar da variação segundo a declividade do terreno. Possui boa estruturação, drenagem e aeração, mas do ponto de vista de fertilidade são ácidos e com baixa CTC (capacidade de troca catiônica).

O clima a que está submetida a Bacia é do tipo Cfa, segundo a classificação de Köppen (SANTA CATARINA, 1986), de zona intermediária subtropical, com chuvas bem distribuídas ao longo do ano, apresentando médias anuais de 1700 - 1800 mm. As temperaturas médias ficam entre 24 e 18° C, respectivamente nos meses mais quentes e mais frios. Contudo, a influência do relevo nas áreas de nascentes do Rio Inferninho (compartimento de serras e morros) pode modificar a quantidade de umidade e a temperatura e, principalmente, os totais e a frequência de chuvas. As precipitações provavelmente serão mais intensas nessas áreas em função do fator orográfico.

Em função da posição da bacia, ou seja, em latitudes médias e próximo ao litoral, a ocorrência de precipitações está condicionada ao sistema de circulação atmosférica, com as massas de ar tropicais e frias controlando sua intensidade e frequência. O caráter frontal das precipitações pode provocar a ocorrência de chuvas excepcionais (ALMEIDA, 1982), como o episódio citado anteriormente ocorrido em novembro de 1991, quando alcançaram a altura de 321.1 mm em 63 horas (dados da Estação Meteorológica do Aeroporto Hercílio Luz, em Florianópolis), ficando concentrados 154,1 mm em 07 horas, enquanto a precipitação média do mês de novembro para Florianópolis apenas fica em torno de 112 mm. Essas chuvas excepcionais são responsáveis por episódios de maior intensidade dos processos erosivos na bacia, contribuindo para a esculturação do relevo.

As condições ambientais reinantes no interior da bacia permitem o desenvolvimento de uma vegetação natural do tipo Floresta Tropical de Encosta Atlântica (KLEIN, 1978). Esse tipo de vegetação encontra-se ausente em muitos trechos da bacia ou está em seus estágios intermediários de sucessão ecológica (capoeirinha, capoeira, capoeirão e mata secundária). Tal situação é decorrente da exploração madeireira, cuja maior importância ocorreu no início do século, permanecendo porém como atividade econômica na área até a década de 80 (WOLFF, 1995). Concomitantemente, foram sendo implantadas atividades agropecuárias, principalmente no compartimento de colinas.

Ao trabalhar com a caracterização física e de uso do solo da Bacia do Rio Inferninho, objetivando delimitar unidades de manejo ambiental, ALMEIDA (1982) constatou que nos pequenos alvéolos da bacia:

—→ “As matas predominantemente secundárias se restringem à alta encosta...a agricultura se instalou na baixa e média encosta. O sistema de roças, com rotação de terras e curto período de pousio, tem acelerado a ação dos processos morfogênicos nas encostas. Assim, a produtividade agrícola diminui e em consequência as áreas de cultivo são abandonadas...ou substituídas por pastagens...” pág. 81.

Essa forma de uso do solo caracteriza a paisagem da localidade de Sorocaba de Dentro. CARDOSO (1995), estudando uma de suas encostas, verificou perdas de solo e de fertilidade sob o cultivo de mandioca através da ação do escoamento pluvial concentrado. A profundidade dos sulcos erosivos causados pelo escoamento pluvial concentrado está limitada à camada arável. A ação desse processo erosivo é observada apenas nas áreas cultivadas sobre vertentes que ultrapassam 20° de declividade (CARDOSO, 1995 e depoimento oral do Prof. Dr. Joel Pellerin).

## CAPÍTULO II

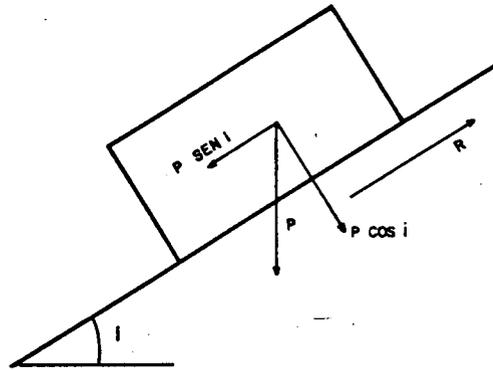
### OS MECANISMOS E OS TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA

#### 1 - OS MECANISMOS ENVOLVIDOS NOS MOVIMENTOS DE MASSA

Considerados como um processo geomorfológico, os movimentos de massa podem ser definidos como transferências de massas de solos ou de rochas, ou ambas, vertente abaixo seguindo a componente da gravidade e sem a participação, neste transporte, de água corrente, vento ou gelo. (CROZIER, 1986; ROMITO ALMEIDA, s.d.; FINLAYSON e STATHAN, 1980; GUIDICINI e NIEBLE, 1976). Pode-se incluir, nesse processo, desde o deslocamento lento de materiais de vertentes de pequena inclinação até a queda livre de blocos rochosos em vertentes íngremes.

##### 1. 1 - *O JOGO DE FORÇAS ATUANTES NA VERTENTE*

A tendência normal dos materiais sobre a superfície da Terra é seguir a atração gerada pela força da gravidade em direção ao interior do planeta. Assim os lugares que oferecem menor resistência à gravidade são geralmente aqueles com cotas altimétricas mais baixas e com superfícies planas horizontais, ou seja, aqueles com energia potencial menor. Contudo, a superfície da Terra apresenta muitos terrenos inclinados e até mesmo verticais, pois se encontra incessantemente submetida aos processos modeladores internos e externos do relevo, como orogenias, vulcanismos, dissecação fluvial, erosão eólica, entre outros. Sendo assim, os materiais constituintes das vertentes com diferentes inclinações estão submetidos a um jogo de forças que os mantém em equilíbrio. (Figura nº 02).



onde:  $i$  - inclinação e  $p$  - peso

Figura nº.02 - Relação de forças na análise de equilíbrio-limite  
(segundo Guidicini e Nieble, 1976)

Estas forças são a força de cisalhamento, comandada pela gravidade, sendo a força aplicada que pode gerar ruptura, e a resistência ao cisalhamento, influenciada pelas características intrínsecas dos materiais constituintes da vertente, permitindo à vertente obter coesão e fricção interna. Antes da ruptura iminente, o valor da resistência se iguala ao valor da força de cisalhamento; nesse momento é atingida a máxima resistência do material, porém quando a força de cisalhamento excede a resistência ao cisalhamento haverá movimento vertente abaixo (RUHE, 1975). Isto ocorre quando a resistência dos materiais da vertente diminui, ou quando a força de cisalhamento aumenta, ou ainda quando ambas as situações se verificam. Diversos são os fatores que modificam os valores dessas forças no sistema de vertente, porém em primeiro lugar é necessário entender como são geradas tais forças e conseqüentemente os fatores que as influenciam.

## 1.2 - AS FORÇAS ATUANTES

A força de cisalhamento depende da interação da força da gravidade atuando em um dado ponto considerado com a massa do material, mais a declividade da superfície. Portanto, considerando-se que a força da gravidade é relativamente constante, a força de cisalhamento variará em função dos dois últimos fatores. Já a resistência ao cisalhamento depende das características intrínsecas dos materiais que constituem a vertente, os quais apresentarão coesão e fricção interna de acordo com sua natureza e/ ou modificações externas ao sistema de vertente,

como as precipitações que geram saturação nos solos e diminuem a coesão e até mesmo a fricção interna destes materiais (TERZAGHI, 1952, CARSON, 1969; VARGAS, 1977; RUHE, 1975; FINLAYSON e STATHAM, 1980; COLÂNGELO, 1990).

**S > T vertente estável**                      onde **S = resistência ao cisalhamento e**  
**S = T vertente instável**                      **T = força de cisalhamento**  
**S < T situação de Ruptura**

A “equação modificada de Coulomb” ( VARGAS, 1977) expressa este jogo de forças:

$$S = c + (\gamma.z.\cos^2 i - u) \operatorname{tg} \phi$$

onde: S = resistência ao cisalhamento,

c = coesão

$\gamma$  = peso específico aparente do material

z = profundidade do plano de ruptura

i = ângulo da vertente

$\phi$  = ângulo de atrito interno

u = pressão neutra da água, determinada a partir da altura coluna de água acima do ponto considerado e pela unidade de peso da água.

$$T = \gamma.z \operatorname{sen} i.\cos i$$

onde: T = força de cisalhamento

$\gamma$  = densidade do material

z = profundidade do plano de ruptura

i = ângulo da vertente

As superfícies inclinadas das vertentes formam um ângulo agudo com a vertical, determinando a direção da força gravitacional. A atuação da força gravitacional pode ser dividida em duas componentes, uma agindo segundo a direção da superfície inclinada da vertente para retirar as partículas do solo, apresentando um caráter cisalhante, enquanto a outra componente age no sentido da reta normal à superfície da vertente gerando peso aos materiais das formações superficiais da vertente e, portanto, imprimindo resistência a esses materiais. Deste modo, o valor da força gravitacional que atua em uma dada partícula do solo é função direta da sua carga

sobrejacente. Esta carga sobrejacente, através da força peso, colabora na fricção entre as partículas do solo.

A fricção ( $S$ ) é diretamente proporcional à força normal ( $\sigma$ ), sendo que a razão entre elas é o coeficiente de fricção ( $S/\sigma$ ). Essas forças são ortogonais (vide figura 2) e portanto o coeficiente de fricção é igual à tangente do ângulo formado entre a força resultante e a normal, chamado ângulo de fricção interna efetivo ( $\phi'$ ). O ângulo de fricção interna aliado à coesão fornecida pela atração eletrostática entre as partículas do solo sustentam a força de resistência ao cisalhamento dos materiais constituintes das vertentes.

A fricção interna é uma característica intrínseca dos materiais e não só uma componente geométrica do jogo de forças atuantes na vertente. É gerada pelo atrito provocado entre as partículas do material sob o peso de uma carga sobrejacente (a qual pode ser o peso dos materiais acima desse ponto), sendo tanto mais forte quanto maiores forem as irregularidades e as asperezas dos grãos, por isso um solo arenoso apresentará uma fricção interna relativamente maior do que um solo argiloso (partículas maiores, como areias mal selecionadas e cascalhos apresentam, portanto, maior fricção interna entre seus grãos). Assim, variações em profundidade do tamanho das partículas, asperezas de suas superfícies, sua mineralogia e diferentes densidades alteram o ângulo de fricção interna (BROOKS e RICHARDS, 1993). Trata-se de uma entidade de natureza mecânica que auxilia na estabilidade da vertente (COLÂNGELO, 1990).

DE PLOEY *et al.* (1978), realizando ensaios de caracterização geomecânica dos materiais constituintes das formações superficiais das vertentes da Serra do Mar (Caraguatatuba/SP) e da Serra da Mantiqueira, chegaram à conclusão que o valor da soma da quantidade de silte, argila e óxidos (fração SAF) é inversamente proporcional aos valores do ângulo de atrito interno e do índice de plasticidade.

A coesão é independente da força normal aplicada (reação ao peso) ou da força cisalhante (FINLAYSON e STATHAM, 1980); sua natureza é química, pois resulta da interação eletrostática entre as partículas carregadas do solo (partículas coloidais de argilo-minerais e óxidos, por ex.) e também destas com a água contida nos micro-poros, proporcionando poro-pressões negativas. Está relacionada a quantidade de água, de materiais finos contidos no solo (silte, argila e óxidos) e ao tipo de argilo-mineral. Pode ser dividida em coesão verdadeira e aparente: a coesão verdadeira está relacionada com os minerais inalterados da rocha, pois estes se

encontram fundidos e/ou cimentados, e poderá diminuir apenas através do processo de intemperismo. Por outro lado, a coesão aparente é encontrada nos mantos de solo e regolito, produzida pelas ligações entre as partículas destes materiais (CROZIER, 1986). Alguns autores descrevem a coesão aparente somente para as ligações que envolvem a água, pois elas desaparecem quando os poros dos materiais das formações superficiais das vertentes estão parcialmente ou totalmente saturados.

Segundo COLÂNGELO (1990), um sistema de vertente em sua evolução, a partir da atuação dos processos morfogenéticos em clima úmido, tende naturalmente a um equilíbrio relativo de seus diferentes segmentos. Assim, setores retilíneos mais arenosos de média encosta sustentam sua resistência ao cisalhamento através da fricção interna entre suas partículas. Em outras palavras, a maior parte da resistência será sustentada, neste caso, através da interação mecânica das partículas. Já setores mais argilosos de baixa encosta têm, em sua maior parte, a resistência ao cisalhamento gerada através da coesão entre suas partículas (em condições de drenagem normal), portanto sendo a resistência de natureza química mais importante neste caso.

Este autor também cita um ajustamento para o perfil de desenvolvimento do solo (com gradiente textural), pois o horizonte pedológico mais argiloso, em especial o horizonte B, apresenta boa resistência baseada na coesão, e com ângulos de fricção pouco discrepantes em relação ao horizonte mais arenoso de alteração próximo da rocha. Este, por sua vez, compensa a sua pouca quantidade de finos através da alta atividade de seus tipos de argilo-minerais (ainda pouco intemperizados e lixiviados), os quais podem também absorver boa quantidade de água antes de romper-se.

### 1.3 - OS FATORES CONDICIONANTES DOS MOVIMENTOS DE MASSA:

CROZIER (1986) em seu trabalho sobre deslizamentos, relaciona alguns fatores que interferem na estabilidade das encostas, influenciando no aumento da força de cisalhamento e/ou na diminuição da coesão e/ou da fricção dos materiais.

O intemperismo pode ser relacionado como uma causa de longo termo para a desestabilização dos materiais constituintes da vertente, na medida em que provoca a transformação da rocha dura e coesa em regolito (CARSON e KIRKBY, 1972; SELBY, 1982;

FINLAYSON e STATHAM, 1980; CROZIER 1986). Os minerais primários da rocha são transformados através do intemperismo químico principalmente, ocorrendo a retirada em solução de alguns elementos químicos e formação de minerais secundários com menor grau de coesão. Juntas, diáclases, fraturas são as primeiras a serem atingidas pelo intemperismo provocando o desligamento de partes da rocha do restante do conjunto. Com a continuada atuação dos processos intempéricos e de formação do solo, a massa de regolito adquire uma resistência adaptada ao seu meio ambiente, através do arranjo entre seus grãos e de ligações eletrostáticas entre as partículas sólidas e entre estas e a água; contudo, esta nova resistência adquirida não se compara àquela da rocha sã.

Deste modo, algumas das causas que afetam a resistência ao cisalhamento das formações superficiais da vertente são aquelas que lhes causam um colapso coesivo, como é o caso da condição de saturação do material, gerando poro-pressões positivas e diminuindo a coesão, e até a fricção, através da diminuição da ação da força normal como observado anteriormente na equação de resistência ao cisalhamento.

THOMAS (1994) comenta que a água é uma das causas mais atribuídas aos deslocamentos de massa nas vertentes que apresentam espessos mantos de alteração em áreas tropicais. Isto se justifica em função da coesão aparente gerada nesses materiais pelo fenômeno de sucção e que desaparece em condições de saturação. Tal saturação se dá a partir de elevadas quantidades de precipitações ou das precipitações concentradas que ocorrem nas áreas tropicais.

Durante chuvas continuadas e/ou excepcionais, forma-se uma frente de umedecimento seguida de uma possível zona de saturação (SANTOS e GUIMARÃES, 1992) que penetra no interior das formações superficiais da vertente, e dependendo do conteúdo de umidade de cada camada, provoca uma perda de sua coesão aparente com conseqüente redução da resistência ao cisalhamento desse material. A mudança de permeabilidade entre as camadas das formações superficiais pode aumentar a possibilidade de saturação dos materiais da vertente. CRUZ (1974) relaciona a formação de lençóis de água suspensos entre as discontinuidades dos horizontes A e B e a rocha alterada e entre a rocha alterada e a rocha sã, como possíveis zonas de ruptura dos escorregamentos que atingem as vertentes da Serra do Mar em Caraguatatuba/SP, particularmente aqueles que atingiram a área em 1967. WOLLE e CARVALHO (1995), monitorando as encostas da Serra do Mar durante um ano e meio através da instalação de pluviômetro, piezômetros, e tensiômetros, verificaram que o lençol freático nunca alcançou as

camadas superficiais da vertente, mas as tensões de sucção responsáveis por uma parcela da coesão dos materiais se apresentaram muito reduzidas ao longo de episódios pluviométricos de média e curta duração, principalmente quando havia a ação combinada dessas chuvas com outras precedentes.

Outra causa que pode ser citada é a atuação de vibrações geradas por terremotos ou por ações humanas que quebram o equilíbrio de vertentes que contenham alto teor de água e de finos. DE PLOEY *et al.* (1978) comentam que no final da estação das chuvas na Serra do Mar, um primeiro grande movimento de massa pode provocar uma certa sismicidade local e a partir disto desencadear outros movimentos de massa menores (escorregamentos de terra).

A força de cisalhamento, segundo CROZIER (1986), pode ser aumentada pelo acréscimo de peso em um determinado ponto da vertente, o qual pode ser gerado pelo transporte de materiais de montante, resultante da ação humana através da realização de obras (como aterros, barragens, rodovias) e dos processos erosivos. Também o aumento da declividade do terreno pode instabilizar os materiais constituintes da vertente, isto pode ocorrer pela atuação conjunta de processos erosivos, como a atuação de movimentos de massa anteriores, solapamento basal provocado pela erosão fluvial ou marinha, entre outros, e por atividades humanas (obras de engenharia, por ex.). Essas causas modificam a geometria das forças atuantes no equilíbrio das vertentes.

## 2 - TIPOS DE MOVIMENTOS DE MASSA

Os diferentes tipos de movimentos de massa refletem as condições ambientais locais, onde podem variar a natureza e a distribuição dos materiais, a declividade da vertente, a quantidade e a distribuição das precipitações, entre outras. Contudo, pode-se dividir esses diferentes tipos de movimentos entre aqueles com característica de fluxo e aqueles que apresentam uma superfície de ruptura definida (TERZAGHI, 1952; FINLAYSON e STATHAN, 1980; THOMAS, 1994).

Tal diferenciação pode estar associada ao conteúdo de água presente nos materiais das formações superficiais das vertentes. Além de erodir superficialmente, a água tem também a capacidade de se infiltrar na massa do solo e modificar suas características físicas (RUHE, 1975).

O solo pode apresentar diferentes estados físicos, e conseqüentemente diferentes comportamentos mecânicos, de acordo com o teor de água que possui. Assim, quando disperso em água se comporta como um líquido. Se perder uma certa quantidade de água, porém permanecendo ainda com seus poros saturados, poderá se encontrar no estado viscoso. Neste estado o solo se deforma sob seu próprio peso. O limite de liquidez é a quantidade de umidade contida no solo no limite entre os estados líquido e viscoso. Nesse ponto a coesão é praticamente inexistente.

A perda de mais umidade por esse solo o coloca no estado plástico, quando seus poros estão parcialmente preenchidos por água e é possível surgir o fenômeno de sucção, e, portanto, coesão. No estado plástico é necessária a aplicação de uma força para o solo deformar-se, porém esta deformação permanece depois que a força deixa de atuar. O limite de plasticidade é a quantidade de umidade presente no solo no limite entre os estados viscoso e plástico.

Diminuindo ainda mais a quantidade de água desse solo, ocorrerá a sua contração, pois haverá uma elevação da sucção, sendo alcançado o estado de contração desse solo. Com teor de umidade abaixo do limite de contração, o solo se encontra no estado sólido (SELBY, 1982). Na natureza, porém, o solo se encontra geralmente em estado semi-sólido.

O limiar de resistência pode ser atingido quando um solo se encontra quase praticamente saturado, e por isso ocorrendo um colapso coesivo generalizado, podendo ser desencadeado um movimento de massa do tipo fluxo. Nesse movimento o solo se comporta como um material viscoso. Porém, quando a queda de coesão ocorre somente na extensão de uma superfície e não sendo o atrito interno dos materiais suficiente para manter a resistência, o solo inicia um movimento de escorregamento sobre tal superfície. Nesse caso, o material que escorrega pode estar no estado plástico ou mesmo semi-sólido (COLÂNGELO, 1990).

Assim, na categoria fluxo tem-se o rastejo, a solifluxão e as corridas de terra e de lama, além das avalanches. Os movimentos de fluxo envolvem as deformações do material que se desloca, sendo rápidos ou lentos. Já quando há o deslocamento rápido de uma massa de material sobre um superfície de ruptura bem definida ocorrem escorregamentos ou deslizamentos (landslides), que podem ser do tipo rotacional, translacional (incluindo aí os planares) e os deslizamentos de terra.

Outra diferença que pode ser citada entre os dois tipos de movimento é a velocidade desenvolvida por cada um deles, que aumenta fora da área de origem nos movimentos de fluxo, enquanto nos movimentos do tipo deslizamento tende a diminuir fora do plano de ruptura (em função do atrito entre o material deslizado e a superfície por onde se desloca) (FINLAYSON e STATHAM, 1980; RUHE, 1975; THORNBURY, 1960; GUIDICINI e NIEBLE, 1976). (Figura n° 03).

As variações de forma e profundidade das superfícies de ruptura dos movimentos podem estar ligadas a diferenças de permeabilidade, textura, estrutura, posição, entre outras características dos volumes das organizações superficiais da vertente.

Deste modo, a superfície de ruptura no deslizamento rotacional geralmente é profunda e com forma curva, abrangendo diferentes formações superficiais da vertente, e suas causas mais frequentes estão relacionadas às oscilações do nível freático. No deslizamento do tipo translacional e em particular o planar, a superfície de ruptura geralmente é rasa e plana, e ocorre em função de diferenças mais marcantes na natureza e organização das formações superficiais que constituem a vertente. Os deslizamentos de terra se constituem no desprendimento de partes das formações superficiais de paredes relativamente íngremes, em razão da existência de fendas.

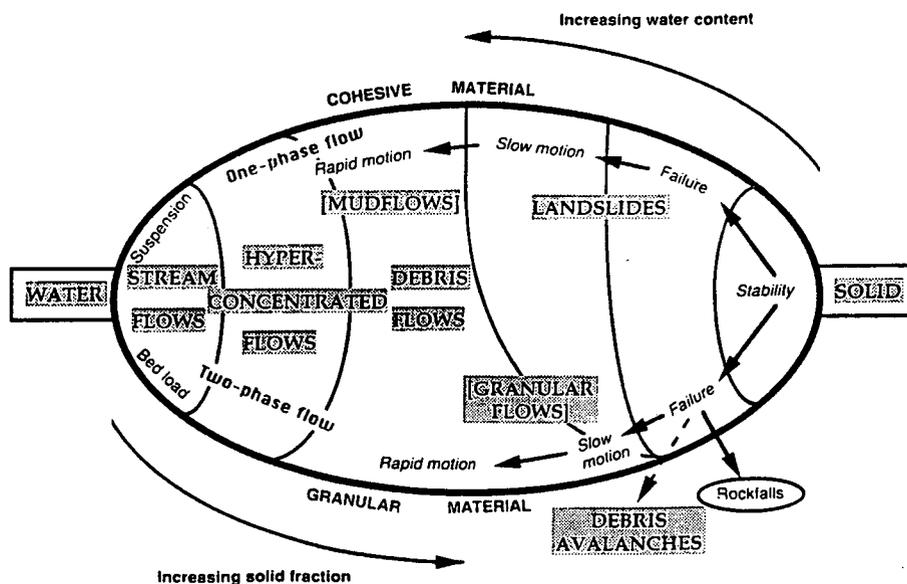


Figura n°03 - Classificação de movimentos de massa em função da quantidade de fração sólida e do tipo de material envolvidos.  
(segundo Coussot e Meunier, 1996)

Os tipos de movimento com características de fluxo estão relacionados aos conteúdos de água e finos dos materiais, condicionando o fenômeno da deformação. O rastejo é um movimento lento da superfície do solo e sem uma diferenciação marcada entre o material que se desloca e o material estacionário, ocorre em material semi-sólido. Segundo TERZAGHI (1952), o rastejo pode ser dividido em dois tipos: rastejo contínuo e rastejo sazonal. O primeiro é totalmente devido à atuação da força da gravidade e depende da presença de uma significativa quantidade de argila no solo. A argila sofrerá não só a influência da força da gravidade, como também o *stress* do peso do material sobrejacente e, como consequência se deformará, pois tem uma natureza plástica. FINLAYSON e STATHAM (1980), colocam que o rastejo sazonal é influenciado por processos cíclicos ou sazonais que atingem o solo, como ressecamento-umedecimento, gelo-degelo, resfriamento-aquecimento. Em clima quente e úmido, o processo mais importante seria a variação do conteúdo de umidade. Os horizontes superiores do solo possuem maior taxa de movimento, pois concentram mais raízes e apresentam mais trocas com o ambiente. Há ainda outro tipo de rastejo que, segundo estes autores, trata-se do movimento de rastejo denominado casual, o qual é causado pelo ajustamento aleatório das partículas do solo após serem colocadas em movimento pela ação de animais (formigas, térmitas etc.), pelo crescimento e morte de raízes de plantas, pelo caminhar de pessoas e animais, e até pelo impacto das gotas da chuva na superfície do solo.

A solifluxão apresenta um conteúdo de água superior ao do rastejo, ocorre em vertentes que apresentam uma camada mais impermeável sob camadas mais permeáveis, permitindo a saturação em água dessas camadas e a deformação de seus materiais durante períodos de precipitações. Nas áreas periglaciais, o degelo das camadas superiores do solo durante a primavera também provoca a movimentação dos materiais dessas camadas sobre a camada ainda congelada, neste caso, esse processo chama-se gelifluxão.

As corridas de terra e lama implicam em saturação dos materiais da vertente, sendo diferenciadas pelos maiores teores de água e de finos presentes na corrida de lama. Esses processos estão no limite entre movimentos de massa e escoamento concentrado. Já as avalanches resultam de um desequilíbrio de materiais granulares, como fragmentos rochosos, com pequeno conteúdo de água em vertentes muito íngremes. Desequilíbrio que pode ser provocado, por exemplo, por vibrações. Outra característica apresentada pela avalanche são as suas dimensões catastróficas (THORNBURY, 1960; MEUNIER e COUSSOT, 1996; ROMITO ALMEIDA, s.d.; GUIDICINI e NIEBLE, 1976).

Algumas vezes, os movimentos de fluxo e de deslizamento podem evoluir de um para outro. Assim, o movimento de material por rastejo pode passar para um deslizamento translacional (MOYERSONS, 1981) ou a deposição do material deslizado passa a apresentar um lento movimento de rastejo, ou ainda o material deslizado pode ganhar água e velocidade em seu caminho vertente abaixo, tornando-se uma corrida de lama, por exemplo (TERZAGHI, 1952; FINLAYSON e STATHAM, 1980; MEUNIER e COUSSOT, 1996).

As diferenças entre os tipos de deslizamentos são geralmente função da organização e natureza dos materiais que constituem a vertente, da sua forma e, ainda da duração e da intensidade das chuvas (BROOKS *et al.*, 1993 a, b; BROOKS *et al.*, 1994; SIMON *et al.*, 1990).

## CAPÍTULO III

### OBJETIVOS E METODOLOGIA UTILIZADA

#### 1 - OBJETIVOS

##### 1.1 - *GERAL*

Contribuir para a compreensão dos mecanismos que desencadearam os movimentos de massa na vertente estudada, relacionando o papel assumido por esse processo na evolução da paisagem da Bacia.

##### 1.2 - *ESPECÍFICOS*

Demonstrar a organização e a natureza dos materiais das formações superficiais da vertente, incluindo o comportamento geomecânico desses materiais.

Discutir alguns aspectos do funcionamento hídrico da vertente a partir do monitoramento da umidade gravimétrica, do nível da superfície piezométrica e da pluviosidade.

#### 2 - METODOLOGIA

A metodologia considerada mais adequada para a realização deste trabalho é a Metodologia de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, proposta por BOULET (1982) (*apud.* BOULET, 1988 a, b), aplicada em pedologia e já utilizada no estudo dos processos geomorfológicos (FURIAN, 1994; SALOMÃO, 1994).

RUELLAN (1988) resume assim os princípios adotados pela Metodologia de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica:

“...Estudar a cobertura pedológica é,..., observar, acompanhar, medir os mecanismos, as transferências e as atividades atuais do meio pedológico. Isso deve ser feito em função dos constituintes e de suas organizações e em relação com os agentes e com os fatores dessas dinâmicas.” (Pág. 412).

Na perspectiva desta abordagem se trabalha com o conhecimento da distribuição, da organização e da natureza dos materiais que constituem a cobertura móvel (a cobertura pedológica e/ou as formações superficiais da vertente), procurando reconhecer processos internos e externos atuantes nessa cobertura pedológica, responsáveis pelas suas características e dinâmica. A cobertura pedológica é analisada como um *continuum* no espaço e no tempo, ligando os processos de morfogênese e pedogênese na evolução da paisagem (PELLERIN e QUEIROZ-NETO, 1993).

A primeira fase dos trabalhos dentro desta metodologia é a análise tridimensional da cobertura pedológica em escala do interflúvio ou de parte representativa deste, visando o seu reconhecimento e acompanhamento (BOULET, 1988 a, b). Nessa fase são realizados levantamentos topográficos de detalhe, sondagens e abertura de trincheiras. Em seguida, os materiais encontrados são caracterizados por cor, estrutura, textura, porosidade, entre outras. São então elaboradas topossequências para a visualização das variações verticais e laterais da cobertura pedológica.

Após essa primeira fase são realizados ensaios, análises e experimentações para uma melhor caracterização dos materiais encontrados, do funcionamento hídrico no seu interior e dos processos atuantes.

A cartografia é muito importante na representação tridimensional da organização da cobertura pedológica: diferentes escalas podem representar desde a organização dos volumes da cobertura pedológica até as generalizações que relacionam a organização da cobertura pedológica e a paisagem (PELLERIN e HELLUIN, 1988).

A representação cartográfica tridimensional da organização do solo é um valioso instrumento de análise da paisagem, pois segundo PELLERIN e HELLUIN (1988) e RUELLAN (1988), as organizações em diferentes escalas da base do solo são interligadas no espaço e no

tempo, orientadas por variações e dinâmicas que podem ser relacionadas. Em última instância, a paisagem de uma dada região responde à organização e dinâmica presentes nas formações superficiais e substratos alterados de seus terrenos. Para McFADDEM e KNUEPFER (1990), o solo registra o que aconteceu e o que acontecerá na evolução da paisagem, sendo o seu estudo uma importante contribuição para a explicação de processos que já ocorreram ou que poderão vir a ocorrer.

## **2.1 -PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS**

### **2.1.1 - Escolha da Área para Estudos de Detalhe e Instrumentação**

A escolha da área onde foram realizados os estudos de detalhe foi resultado de uma análise de fotointerpretação prévia, seguida de um reconhecimento de campo, além do conhecimento acumulado sobre o local através dos trabalhos concluídos ou em andamento já citados anteriormente.

A vertente escolhida encontra-se coberta por pastagens, com presença de terracetes, alguns afloramentos rochosos, principalmente na baixa vertente, e cicatrizes de movimento de massa, sendo que uma delas se estende de sua base até o topo. As declividades são elevadas em seus diferentes segmentos, porém é na baixa vertente que se encontram os maiores valores, ultrapassando os 40° . (ver fotos 06, 07 e 08 apresentadas anteriormente).

### **2.1.2 - Construção de Topossequências**

Foi realizado um levantamento topográfico da vertente em estudo na escala 1:1000, com complementação de levantamentos topográficos expeditos para a geração de perfis topográficos e de um mapa mais detalhado da área na escala 1:250, que permitiu um controle mais preciso da localização dos experimentos, das sondagens e da abertura de trincheiras para a construção das topossequências e retirada de amostras deformadas e indeformadas. (Mapa 04 em anexo).

As sondagens foram realizadas nos perfis topográficos levantados, sendo um logitudinal à vertente estável e outros dois longitudinais à cicatriz de deslizamento (topossequências 1, 2 e 3,

respectivamente), além de perfis transversais aos primeiros (toposseqüências 4, 5, 6 e 7). Foi utilizado o trado manual holandês que permitia o acoplamento de extensões, geralmente com profundidade até cinco metros, com algumas exceções que ultrapassaram tal profundidade. O limite inferior dessas sondagens era a rocha alterada com estrutura conservada, tanto na vertente estável como no interior da cicatriz de deslizamento, no entanto, a profundidade da rocha sã em geral não foi alcançada, permanecendo este limite desconhecido. Nas sondagens, os materiais eram descritos por cor (Tabela Münsell Color Charts), textura ao tato e outras diferenciações tácteis-visuais, como o teor de umidade e a presença de alguns minerais (manganês na forma de óxidos ou hidróxidos, quartzo, feldspato em processo de alteração). Também era anotada a profundidade do nível do lençol d'água quando presente na sondagem.

Nas sondagens das seqüências principais, eram retiradas amostras deformadas de diferentes profundidades para a análise em pedo-comparador e análises granulométricas e de umidade gravimétrica.

Com intuito de observar a organização sem deformações dos volumes do solo (como a estrutura e a macroporosidade dos materiais), foi observada a parede da cicatriz de deslizamento acompanhada da abertura de trincheiras, sendo duas no terço superior da vertente e uma outra no interior da cicatriz de deslizamento, todas com dois metros de comprimento por dois metros de profundidade e um metro de largura.

Estas trincheiras permitiram também a coleta de amostras deformadas e indeformadas para a realização de ensaios de caracterização e comportamento geomecânico dos diferentes volumes. As amostras indeformadas foram moldadas em uma das paredes das trincheiras, nas profundidades de 0.4 - 0.7 m, 0.7 - 1.0 m, 1.0 - 1.4 m, 1.9 - 2.0 m, cobertas com sacos plásticos e serragem e acondicionadas em caixas, sendo em seguida transportadas cuidadosamente para o Laboratório de Mecânica dos Solos do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. Também foi coletada uma amostra indeformada da parede da cicatriz, a 1.7 - 2.0 m do topo da vertente, correspondendo ao volume da alterita, o qual não estava presente no interior das trincheiras abertas, pois se encontrava em maior profundidade do que o limite inferior destas. Foram coletadas oito amostras representativas dos quatro diferentes volumes presentes nas trincheiras da vertente, enquanto na trincheira aberta na cicatriz foi retirada apenas uma amostra indeformada, na profundidade de 1.9 - 2.0 m, pois eram muitos e descontínuos os volumes encontrados.

As informações coletadas eram representadas nos perfis confeccionados em papel milimetrado e no mapa base para gerar uma representação tridimensional da cobertura móvel da vertente (topossequências e esboço tridimensional das feições da vertente).

### 2.1.3 - Descrição sucinta da metodologia dos ensaios e cálculos realizados para a caracterização e comportamento geomecânico das amostras coletadas

Os ensaios realizados foram os de limite de liquidez e plasticidade e do índice de plasticidade, de cisalhamento direto para obtenção dos parâmetros de coesão e ângulo de atrito interno na condição natural e inundada, de densidade real e aparente. A partir destes foi possível calcular a porosidade total, o índice de vazios, o teor de umidade e o grau de saturação das amostras. Os ensaios foram realizados sob a orientação da Prof<sup>a</sup>. M.Sc. Glaci T. Santos do Curso de Engenharia Civil da UFSC.

As amostras deformadas para os ensaios de caracterização foram secas ao ar, até próximo da umidade higroscópica. O destorroamento do solo procurou evitar a quebra dos grãos e foi realizado com o uso do almofariz e da mão de gral recoberta com borracha. Os ensaios e cálculos efetuados para a caracterização dos materiais basearam-se em CAPUTO (1988).

#### 2.1.3.1 - Densidade Real dos Grãos ( $G$ ) :

É a razão entre o peso específico real dos grãos e o peso específico da água a 4°C.

$$G = \gamma_g / \gamma_w(4^\circ \text{C})$$

onde:

$\gamma_s$  = peso específico real dos grãos

$\gamma_w$  = peso específico da água

$\gamma_w = 1$

sendo que:

peso específico real dos grãos ( $\gamma_s$ ) = peso sólidos ( $\text{g/cm}^3$ ) / volume sólidos

O peso específico real dos grãos é obtido através do Método do Picnômetro (NBR 6508/80). A base desse método consiste na comparação do peso de um picnômetro contendo água até a marca de calibração e desse mesmo picnômetro contendo água e solo até a mesma

marca, na mesma temperatura. A mistura de solo e água deve ser fervida para a retirada de todo o ar entre os grãos.

#### 2.1.3.2 - *Densidade Aparente* :

É a razão entre o peso específico aparente úmido e o peso específico da água a 4°C.

$$\text{Densidade Aparente} = \gamma_t / \gamma_w (4^\circ\text{C})$$

onde:

$\gamma_t$  = peso específico aparente úmido,

$\gamma_w$  = peso específico da água

$$\gamma_w = 1 \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

sendo que:

$$\text{peso específico aparente úmido } (\gamma_t) = \text{peso (g/cm}^3\text{)} / \text{volume}$$

É a razão entre o peso e o volume da amostra no estado natural. Foi determinado a partir das amostras moldadas em anéis volumétricos utilizadas na realização dos ensaios de cisalhamento direto.

#### 2.1.3.3 - *Porosidade Total (n<sub>v</sub>)*:

É a relação entre o volume de vazios e o volume total do solo. Pode ser calculada a partir dos valores de peso específico real dos grãos e do peso específico aparente úmido (Método 1.13 - Embrapa, 1979), conforme a expressão:

$$n_v \% = (\gamma_g - \gamma_t / \gamma_g) 100$$

#### 2.1.3.4 - *Índice de vazios (e)*:

Significa quantas vezes o volume de vazios representa em relação ao restante do volume do solo. Obtido a partir do peso específico real dos grãos e do peso específico seco, conforme a expressão:

$$e = \gamma_g \cdot w / \gamma_d - 1$$

sendo que:

$$\text{peso específico aparente seco } (\gamma_d) = \gamma_t (g/cm^3) / 1 + w$$

onde

w = teor de umidade de campo da amostra em gramas.

$\gamma_t$  = peso específico aparente úmido

#### 2.1.3.5 - *Grau de Saturação (S)*:

É o conteúdo de umidade apresentado pela amostra de solo em seus vazios, obtido através da multiplicação do peso específico real dos grãos da amostra pelo seu teor de umidade de campo (umidade gravimétrica) e dividido pelo seu índice de vazios:

$$S \% = (\gamma_g w / e) \cdot 100$$

#### 2.1.3.6 - *Índices de Atterberg*:

##### \* Limite de liquidez (LL):

É o teor de umidade em percentagem contido no solo quando este se encontra no limite entre os estados líquido e viscoso. Efetuado com auxílio do Aparelho de Casagrande, que consiste numa concha onde se acondiciona a amostra de solo umedecida. Faz-se, então, um corte no seu centro e golpeia-se a amostra até o momento em que a incisão se fechar. Coleta-se, então uma quantidade da amostra na área da incisão para a determinação do seu teor de umidade. O número de golpes e os respectivos teores de umidade são plotados em um gráfico. O teor de umidade ideal do limite de liquidez é alcançado quando a incisão se fecha em torno dos 25 golpes. (NBR 6459 - Solo ).

##### \* Limite de plasticidade (LP):

O limite de plasticidade é a quantidade de umidade do solo em percentagem no limite entre os estados viscoso e plástico. É obtido a partir do mínimo conteúdo de umidade em que é

possível moldar um rolo de 3 mm de espessura de amostra de solo sem quebrá-lo (NBR 7180 - Solo).

**\* Índice de plasticidade ( $I_p$ ):**

É o conteúdo de umidade de um solo quando este se encontra no estado plástico, sendo obtido através de:

$$I_p = LL - LP$$

**2.1.3.7 - Resistência ao Cisalhamento:**

A resistência ao cisalhamento é função da coesão e fricção interna, sendo estas características intrínsecas dos materiais constituintes da vertente. A coesão e o ângulo de atrito interno das amostras coletadas foram obtidas através do ensaio de cisalhamento direto.

A extrema dificuldade de moldar corpos de prova nas amostras para o ensaio de cisalhamento direto, em função da sua forte estruturação prismática gerar planos preferenciais de ruptura e partí-las, não permitiu o uso de anéis maiores, sendo possível moldar apenas corpos de prova no anel de 2 polegadas com a quantidade de amostra que restava. Sabe-se, infelizmente, que o tamanho reduzido desses corpos de prova não fornece um volume de material representativo de todas as características da amostra.

O ensaio realizado nas amostras coletadas foi o de cisalhamento direto rápido pré-adensado, segundo metodologia aplicada no Laboratório de Mecânica dos Solos do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina. As pressões verticais aplicadas foram de 1, 2 e 3 kg/cm<sup>2</sup>, que funcionavam como força normal. Sabe-se que essas tensões não correspondem àquelas encontradas nas condições de campo das amostras, pois estão superestimadas, contudo é possível fazer-se uma análise comparada das resistências obtidas, pois todas as amostras foram submetidas às mesmas forças normais.

Após duas horas, era aplicada uma força cisalhante com velocidade de aplicação de 0,0563 mm/s. Foram realizados ensaios nas condições de umidade de campo das amostras e no estado inundado para verificar possíveis modificações nos parâmetros de coesão e ângulo de fricção interna com o aumento do conteúdo de umidade. O estado inundado consiste na emersão

da amostra em água durante um determinado período de tempo, que neste caso foram de duas horas. Apesar da emersão em água, não é possível afirmar que a amostra alcançou seu estado de saturação, pois a velocidade de infiltração da água na amostra depende muito da natureza do material e das pressões verticais aplicadas.

#### **2.1.4 - Análises Granulométricas**

As análises granulométricas foram realizadas para a confirmação da textura atribuída no campo aos materiais encontrados nos perfis de sondagem e trincheiras, sendo escolhida as amostras dos perfis de sondagem onde seriam coletados os dados sobre umidade gravimétrica (pontos 05 e 12 na vertente estável e pontos 04 e 07 no interior da cicatriz), as amostras retiradas das trincheiras para os ensaios de caracterização e comportamento geomecânico e as amostras retiradas de um perfil no terço médio da vertente, ponto 23, que apresentou materiais aparentemente mais argilosos em relação aos outros pontos sondados na vertente. As amostras dos perfis foram coletadas nas profundidades de 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 m, e daí em intervalos de 0.5 m geralmente até 5 m.

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Sedimentologia do Centro de Estudos de Geologia Costeira (CECO) do Instituto de Geociências da UFRGS e no Laboratório Físico, Químico e Biológico da Companhia de Desenvolvimento Agrícola de Santa Catarina (CIDASC). Foram utilizados os métodos de peneiramento para a fração grossa e de pipetagem para a fração fina, sendo que o defloculante usado foi o hexa-metafosfato de sódio (CALGON), pois é mais potente na dispersão de amostras muito argilosas como as que foram analisadas, segundo o critério tátil-visual em campo. Essa característica foi confirmada após as análises de laboratório.

#### **2.1.5 - Monitoramento de Alguns Aspectos Relacionados ao Funcionamento Hídrico da Vertente**

##### **2.1.5.1 - Medidas de precipitação na área de estudo**

Para isto foi instalado um pluviômetro em uma área aberta (pastagem), com leituras diárias das precipitações.

### 2.1.5.2 - *Umidade Gravimétrica*

Foram realizadas coletas mensais de amostras de materiais em perfis com profundidade até cinco metros para obtenção do teor de umidade gravimétrica de pontos localizados nas toposseqüências que abrangem a vertente estável e a cicatriz de deslizamento, procurando relacionar o comportamento dos materiais *in situ* e deslizados. A forma e a posição na vertente também foram levadas em consideração, e por isso foram monitorados um ponto no terço médio (ponto 12) e outro no topo da vertente estável (ponto 05) e dois no interior da cicatriz de deslizamento, um na sua base (ponto 07) e outro no topo (ponto 04).

O conteúdo de umidade gravimétrica ou teor de umidade de campo foi obtido a partir da diferença de peso da amostra antes e depois da secagem em estufa a 100°C, sendo esta diferença expressa em percentagem.

### 2.1.5.3 - *Piezometria*

Em função dos equipamentos de sondagens disponíveis (trados manuais até cinco metros), o lençol de água foi encontrado apenas na baixa vertente, especialmente no interior da cicatriz de deslizamento, em pontos constituídos por material de preenchimento da cicatriz (7, 6, 8, 21, 22, 44, 45), por material de preenchimento da planície (20) e outros por prováveis materiais *in situ* (10, 19), todos locados dentro das toposseqüências levantadas. Nesses pontos, foram instalados piezômetros, constituídos por canos de PVC de 32 mm de diâmetro, com a extremidade superior vedada por uma tampa e a inferior aberta e com uma rede de orifícios laterais numa altura de mais ou menos um metro e meio a partir de sua base, procurando abranger as oscilações do lençol ao longo do ano. O lençol estava bem profundo na época da implantação dos piezômetros (fim do inverno) devido à escassez de precipitações da estação mais seca.

Os furos de sondagem onde seriam colocados os piezômetros eram mais largos do que os tubos de PVC, sendo também ultrapassada a profundidade onde foi detectada a água livre. Na base desses furos foi colocada uma camada de material mais permeável, no caso brita média, e, em seguida eram introduzidos os tubos. O espaço lateral entre o cano e o furo foi preenchido com brita até ultrapassar a altura dos orifícios e, a partir daí até a superfície, esse espaço era preenchido com o material retirado na própria sondagem.

As medidas eram realizadas com uma linha que possuía um peso e uma cortiça na sua extremidade, a qual era introduzida através do tubo, boiando quando alcançava o nível d'água e conseqüentemente diminuindo a tração na outra extremidade. As leituras foram feitas semanalmente durante o período de um ano (acompanhamento de um ano hidrológico).

Os dados coletados foram correlacionados com os de precipitação e também transformados em termos de carga total para as alturas extremas medidas em períodos secos e úmidos.

**\* Cálculo da carga total:**

É calculada a partir da soma dos potenciais de pressão e gravitacional, sendo que o potencial de pressão é a diferença do nível da água no momento da sondagem, ou seja confinada no solo, e depois de algum tempo, enquanto o potencial gravitacional é a altura dos níveis da água em relação a um determinado ponto, um *datum*.

Os dados resultantes do monitoramento das alturas piezométricas e do conteúdo de umidade gravimétrica foram analisados segundo a posição no interior da organização dos volumes identificados e segundo a forma do terreno, além da correlação com a quantidade e a frequência das precipitações. Os perfis de textura dos pontos monitorados também contribuíram para a análise dos dados sobre o funcionamento hídrico da vertente.

A sistematização e a análise dos dados obtidos permitiram o conhecimento da organização e natureza dos materiais presentes na cobertura pedológica e no interior da forma de anfiteatro, incluindo também seu comportamento geomecânico e hídrico. Tal conhecimento é utilizado para tecer hipóteses sobre os mecanismos que originaram as cicatrizes presentes na vertente estudada.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS: ANÁLISES E DISCUSSÕES

#### 1-ESBOÇO TRIDIMENSIONAL DAS FEIÇÕES DA VERTENTE ESTUDADA

A observação do Mapa 05 (no anexo) e da foto n.º 11, permite distinguir uma grande forma de anfiteatro que cobre a vertente da base até o topo, terminando em paredes nuas e quase verticais. Essa forma é interpretada como uma grande cicatriz de deslizamento. Ao lado dessa forma, junto ao pé da vertente, existe outra semelhante, porém com tamanho menor, onde ocorre uma fonte de água. Essa pequena cicatriz apresentou discreta evolução durante o estágio de campo, através do desabamento de suas paredes favorecido pela presença de fendas provocadas por terracetes no seu topo, além da lavagem das paredes pelo escoamento superficial concentrado. São também percebidas formas côncavas tênues inscritas na vertente, semelhantes a antigas cicatrizes suavizadas.

Nos limites laterais da grande cicatriz, ocorrem zonas mais dissecadas que acompanham essa forma para jusante, caracterizando-se como eixos preferenciais de drenagem. Essas duas zonas começam próximas à parede e são separadas por um eixo convexo. Uma pequena forma embaciada moldada no interior da cicatriz proporciona um pequeno nível de base local para o eixo de drenagem norte.

Na base da cicatriz, e principalmente no fim desses eixos de drenagem, ocorrem rupturas convexas na forma de leques (leques de material coluvial).

Os terracetes acompanham toda a vertente, inclusive no interior da cicatriz de deslizamento maior; fendas aparecem no terreno em épocas de menor pluviosidade. Durante a estação de maior pluviosidade, os terracetes podem modificar seu traçado, pois o gado passa a procurar lugares mais firmes para pisar, o que gera uma mudança na microtopografia da superfície. Nas áreas mais declivosas, os terracetes têm maior amplitude.

No lado sul da vertente ocorre uma zona de afloramento rochoso na forma de blocos, que inicia na sua base e alcança quase o centro da forma de anfiteatro representada pela cicatriz de

deslizamento. Esses afloramentos sustentam declividades acentuadas, próximo dos  $40^\circ$ , e marcam a passagem abrupta para a planície nesse lado da vertente.

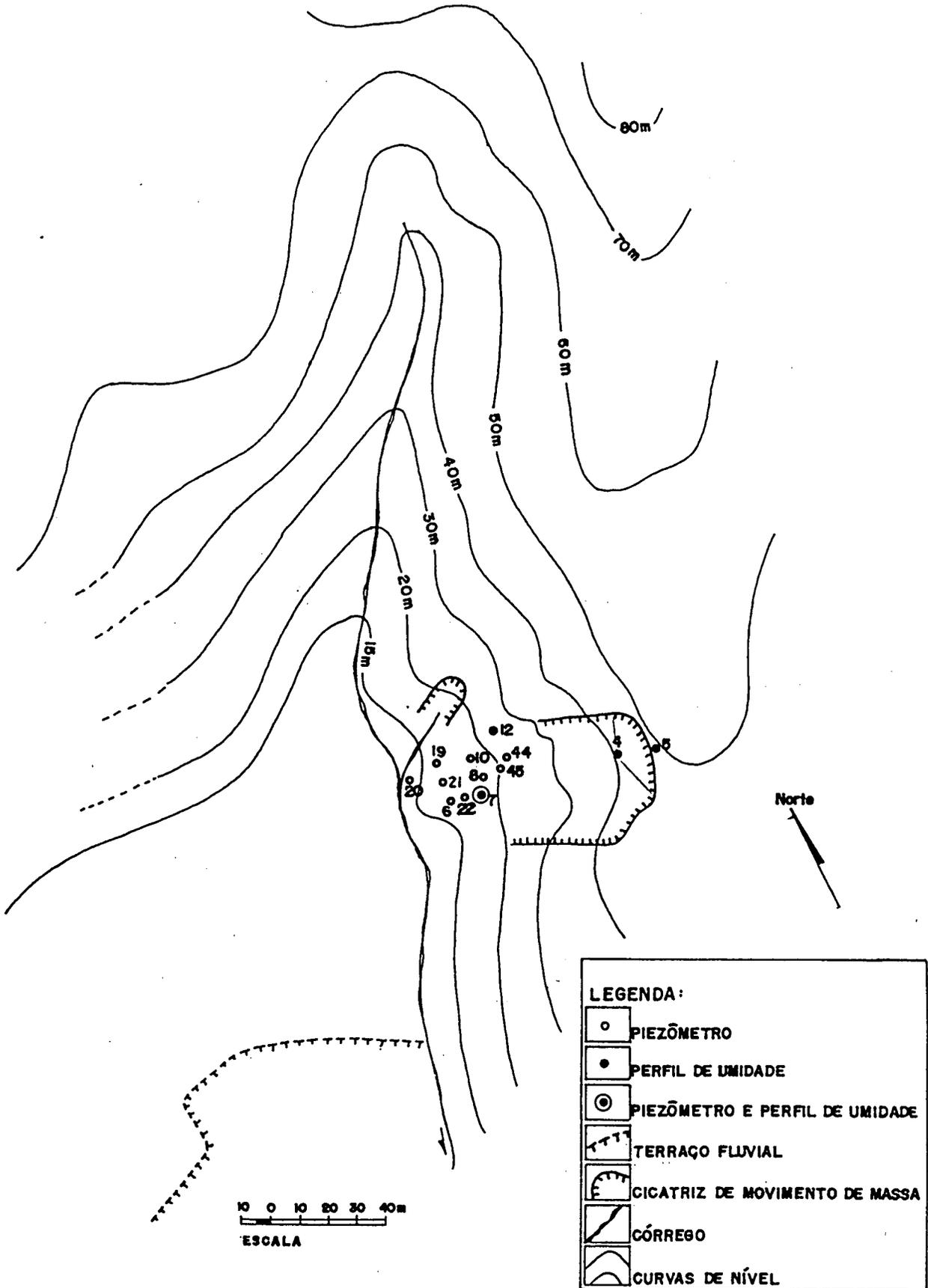
A foto nº 11 e o mapa nº06 mostram a vertente em estudo inserida em um pequeno alvéolo, o qual é limitado pelo curso do Rio Inferninho. O nível da planície presente nesse alvéolo termina em um terraço arenoso. Essa planície possui um recobrimento coluvial junto às vertentes marginais.

A drenagem no interior do alvéolo se caracteriza por um riacho que corre até a nascente existente junto à pequena cicatriz de deslizamento na vertente em estudo, onde existe uma área pantanosa. A partir desse ponto, ele foi canalizado artificialmente e, para jusante, se encaixa em um leito definido, desaguando no Rio Inferninho.



Foto 11 - Vertente estudada vista a partir do topo da elevação frontal. Observa-se, a grande forma de anfiteatro inscrita da base até o topo da vertente e uma pequena cicatriz com fonte de água à esquerda. Na base, à direita, nota-se afloramento rochoso. Marcas de terracetes são bem visíveis na vertente. No alto da grande forma de anfiteatro é observada a trincheira 3 e também as paredes com solo exposto.

**MAPA 06 - SITUAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO INSERIDA EM UMA BACIA DE PRIMEIRA ORDEM**



## 2-ORGANIZAÇÃO E NATUREZA DOS VOLUMES ENCONTRADOS NA VERTENTE

Foram encontrados dois tipos de organização para os materiais da vertente: um parece representar os materiais *in situ* e o outro, os materiais movimentados pelos processos geradores da forma de anfiteatro.

A organização dos volumes *in situ* encontrados na vertente estudada acompanha aquela verificada nos estudos efetuados durante os estágios da Análise Estrutural da Cobertura Pedológica na área (PELLERIN *et al.*, 1995) e por BELTRAME (1995), em trabalho realizado em uma vertente próxima, com variações apenas na espessura dos volumes.

Um resumo das características dos volumes da cobertura pedológica das colinas da Bacia do Rio Inferninho pode ser encontrado na Figura nº.4. Essa descrição dos volumes corresponde a cobertura típica encontrada para as colinas policonvexas da região sobre migmatitos.

A partir do estudo da parede da cicatriz, das trincheiras e das sondagens realizadas (algumas descrições detalhadas estão no anexo) são descritas as seguintes toposseqüências:

### 2.1 - TOPOSSEQÜÊNCIAS LONGITUDINAIS (FIGURA Nº05)

#### 2.1.1 - Toposseqüência - 1. Longitudinal à Vertente Estável

Essa toposseqüência apresenta uma sucessão vertical de volumes concordantes com a topografia e que variam em espessura de acordo com a declividade dos diferentes segmentos da vertente. Na baixa vertente, a presença do lençol de água provoca significativas modificações nessa sucessão de volumes. A relativa homogeneidade desses volumes do topo até a baixada permite identificá-los verticalmente em campo através do parâmetro de cor, que é a característica mais diagnóstica.

FIGURA n° 04 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS HORIZONTES DE SOLOS *IN SITU* DAS COLINAS CONVEXAS DE SOROCABA DO SUL/BIGUAÇU, SC

| volumes                             | localização                      | cor   | textura   | estrutura   | porosidade                                      | transição inferior  | outras   |
|-------------------------------------|----------------------------------|---|---|---|---|---|--|
| 1 húmico                            | toda seqüência espess. até 20 cm | 10YR 3/2 à 3/4 (vertente), 4/1 à 4/3 (baixada)    | argilosa; com grãos de quartzo limpos (exceto na baixada) | poliédrica sub-angular  | fissural à tubular pouco nítida                 | por interpene- tração no hor. 2                                     | manchas de hidrom na base da vertente; raízes abund.                 |
| 2 bruno amarelado                   | topo e vertente                  | 10YR 5/6 à 5/4 e 5/6 à 5/8                        | argilosa com ou sem areia grossa                          | topo: primática / sub-estrutura poliédrica<br>vertente: poliedr poliédrica (*)      | fissural à tubular fraca (aspecto maciço)       | gradual   | com manchas ferrug. hidrom. na baixa vertente                        |
| 3 bruno vivo                        | -id.-                            | 7,5YR 5/6 à 5/7                                   | - id.- 2  | poliédrica (*)  | tubular   | gradual   | * no topo, est. com sub-estr. prismática                             |
| 4 vermelho amarelado                | -id.-                            | 5YR 5/6 à 5/8                                     | - id.- 2  | -id. -  | tubular fina à fraca                            | com contraste de cor  | * no topo, id. 3   |
| 5 vermelho                          | -id. -                           | 2,5YR 4/8 à 5/8                                   | -id. - 2  | poliédrica fina   | -id. 4  | -id.-   | presença de Mn, lito-reliquias de rocha alterada                     |
| 6 alterita com estrutura conservada | -id.-                            | variegada rosea, amarelada, esbranquiçada., preta | silito-argilosa à argilosa-arenosa ou arenosa             | maciça  | tubular   | hidromorfia de contacto nas depressões e na parte baixa da vertente | variações de textura e de cor ligadas com a heterogeneidade da rocha |
| 7 cinzo claro                       | na baixa vertente                | de amarela com manchas à cinza                    | argilosa, com areia grossa                                | não conhecidos: estão permanentemente saturados, inclusive na estação menos chuvosa | impossibilidade de abrir trincheiras os volumes |   | nódulos ferrug. na parte infer.                                      |
| 8 gleizado                          | -id.-                            | 5Y 5/3, 6/1 à 6/3 e 7/1                           | -id. vol.7  |   |   |   | localizado na parte mais baixa                                       |

Fonte: PELLERIN *et al.*, 1996

A partir da superfície até a rocha alterada com estrutura conservada, encontram-se os seguintes volumes:

\* Volume superficial bruno-escuro (10YR 3/3 a 3/2). Apresenta uma espessura média de 10 a 15 cm, podendo quase desaparecer nos segmentos mais íngremes da vertente, como na meia encosta (ponto 12) ou se ampliar para quase 30 cm no topo (ponto 43).

Sua textura é areno-argilosa com areia grossa lavada, possui estrutura poliédrica muito fina ou grumosa e forte porosidade interagregados fornecida principalmente por atividade biológica (em especial, por raízes), pois trata-se da camada orgânica superficial. Pode apresentar-se muito úmido ou mais seco, dependendo da ocorrência ou não de precipitações, o que caracteriza sua forte ligação com o meio ambiente externo.

Nos setores mais íngremes onde esse volume é pouco espesso ou até inexistente, aflora um volume de transição entre esse e o horizonte seguinte, com características bifásicas, como uma textura mais argilosa e uma cor entre 10YR 3/2 e 7,5YR 3/4 ou 4/4, e com o material orgânico do volume superior penetrando em profundidade através da forte porosidade fissural e tubular dada pela estruturação prismática e pela atividade biológica.

\* Volume bruno-amarelado (7,5YR 5/6 a 6/8). Volume mais espesso no topo e raso em declives acentuados, sua textura é argilo-arenosa com menor quantidade de areia do que o volume superior, estrutura poliédrica fina, podendo ocorrer também uma super-estrutura prismática, com porosidade fissural e tubular de origem biológica. É sempre úmido.

A transição para o volume inferior mais vermelho pode ser abrupta ou progressiva através do aparecimento de manchas quase circulares mais vermelhas na matriz 7,5YR.

\* Volume bruno-avermelhado (5YR 5/6 a 5/8). Apresenta um comportamento do ponto de vista de espessura inverso ao do volume 7,5YR, ou seja, nos locais onde este último volume é pouco espesso, o volume 5YR é mais espesso e vice-versa. Este volume quase desaparece no topo. Sua textura é argilo-arenosa, contudo com menor quantidade de areia que os horizontes anteriormente descritos e mais argiloso. Uma das trincheiras abertas na alta vertente apresentou no interior deste volume um veio de fragmentos e blocos predominantemente formados por quartzo, possivelmente como resultado de um filão localizado de quartzo mais resistente, característico da grande heterogeneidade da rocha matriz desse solo. A estrutura desse volume é poliédrica grossa

(agregados entre 1 cm até 1,5 cm) aliada a uma sub-estrutura mais fina (agregados em torno de 0,5 cm), possuindo porosidade fissural e pouca porosidade tubular. Apresenta-se sempre úmido. Passagem progressiva para o volume seguinte em profundidade. (Foto n<sup>o</sup> 12).

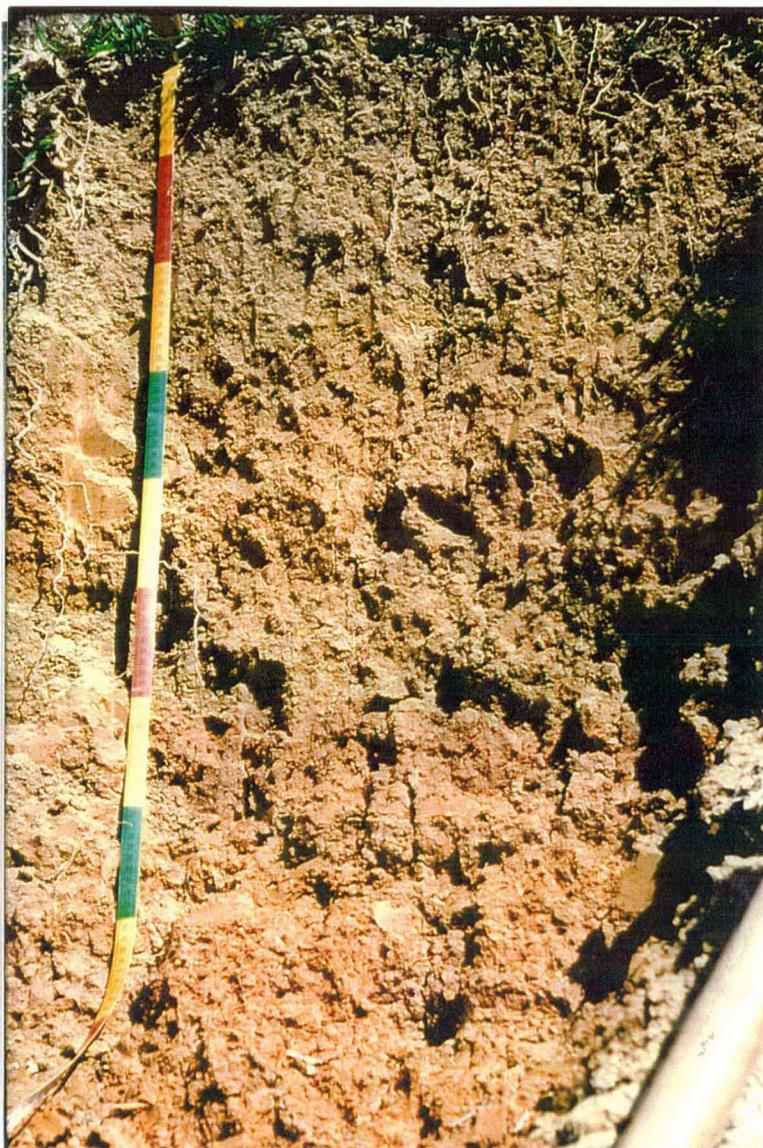


Foto 12 - Corte de um solo típico da cobertura pedológica das colinas da bacia do Rio Interninho com substrato de migmatitos. Nota-se a forte estrutura prismática, a transição progressiva do horizonte superior 10YR 3/3 ou 3/4 para o horizonte mais bruno-amarelo 7,5YR 5/6 (frequentemente com interpenetração) e, depois para o horizonte mais bruno-avermelhado 5YR 5/6 a 5/8 na base.

\* Volume vermelho de transição para a rocha alterada (2,5YR 4/8 a 6/8). Apresenta textura ainda argilo-arenosa, porém com presença de fragmentos de lito-relíquias. A estrutura é poliédrica fina com porosidade interagregados. Nos locais onde o volume 5YR é mais delgado, esse volume passa a ser mais espesso, como na quebra de declive próximo ao topo da topossequência.

Esse volume pode apresentar-se muito seco ao tato e compacto algumas vezes, representando uma quebra no padrão de umidade desse solo.

Em certos pontos, como nas sondagens 23, 26 e 31, esse volume apresenta tons mais amarelados em consequência de diferenciações na rocha subjacente (rocha com alteração de textura mais fina e cor escura).

\* Volume violáceo da rocha alterada com estrutura conservada. Este volume foi observado na parede da cicatriz de deslizamento e nas sondagens. A cor varia de violáceo com manchas brancas, pretas e amarelas (alteração de feldspatos, micas e minerais com ferro) para amarelo-avermelhado (possivelmente a alteração de antigos paleossomas da rocha com maior quantidade de minerais máficos), como nos pontos 23, 25, 26, 27 e 30.

Sua textura varia entre siltico-argilosa a argilo-arenosa com grãos grossos de quartzo distribuídos irregularmente, sendo que estas diferenciações estão relacionadas com a heterogeneidade do substrato geológico do local. Em alguns pontos de sondagem, como no ponto 12, primeiro surge um tipo de alteração bastante arenosa e esbranquiçada e em seguida outro tipo de alteração violácea e bastante siltosa. Na maioria das vezes é possível observar o bandeamento original da rocha.

Este volume apresenta-se seco ao tato e muitas vezes compacto. A estrutura é maciça e a porosidade é alta em função da retirada de elementos em solução no processo de intemperismo.

Na baixa vertente, aparece a rocha alterada com estrutura conservada hidromorfizada ligada a proximidade do lençol freático de baixada.

\* Volume amarelo (10YR 5/6 a 7/8). Esse volume é geralmente muito úmido e apresenta uma transição progressiva para os outros horizontes. Desenvolve-se a partir da saturação temporária dos materiais dos outros volumes descritos gerando características de hidromorfia, por isso sua textura varia de argilo-arenosa para areno-argilosa ou siltico-argilosa, podendo apresentar fragmentos de rocha alterada na matriz amarelada, dependendo do seu volume de origem. É

comum encontrar traços de manganês associados a este volume. Na base desta toposseqüência, sua ocorrência está ligada ao avanço do lençol freático de baixada na vertente, com presença de água livre.

O volume amarelo também ocorre no topo dessa toposseqüência e se desenvolve em dois bolsões, um no interior do volume 7,5YR acompanhando a grosso modo a superfície topográfica, e outro no interior do volume 2.5YR com uma significativa acumulação de manganês. O volume bruno-avermelhado 5YR quase desaparece. Esses bolsões podem estar associados a ocorrência de lençóis suspensos no topo e ocorrem onde a superfície topográfica tem a forma de uma ligeira depressão, convém ressaltar que esta toposseqüência situa-se próximo de uma depressão fechada.

\* Volumes com hidromorfia de baixa vertente (5Y 6/1 a 5B 7/1 a 5G 6/1, 2.5Y, cores variegadas): Aparecem na baixada, variando de um volume para o outro, ora cinza-azulado, ora cinza esverdeado ora amarelado ou até com todas estas cores se interpenetrando. São volumes ligados a presença do lençol de baixada. Desenvolvem-se em materiais com textura siltica-argilosa ou areno-argilosa, em materiais da rocha alterada com estrutura conservada, e até em materiais predominantemente arenosos.

Esse volume arenoso ocorre na forma de lentes entre os pontos 79, 80 e 81 e, já no ponto 20 aparece de forma contínua entre as profundidades de 0.8 m a 4.0 m (vide descrição detalhada no anexo). Tal material varia entre areia grossa e areia fina, com lentes de areia com muita mica e presença de muito manganês próximo dos 4.0 m de profundidade no ponto 20. A transição do volume arenoso presente nos pontos 79, 80 e 81 para aquele do ponto 20 ocorre de forma abrupta.

### 2.1.2 - Toposseqüência - 3. Longitudinal ao Centro da Cicatriz de Deslizamento

Essa toposseqüência atravessa a vertente da base até o topo, passando pelo eixo convexo no centro da cicatriz de deslizamento. No interior da cicatriz, os materiais não se apresentam organizados em horizontes concordantes com a topografia, os volumes de alteração estão em superfície misturados com materiais mais intemperizados e pedogeneizados, apresentando muitos fragmentos de rocha alterada no meio da matriz de textura mais fina, sendo que, em geral, a

textura é areno-argilosa. A rocha alterada com estrutura conservada é encontrada na parede da cicatriz e em diferentes profundidades no seu interior.

\* Volumes a montante da cicatriz: Esses volumes são os mesmos encontrados no topo da seqüência longitudinal 1, sendo que ocorre apenas um bolsão do volume amarelo 10YR, localizado, neste caso, no interior do volume 7,5YR.

\* Volumes que afloram na parede da cicatriz: O corte na vertente representado pela parede da cicatriz é de mais ou menos 15 m, sendo que nos últimos 2 m junto ao topo é praticamente vertical, mostrando uma organização dos volumes semelhante à descrita para o topo, com exceção da ausência do volume amarelo 10YR (descrições detalhadas no anexo). Os volumes da rocha alterada com estrutura conservada e o de transição para ela são os que apresentam maior área de ocorrência na parede da cicatriz. O volume da rocha alterada com estrutura conservada é formado por material siltico-areno-argiloso, com grãos de quartzo e feldspatos grossos; nessa matriz, é possível encontrar filões e blocos menos alterados e/ou mais arenizados.

Na figura 06, que mostra um corte em detalhe desta toposseqüência, é possível observar junto à base da parede da cicatriz a continuação do volume da rocha com estrutura conservada recoberto por um volume coluvial. Para jusante esse volume passa a ser recoberto por um volume escuro com aspecto de horizonte superficial de solo, que por sua vez também é recoberto por outro pacote coluvial de cor e textura variáveis.

\* Volumes de preenchimento da cicatriz: O material que preenche a cicatriz apresenta cores diferenciadas de um ponto para outro, textura areno-siltico-argilosa ou areno-argilosa, com muitos fragmentos e blocos de rocha alterada no interior dessa matriz. As análises granulométricas realizadas nas amostras coletadas no interior da cicatriz permitem classificá-lo como lama com areia, segundo a classificação textural de Shepard (1954). Fotos 13 e 14.



Foto 13 - Visão da parede da cicatriz. Nota-se a presença dos horizontes característicos do solo e a passagem para o volume da rocha alterada com estrutura conservada. Nesse volume, existem grãos de feldspato alterados fornecendo coloração clara ao material em certos pontos.

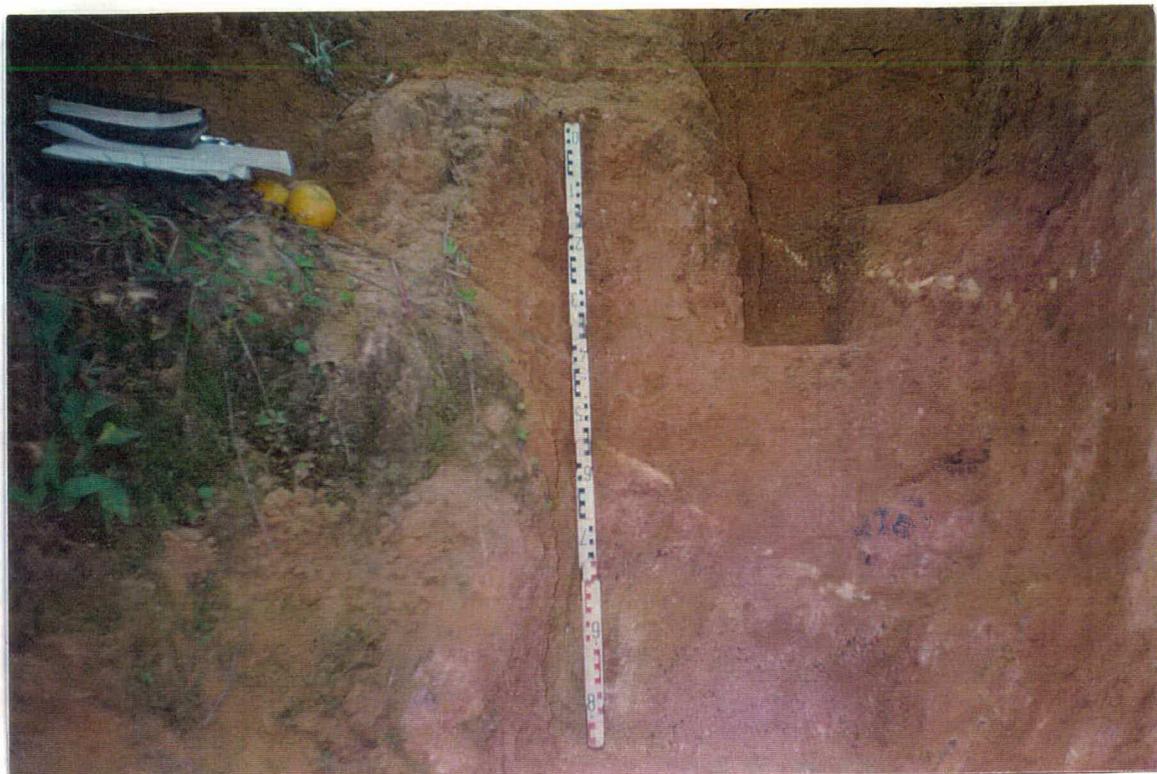


Foto 14 - Detalhe da rocha com estrutura conservada na parede da cicatriz mostrando a presença de veios quartzo-feldspáticos mais resistentes à alteração.

Uma visão mais detalhada dos materiais encontrados no interior da trincheira e da parte superior da cicatriz pode ser observada na Figura nº.6 e na Foto nº 15, onde são encontrados os seguintes volumes, segundo PELLERIN (1995):

Volume A: horizonte superficial orgânico; presença de raízes, cor 5YR 5/8 tornando-se mais amarelado em direção à baixa vertente; textura argilo-siltosa com presença de areia grossa.

Volume B/C: horizonte subsuperficial; cor 7,5YR 5/6 na primeira sondagem, tornando-se mais vermelho vertente abaixo (cor 5YR 5/6); textura argilo-siltosa, porém mais argilosa que a do horizonte superior, com presença de areia grossa; em algumas amostras encontram-se fantasmas de rocha alterada e feldspato.

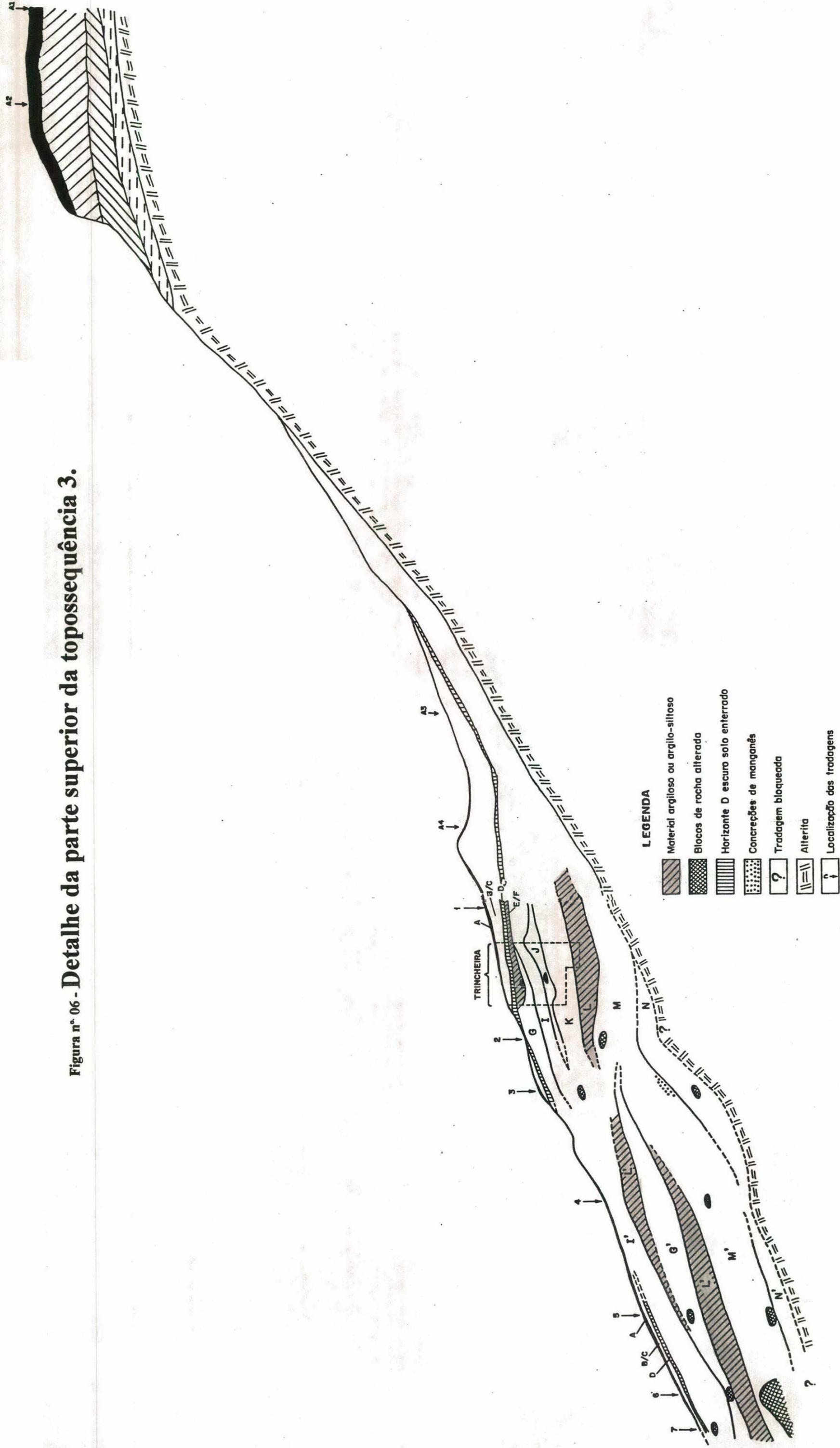
Volume D: material escuro, cor 10YR 4/3; textura argilo-siltosa com areia grossa. Esse horizonte mais escuro em profundidade corresponde a um "antigo" horizonte de superfície com maiores teores de matéria orgânica, que foi recoberto por material coluvial. Na sondagem 1, esse volume é recoberto por 50 cm de colúvio, e sua espessura vai diminuindo vertente abaixo. Este volume e

os superiores foram erodidos na altura da sondagem 2, onde localmente ocorre um pequeno patamar.

Volumes E/F: Volumes identificados apenas na trincheira e à sua montante, na sondagem 1. Parte superior de cor 7,5YR 5/8 (E) e inferior 2,5YR 5/8 (F) com contato nítido. Textura argilo-siltosa, sendo que a parte mais amarela (E) é mais argilosa.

Os volumes descritos a seguir não apresentam a mesma ordem sequencial ao longo da vertente. Na verdade, os horizontes identificados nas figuras por G e G', I e I' etc... foram agrupados segundo suas características pedológicas descritas (cor, textura, presença de minerais primários), mas não apresentam uma continuidade ao longo da topossequência, ocorrendo uma ruptura nessa continuidade na altura da sondagem 3. Essa ruptura nos volumes pode ter sido causada por pequenos movimentos de massa dentro do próprio material coluvial inicial; cabe notar que existe uma continuidade na parte superior investigada (sondagens 1 a 3) e outra na parte inferior (sondagens 4 a 7).

Figura nº 06 - Detalhe da parte superior da topossequência 3.



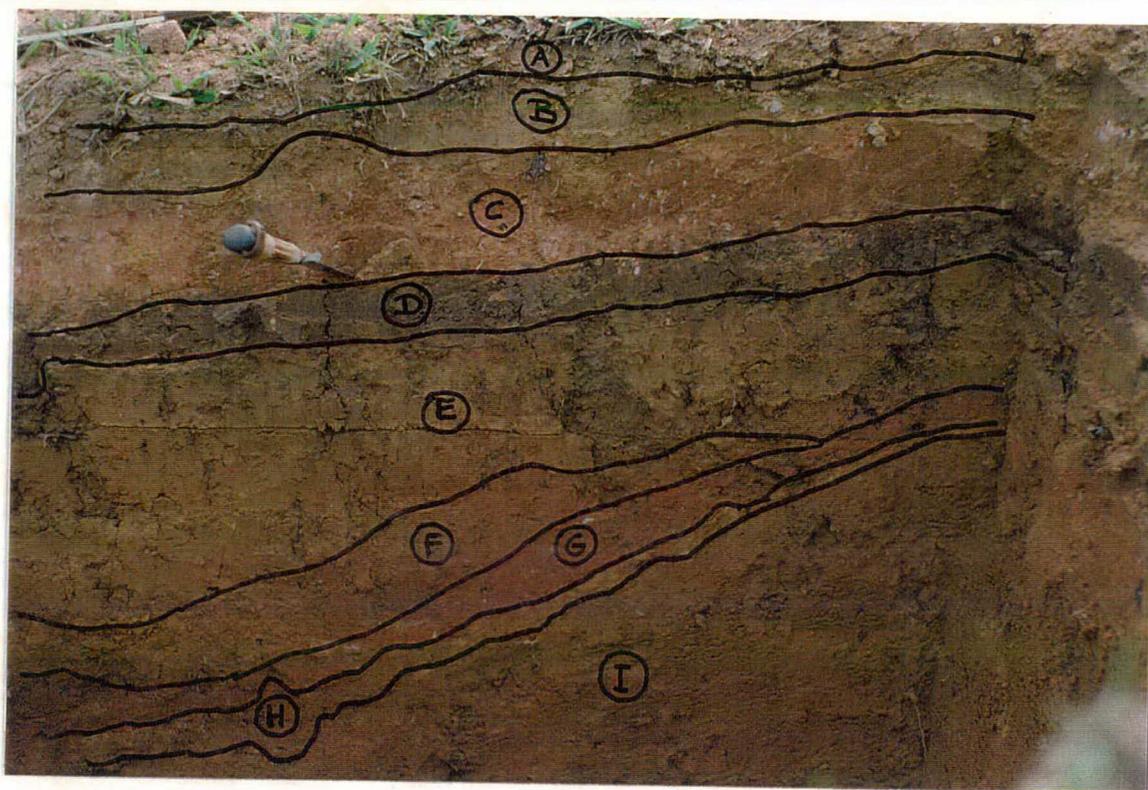


Foto 15 - Visão detalhada do interior da trincheira 3, identificando os diferentes volumes encontrados. Os volumes D e E correspondem respectivamente a um horizonte "A" e um incipiente horizonte "B" enterrados. Mais próximo da superfície, o volume B também parece conter uma certo teor de matéria orgânica.

Volume G: o volume G aparece na trincheira a 60 cm de profundidade e vai tornando-se mais espesso a jusante, aflorando na sondagem 2, em função da perda do material superior por erosão. Cor 2,5 YR 5/8 pouco homogênea, com manchas de rocha alterada e presença de feldspato; textura siltosa e argilo-siltosa com muita areia grossa. Após a ruptura próximo da sondagem 3, encontrou-se material similar, agora bem mais espesso, chamado G'.

Volume H: identificado apenas na trincheira; cor amarelada 7,5YR 5/8 a 6/8; textura siltico-arenosa, com muita areia grossa e fantasmas de rocha alterada.

Volume I: encontrado a 70 cm de profundidade na parte superior da topossequência; cor não homogênea 5YR 5/8 e manchas 2,5YR 4/8; presença de fantasmas de rocha. A textura varia de argilo-siltosa com muita areia grossa a siltico-arenosa, tornando-se mais homogênea vertente abaixo, no volume identificado por I', cuja textura é argilo-siltosa com areia grossa e pequenos fantasmas de rocha alterada. A cor também apresenta-se mais homogênea em I', sendo 5YR 5/6 nas sondagens 4 e 5 e 5YR 5/8 nas sondagens 6 e 7.

Volume J: identificado apenas na parte superior da topossequência, apresentando forma irregular. Cor pouco homogênea 7,5YR 5/8 com manchas 5YR 5/8; textura siltico-arenosa (com um pouco mais de argila que no horizonte anterior), com areia grossa e grânulos (grãos com até 3 mm de diâmetro), feldspato e mica.

Volume K: presente na parte superior da topossequência (identificado entre as sondagens 1 e 2) correspondendo à base da trincheira. Cor não homogênea 5YR 5/8 com manchas 2,5YR 5/8 e 7,5YR 5/8, textura variando de argilo-siltosa a siltico-arenosa, com presença de areia grossa e fantasmas de rocha alterada, com presença ainda de pouco feldspato e pouco manganês. Espessura em torno de 40 cm, aumentando na tradagem 1.

Volume L: encontrado ao longo de toda a topossequência, recebe a denominação L na parte superior e L' após a ruptura na sondagem 3. Cor homogênea 7,5YR 5/8 em toda a vertente. Textura argilo-siltosa com areia grossa. Na tradagem 7, aparecem pequenas concreções de ferro na base do volume L'. Após a sondagem 3 e até a 5, o volume L' encontra-se “entremeado” pelo volume G', sugerindo uma mistura de materiais.

Volume M: identificado ao longo de toda a topossequência, a 3 metros de profundidade na sondagem 1 e a 2 metros na 2, onde apresenta maior espessura. A partir da ruptura é denominado M'. A cor predominante é 5YR 5/8 com grandes manchas 7,5YR 5/8 ao longo da vertente, com algumas manchas 10YR 5/8 na parte denominada M e manchas 2,5YR 5/8 na parte M'. Textura argilo-siltosa a siltico-argilosa; com presença de feldspato e fantasmas de rocha alterada. As variações de cor e a presença de concreções de manganês na tradagem 3 (bem como as concreções de ferro na base do volume L', situado justo acima do M') estão provavelmente ligadas às variações do teor de umidade neste volume não homogêneo com zonas mais oxidadas (mais vermelhas) e outras mais reduzidas (mais amareladas), indicando variações no conteúdo de umidade ao longo do tempo. Encontram-se blocos de rocha alterada ao longo do perfil de toda a vertente, aparentemente com maior ocorrência nesse volume.

Volume N: inicia-se próximo à trincheira e parece estar presente ao longo de toda a topossequência, sobrepondo o volume de rocha alterada. É denominado N na parte superior e N' na parte inferior da vertente. Cor não homogênea 7,5YR 5/8 com manchas 5YR 5/8, possuindo muito material de rocha alterada. Textura variável, tendendo a siltico-arenosa, com fácil penetração do trado.

É possível notar, observando a Figura 06, apresentada anteriormente, que o horizonte com matéria orgânica enterrado ocorre desde junto à parede da cicatriz até a trincheira, aflorando para jusante e, tornando-se novamente enterrado logo a seguir, desaparecendo próximo ao ponto 3. O comportamento desse horizonte sugere uma reativação recente da parede da cicatriz com consequente recobrimento coluvial do solo após uma fase de relativa estabilidade para a sua formação. Esta reativação, provavelmente, está relacionada ao episódio de precipitações excepcionais ocorrido em 1991, conforme as fotos n°06, 07 e 08 apresentadas no Capítulo I. Inclusive é possível distinguir-se na trincheira, um incipiente horizonte B logo após o volume com matéria orgânica.

- Volume de blocos: do ponto 03 até o ponto 22, no pé da cicatriz, ocorre ao longo dessa topossequência um volume com muitos blocos, variando de muito alterado até muito resistente e com núcleo pouco alterado. Por causa desses blocos era impossível encontrar o contato com a rocha alterada com estrutura conservada, pois a sua presença disseminada na massa de preenchimento do anfiteatro dificultava o reconhecimento de um volume de transição e muitas vezes não permitia a passagem do trado. Em alguns pontos de sondagem, volumes semelhantes àquele de transição para a rocha alterada com estrutura conservada estavam associados à presença de blocos e, quando era possível atravessá-los, eram encontrados novamente volumes de cor mais bruna (7.5 YR 5/8, por ex.).

- Volumes com hidromorfia (10YR 5/6 a 7/8, 5Y 6/1 a 5B 7/1 a 5G 6/1, cores mosqueadas): volumes amarelos (10YR) estão presentes no interior da cicatriz. Na trincheira, esses volumes formavam veios que se alternavam com volumes mais avermelhados, podendo também aparecer na forma de bolsões, como o que ocorre em torno do ponto 3 e o outro maior em torno do ponto 50. Este último bolsão se encontra suspenso acima do volume amarelo 10YR que vem da baixada.

O limite a montante encontrado para a presença da água livre através das sondagens foi o ponto 07, onde ela estava a 5.20 m de profundidade e circulando entre um material argilo-arenoso com lito-reliquias e cor bruno-amarelada.

Na planície, o lençol d'água estava sempre presente durante as sondagens e o volume amarelo se transforma para os volumes 5Y, mais amarelo, 5B 7/1 cinza esverdeado, 5G 6/1 cinza-azulado ou com cores mosqueadas. Estas cores se desenvolvem em materiais coluviais, em

materiais da rocha alterada com estrutura conservada hidromorfizada e em volumes predominantemente arenosos, semelhantes àqueles encontrados na topossequência que atravessa a vertente estável.

O volume arenoso apresenta variações, como lentes de areia grossa, areia fina, areia com mica e com manganês, e com cores que variam da amarela (para a areia grossa) a cinza-azulado (geralmente para a areia fina) e preta (onde ocorrem as lentes de areia e manganês).

A transição dos materiais coluviais de textura variável para os materiais arenosos ocorre de forma abrupta como na descrição da topossequência da vertente *in situ*. Ao longo dessa transição ocorre a deposição de manganês e/ou ferro na forma de concreções ou apenas de acúmulo, fenômeno que pode estar relacionado com uma antiga posição do lençol freático da baixada.

### 2.1.3 - Topossequência - 2. Longitudinal ao Eixo de Drenagem Dentro da Cicatriz

O traçado dessa topossequência mostra que a rocha alterada com estrutura conservada que aflora na parede do deslizamento está relativamente perto da superfície até a altura do ponto 77, sendo que para jusante desse ponto, um pacote coluvial mais espesso recobre o seu limite. Na base da cicatriz, a rocha alterada com estrutura conservada volta a aparecer mais próximo da superfície. A presença da pequena forma embaciada modelada no interior da cicatriz coincide com a maior profundidade da rocha alterada nessa topossequência.

O volume 2.5YR passa a acompanhar a rocha alterada com estrutura conservada a partir da quebra de declive na parede da cicatriz, tornando-se menos espesso onde a rocha alterada se encontra muito perto da superfície. Para jusante do ponto 77, esse volume não é mais facilmente identificado, pois confunde-se com o volume amarelo ligado a presença do lençol d'água que vem da baixada. Nessa topossequência, ocorre o ponto de maior altitude onde água livre ainda era encontrada com profundidade menor que 5.20 m.

O volume amarelo (10YR 5/6 a 7/8) segue do ponto 77 até a baixada próximo do ponto 82, a partir de onde o volume com hidromorfia passa a apresentar cores variegadas. Um pequeno bolsão de cor amarela 10YR ocorre no ponto 08, suspenso em relação ao volume contínuo que vem acompanhando o lençol d'água da baixada.

O material que sobrepõe a rocha alterada com estrutura conservada e de onde o volume amarelo se desenvolve não apresenta uma organização em volumes concordantes com a topografia como na descrição da topossequência precedente. Esse volume é muito heterogêneo do ponto de vista de cor e textura: material mais siltoso e/ou arenoso e muitos fragmentos e lito-relíquias estão presentes desde a superfície, enquanto cores como 2.5 YR e 7.5YR podem suceder-se a cada 50 cm de profundidade.

Na baixada, essa topossequência termina no mesmo ponto da topossequência 1 e por isso também apresenta um volume arenoso. O limite desse volume arenoso com os outros materiais não fica bem definido, pois até o ponto 82 nenhum volume essencialmente arenoso havia ocorrido.

## 2.2 - TOPOSSEQUÊNCIAS TRANSVERSAIS (Figura no 07):

### 2.2.1 - Topossequência - 4. Transversal ao Topo da Cicatriz de Deslizamento

Essa topossequência, que passa pela trincheira 03, mostra a transição abrupta dos volumes desenvolvidos *in situ* na vertente estável para o volume coluvial que preenche a cicatriz, terminando na parede que expõe a rocha alterada com estrutura conservada, onde no topo afloram os volumes da cobertura pedológica da vertente.

Na parede sul do deslizamento, ocorre um corpo de rocha alterada de aspecto diferenciado da alteração comumente encontrada para o migmatito na área, pois se apresenta mais escura quando quase são e com alteração de textura muito fina e com cor bruno-amarela forte (7.5 YR 5/8), possuindo interpenetração com a alteração bandeada do migmatito encontrada na maior parte das sondagens na vertente. Supõe-se que esta rocha seja diabásio, contudo não se sabe se formada durante as intrusões do Cretáceo ou concomitante com a formação do migmatito, ou seja, formando um paleossoma. (Foto n°16).



Foto 16 - Perfil da parede da cicatriz mostrando o volume de isoalterita com cor amarelada e textura siltico-argilosa produto da alteração de uma rocha escura (possivelmente com composição mais básica) encontrada nesse perfil.

O limite superior da rocha alterada com estrutura conservada tem a forma de uma espécie de calha em profundidade, sendo acompanhado pelo volume 2.5 YR, *in situ*, que por sua vez desaparece na parede do deslizamento.

LEGENDA

-  HORIZONTE SUPERFICIAL COM ACUMULAÇÃO DE MATERIA ORGÂNICA
-  HORIZONTE ARGILOSO COM COR BRUNO-AMARELADA (7,5Y R)
-  HORIZONTE ARGILOSO COM COR BRUNO-AVERMELHADA (5Y R)
-  HORIZONTE ARGILO-SILTOSO AVERMELHADO DE TRANSIÇÃO (2,5YR) PARA A ROCHA ALTERADA COM ESTRUTURA CONSERVADA
-  ROCHA ALTERADA COM ESTRUTURA CONSERVADA
-  ROCHA ALTERADA QUASE SÃ
-  ROCHA ALTERADA COM ESTRUTURA CONSERVADA COM HIDROMORFIA
-  VOLUME COM COR E TEXTURA VARIÁVEIS (COLUVIO)
-  VOLUME BRUNO-AMARELADO (10 YR) SEM HIDROMORFIA NO TOPO E MÉDIA VERTENTE / COM HIDROMORFIA E GLEIZAÇÃO DE BAIXA VERTENTE (5B, 2,5 Y, 10 YR, CORES VARIADAS)

 CONTATO INFERIDO

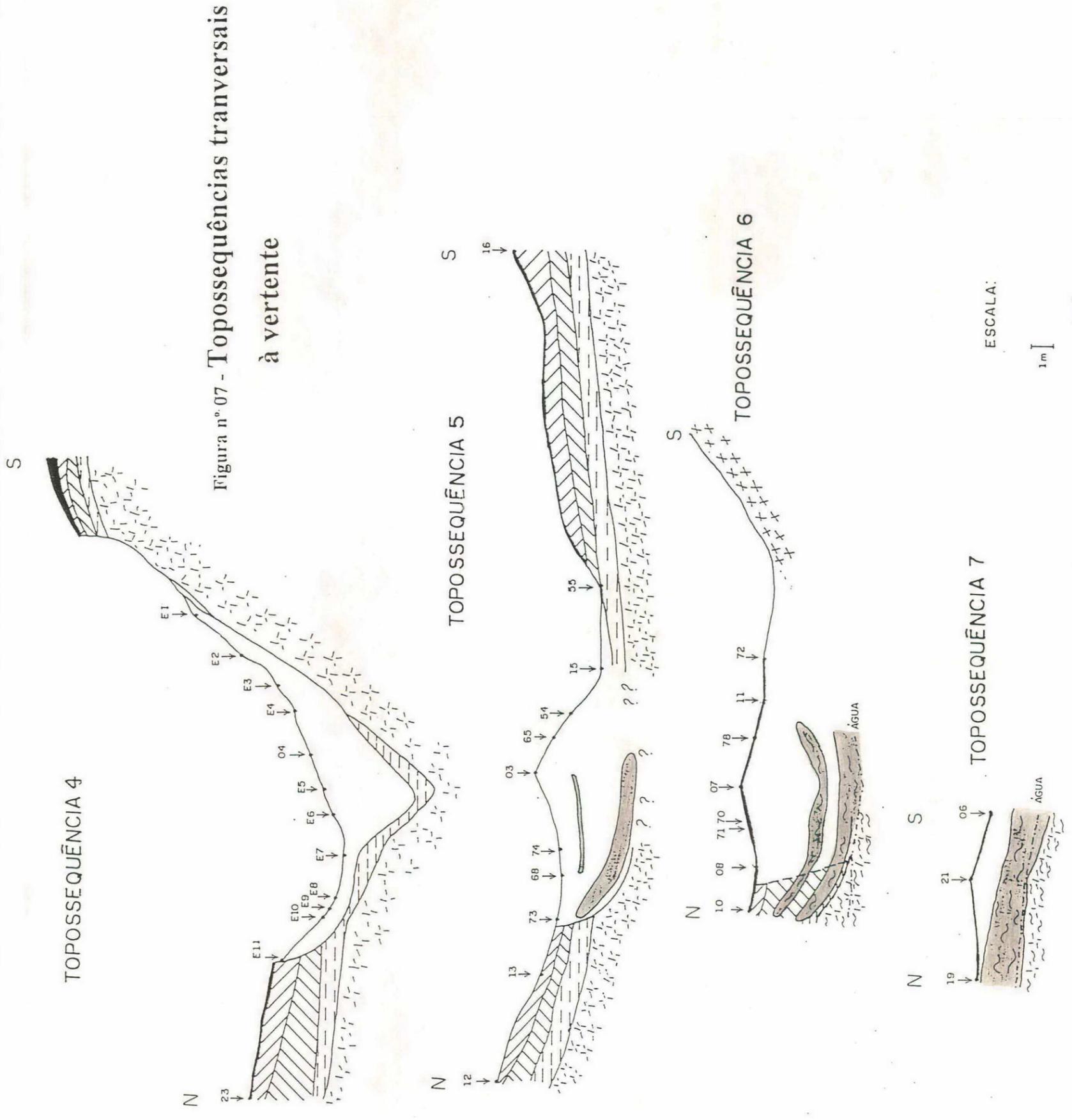
 CONTATO DESCONHECIDO

 POSIÇÃO DA ÁGUA LIVRE DURANTE A TRADAGEM

 PONTO DE SONDAGEM / / POSIÇÃO DA ABERTURA DA TRINCHEIRA

 BLOCOS DE ROCHA ALTERADA

 CONCREÇÃO OU ACÚMULOS DE MANGANÊS E / OU FERRO



O volume de colúvio encontrado nessa toposseqüência é pouco espesso ao norte, onde se localiza um dos eixos de drenagem citados anteriormente. E também não apresenta muitos blocos de rocha alterada no seu interior. Foram ainda encontrados traços de um horizonte orgânico enterrado ao norte nessa toposseqüência, semelhante àquele da toposseqüência 3, evidenciando uma reativação da parede da cicatriz.

### 2.2.2 - Toposseqüência - 5. Transversal a Parte Mediana da Cicatriz de Deslizamento

A transição dos volumes *in situ* para o material coluvial ocorre de forma abrupta no lado norte dessa toposseqüência, enquanto no lado sul, onde está o eixo de drenagem, a transição se apresenta mais suavizada, acompanhada pelo horizonte superficial orgânico. Nesse lado, desaparecem os horizontes 7.5 YR e 5 YR da vertente e permanece sob o eixo de drenagem o volume 2.5 YR com um raso recobrimento coluvial.

Para o centro da toposseqüência a altitude aumenta e o manto coluvial também se espessa. A presença de muitos blocos na massa de preenchimento não permitiu identificar com certeza o limite da rocha alterada com estrutura conservada nessa parte central.

Volumes amarelos (10 YR) na forma de bolsões estão presentes entre a parte central e o lado esquerdo do perfil. O volume amarelo mais profundo parece mergulhar para a parte central da toposseqüência, enquanto o outro menor, suspenso em relação ao primeiro, mergulha em direção ao lado norte, seguindo a superfície topográfica.

### 2.2.3 - Toposseqüência - 6. Transversal ao Terço Inferior da Cicatriz de Deslizamento

Essa toposseqüência está limitada por um afloramento rochoso em seu lado sul, sendo que até o ponto 07 não foi possível identificar o limite superior da rocha alterada com estrutura conservada por causa da grande quantidade de blocos presentes no trecho. Para além do ponto 07, em direção ao lado norte da toposseqüência, não foram encontrados blocos, apenas a presença de fragmentos e relíquias de rocha.

Também o limite entre o material *in situ* e o material deslizado ao norte da topossequência não se apresentou muito claro durante as sondagens.

Como na topossequência 5, ocorrem dois bolsões de volume amarelo (10YR) no interior desta topossequência, um suspenso em relação ao outro. Tais bolsões, ligados ao lençol d'água da baixada e a um lençol suspenso, se aprofundam em direção a posição onde está o ponto 07. O limite da água livre encontrada durante as sondagens também se aprofunda na posição do ponto 07.

#### **2.2.4 - Topossequência - 7. Transversal à Base da Cicatriz de Deslizamento**

Essa pequena topossequência no pé da cicatriz apresenta material coluvial pouco espesso com hidromorfia recobrimdo a rocha alterada com estrutura conservada também hidromorfizada. Os limites da água livre encontrada durante as sondagens e da rocha alterada com estrutura conservada parecem aprofundar-se em direção ao ponto 06. Neste ponto, ocorre presença de concreções de ferro no interior da rocha alterada.

O volume de colúvio apresenta lito-relíquias e fragmentos de rocha alterada, texturas areno-siltico-argilosas próximo da superfície e diferentes cores relacionadas aos fragmentos e a intensa hidromorfia.

### 2.3 - *PERFIS DE TEXTURA DE ALGUNS PONTOS SELECIONADOS NA VERTENTE ESTÁVEL E NA CICATRIZ.*

Os dados de textura obtidos através da análise granulométrica de amostras coletadas em diferentes pontos na vertente estável e no interior da cicatriz podem ser vistos através das Tabelas no anexo e da Figura nº.08.

Os pontos localizados na vertente estável apresentam um significativo incremento de argila em torno das profundidades de 0.5 m a 1.5 m, diminuindo a percentagem deste tamanho de grão em profundidade, passando, então, a serem mais significativas as percentagens das frações silte e areia (como mostram as tabelas no anexo e a Figura nº.08). Os teores de argila alcançam de 48 a 66% nestas profundidades. Este comportamento caracteriza a presença de um horizonte B textural no solo desta vertente, confirmando a classificação de solo podzólico citada na caracterização da Bacia.

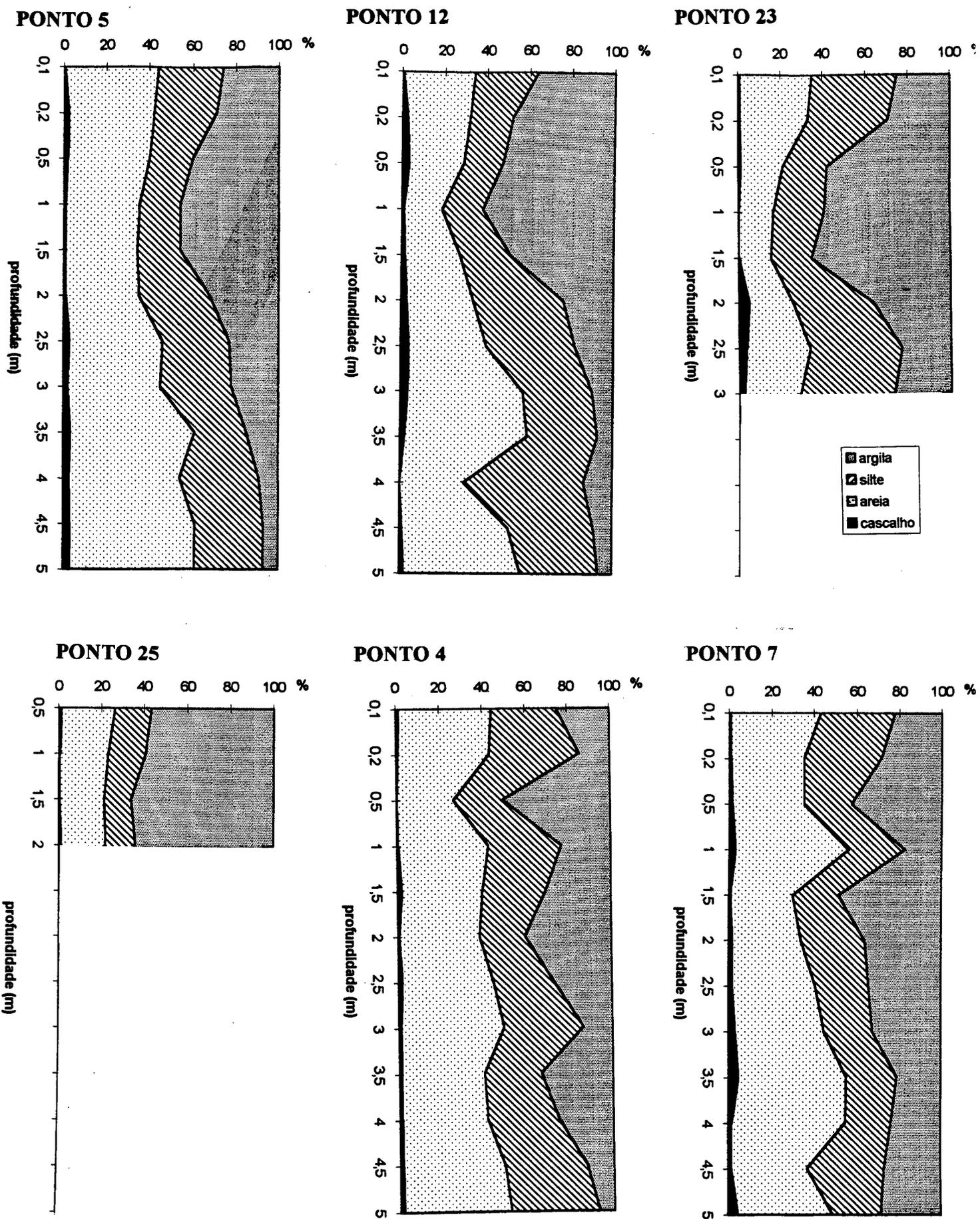
O ponto 05, localizado no topo da vertente, é aquele que apresenta as menores percentagens de argila para as profundidades citadas anteriormente, entre os pontos da cobertura pedológica da vertente. Isto ocorre provavelmente em função de uma maior lixiviação dos materiais no topo, permanecendo apenas os mais grossos (COLÂNGELO, 1990). Já o ponto 25, localizado no terço superior da vertente é onde ocorrem os maiores teores de argila, este fato pode estar relacionado ao aparecimento em profundidade de um volume de alteração com textura mais fina e cores mais escuras, a qual pode ter sido a matriz deste perfil de solo. Esta mesma situação ocorre no ponto 23, situado alguns metros abaixo do ponto 25.

Em profundidade, o aumento da fração argila corresponde à ocorrência dos volumes bruno-amarelado (7.5YR) e bruno-avermelhado (5YR), sendo este último o mais argiloso do perfil.

Em torno da profundidade de 2.0 m, os perfis da cobertura da vertente apresentam uma queda brusca da quantidade da fração argila e passam a ter uma textura variando de siltico-arenosa para areno-siltosa, porém o ponto 05 possui uma textura predominantemente mais arenosa até os 5.0 m de profundidade. Essa inversão no perfil de textura corresponde ao início do horizonte mais vermelho (2.5YR) de transição para a rocha alterada com estrutura conservada, a qual se apresenta muito siltico-arenosa, como no ponto 23, ou areno-siltosa, como no ponto 05,

ou ambas as texturas se alternam à medida que se penetra em profundidade dentro da rocha alterada com estrutura conservada, como no ponto 12.

Figura nº 08 - PERFIS DE TEXTURA DOS PONTOS 05, 12, 23, 25, 04 e 07



Os perfis de textura dos pontos 4 e 7, localizados no interior da cicatriz de deslizamento, não apresentaram um padrão definido de comportamento, com a fração argila sendo significativa até 5.0 m de profundidade, como ocorre no ponto 07, localizado no terço inferior da cicatriz (como mostram as tabelas no anexo e a Figura nº.08). A predominância de uma fração granulométrica sobre a outra não é muito significativa em termos de percentagem e pode alternar-se de 50 em 50 cm, ora é a fração silte a de maior quantidade, ora é a fração argila, passando em seguida para a fração areia. Em grande parte desses perfis parece ocorrer uma mistura das texturas dos horizontes encontrados na vertente estável.

No ponto 04, próximo dos 3.0 a 3.5 m de profundidade, foi reconhecido o limite do horizonte vermelho de transição para a rocha alterada com estrutura conservada *in situ*, pois o comportamento do perfil de textura a partir dessa profundidade é semelhante àquele dos perfis de textura da vertente. A rocha alterada com estrutura conservada é alcançada perto dos 4.0 m de profundidade nesse ponto. Por outro lado, a análise do perfil de textura do ponto 07 não permite identificar, através do parâmetro do comportamento textural, os limites do volume de transição e da rocha alterada com estrutura conservada.

### 3 - CARACTERIZAÇÃO E COMPORTAMENTO GEOMECÂNICO DOS VOLUMES:

As características e o comportamento geomecânico foram obtidos para as amostras representativas dos horizontes:

- bifásico 10YR 3/4 e 7.5YR 5/8 (amostra 0.4 - 0.7 m)
- bruno-amarelado (amostra 0.7 - 1.0 m), bruno-avermelhado (amostra 1.0 - 1.40 m)
- parcialmente do horizonte avermelhado de transição para a rocha alterada (amostra 1.9 - 2.2m)
- da alteração da rocha com estrutura conservada (amostra alterita)
- do interior da cicatriz no ponto 04 (amostra cicatriz, 2.0 - 2.30 m)

Estes dados podem ser observados nas tabelas nºs 1, 2 e 3, onde os resultados das amostras representativas do solo aparecem sombreadas, e Figura nº 09.

**TABELA 01 - TEXTURA DAS AMOSTRAS**

| amostra (m) | argila (%) | silte (%) | areia (%) | cascalho (%) |
|-------------|------------|-----------|-----------|--------------|
| 0,4-0,7     | 56,90      | 16,90     | 24,70     | 01,40        |
| 0,7-1,0     | 59,40      | 17,50     | 22,40     | 00,60        |
| 1,0-1,4     | 66,10      | 12,50     | 21,00     | 00,30        |
| 1,9-2,2     | 63,80      | 13,90     | 21,00     | 01,10        |
| alterita    | 07,00      | 30,00     | 60,90     | 02,10        |
| cicatriz    | 40,50      | 21,50     | 37,20     | 00,60        |

**TABELA 02 - CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS**

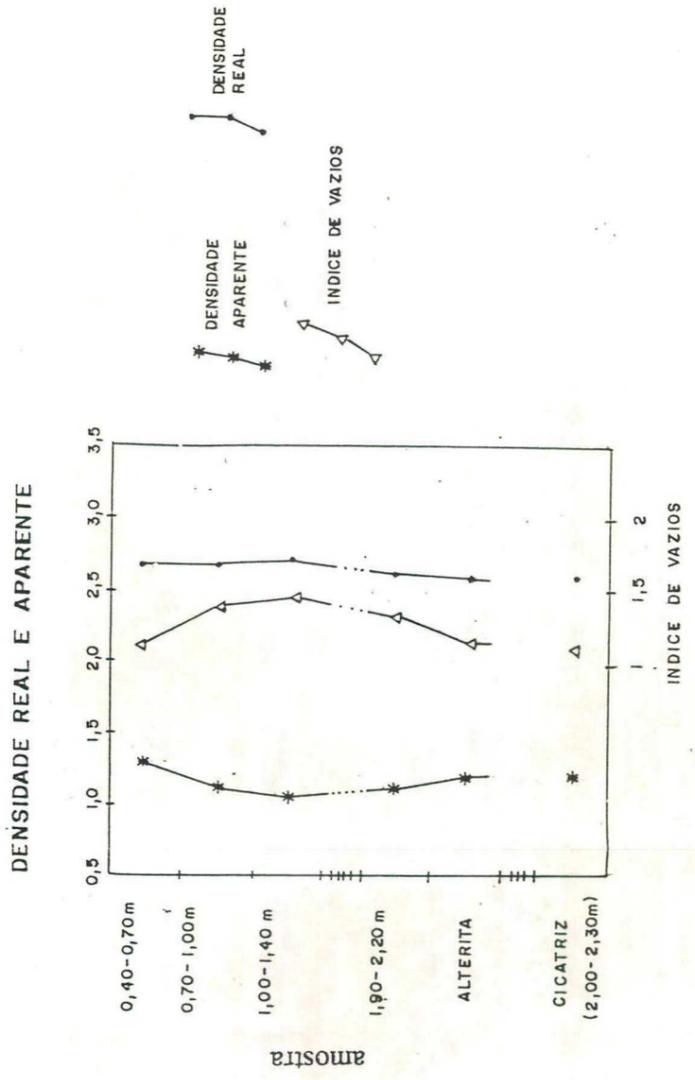
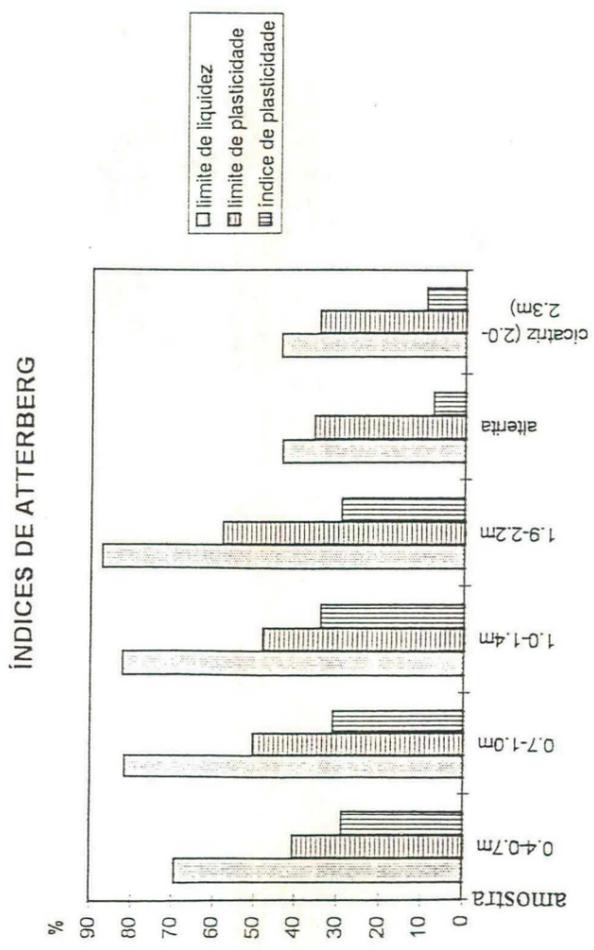
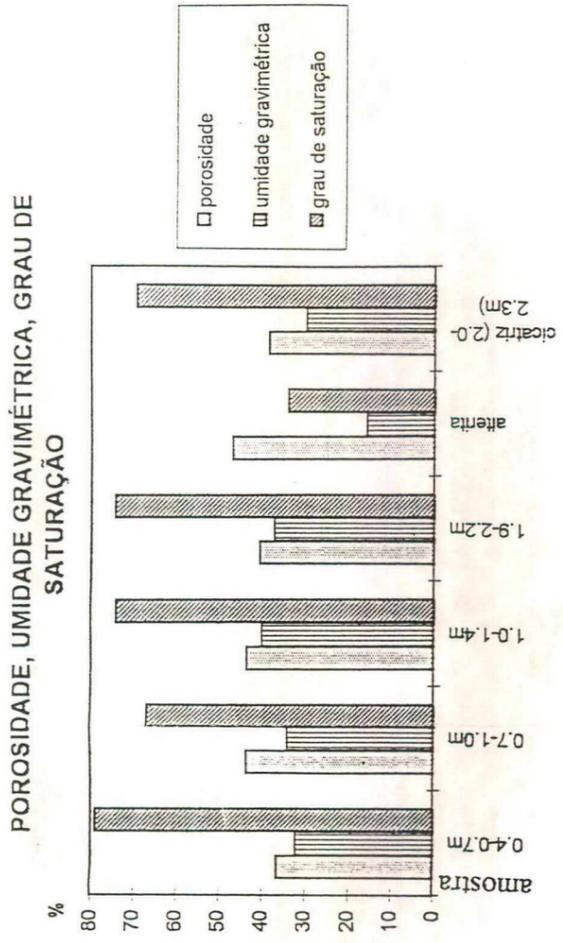
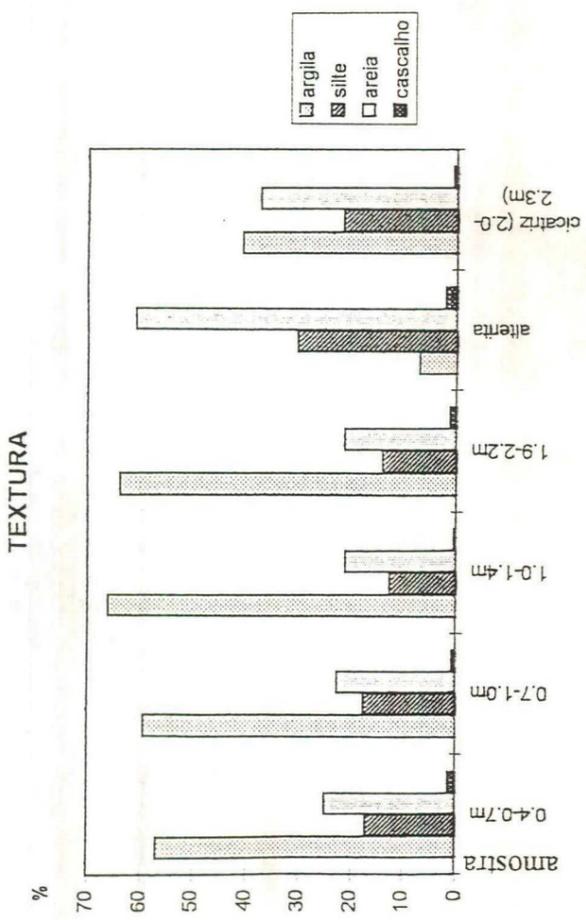
| amostra (m) | limite de liquidez (%) | limite de plasticidade (%) | índice de plasticidade (%) | densidade real | densidade aparente | porosidade (%) | grau de saturação (%) | umidade gravimétrica (%) |
|-------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------|--------------------|----------------|-----------------------|--------------------------|
| 0,4-0,7     | 69,33                  | 40,46                      | 28,87                      | 02,68          | 01,70              | 36,50          | 79,00                 | 32,00                    |
| 0,7-1,0     | 81,50                  | 50,41                      | 31,09                      | 02,68          | 01,51              | 43,50          | 66,80                 | 34,00                    |
| 1,0-1,4     | 82,10                  | 48,09                      | 34,09                      | 02,72          | 01,54              | 43,50          | 74,10                 | 40,00                    |
| 1,9-2,2     | 87,19                  | 57,96                      | 29,23                      | 02,61          | 01,55              | 40,40          | 74,40                 | 37,00                    |
| alterita    | 43,50                  | 35,87                      | 07,63                      | 02,55          | 01,35              | 46,80          | 34,00                 | 15,70                    |
| cicatriz    | 43,80                  | 34,65                      | 09,15                      | 02,58          | 01,59              | 38,40          | 69,30                 | 29,70                    |

**TABELA 03 - PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA DAS AMOSTRAS**

| amostra (m) | coesão (kgf/cm <sup>2</sup> ) |          | ângulo de atrito interno (°) |          | umidade (%)     |                  |
|-------------|-------------------------------|----------|------------------------------|----------|-----------------|------------------|
|             | natural                       | inundado | natural                      | inundado | antes-inundação | depois-inundação |
| 0,4-0,7     | 0,713                         | 0,511    | 22                           | 20       | 31,9            | 39,0             |
| 0,7-1,0     | 0,956                         | 0,239    | 18                           | 28       | 34,5            | 41,8             |
| 1,0-1,4     | 0,643                         | 0,189    | 20                           | 21       | 40,1            | 49,3             |
| 1,9-2,2     | 0,894                         | 0,447    | 18                           | 22       | 38,4            | 44,0             |
| alterita    | 0,361                         | 0,176    | 29                           | 31       | 15,7            | 31,4             |
| cicatriz    | -                             | 0,120    | -                            | 27       | 29,7            | 37,6             |

\* As amostras representativas dos volumes do solo *in situ* estão sombreadas.

Figura nº 09 - CARACTERIZAÇÃO GEOMECÂNICA DAS AMOSTRAS



### 3.1- CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS

#### 3.1.1 - Textura

O comportamento textural das amostras analisadas confirma os perfis de textura apresentados anteriormente, pois as amostras coletadas no solo *in situ* apresentaram predomínio da fração argila, sendo as amostras coletadas nas profundidades de 1.0 - 1.4 m e 1.9 - 2.2 m as que possuíam as maiores percentagens dessa fração granulométrica, 66.10 e 63.80 % de argila respectivamente; a amostra coletada no volume da rocha alterada (alterita) apresentou textura areno-siltosa, conforme a tabela nº 01, com pequena percentagem de argila, apenas 7 %, enquanto, a amostra coletada no interior da cicatriz se mostrou argilo-arenosa sem grande predomínio de uma fração sobre a outra, 40.50 % de argila e 37.20 % de areia, sendo que a fração silte também se apresentou significativa nessa amostra, cerca de 21 %.

#### 3.1.2 - Limites de Atterberg

O comportamento dos limites de Atterberg acompanha os dados de textura das amostras, sendo os limites de liquidez e plasticidade muito altos nas amostras do solo até junto da transição para a rocha alterada, pois os teores de argila também são altos (tabela nº 02 Figura nº 09). Assim sendo, tais amostras precisam absorver mais umidade para atingir os estados plástico e líquido, o que não é o caso da amostra da alterita que apresenta baixos limites de liquidez e plasticidade. No solo, a mudança significativa no perfil de textura na passagem dos horizontes superiores para a alteração da rocha provoca uma mudança também no comportamento dos materiais em relação ao estado físico perante a água. Os horizontes superiores do solo são mais plásticos em relação ao horizonte de alteração; este, por sua vez, apresenta maior probabilidade de se quebrar, pois apresenta um baixo índice de plasticidade.

A amostra do interior da cicatriz apresenta valores dos índices de Atterberg próximos daqueles da alterita, apesar de possuir maior teor de argila do que esta última, porém com maior conteúdo de areia do que as amostras do solo *in situ*.

Sabe-se que o tipo de argilo-mineral presente no solo também influencia o seu estado físico perante a água, porém na área em estudo, solo e manto de alteração possuem caulinita como argilo-mineral predominante (BELTRAME, *in prep.*), ocorrência comum em clima úmido.

A Figura nº 10 mostra os tipos de argilo-minerais presentes nos horizontes de solo e alteritas subjacentes coletadas em uma vertente próxima. Através desta tabela é possível visualizar que a caulinita apresenta picos mais evidentes, mas também ocorrem mica e vermiculita hidroxialuminosa. A vermiculita hidroxialuminosa pode ser neoformada, ou seja, formada a partir dos produtos do intemperismo.

TESSIER (1996) discute a importância de estudar os argilo-minerais até o nível ultramicroscópico, pois encontrou diferenças no sistema de cristalização de caulinitas constituintes de duas amostras de latossolos roxos desenvolvidos a partir de basaltos coletadas em dois lugares distintos (Cascavel e Paulotina, no Paraná), sendo que um destes solos se compactava sob o uso de máquinas agrícolas, enquanto o outro, não. Para o pesquisador, a explicação do fato pode estar relacionada à forma de cristalização da caulinita nos dois solos analisados, pois aquele que se compactava possuía caulinita na forma do que o autor chamou de “purê de ervilha” e o outro possuía caulinita bem cristalizada.

## FIGURA nº 10 - IDENTIFICAÇÃO DOS ARGILO-MINERAIS

(Distâncias interplanares: □)

| amostra/<br>tratamento                  | Caulinita  | Gibbsita  | Mica | V-Hi+<br>Esmectita | Esmectita | Vermiculi<br>ta-hidroxi | Quartzo   |
|---|------------|-----------|------|--------------------|-----------|-------------------------|-----------|
| TS1 - Hor.1<br>0-12 cm                  | 1/Mg-EG    | 3,54/7,19 | 4,81 | 10,3               |           | 14,7                    |           |
|   | 1/K 25 °C  | 3,74/7,38 | 4,90 | 10,1               |           | 13,6                    |           |
| TS1 - Hor.1<br>20-30 cm                 | 2/Mg-EG    | 3,57/?    | 4,79 |                    |           | 13,0                    |           |
|   | 2/K 25 °C  | 3,57/7,2  | 4,85 | 10,6?              | 13,8      | 16,7                    |           |
| TS1 - Hor.2<br>80-90 cm                 | 3/Mg-EG    | 3,57/?    | 4,87 |                    |           |                         |           |
|   | 3/K 25 °C  | 3,62/7,31 | 4,86 |                    |           | 13,8                    |           |
| TS1 - Hor.2<br>150 cm                   | 4/Mg-EG    | 3,59/7,23 | 4,87 | 10,3               |           | 14,7                    |           |
|   | 4/K 25 °C  | 3,60/7,?  | 4,86 | 10,9               |           | 13,6                    |           |
| TS1 - Hor.2 (seco no tato)<br>250 cm    | 5/Mg-EG    | 3,56/7,13 |      |                    |           |                         |           |
|   | 5/K 25 °C  | 3,60/7,37 |      |                    |           |                         |           |
| TS1 - Hor.7<br>330 cm                   | 6/Mg-EG    | 3,55/7,19 |      | 9,8?               |           |                         |           |
|   | 6/K 25 °C  | 3,62/7,37 | 4,87 | 10,5               |           |                         |           |
| TS1 - Hor.7 (alterita c/hidr.)<br>400cm | 7/Mg-EG    | 3,60/7,25 | 4,82 | 10,3               |           | 14,5                    |           |
|   | 7/K 25 °C  | 3,63/7,37 | 4,87 |                    |           |                         |           |
| TB - Hor.4<br>120 cm                    | 8/Mg-EG    | 3,57/7,13 |      | 10,0               |           |                         | 3,34/4,21 |
|   | 8/K 25 °C  | 3,60/7,31 | 4,88 | 10,4               |           |                         | 3,36      |
| TB - Hor.6<br>210 cm                    | 9/Mg-EG    | 3,56/7,13 |      | 10,1               |           |                         | 3,34/4,23 |
|   | 9/K 25 °C  | 3,61/7,38 |      | 10,0               |           |                         | 3,38/4,29 |
| TB - Hor. 7 (alterita)<br>275 cm        | 10/Mg-EG   | 3,58/7,9  | 4,84 |                    |           |                         | 3,35/4,25 |
|   | 10/K 25 °C | 3,62/7,3  | 4,84 | 10,2               |           |                         | 3,37/4,31 |

Fonte: Beltrame, *in prep.*

### 3.1.3 - Densidade Real e Aparente

A densidade real variou muito pouco entre as amostras analisadas, cabendo destacar que o menor valor foi apresentado pela amostra da alterita, inclusive até a amostra do interior da cicatriz apresentou valor de densidade real pouco maior do que ela. O maior valor foi encontrado para a amostra do horizonte bruno-avermelhado (1,0 - 1,4 m), onde se tem o maior percentual de argila do perfil. O desenvolvimento do solo a partir do manto de alteração parece tornar mais densos os materiais resultantes dos processos de intemperismo na área.

A densidade aparente foi significativamente maior, 1.70, na amostra mais superficial do solo (0.4-0.7 m.), devido à compactação que esse horizonte possui em função do pisoteio do gado. Já, nas outras amostras do solo, a densidade aparente ficou entre 1.51, 1.54 e 1.55. A densidade aparente da alterita decresce para 1.35. A densidade da amostra do interior da cicatriz é maior do que as amostras de solo, 1.59, significando que o material se apresenta menos poroso (tabela 02 e Figura nº 09).

### 3.1.4 - Porosidade Total

Os valores da porosidade total variam entre as amostras de forma inversa aos de densidade aparente. Assim, a amostra do horizonte superior possui a menor percentagem de porosidade entre as amostras: 36%, acompanhada daquela da cicatriz, 38%, enquanto na alterita foi encontrado o maior valor, cerca de 46% do total da amostra (tabela 02 e Figura nº 09). Nota-se que as percentagens de porosidade total diminuem em profundidade nos horizontes do solo, com exceção do horizonte superior por causa do pisoteio do gado, e, quando passa em profundidade para a alteração da rocha, a porosidade aumenta. A partir de então, a porosidade variará de acordo com o grau de intemperismo e fraturamento da rocha.

### 3.1.5 - Relação Grau de Saturação-Umidade Gravimétrica

É interessante observar tal relação nas amostras analisadas. Por exemplo: no horizonte superior há 79% de saturação para um percentual de umidade gravimétrica de 32%, enquanto na amostra de 0.7-1.0 m. há 66.8% de saturação para 34% de umidade gravimétrica, ou seja, para

um conteúdo de umidade maior o grau de saturação foi menor na segunda amostra. É possível explicar esse fato através da percentagem de porosidade presente nas duas amostras, onde a porosidade é menor, a quantidade de umidade necessária para aumentar o grau de saturação da amostra é menor; porém outras condicionantes podem influenciar essa relação, como tipo de argilo-mineral (tamanho de superfície específica para adsorver água), quantidade de microporos e macroporos.

Essa relação grau de saturação-percentual de umidade gravimétrica nas amostras está variando segundo as percentagens de porosidade total (tabela 02 e Figura nº 09). A amostra da alterita é a que apresenta o menor grau de saturação (34%) para um conteúdo de umidade também mais baixo entre as amostras analisadas (15.7%) porque esta era a amostra mais porosa (possivelmente macroporosidade) e por isso a que retém menos umidade. O pequeno percentual de porosidade em relação às outras amostras, faz com que a amostra da cicatriz tenha um grau de saturação de 69.3% para um conteúdo de umidade de 29.7%, enquanto as amostras do solo também têm um grau de saturação alto, porém com percentuais de umidade mais elevados.

### *3.2 - PARÂMETROS DE RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS AMOSTRAS (COESÃO E ÂNGULO DE FRICÇÃO INTERNA):*

Os valores de coesão no estado de campo se mostram variáveis entre as amostras do solo, de 0.956 a 0.6434 kgf/cm<sup>2</sup> nas amostras do solo e 0.3614 kgf/cm<sup>2</sup> na alterita (tabela nº 03), porém são relativamente altos se comparados aos resultados obtidos por COLÂNGELO (1990) para litologias de migmatitos em Paraibuna-SP, 0.365 e 0.247 kgf/cm<sup>2</sup> para os horizontes B e C respectivamente. Esta comparação mostra que apenas a amostra de alterita apresenta valor próximo daquele encontrado pelo autor para o que chamou de horizonte C. Contudo, o autor não explicita a profundidade de coleta das amostras no solo, devendo-se também levar em conta os ângulos de fricção interna e da vertente, além da granulometria dos materiais ensaiados para possibilitar uma melhor comparação entre os resultados.

Portanto, uma análise relativa aos resultados obtidos no presente trabalho, acusa diminuição no valor de coesão da alterita em relação às outras amostras e, ainda, que seu valor diminui mais no estado inundado, com perda de sucções. A amostra da alterita também apresentou o maior valor de absorção de umidade no ensaio de cisalhamento direto com

inundação, provavelmente por causa da sua maior percentagem de porosidade total e baixo teor de finos (o que indica provavelmente uma grande quantidade de macroporos e consequentemente boa permeabilidade). Esse comportamento pressupõe que o volume da alterita seja o mais susceptível de perder coesão aparente sob condições de saturação em campo.

Os ângulos de atrito interno encontrados nos ensaios realizados estão em torno de 20° (tabela n.º 03), enquanto que o segmento da vertente de onde foram coletadas as amostras apresenta inclinação de mais ou menos 25°. Para a amostra da alterita, o ângulo de atrito interno foi de 29°, compatível com sua maior quantidade de silte e areia em relação às outras amostras. O maior ângulo de fricção interna da alterita compensa seu baixo valor de coesão no total da sua resistência ao cisalhamento.

O estado de inundação provocou um aumento dos ângulos de fricção interna de quase todas as amostras, o que não era esperado, pois apesar de não se saber realmente se as amostras alcançaram o estado de saturação, seu grau de saturação e conteúdo de umidade aumentaram o que poderia provocar uma certa lubrificação entre os grãos. Se a saturação foi mesmo atingida poderia até ocorrer poro-pressões positivas. Porém convém lembrar que as amostras foram submetidas a forças normais superestimadas durante os ensaios.

#### 4 - FUNCIONAMENTO HÍDRICO

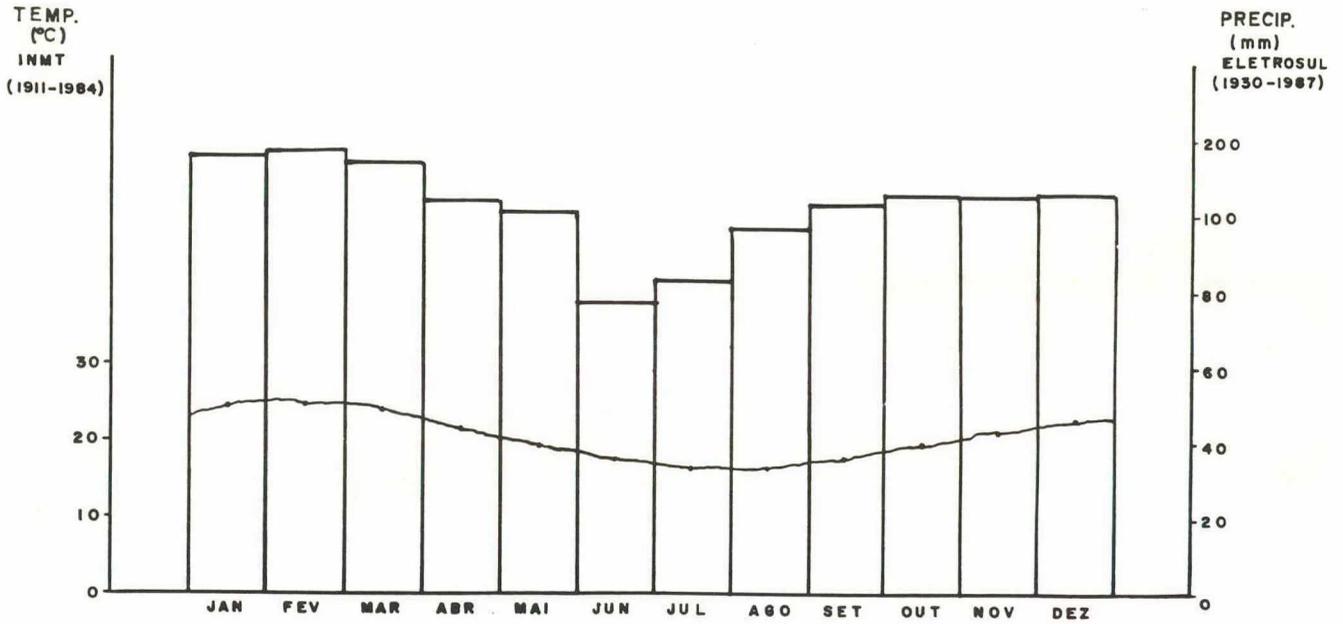
##### 4.1 - *COMPORTAMENTO DAS PRECIPITAÇÕES DURANTE O PERÍODO DE MONITORAMENTO NA ÁREA DE ESTUDO*

Comparando o gráfico ombrotérmico das médias mensais para a estação de Florianópolis com o de precipitação medida na área de Sorocaba de Dentro durante o período de monitoramento, através da Figura n.º 11, observa-se que este período de monitoramento abrangeu um ano atípico do ponto de vista de precipitação. O comportamento da precipitação ao longo do ano foi muito irregular, chovendo muito pouco no outono e no inverno, mesmo comparado às menores precipitações esperadas para esta última estação; já o verão foi muito chuvoso, com concentração de mais de 600 mm de chuva só no mês de janeiro, quando choveu praticamente todos os dias, mas sem ocorrência de picos pluviométricos concentrados em poucas horas. (Figura n.º 12).

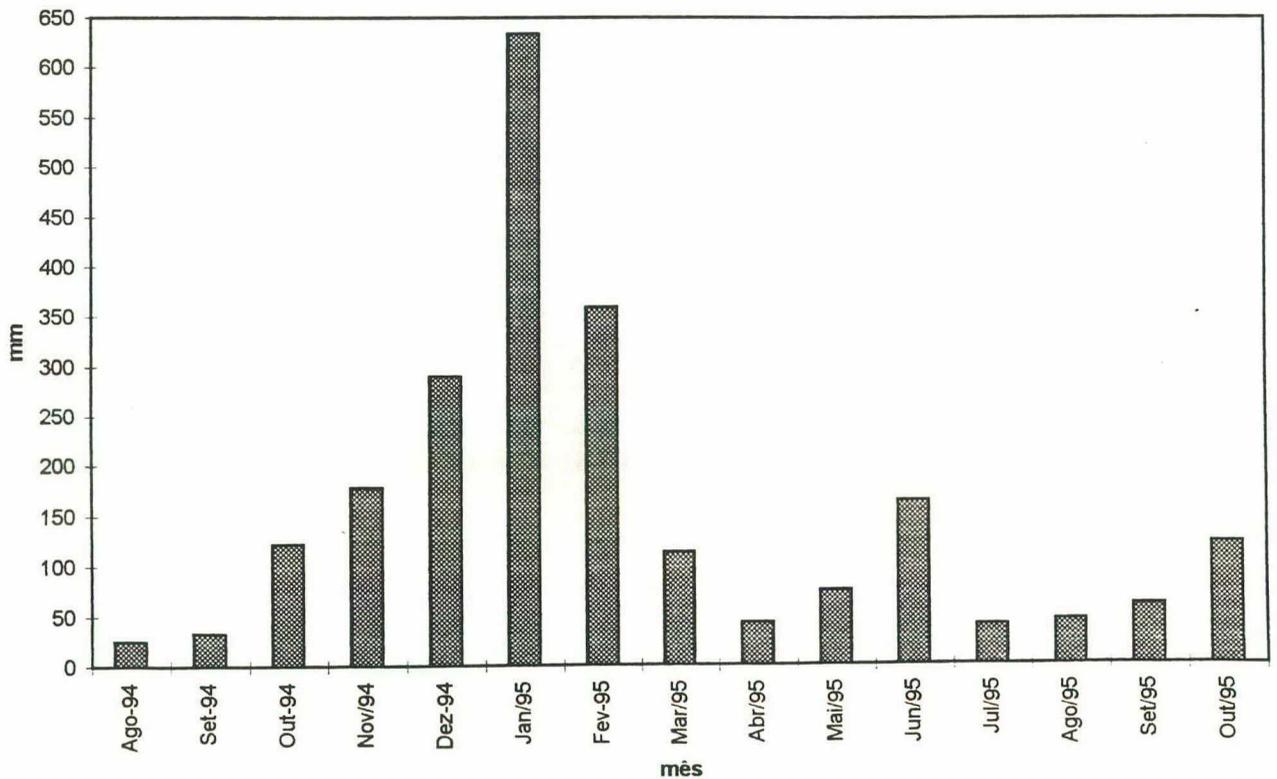
Esse comportamento contrastado da precipitação durante o monitoramento permitiu perceber uma resposta rápida de umidade gravimétrica nos perfis de solo localizados no topo e na meia vertente e também na base e na parte superior da forma de anfiteatro.

Figura nº 11 - COMPARAÇÃO ENTRE AS MÉDIAS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO E AS PRECIPITAÇÕES MENSAIS OCORRIDAS NA ÁREA.

GRÁFICO OMBROTÉRMICO - FLORIANÓPOLIS



PRECIPITAÇÃO EM SOROCABA DO SUL-BIGUAÇU/SC





#### 4.2 - *COMPORTAMENTO DA UMIDADE GRAVIMÉTRICA NOS PERFIS*

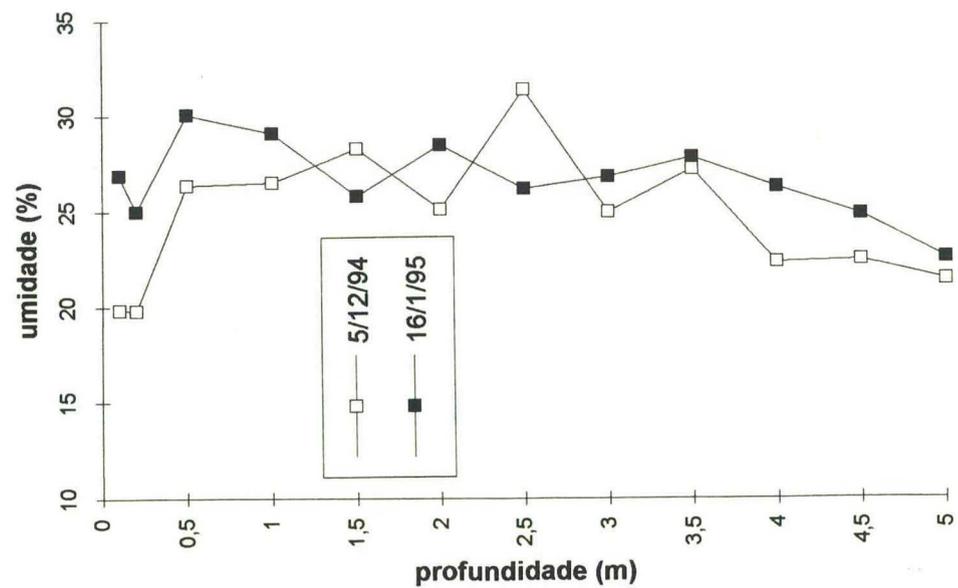
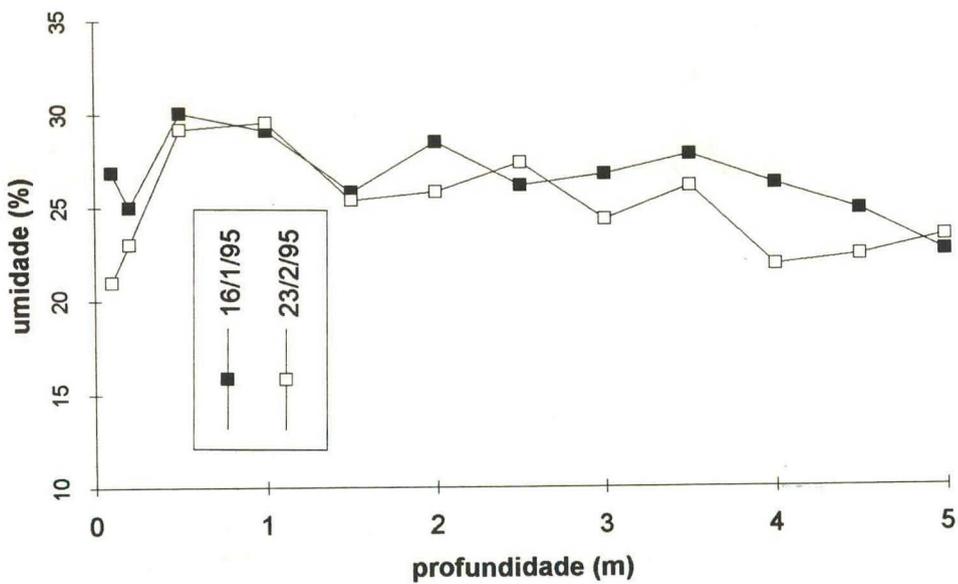
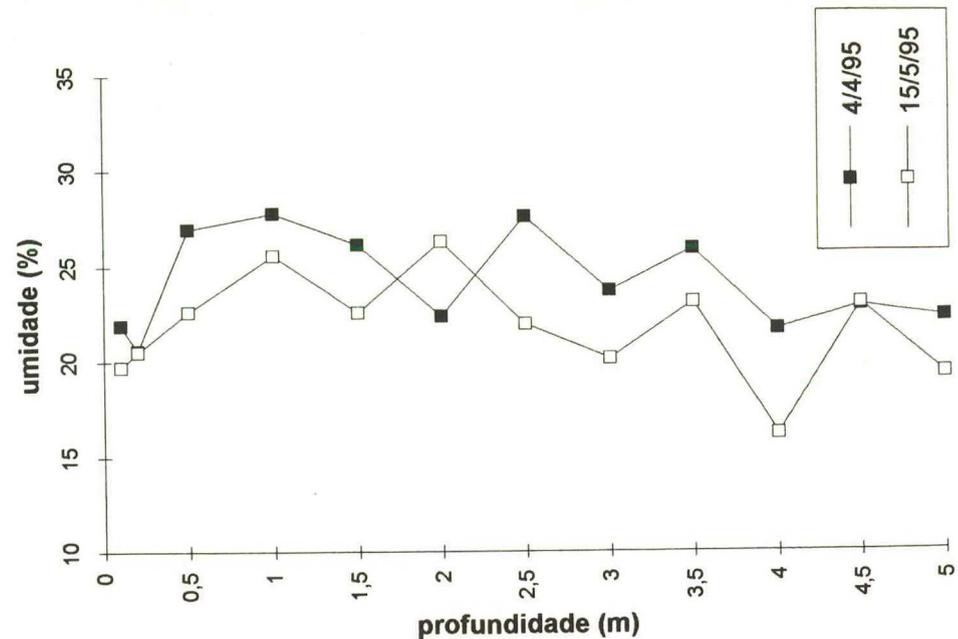
Observando-se os perfis de umidade dos quatro pontos nas datas de 05/12/1994, 16/01/1995, 23/02/1995, 04/04/1995 e 15/05/1995 (Figura nº 13 a, b, c e d), têm-se uma idéia do comportamento da umidade nesses pontos quando havia chovido muito pouco, ou seja, antes do último mês de 1994, passando para um período muito chuvoso nos dois primeiros meses de 1995, e novamente para mais seco em abril de 1995 (ver Figura nº 12, apresentada anteriormente).

As medidas efetuadas durante os meses chuvosos do início de 1995 apresentaram perfis de umidade quase lineares, sem diferenças significativas de conteúdo, a não ser entre profundidades com grandes diferenças texturais, como uma passagem de material argiloso para areno-siltoso, por exemplo. As precipitações quase constantes desse período provavelmente são as responsáveis pela relativa homogeneidade da umidade nos pontos estudados, pois sempre estava chegando água ao perfil.

A umidade demorou mais para alcançar maiores profundidades no ponto 05, localizado no topo da vertente, e no ponto 04, situado no interior da cicatriz à montante. O ponto 05 era também o que possuía menos umidade ao tato durante as sondagens, provavelmente em função da sua posição no topo, ou seja, onde ocorre a dispersão dos fluxos de água. Talvez por ser o mais ressecado dos pontos estudados, dificultava a passagem vertical da água.

Quando as precipitações diminuíram um pouco, ainda em fevereiro, o ponto 12 foi o que apresentou as maiores perdas de teor de umidade em profundidade em relação aos outros pontos, podendo-se assumir como possível causa para o fato, o papel importante da drenagem lateral neste ponto, além da vertical, pois encontra-se em um segmento muito íngreme à meia vertente e possui uma textura areno-siltosa a siltico-arenosa. Por outro lado, os teores de umidade abaixo dos 3.5 m de profundidade no ponto 07 não foram muito diferenciados entre 16/01 e 04/04/1995, apesar da sua textura grossa, possivelmente ocorra aí a influência do lençol freático.

Figura n.º 13 a - PERFIS DE UMIDADE



Ponto - 4

Figura n.º 13 b - PERFIS DE UMIDADE

Ponto - 5

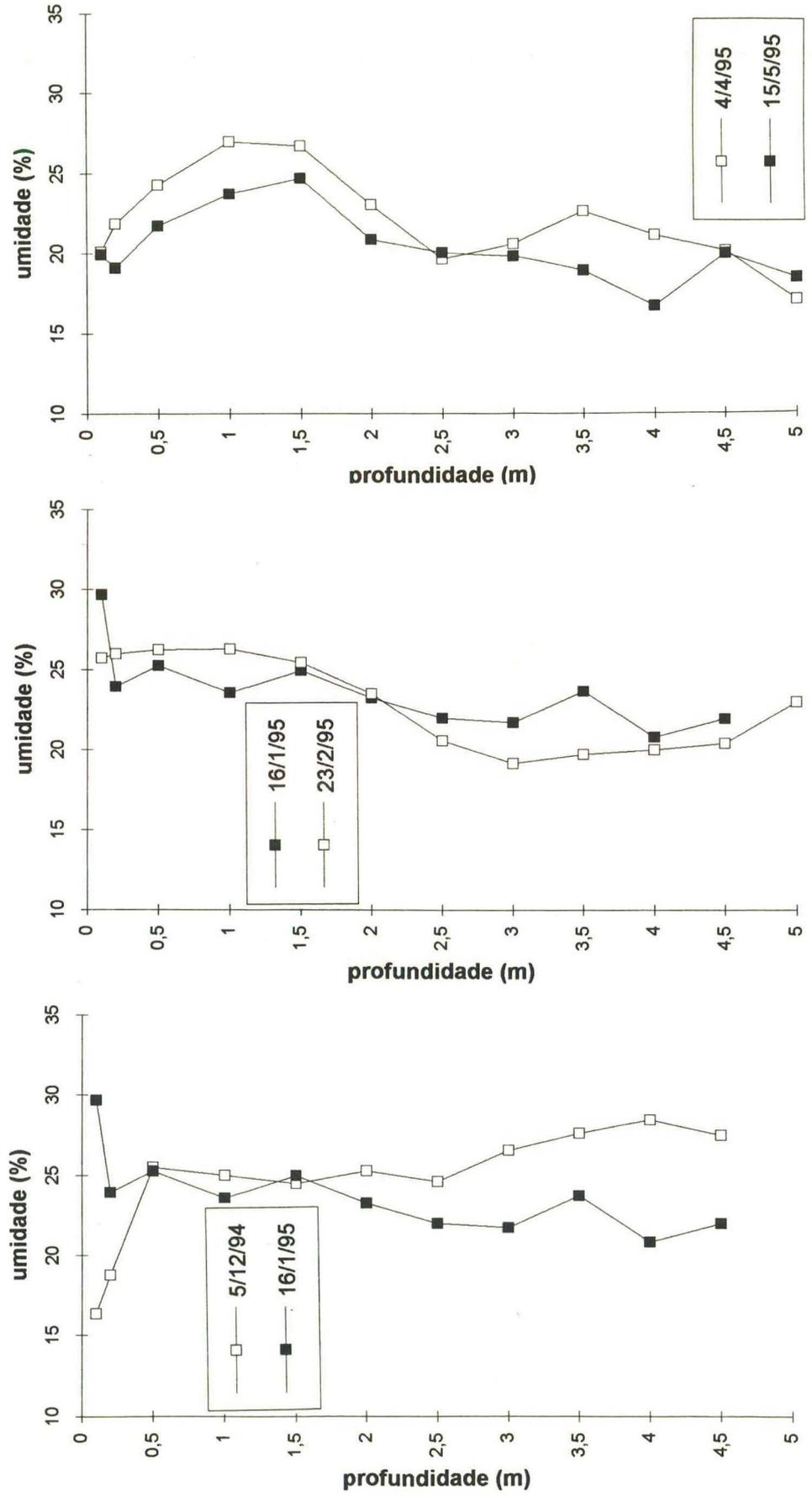


Figura n.º 13 c - PERFIS DE UMIDADE

Ponto - 7

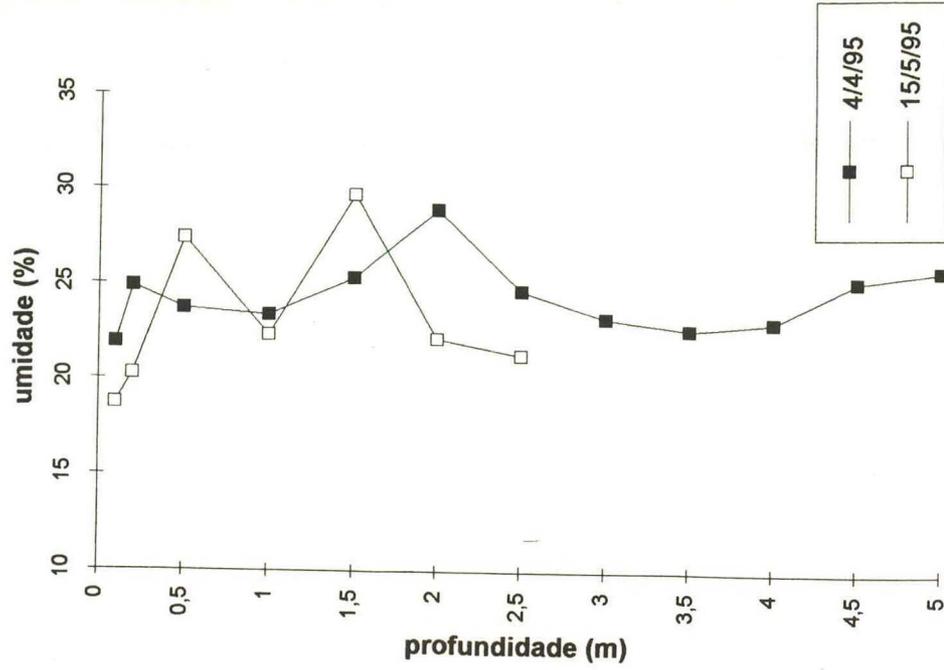
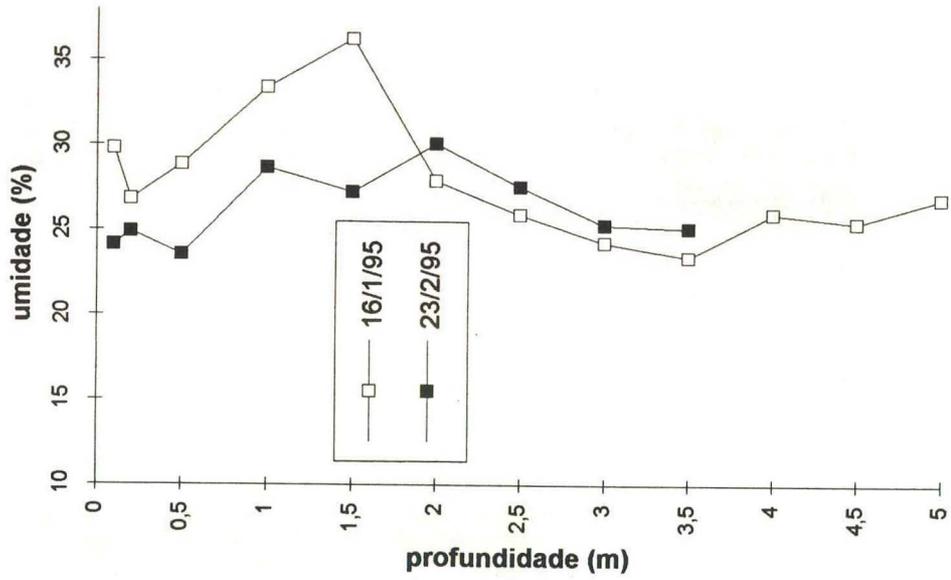
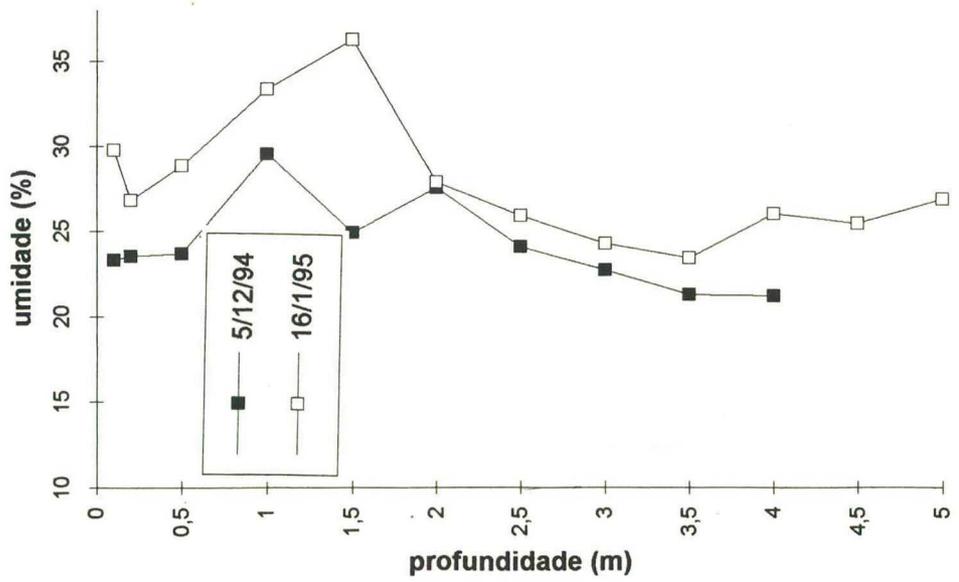
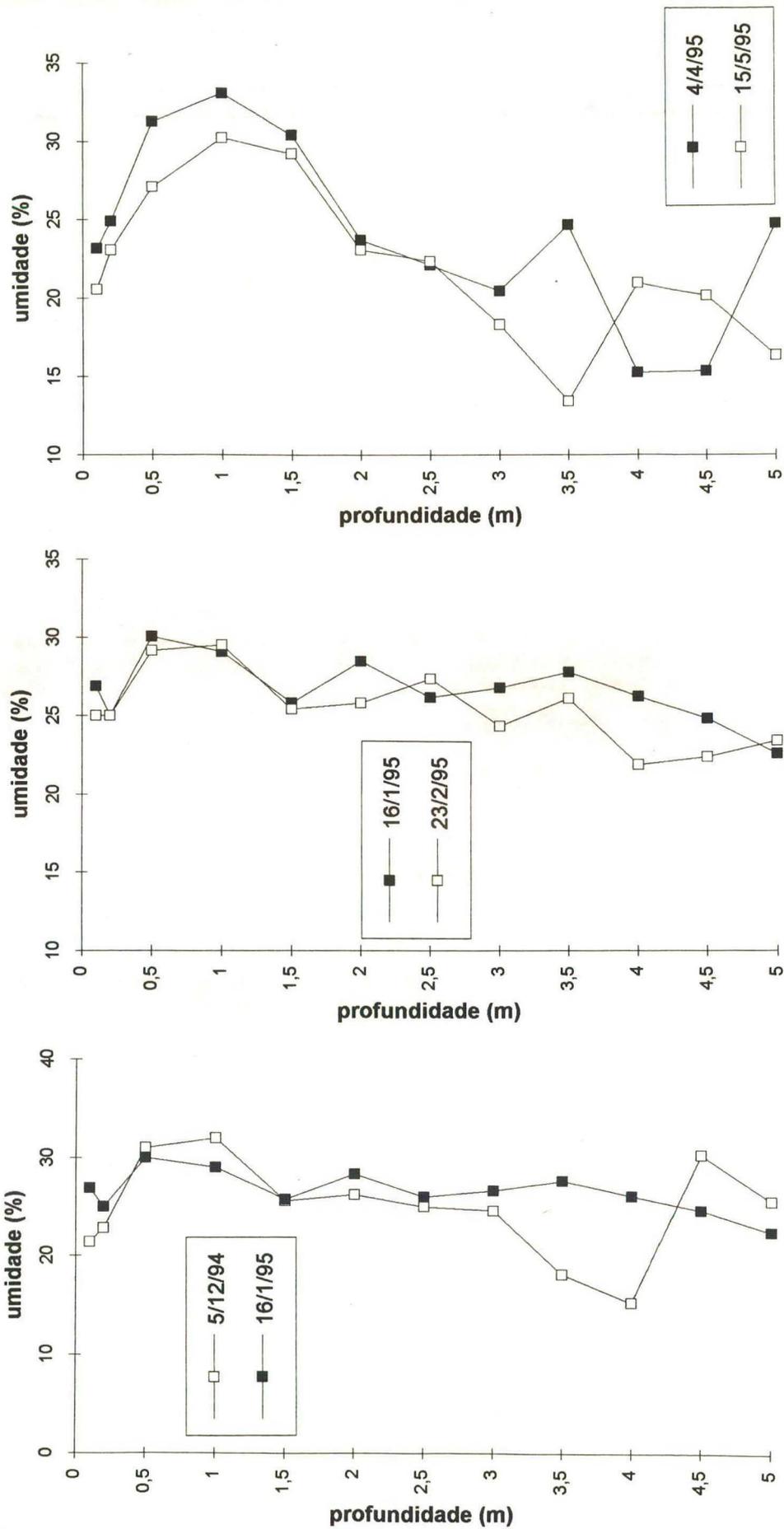


Figura nº 13 d - PERFIS DE UMIDADE

Ponto - 12

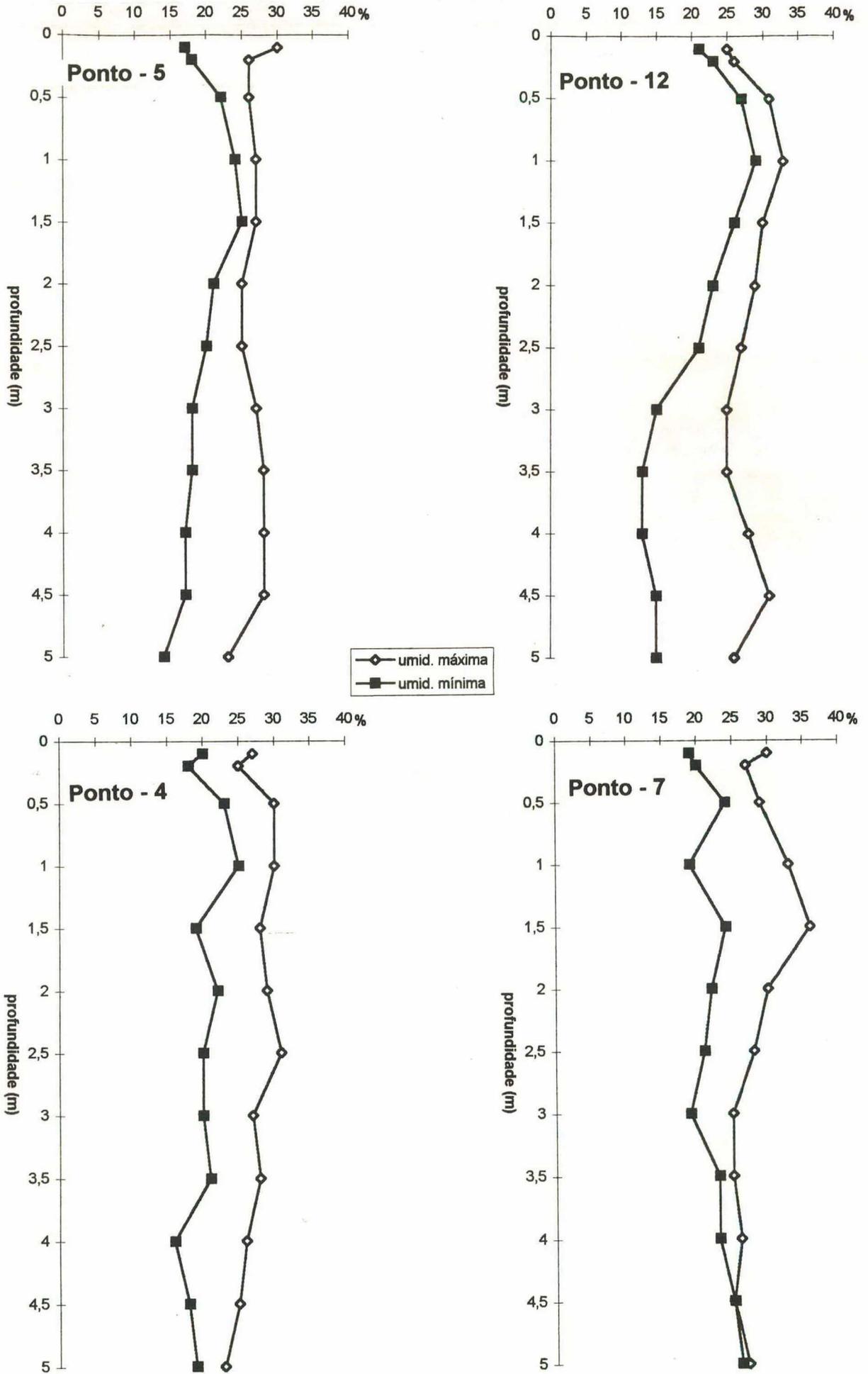


O comportamento da umidade gravimétrica nos perfis monitorados ressalta a grande influência das características texturais dos materiais na distribuição da umidade em profundidade, mesmo em relação a variação de precipitações, como mostra a figura nº 14, que apresenta os conteúdos de umidade gravimétrica máximos e mínimos das diferentes profundidades analisadas, quando comparada com a figura nº 08 apresentada anteriormente. Assim sendo, as maiores variações de umidade gravimétrica são encontradas nos volumes de textura mais grossa, como aqueles da rocha alterada com estrutura conservada e dos materiais do interior da cicatriz. Os perfis analisados na vertente guardam mais umidade até dois metros de profundidade, independente da frequência e da quantidade de precipitações, pois são mais argilosos. Contudo, todas as amostras coletadas na cobertura *in situ* da vertente e no interior da cicatriz de deslizamento possuíam umidade gravimétrica variando entre 13 e 36 % do seus pesos, permitindo concluir que os solos dessas áreas retêm umidade ao longo de todo o ano, mesmo durante épocas secas.

A análise dos conteúdos de umidade gravimétrica dos primeiros 50 cm dos perfis dos pontos analisados mostra que a variação está muito mais ligada à ocorrência imediata ou não de precipitações nas datas de coleta, demonstrando sua forte ligação com o meio externo.

As profundidades da água livre em 23/02/95 e 04/04/95 no ponto 07 foram de 3.69 e 4.15 metros respectivamente, relativos a conteúdos de umidade gravimétrica em torno de 25%. Portanto, esse conteúdo de 25% de umidade gravimétrica possivelmente corresponde à umidade de saturação do material encontrado nas profundidades citadas. Porém, esse não foi o maior percentual de umidade gravimétrica encontrado nesse e nos outros perfis e é por este motivo que FERNANDES (1990) comenta que os dados de umidade gravimétrica não devem ser interpretados isoladamente, pois o teor de umidade necessário para saturar um volume é função de sua textura e estrutura, características que geralmente variam de um volume para outro. Para o autor, também os volumes que possuem textura mais grossa necessitam de menores percentagens de umidade para se encontrarem saturados em relação àqueles com textura mais fina. Esse é o caso do ponto 07, onde as profundidades com umidade de saturação citadas correspondem a volumes que possuem mais de 50% de areia na sua composição.

Figura nº 14 - PERFIS DE UMIDADE MÁXIMAS E MÍNIMAS



#### 4.3 - VARIAÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS E CARGAS TOTAIS

Há nítida relação entre frequência e volume de precipitação e a variação dos níveis piezométricos na cobertura móvel da vertente. Apesar de os níveis piezométricos acompanharem a distribuição das chuvas, houve quatro comportamentos diferenciados entre os piezômetros instalados, conforme observado na Figura n° 15.

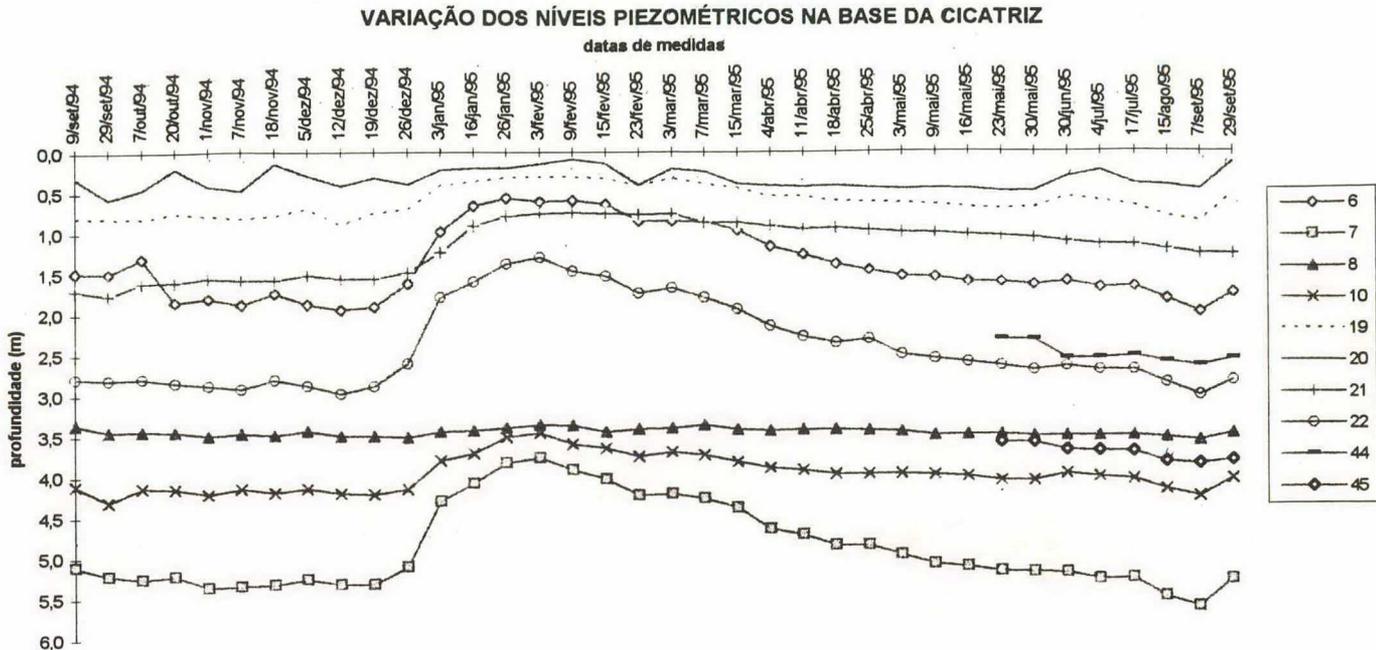
Essa figura mostra que o piezômetro 20 foi o que mais rapidamente respondeu às variações das precipitações, pois era onde o lençol d'água estava mais próximo da superfície. Durante a estação mais úmida, esse piezômetro apresentou condições de artesianismo, comprovado pela expulsão da tampa do cano e de materiais sólidos do seu interior em algumas ocasiões. Sua variação em termos de carga total foi de 95 para 120 cm de H<sub>2</sub>O entre os períodos mais seco e mais úmido, respectivamente, segundo a Tabela n° 04.

**TABELA 04 - VALORES EXTREMOS DE CARGA TOTAL ENCONTRADOS NOS PIEZÔMETROS INSTALADOS**

| identificação | Após a sondagem (período mais seco)<br>cm de H <sub>2</sub> O | Em 03/02/1995 (período mais úmido)<br>cm de H <sub>2</sub> O |
|---------------|---|--|
| 6             | 150   | 264  |
| 7             | 486   | 637  |
| 8             | 560   | 584  |
| 10            | 479   | 558  |
| 19            | 226   | 281  |
| 20            | 095   | 120  |
| 21            | 211   | 317  |
| 22            | 258   | 412  |
| 44            | 967   | -  |
| 45            | 782   | -  |

Os piezômetros 06, 07 e 22 formaram um grupo com comportamento semelhante de variação dos seus níveis. É interessante observar que esses piezômetros estão alinhados na base da cicatriz seguindo seu eixo central convexo. Uma visão lateral em profundidade (FIGURA n° 16) mostra que os potenciais totais de pressão diminuem nesse eixo em relação aos piezômetros instalados em outras posições.

Figura nº 15 - COMPARAÇÃO ENTRE A VARIAÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS E A OCORRÊNCIA DE PRECIPITAÇÕES NA ÁREA DE ESTUDO.



**PRECIPITAÇÃO EM SOROCABA DO SUL-BIGUAÇU/SC**

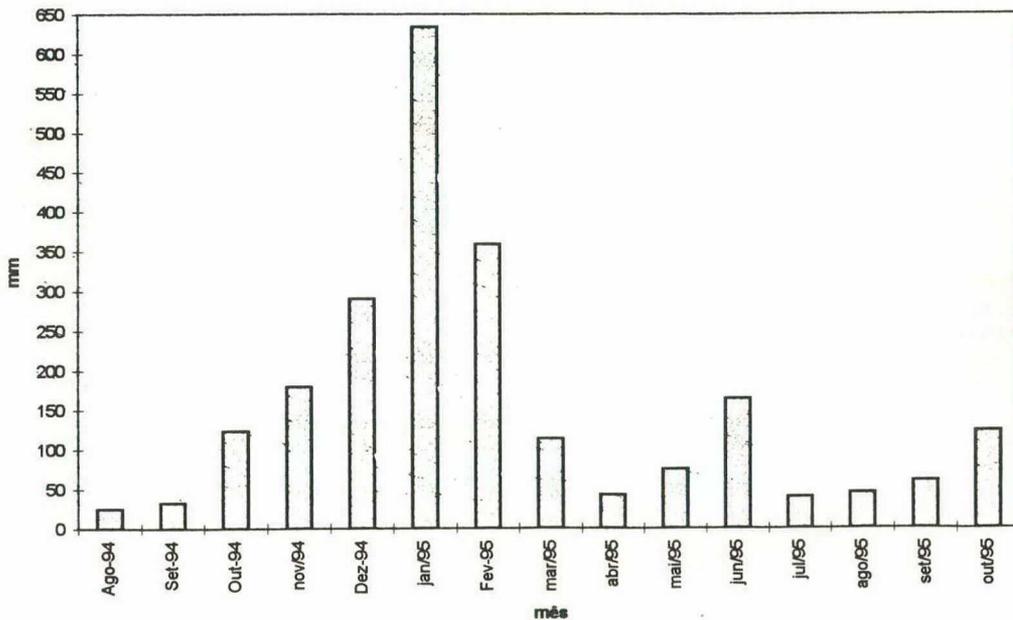
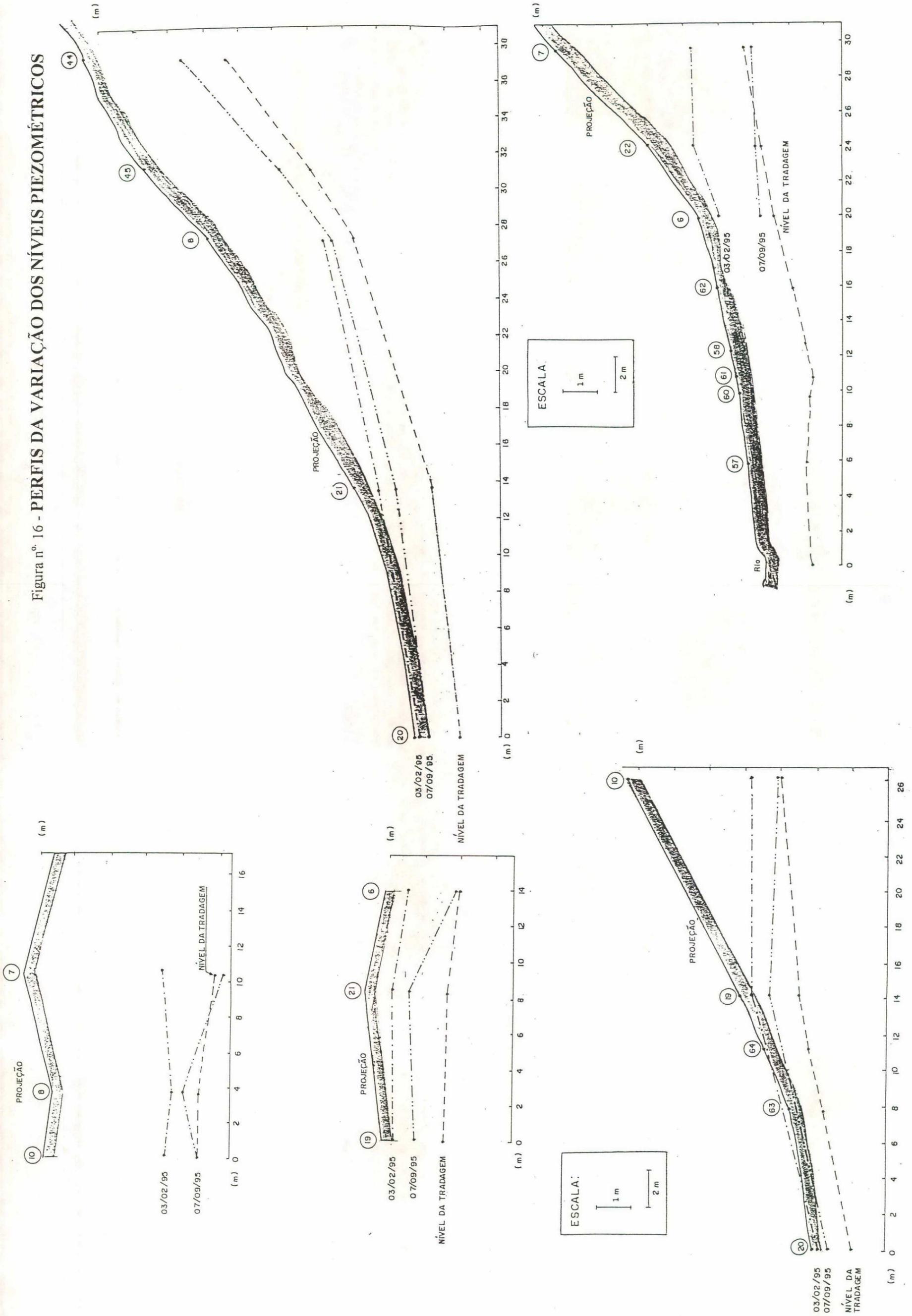


Figura nº 16 - PERFIS DA VARIAÇÃO DOS NÍVEIS PIEZOMÉTRICOS



Os piezômetros desse grupo foram os que mais subiram durante a época de maior quantidade de precipitação, alcançando o pico em 03/02/95, e os que mais rapidamente perderam carga piezométrica após o fim da época úmida, mostrando os mais baixos níveis na época seca, como em 07/09/95. A variação entre as cargas totais nesses piezômetros nas datas citadas ficou entre 100 e 150 cm de H<sub>2</sub>O, com o piezômetro 07 apresentando um nível d'água ainda abaixo, em 07/09/95, daquele detectado durante a tradagem. Isto demonstra que naquele ponto ocorre um alívio de pressão, o que não é o caso dos outros piezômetros, pois todos alcançaram níveis superiores àqueles encontrados na tradagem durante o período de monitoramento.

Provavelmente a explicação para os menores valores, observados na Figura nº 16 e na Tabela 04, das cargas piezométricas e cargas totais nos pontos 6, 7 e 22 em relação aos outros piezômetros e em relação a forma da superfície topográfica possa estar relacionada à presença de materiais com textura grossa e de blocos em profundidade, como visto na topossequência 3, os quais proporcionam uma zona de alívio de pressão. Esses materiais mais grossos, como detectado no perfil de textura do ponto 07, podem gerar uma zona de maior permeabilidade nesse trecho da vertente.

A altura máxima alcançada pelo nível piezométrico no ponto 07 corresponde a ocorrência do volume amarelo 10YR mais próximo da superfície descrito na topossequência 3.

Analisando a altura do nível piezométrico encontrado durante a tradagem para o perfil formado pelos piezômetros 06, 07 e 22 e os pontos de tradagem 57, 58, 60, 61 e 62, pode-se observar uma pequeno desnível junto aos pontos 60 e 61, bem próximo de onde foi encontrado o limite lateral brusco do material da rocha alterada com estrutura conservada para o material arenoso. A montante desta ruptura, a água livre encontrada nas tradagens estava confinada na transição para a rocha alterada com estrutura conservada e no volume de blocos.

O grupo formado pelos piezômetros 19, 21 e 10, também variou em resposta às precipitações, porém não tão marcadamente como o grupo anterior.

Observando o perfil da Figura nº 16, onde estão locados os piezômetros 20, 19 e 10 e os pontos de sondagem 63 e 64, nota-se que a variação do nível piezométrico foi menor do que no grupo anteriormente descrito e que o piezômetro 10 foi o que apresentou a maior variação entre as datas escolhidas.

Os materiais por onde circula a água livre entre os pontos 10 e 19 parecem ser os volumes *in situ* da cobertura pedológica da vertente com hidromorfia, mais especificamente: no horizonte de transição para a rocha alterada com estrutura conservada. Esse comportamento é mantido até o ponto de sondagem 81, porém aí, os materiais superiores a este horizonte de transição já apresentam características de recobrimento coluvial como descrito na toposseqüência 1. No ponto 81, ocorre uma ruptura onde a rocha alterada com estrutura conservada passa lateralmente para material muito arenoso.

Fazendo uma projeção entre as alturas encontradas nos piezômetros 20 e 19 para a data de 03/02/95 (Figura 16) percebe-se que a linha passa acima da superfície topográfica do ponto 63, o que indica condições de possível afloramento do lençol de água e geração de fluxo superficial saturado, como esquematizado na Figura nº17. Deve-se lembrar que esse fato também foi confirmado para o ponto 20, como citado anteriormente.

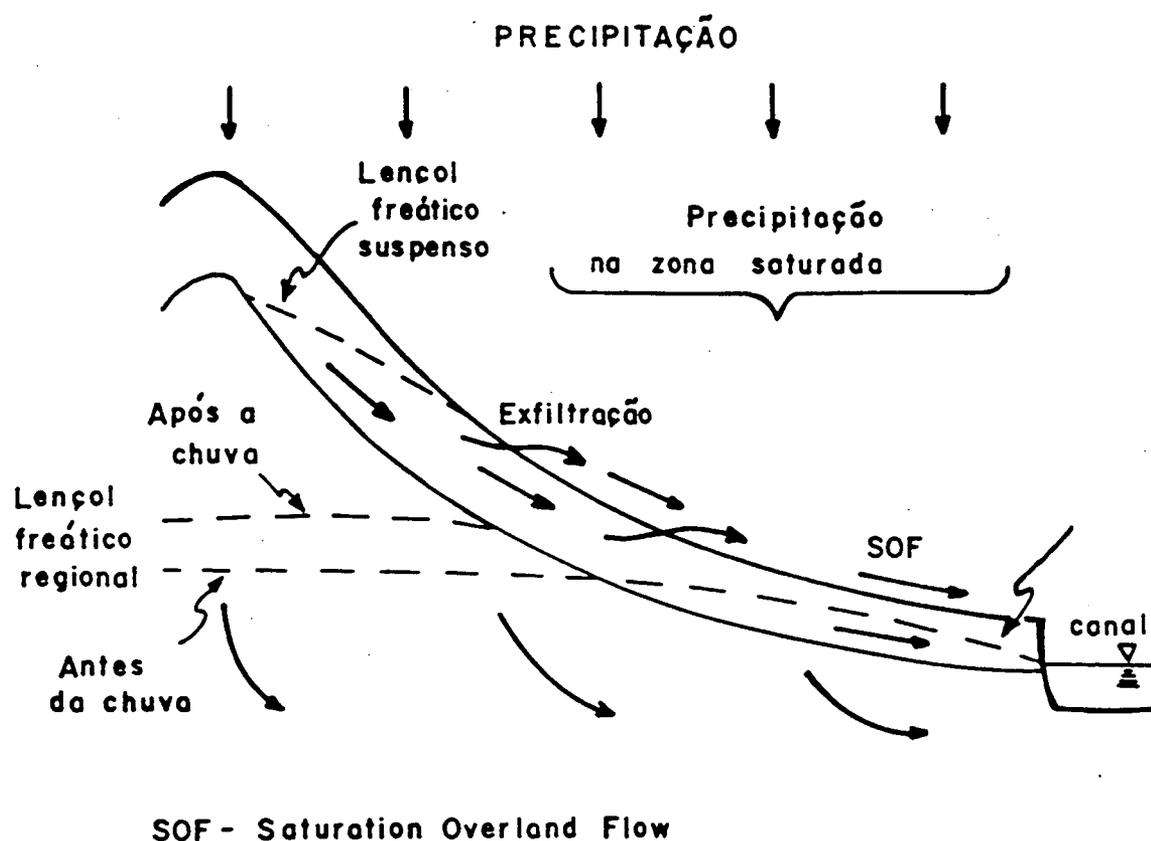


Figura nº 17 - Formação de fluxo subsuperficial, exfiltração e fluxo superficial saturado na vertente. (Segundo Dunne, 1990 *apud* Fernandes, 1990)

A presença do volume amarelo 10 YR mais próximo da superfície no ponto 19 (topossequência 1 - Figura nº 05) coincide com a posição do nível piezométrico na época mais úmida.

Os piezômetros 8, 44 e 45 estão localizados em uma zona preferencial de concentração de fluxo, e apresentaram comportamento pouco variável de suas cargas totais perante a ocorrência de épocas úmidas e secas, principalmente o ponto 08, pois os outros dois pontos só começaram a ser monitorados em maio de 1995.

Como já foi descrito anteriormente sobre este perfil, a água livre foi encontrada mais perto da superfície do que se esperava para sua posição topográfica. A forma côncava por onde passa este perfil deve contribuir para a manutenção de potenciais totais de pressão maiores, pois formas côncavas são concentradoras de fluxos, tanto em superfície como em subsuperfície (OLIVEIRA e MEIS, 1985; OLIVEIRA, 1992; FERNANDES 1990). A própria organização dos materiais observada na topossequência 2 (Figura nº 05) mostra que a rocha alterada com estrutura conservada está muito próxima da superfície a montante e se aprofunda junto às posições onde foram instalados os piezômetros, revelando uma forma também côncava para o limite superior da iso-alterita.

O limite da água livre na tradagem aparece junto a passagem para a rocha alterada com estrutura conservada e por isso acompanha a forma côncava da vertente.

Junto ao piezômetro 08, é encontrado um volume amarelo 10YR mais próximo da superfície (topossequência 2), que pode indicar condições de saturação durante épocas muito úmidas, contudo não foi observada mudança significativa das cargas totais nesse ponto durante o período de monitoramento, apesar da significativa quantidade de precipitação ocorrida na área durante o verão e que fez modificar sensivelmente as cargas totais nos outros piezômetros. Talvez isto possa ser explicado a partir da hipótese de que tenha ocorrido algum erro na instalação deste piezômetro.

É interessante observar nos perfis laterais (Figura nº 05), o comportamento comparado dos perfis da altura piezométrica e também dos valores das cargas totais descritas anteriormente. A partir da visão lateral, os piezômetros que compõem a seqüência que atravessa o volume com muitos blocos possuem os menores valores de potenciais totais de pressão logo após as sondagens, formando um eixo de concentração de fluxos, por isso são muito sensíveis à

ocorrência de precipitações, subindo acentuadamente durante o período muito úmido e descendo muito durante os períodos mais secos. Os outros pontos constituídos de materiais *in situ* e materiais coluviais areno-argilosos a areno-siltosos respondem de maneira mais lenta à ocorrência ou não de precipitações, sendo zonas de dispersão de fluxos para os pontos situados no volume de blocos.

A presença de volumes amarelos 10YR mais próximos da superfície nas posições onde estão os piezômetros 07, 19 e 06, toposseqüências 06 e 07, coincide aproximadamente com as alturas piezométricas medidas durante o período mais úmido.

Desse modo, os volumes da cobertura móvel da vertente parecem guardar evidências da posição do nível d'água durante épocas mais úmidas, significando também que esses períodos de posição mais elevada do nível d'água são freqüentes ao longo do tempo para permitirem uma certa hidromorfia dos volumes onde alcança o nível de água.

O funcionamento hídrico da vertente em estudo reflete a rápida resposta à ocorrência e/ou à freqüência das precipitações, evidenciada pelo comportamento dos níveis piezométricos e dos conteúdos de umidade gravimétrica, devendo-se levar em conta também o controle exercido pela forma dos diferentes segmentos da vertente e pela organização e natureza dos seus volumes constituintes sobre essa resposta em relação às precipitações. É importante ressaltar, porém, que mesmo em períodos secos, os volumes da cobertura móvel guardavam umidade, principalmente aqueles mais argilosos e/ou que se encontravam nas formas côncavas da vertente.

## 5 - HIPÓTESES SOBRE A ORIGEM DA FORMA DE ANFITEATRO ESTUDADA

O estudo detalhado desta forma consistiu em uma tentativa de retroanálise dos possíveis mecanismos envolvidos na sua gênese, pois se está trabalhando com a forma herdada de processos que já ocorreram, sendo que não foi observada nenhuma modificação morfológica ao longo do período de estudo. Porém, o estudo da natureza e organização dos materiais na porção estável da vertente e no interior da cicatriz, bem como os aspectos do funcionamento hídrico abordados permitem tecer algumas considerações sobre os mecanismos envolvidos na gênese desta forma e possivelmente das outras semelhantes encontradas na área, pois conforme já foi visto, a vertente estudada é representativa do compartimento de colinas da Bacia.

A forma de anfiteatro estudada pode ser resultado da atuação de diferentes mecanismos que se associaram e/ou se sucederam ao longo do tempo.

Partindo-se do ponto de vista de que a incisão teve início na base da vertente, os seguintes mecanismos poderiam ter atuado, associados ou não:

**\* Solapamento basal da vertente pelo rio:** a divagação lateral do Rio Inferninho na planície em períodos de cheia poderia ter alcançado a vertente estudada e solapado a sua base, começando o entalhe da forma. Esse mecanismo é citado por diversos autores, entre eles CARSON e KIRKBY (1972), FINLAYSON e STATHAM, (1980), SELBY (1982), CROZIER (1986), como uma forma comum de modificar a geometria do jogo de forças que mantém a vertente estável.

O terraço arenoso presente junto ao pequeno alvéolo onde está a área de estudo demonstra o antigo nível da planície do rio antes de um novo entalhamento, e nesta planície o curso do rio pode ter desenvolvido um segmento meandrante limitado pela vertente. Esse tipo de comportamento do rio junto às vertentes é observado atualmente em outros pontos na Bacia, inclusive em uma área próxima daquela estudada.

A transição abrupta dos volumes característicos da vertente e do interior da cicatriz para o volume arenoso encontrado no pé da vertente descrita nas toposseqüências 1, 2 e 3 pode corroborar esta hipótese, pois mostra a posição de corte da vertente; já a linha de acúmulo de manganês e/ou ferro que acompanha a rocha alterada com estrutura conservada e desce na transição para o volume arenoso (toposseqüência 3) pode representar uma antiga posição do lençol de água quando o rio estava entalhando a base da vertente.

O volume arenoso pode ser interpretado como um material de transição, ou seja, com origem no retrabalhamento e na deposição, pelo rio, dos sedimentos que desceram da vertente por movimento de massa e/ou escoamento superficial concentrado, mais aqueles que desceram de outras vertentes próximas e que já vinham sendo transportados. A ação do curso d'água promoveu uma seleção dos sedimentos, depositando ao pé da vertente principalmente os materiais mais arenosos, os quais também são materiais predominantes na planície, apesar de ser recoberta com sedimentos coluviais areno-argilo-siltosos.

Os declives muito acentuados encontrados no pé da vertente poderiam estar associados ao solapamento basal provocado pelo rio no passado próximo, como também à presença dos

afloramentos rochosos que formam uma parede íngreme do lado direito da vertente, pois toda a cobertura móvel já teria sido removida através deste mecanismo, permanecendo apenas um material rochoso mais resistente, possivelmente ligado a falhamentos. Os anfiteatros suavizados inscritos próximo ao sopé dessa vertente poderiam também ser resultado da migração lateral do rio.

Em última análise, até a forma do pequeno alvéolo onde foram feitos os estudos de detalhe pode ter sido aberta através do recuo lateral das vertentes, ocasionada pela divagação do rio no nível de base local em épocas passadas.

\* **Geração de poro-pressões positivas:** A subida do lençol freático durante precipitações elevadas pode também ter desestabilizado a vertente através da queda de coesão e também da diminuição do atrito entre as partículas do solo (pressão hidrostática). Essa causa pode também estar associada a anterior, pois a presença do curso d'água no nível da planície atual do anfiteatro poderia sofrer períodos de cheia que provocariam o aumento das poro-pressões na base da vertente, causando o colapso desse segmento. SELBY (1982) cita o solapamento basal por um curso de água mais a subida do lençol como causas de movimento de massa do tipo "slump" em uma determinada vertente.

Através do monitoramento do nível piezométrico na vertente em estudo ao longo de um ano, foram detectadas condições de artesianismo na topossequência que abrange a parte estável da vertente, contudo não se verificou nenhum tipo de instabilidade. Possivelmente, as poro-pressões positivas atingidas não foram suficientes para desestabilizar os materiais da vertente. Em alguns locais próximos, movimentos de massa foram observados na base de vertentes após períodos de chuvas prolongadas e intensas, sendo que os materiais resultantes desses movimentos não sofreram muito transporte e parecem apenas ter-se deformado como uma massa plástica.

\* **Exfiltração de fluxos na base das vertentes:** um outro mecanismo que é muito observado na área e que poderia ter dado início à forma de anfiteatro analisada é a exfiltração de fluxos na base das vertentes, como ocorre na pequena cicatriz presente na vertente em estudo, formando uma fonte de água que se mantém perene independente da época do ano. TERZAGHI (1952) propõe como causa da exfiltração de fluxos o abaixamento rápido do lençol de água em função de uma drenagem rápida em um reservatório ou em um rio depois de uma cheia numa razão de pelo menos um metro por dia. O fluxo em direção ao pé da vertente exerce uma pressão de arraste de

partículas em seu caminho que pode gerar uma superfície de ruptura ao longo do seu curso. Entretanto, também os fluxos subsuperficiais na vertente podem interceptar a superfície topográfica e originar pressão de exfiltração e fontes de água (COELHO NETO, 1994; CRUZ, 1974). Os fluxos subsuperficiais são mais ativos em períodos chuvosos e se desenvolvem no contato entre camadas permeáveis e pouco permeáveis, podendo também a forma da vertente influenciar na posição e na manutenção de tais fluxos (Figura nº 17 apresentada anteriormente)

Na vertente em estudo, é possível que se formem fluxos subsuperficiais em três níveis distintos:

\* no horizonte de transição entre o horizonte orgânico superior e o horizonte 7.5 YR por causa da forte porosidade fissural aí existente, a qual atinge mais ou menos 50 cm de profundidade e está associada a fendas sub-horizontais geradas pelo rastejo;

\* no horizonte da rocha alterada com estrutura conservada, pois sua textura é mais grossa, sua porosidade é a mais alta dos volumes analisados, sendo também o que apresentou os maiores ganhos de umidade gravimétrica durante o período chuvoso e o que mais rapidamente os perdeu após a diminuição das chuvas, além de ser a amostra que mais absorveu água durante o ensaio de cisalhamento direto com inundação. Essas evidências sugerem que esse volume é muito permeável, principalmente se comparado aos horizontes argilosos superiores e à rocha pouco alterada abaixo, parecendo ser uma zona preferencial de escoamento subsuperficial e, como os horizontes da cobertura pedológica são grosso modo concordantes na topografia, o escoamento subsuperficial deve seguir o declive da vertente acompanhando o volume da rocha alterada com estrutura conservada;

\* no volume de blocos do interior da cicatriz. Uma hipótese para esse volume de blocos é que estejam *in situ* e que sejam a continuidade em profundidade dos afloramentos encontrados no lado direito da vertente. Dessa forma, o limite da rocha alterada seria representado por uma alteração em blocos e o material que o recobre seria coluvial. Figura nº 18. Talvez originalmente essa alteração na forma de blocos se estendessem para o interior da vertente, o que geraria também uma direção preferencial de fluxos que exfiltrariam na sua base. É possível também que alguns blocos apresentem pequena movimentação.

O volume de blocos pode ter formado uma espécie de nível de base para o aprofundamento do anfiteatro neste lado da vertente, sendo que sua evolução foi condicionada

por outros processos que passaram a atingir mais o lado onde não havia blocos (observar as toposseqüências 2,3,4,5 e 6).

A exfiltração de fluxos subsuperficiais pode ser a origem da formação da pequena cicatriz na vertente em estudo, como também pode ser um mecanismo responsável pela evolução da cicatriz maior. Assim, a linha formada pelo acúmulo de manganês e/ou ferro que acompanha a rocha alterada com estrutura conservada e desce na transição para o volume arenoso na toposseqüência 3 pode estar relacionada à direção de um fluxo subsuperficial. O volume de blocos encontrados nessa toposseqüência a montante da zona de acúmulo de manganês e/ou ferro parece bastante permeável, sendo que o nível da água livre no piezômetro 07, foi o que apresentou a menor elevação após a sondagem, ou seja, provavelmente houve um alívio de pressão hidrostática nesse ponto.



Os mecanismos descritos até aqui teriam sido responsáveis pela desestabilização da base da vertente e pela remoção dos volumes deslizados, mas a evolução da forma para montante estaria associada a outros mecanismos, tais como os citados a seguir:

**\* Perda da coesão aparente dos materiais:** como já foi colocado anteriormente, a água tem capacidade de diminuir a resistência dos materiais da vertente através da diminuição das pressões negativas ou sucção. Episódios de chuvas excepcionais e/ou continuados podem provocar uma frente de saturação no solo, que será capaz ou não de desencadear movimentos de massa dependendo da sua duração e intensidade, devendo-se levar também em consideração as condições de drenagem nas formações superficiais da vertente e sua inclinação.

A infiltração da água nos volumes encontrados na vertente em estudo é facilitada pelas fendas do rastejo que atingem até o volume bruno-amarelado 7.5YR, cerca de 50 cm de profundidade, e pela forte estruturação prismática dos volumes argilosos que geram macroporosidade de direção preferencialmente vertical, enquanto o volume da iso-alterita possui porosidade matricial. Apesar de os volumes do solo serem muito argilosos, a transferência de umidade no perfil é rápida como mostraram os perfis de umidade gravimétrica.

Também a formação de fluxos subsuperficiais pode contribuir para o aumento de água em determinados pontos da cobertura móvel da vertente. Com a continuada entrada de água nesses volumes podem se formar condições de saturação que modificam, inclusive, os seus estados físicos. Assim, os volumes argilosos com altos limites de liquidez e plasticidade se tornam mais plásticos, enquanto a isoalterita pode chegar a se liquefazer na presença de menor quantidade de água do que os volumes superiores, pois apresenta limites de liquidez e plasticidade mais baixos.

A ocorrência dessas condições em setores mais íngremes da vertente pode ocasionar deslizamentos planares junto à rocha pouco alterada, a qual funciona como camada impermeável por onde o material superior desliza, sendo que o volume que cisalha é o da rocha alterada com estrutura conservada, pois é o que apresenta menor coesão e menor índice de plasticidade. Quando o material superior se encontra também já próximo do seu limite de liquidez ocorre uma corrida de terra. Esse mecanismo foi identificado nos processos de movimentos de massa registrados por ocasião do episódio pluviométrico excepcional de novembro de 1991, ocorrendo principalmente nos setores mais íngremes das vertentes das colinas e dos morros e montanhas.

**\* abertura de fendas provenientes do rastejo e ação do escoamento superficial concentrado:**

A reativação da parede da cicatriz em estudo durante este episódio parece ser resultado da abertura de fendas provenientes do rastejo e da ação do escoamento superficial concentrado. As fendas que atingem aproximadamente 50 cm em profundidade e uns 15 cm de extensão em superfície, são ampliadas pela infiltração de água que também provoca pressão de arraste no seu interior, gerando pequenas superfícies de ruptura (OLIVEIRA, *et al.*, 1995). MOYERSONS (1981) aborda a influência das fendas provocadas por rastejo no desenvolvimento de movimentos dos tipos planar e rotacionais pequenos nas colinas de Rwaza, em Ruanda, cujo limite inferior é um horizonte intermediário formado a partir do horizonte orgânico mais arenoso superior e do horizonte mais argiloso inferior. Esse horizonte intermediário, segundo o autor, também já é um produto do próprio movimento de rastejo e a sua condutividade hidráulica é a mais alta dos três horizontes, por causa da grande quantidade de fendas subverticais aí presentes.

Após o colapso dos materiais ao longo das fendas que se encontravam a montante das cicatrizes em estudo, o escoamento lava as paredes, retirando os restos dos horizontes onde as fendas não alcançavam. Esses mecanismos foram observados na pequena cicatriz durante as chuvas do verão de 1996, fazendo esta forma ampliar-se e avançar para montante.

Sucessivas reativações devem ter marcado a forma de anfiteatro maior até chegar próximo do topo como se encontra agora, dando ênfase especial também ao papel do escoamento superficial concentrado associado à grande mobilidade dos materiais constituintes das corridas de terra para a exportação dos detritos. As topossequências laterais 4, 5 e 6 mostram que o limite da rocha alterada com estrutura conservada forma uma espécie de calha em profundidade, possivelmente esta era a direção preferencial do escoamento superficial concentrado e das corridas de terra vindas de montante e das laterais, com preenchimento posterior pelos materiais mobilizados.

Os materiais que são encontrados no interior da cicatriz demonstram ser resultado de corridas de terra, pois parecem uma mistura formada por todos os volumes encontrados na cobertura estável da vertente. Esses materiais que preenchem a cicatriz não são muito antigos, pois não apresentam nenhuma organização e, próximo da parede atual da cicatriz, são encontrados horizontes A enterrados a pequenas profundidades, conforme foi descrito anteriormente. Esses horizontes enterrados constituem-se em evidências de um período de

estabilidade dessa forma, seguido de um episódio que provocou uma reativação e consequente regressão para montante.

## 6 - PROPOSTA DE UM MODELO DE EVOLUÇÃO DOS ALVÉOLOS DA BACIA DO RIO INFERNINHO A PARTIR DOS PROCESSOS DE MOVIMENTOS DE MASSA:

A proposta trata o conceito de evolução da área não apenas em relação ao passado próximo, mais precisamente dentro do Holoceno, mas também em relação ao futuro próximo submetida ainda a um clima úmido como o atual.

Segundo essa proposta, a evolução dos alvéolos do Rio Inferninho por movimentos de massa está intimamente ligada aos períodos de incisão da drenagem e divagação lateral, sendo que estes períodos seriam considerados como resultado de mudanças do nível de base geral e de pequenas oscilações climáticas ao longo do Holoceno ou apenas devido a episódios de precipitações abundantes e/ou excepcionais dentro de um clima úmido como o atual.

A espessa cobertura móvel com volumes de diferentes naturezas presentes nas vertentes contribuiriam para a maior susceptibilidade aos movimentos de massa na área, pois a organização e a natureza dos diferentes volumes da cobertura móvel também condicionam fenômenos como escoamento subsuperficial, rastejo, frente de saturação, entre outros, que demonstram ser mecanismos presentes nos movimentos de massa atuais nos momentos e locais onde não está ocorrendo a incisão da drenagem.

CARSON e KIRKBY (1972) discutem um modelo proposto por SKEMPTON (1953) sobre evolução de vertentes a partir de processos de movimentos de massa durante e após períodos de incisão de drenagem. O modelo é dividido em quatro estágios:

1º. Estágio: Forma-se um vale em forma de V e movimentos planares rasos têm lugar nas vertentes laterais; a profundidade destes movimentos é ditada pelo limite do manto de intemperismo. As vertentes passam a sofrer retração.

2º. Estágio: Com a continuação da incisão da drenagem, é alcançada uma profundidade crítica em que a vertente sofre uma desestabilização profunda, dando origem a movimentos de massa do

tipo rotacional. Os materiais deslizados caem no canal e fazem com que ele migre para o outro lado do vale, onde começará a provocar solapamento basal nas vertentes, fazendo com que o vale se alargue.

3°. Estágio: Quando o vale se alarga e cessa a incisão da drenagem no seu vale e o solapamento da base das vertentes, ocorre o que SKEMPTON denominou de “ângulo maduro de repouso”. Nas vertentes que apresentam este ângulo poderão ocorrer raros deslizamentos provocados por pressões hidrostáticas. Como o “ângulo maduro de repouso” é resultado de materiais com baixa coesão e/ou resistência residual, ele poderá ser somente a metade do ângulo de fricção interna dos materiais, principalmente se a única causa de instabilidade for a elevação da coluna de água.

4°. Estágio: O “ângulo maduro de repouso” deve manter a vertente estável por muito tempo, com atuação apenas do rastejo e do escoamento superficial como processos modeladores desta forma em longos espaços de tempo. Dada uma ampla superfície topográfica para a vertente, poderão ser encontrados diferentes segmentos que possuem ângulos correspondentes aos diferentes estágios citados, mas por causa da sua persistência é aquele que será considerado como característico das vertentes das colinas.

Essa dinâmica de evolução da paisagem e de abertura de vales pode corresponder à formação dos alvéolos da Bacia do Rio Inferninho, mas convém ressaltar que este modelo é muito simplista, pois para os autores citados o material intemperizado tem coesão igual a zero e, então, o ângulo da vertente é igual ao de fricção interna de seus materiais constituintes, quando se sabe que o manto de intemperismo apresenta alguma coesão, aparente ou não, e que não é homogêneo e por isso pode apresentar diferentes ângulos de atrito interno; também não levam em conta o desenvolvimento do solo, o qual possui parâmetros de resistência diferenciados segundo os seus horizontes característicos. Deve ser considerada, ainda, a influência dos níveis de base locais, que são função da geologia, e do nível de base geral, que pode ter sofrido modificações ao longo do tempo.

Para a Bacia do Rio Inferninho, a evolução deve ter estado condicionada aos períodos de incisão da drenagem provocada por mudanças no nível médio do mar durante o Holoceno, sendo que essas incisões podem ter sido facilitadas pelo espesso e pouco resistente manto de alteração gerados pelo intemperismo dos migmatitos (especialmente os metatexitos) em clima úmido. A

presença de níveis de terraços nos alvéolos é uma evidência de períodos de incisão da drenagem, alternados com períodos de acumulação aluvial.

A curva de variação do nível do mar durante o Holoceno no litoral de Santa Catarina apresentada por SUGUIO *et al.* (1985) e MARTIN e SUGUIO (1986) (*apud* FORTES, 1996), permite extrair de forma geral três fases transgressivas e três fases regressivas subsequentes, sendo que os níveis de mar mais altos ocorreram por volta de 5.100, 3.600 e 2.500 anos A.P., com cotas de 3.5 m, 2.5 m e 2.0 m, respectivamente acima do nível atual, possuindo margem de erro de 0.5 m. Enquanto, as fases de nível de mar provavelmente mais baixos do que o atual ocorreram entre 4.100 e 3.800, 2.900 e 2.700 anos A.P. Essas mudanças do nível do mar certamente influenciaram a esculturação do relevo na Bacia do Rio Inferninho, pois trata-se de uma bacia costeira. A datação de 2.140 ± 55 anos A.P. efetuada em troncos de árvores encontrados nos sedimentos arenosos do fundo do vale, citada no capítulo I, pode estar relacionada a um período de maior morfogênese na Bacia por ocasião do rebaixamento do nível do mar após a última transgressão marinha, cerca de 2.500 anos A.P.

Pequenas oscilações climáticas que podem ter ocorrido ao longo do Holoceno podem também ter sido responsáveis por períodos de morfogênese na Bacia, ou até mesmo episódios de chuvas excepcionais como se observa atualmente.

Em períodos de cheias, o rio torna-se mais competente e provoca incisões na base das vertentes, limite da sua divagação meandrante, provocando desestabilização das vertentes por solapamento basal e também pela subida do lençol d'água, e ainda pela exfiltração de fluxos. Além de provocar cheias no rio, as chuvas fortes geram também movimentos de massa nas vertentes íngremes das montanhas, morros e colinas, pela queda da coesão nas formações superficiais por causa da frente de saturação, sendo que este estado de saturação pode ser ampliado através do efeito do escoamento subsuperficial nas discontinuidades da cobertura, como aquela entre a rocha alterada com estrutura conservada mais permeável e a rocha pouco alterada subjacente menos permeável.

Os nichos erosivos provocados por movimentos de massa passam a concentrar fluxos de água (escoamentos superficial e subsuperficial), em função de sua forma, e podem continuar instáveis gerando novos movimentos, numa erosão regressiva que pode atingir o interflúvio.

Na vertente analisada esse mecanismo de erosão remontante atuou favorecido pelo rastejo e/ou pisoteio do gado, fenômenos também citados por MOYERSONS (1988). O gado, em terrenos declivosos como os dos anfiteatros, se deslocam seguindo o traçado das curvas de nível, e provocam pequenas fendas no terreno.

Deste modo, os movimentos de massa que atingem a base das colinas, os quais apresentam características mais plásticas, além de causar um recuo lateral dessas formas, alargando o vale, podem sofrer reativações em forma de corridas de terra que alcançam os topos, provocando o rebaixamento das colinas. Enquanto nos setores mais íngremes das colinas, morros e montanhas são comuns os processos de movimento de massa com característica de fluxo (corridas de terra) que ocasionam também recuo lateral dessas vertentes.

Nos momentos de mudanças do nível do mar ou de pequenas oscilações climáticas que possam ter ocorrido ao longo do Holoceno, ou até mesmo episódios de chuvas excepcionais como se observa atualmente, períodos de morfogênese atuam na Bacia, com recuo lateral e rebaixamento das vertentes, através de movimentos de massa, condicionados em última análise, pela organização e pela natureza da cobertura móvel das vertentes.

## CONCLUSÕES

Este estudo permitiu reconhecer a organização e a natureza dos volumes da cobertura móvel da vertente analisada, incluindo os seus comportamentos geomecânico e hídrico, a elaboração de hipóteses sobre os mecanismos envolvidos na formação da cicatriz inscrita na vertente e sobre a evolução dos alvéolos da Bacia do Rio Inferninho por movimentos de massa.

Foram encontrados dois tipos de organização para os materiais da vertente, um tipo parece representar os materiais *in situ* e o outro, os materiais retrabalhados pelos processos geradores da forma de anfiteatro.

A organização dos materiais *in situ* da vertente se faz em uma sucessão vertical de horizontes ou volumes que acompanham, a grosso modo, a topografia, com espessuras variando em função da declividade, e as únicas variações laterais que surgem estão ligadas ao aparecimento do lençol na baixa vertente, gerando materiais hidromorfizados. Essa forma de organização dos volumes também foi reconhecida em outras vertentes do compartimento de colinas da Bacia do Rio Inferninho.

O volume superficial é formado por material areno-argiloso, com areia lavada, de cor 10YR 3/3 a 3/4, presença de matéria orgânica e espessura de mais ou menos 10 cm. Sua estrutura é poliédrica muito fina ou grumosa, com presença de forte porosidade biológica.

Esse volume é sucedido em profundidade por um volume de características bifásicas, com cores 10YR 3/3 a 3/4 e 7.5YR 5/6 a 6/8 e texturas areno-argilosas a argilo-arenosas, com presença de forte porosidade fissural, podendo estar presente até os 50 cm de profundidade. Esse volume bifásico é resultado das fendas provocadas pelo rastejo e pelo pisoteio do gado, por onde o material do volume superior migra para o interior do volume bruno-amarelado.

O volume bruno-amarelado 7.5YR 5/6 a 6/8 possui textura argilo-arenosa e estrutura poliédrica fina, com ocorrência também de uma superestrutura prismática; a porosidade é de origem fissural e biológica.

O volume seguinte em profundidade é o volume 5YR 5/6 a 5/8, argilo-arenoso, sendo o que contém os maiores teores do perfil, possui estrutura poliédrica fina com porosidade fissural e pequena porosidade tubular. Com transição progressiva para o volume subjacente.

O volume vermelho de transição para a rocha alterada (2,5YR 4/8 a 6/8) apresenta textura ainda argilo-arenosa, porém com presença de fragmentos de lito-relíquias. A estrutura é poliédrica fina com porosidade interagregados. Pode apresentar-se muito seco ao tato e compacto algumas vezes, representando uma quebra no padrão de umidade do solo.

O volume violáceo da rocha alterada com estrutura conservada apresenta cor violácea com manchas de forma alongada de cores branca, preta e amarela ou amarelo-avermelhada. A textura varia entre siltico-arenosa a areno-siltosa com grãos grossos de quartzo distribuídos irregularmente. As diferenciações estão relacionadas com a heterogeneidade do substrato geológico da área. Apresenta-se seco ao tato e muitas vezes compacto. Tem estrutura maciça e a porosidade é alta. Na baixa vertente, este volume se encontra hidromorfizado.

Volumes amarelos 10YR 5/6 a 7/8 são desenvolvidos a partir de outros volumes por hidromorfia, sendo freqüente encontrar traços de manganês associados.

No interior da cicatriz, os materiais não se apresentam organizados em horizontes concordantes com a topografia, os volumes de alteração estão em superfície misturados com materiais mais intemperizados e pedogeneizados, apresentando muitos fragmentos de rocha alterada no meio da matriz de textura mais fina, em geral, areno-argilosas, com variações pontuais de volumes mais arenosos ou mais argilosos ou ainda mais siltosos. A rocha alterada com estrutura conservada é encontrada em diferentes profundidades na cicatriz.

Muitos blocos são detectados em diferentes profundidades na parte central e lado direito da cicatriz, sugerindo a hipótese de que estejam *in situ* e representem a continuação do afloramento rochoso encontrado na vertente estável ao lado dessa cicatriz.

Nas topossequências realizadas perto da parede da cicatriz, foram encontrados traços de horizontes A e B enterrados a pouca profundidade, sugerindo uma reativação recente da forma após um período de relativa estabilidade.

Na base da vertente, próximo da cicatriz maior surge um volume predominante arenoso hidromorfizado, ocorrendo na forma de lentes superficiais mais perto da vertente e, para jusante os materiais argilo-arenosos e areno-argilosos e da rocha alterada com estrutura conservada sofrem uma transição lateral abrupta para um espesso pacote arenoso, que alcança uma profundidade de mais ou menos 4.0 m (a presença de água livre dificultava a sondagem além

dessa profundidade). Apresenta textura variando entre areia grossa e areia fina, com algumas lentes de areia com muita mica e, próximo dos 4.0 m de profundidade, com presença de muito manganês.

Análises granulométricas realizadas em amostras coletadas na vertente estável mostram que o perfil do solo é muito argiloso até próximo da rocha alterada com estrutura conservada, quando a textura passa para areno-siltosa ou siltico-arenosa. Entre 1.0 e 1.5 m ocorrem os maiores teores de argila do perfil de solo. As análises efetuadas em perfis do interior da cicatriz permitem concluir que não há um comportamento textural homogêneo entre aqueles levantados e que predomina uma textura com percentagens de areia, silte e argila sem muitas diferenças entre si. Um padrão de textura semelhante aos perfis da vertente estável era observado apenas quando se encontrava os volumes de transição e da rocha alterada.

Do ponto de vista da caracterização geomecânica dos volumes do solo, da iso-alterita e do interior da cicatriz, pode-se afirmar que os primeiros apresentaram elevados valores para os índices de Atterberg e de densidade real dos grãos em relação aos volumes da isoalterita e da cicatriz, sendo que a explicação para isto são os elevados teores de argila nos volumes do solo. Em relação a percentagem de porosidade total, o horizonte superior do solo apresentou os menores valores, possivelmente em função da compactação produzida pelo pisoteio do gado, enquanto nos outros volumes do solo, ela diminui gradativamente em profundidade. Na isoalterita, a porosidade total alcança seus maiores valores. Na amostra coletada no interior da cicatriz, a porosidade tem um valor menor do que nos volumes do solo, mas ainda superior ao volume com influência do pisoteio do gado.

A relação grau de saturação-percentual de umidade gravimétrica nas amostras analisadas variou segundo as percentagens de porosidade total.

Os parâmetros de resistência ao cisalhamento - coesão e ângulo de atrito interno - mostram que os volumes do solo apresentam comportamento diferenciado quando submetidos a tensões, porém é o volume da alterita que possui o menor valor de coesão do perfil e o que absorve maior teor de umidade quando submetido ao ensaio de cisalhamento direto inundado, apresentando o menor valor de coesão após a inundação. Esse comportamento coloca o volume da alterita como o mais susceptível a rupturas entre as amostras do perfil do solo analisadas.

O funcionamento hídrico da vertente em estudo reflete a rápida resposta à ocorrência e/ou à frequência das precipitações, sendo que a forma da vertente e a organização e a natureza dos seus volumes constituintes foram também fatores condicionantes na velocidade e na intensidade dessa resposta.

A frequência e a intensidade das precipitações caracterizaram dois momentos distintos durante o período de monitoramento: um momento com escassos episódios pluviométricos de agosto a setembro de 1994 e de julho a setembro de 1995, e outro com muitas e intensas chuvas em janeiro e fevereiro de 1995, quando apenas em janeiro choveu mais de 600 mm.

A partir desse comportamento da precipitação foi possível determinar os valores máximos e mínimos dos potenciais totais de pressão representativos das alturas piezométricas obtidas nesses períodos. Esses valores demonstraram a influência da forma da superfície topográfica e das diferenças na natureza dos volumes por onde a água circula. Os fluxos convergem para o alinhamento formado pelos pontos 07, 22 e 06, onde existem muitos blocos e uma textura mais grossa em profundidade. Nos pontos 44 e 45, por sua vez, é a forma da vertente que influencia a manutenção de água em potenciais totais de pressão tão elevados.

As alturas piezométricas medidas durante o período mais úmido coincidem com a ocorrência de volumes amarelos 10YR nos pontos analisados, o que sugere que essas alturas são frequentes ao longo do tempo para permitirem uma certa hidromorfia nos volumes da cobertura móvel da vertente.

O comportamento da umidade gravimétrica nos perfis monitorados ressalta a grande influência do parâmetro de textura na distribuição da umidade em profundidade, mesmo em relação a variação de precipitações. As maiores variações de umidade gravimétrica são encontradas nos volumes da rocha alterada com estrutura conservada e nos materiais do interior da cicatriz, que possuem textura mais grossa. Os perfis do solo guardam mais umidade até dois metros de profundidade, independente da frequência e da quantidade de precipitações, pois são mais argilosos. Convém ressaltar que mesmo em períodos secos, os volumes da cobertura móvel da vertente guardaram umidade, principalmente aqueles mais argilosos e/ou que se encontravam nas formas côncavas.

Durante os meses chuvosos, os perfis de umidade apresentaram uma forma quase linear, sem diferenças significativas de conteúdo em relação à profundidade e à textura dos volumes.

A partir dos dados levantados sobre a vertente e da observação de processos atuantes em outras vertentes próximas foram enumerados alguns mecanismos que podem ter estado presentes na modelagem da grande cicatriz, como: o solapamento basal provocado pelo rio em épocas passadas quando corria no nível da planície do interior do alvéolo; a subida do lençol freático na base da vertente; a exfiltração de fluxos subsuperficiais ou descida muito rápida do lençol freático. Esta última situação pode ter ocorrido depois de um episódio de cheia quando o rio ainda corria no nível do alvéolo. Tais mecanismos seriam responsáveis pelo início da incisão na base da vertente, mas sua regressão para montante pode ter estado associada à perda de coesão aparente dos materiais em função da geração de uma frente de saturação durante episódios pluviométricos excepcionais, ou ainda pela ampliação de fendas provenientes do rastejo pela infiltração do fluxo superficial de água, provocando uma pressão de arraste no seu interior e gerando pequenas superfícies de ruptura. Este último mecanismo foi evidenciado durante as chuvas do verão de 1996 na pequena cicatriz também presente na vertente em estudo.

Os volumes do interior da cicatriz maior parecem ser uma mistura formada por todos os volumes encontrados na cobertura pedológica da vertente, sugerindo que o movimento que os mobilizou teria sido do tipo corrida de terra.

Reativação recente é evidenciada pela presença de horizontes A enterrados a pequenas profundidades próximo da parede atual da cicatriz.

É elaborada, então, uma proposta de evolução dos alvéolos do rio Inferninho por movimentos de massa durante o Holoceno e para o futuro próximo dentro de um clima úmido. Proposta que considera os períodos de incisão da drenagem e divagação lateral muito importantes na abertura dos alvéolos e na geração de movimentos de massa que não apenas fazem as vertentes recuar lateralmente, como também fazem com que sofram rebaixamento, quando através de reativações, os movimentos atingem o topo. Os períodos de incisão e divagação lateral da drenagem são considerados como resultado de mudanças do nível geral de base ao longo do Holoceno e/ou de pequenas oscilações climáticas ou apenas a precipitações abundantes e/ou excepcionais dentro de um clima úmido como o atual.

A espessa cobertura móvel das vertentes contribui para a maior susceptibilidade aos movimentos de massa na área, pois a organização e a natureza dos diferentes volumes da cobertura móvel também condicionam fenômenos como escoamento subsuperficial, rastejo, frente

de saturação, entre outros, que demonstram ser mecanismos presentes nos movimentos de massa atuais nos momentos e nos locais onde não está ocorrendo a incisão da drenagem.

Estudos futuros nas vertentes do compartimento de colinas da Bacia do Rio Inferninho sobre instabilidade de encostas ou movimentos de massa poderiam levantar a curva característica de umidade para os seus diferentes volumes constituintes, procurando conhecer qual a umidade de saturação de cada volume e correlacioná-la com a quantidade de precipitações de pico e/ou acumulada para a área, como, por exemplo, os valores do episódio de chuvas excepcionais de novembro de 1991, que provocaram muitos movimentos de massa na área. Também seria interessante um estudo aprofundado sobre a formação de fluxos subsuperficiais e sobre a ocorrência de exfiltração de fluxos na base das vertentes.

Outro fenômeno importante na área e que deveria ser melhor acompanhado é o rastejo e como o pisoteio do gado o influencia; seria interessante medir a amplitude dos terracetes e sua modificação de traçado ao longo do ano nas vertentes cobertas por pastagens.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALMEIDA, N. O. de. *Delimitação e Caracterização de Unidades de Manejo Ambiental: Uma Contribuição Metodológica*. Rio de Janeiro, Instituto de Geociências/UFRJ, 1982, 130 p. Dissertação de Mestrado.
- AVELAR, A. S.; COELHO NETTO, A. L. Fraturas e Desenvolvimento de Unidades Geomorfológicas Côncavas no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. *Revista Brasileira de Geociências* (no prelo), 1992.
- BELTRAME, A. da V. (Coord.) Projeto: Avaliação da Degradação dos Recursos Naturais a Partir das Atividades Agro-silvo-pastoris no Âmbito Sócio-econômico e Pedológico em Sorocaba do Sul - Biguaçu/SC. *Relatório Final de Atividades*. Florianópolis, FNMA/Dp<sup>10</sup>. de Geociências/UFSC, 1995. 84 p.
- BELTRAME, A. da V. *Estudo das Propriedades Físicas do Solo, Visando Reconhecer seu Funcionamento Hídrico* (Sorocaba do Sul - Biguaçu/SC). São Paulo, FFLCH/USP - Pós-Graduação em Geografia. Tese de doutoramento, in prep.
- BELTRAME, A. da V.; BOULET, R.; CASTRO, S. S.; PELLERIN, J.; QUEIROZ-NETO, J. P.; REBELO, L. V.; REBELO, S.; SCHEIBE, L. F. Dépressions fermées et sols développés sur migmatites du Plateau Atlantique sud-brésilien (état de Santa Catarina). Table Ronde "Organisation et Dynamique Interne de La Couverture Pédologique et son Importance pour la Compréhension de la Morphogenèse". *Résumés*, Caen-France, 1991.
- BIGARELLA, J. J.; MOUSINHO, M. R.; SILVA, J. X. da. Considerações a Respeito da Evolução de Vertentes. *Boletim Paranaense de Geografia*, nº.s 16 e 17, Curitiba, p. 85 - 116, 1965.
- BOULET, R. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e Cartografia. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DO SOLO. *Anais...*, Campinas, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, p. 79 - 90, 1988 a.

- BOULET, R. Análise Estrutural da Cobertura Pedológica e a Experimentação Agronômica. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DO SOLO. *Anais...*, Campinas, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, p. 431 - 446, 1988 b.
- BOULET, R.; CASTRO, S. S.; CURMI, P.; PELLERIN, J.; QUEIROZ-NETO, J. P. *Depressões de Topo em Migmatitos de Sorocaba do Sul (SC): primeiros resultados*. 7º. Seminário Análise Estrutural, 1991. (não publicado)
- BROOKS, S. M.; RICHARDS, K. S.; ANDERSON, M. G. Approaches to the Study of Hillslope Development Due to Mass Movement. *Progress in Physical Geography*, 17 (1), p. 32 -49, 1993.
- BROOKS, S. M.; RICHARDS, K. S. The Significance of Rainstorm Variations to Shallow Translational Hillslope Failure. *Earth Surface Processes and Landforms*. vol.19, 1994. p. 85 - 94.
- CARDOSO, A. S. *Caracterização do Solo Degradado a Partir de Processos Superficiais de Erosão-Sorocaba do Sul-Biguaçu/SC*. Florianópolis, Curso de Geografia/Universidade Federal de Santa Catarina, 1995. 55 p. Monografia de Conclusão de Curso.
- CAPUTO, H. P. *Mecânica dos Solos e Suas Aplicações: fundamentos*. Vol. I, Rio de Janeiro, 6ª edição, L.T.C - Livros Técnicos e Científicos Editora, 1988. 234 p.
- CARSON, M. A. Soil Moisture. In: *Introduction to Physical Hydrology*. CHORLEY, R. J.(editor). Bungay Suffolk, Methun & co. Ltd., 1969, p. 98 - 130.
- CARSON, M. A.; KIRKBY, M. J. *Hillslope Form and Process*. Londres, Cambridge University Press, 1972. 475 p.
- CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia*. São Paulo, Edgard Blücher, 1980. 188 p.

- COLÂNGELO, A. C. *Movimentos de Massa e Evolução Geomorfológica de Vertentes Marginais no Lago de Paraibuna-SP*. São Paulo, FFLCH/USP, 1990. 92 p. Dissertação de Mestrado.
- COUSSOT, P.; MEUNIER, M. Recognition, Classification and Mechanical Description of Debris Flows. *Earth-Science Reviews*, 40, 1996. p. 209-227.
- CROZIER, M. J. *Landslide: causes, consequences & environment*. Sidney, Crom Helm Ltd., 1986. 252 p.
- CRUZ, O. *A Serra do Mar e o Litoral na Área de Caraguatatuba: contribuição à geomorfologia tropical litorânea*. São Paulo, I.G./USP, Séries Teses e Monografias, nº. 11, 1974. 181 p.
- DE PLOEY, J; CRUZ, O; MODENESI, M. C. Résistances au cisaillement et conditions de glissements de terrain à Caraguatatuba et à Campos do Jordão (Etat de São Paulo). *Colóquio, Estudo e Cartografia de Formações Superficiais e Suas Aplicações em Regiões Tropicais*. São Paulo, USP/CNRS, v. 1, p. 393 - 402, 1978.
- EMBRAPA. *Manual de Métodos de Análise de Solo*. [s. n.], SNLCS, 1979.
- FERNANDES, N. F. *Hidrologia Subsuperficial e Propriedades Físico-Mecânicas dos "Complexos de Rampa", Bananal/SP*. Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Geociências/UFRJ, 1990, 134 p. Dissertação de mestrado.
- FINLAYSON, B.; STATHAM, I. *Hillslope Analises*. London, Butterworths, 1980, 230 p.
- FORTES, E. *Aspectos Ambientais da Bacia Hdrográfica do Rio Biguaçu - Biguaçu/SC: uma abordagem das transformações da paisagem no Quaternário*. Florianópolis, Curso de Pós-Graduação em Geografia/UFSC, 1996, 206 p. Dissertação de Mestrado.
- FURIAN, S. Morphogenese/Pedogenese en Milieu Tropical Humide de la Serra do Mar, Bresil: contribution de l'alteration et de la pedogenese a une dynamique actuelle de glissement. Caen

(França), Université de Caen-Sciences de la Terre/Universidade de São Paulo-Depto. de Geografia, 1994, 178 p. These de Docteur.

GUIDICINI, G.; NIEBLE, C. M. *Estabilidade de taludes naturais e de escavação*. São Paulo, Edgard Blücher/EDUSP, 1976, 170 p.

HERRMANN, M. L. de P.; ROSA, R. de O. *Mapeamento Temático do Município de Florianópolis: geomorfologia*. Florianópolis, Prefeitura Municipal/Instituto de Planejamento Urbano de Florianópolis-Instituto Brasileiro de Geociências/Diretoria de Geociências de Santa Catarina, 1991, 26 p.

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE QUATERNARY, Curitiba, 1975. *Topics for discussion*, Curitiba, Universidade Federal do Paraná, 1975 (Boletim Paranaense de Geociências, nº. 33). Editado por BIGARELLA, J. J. e BECKER, R. D.

IIDA, T.; OKUNISHI, K. Development of Hillslopes due to Landslide. *Z. Geomorph.* Berlin-Stuttgart, Supplementband 46, 1983. p. 67-77.

KLEIN, R. M. *Mapa Fitogeográfico do Estado de Santa Catarina*. Itajaí, ed. por p. Raulino Reitz, 1978, 164 p.

McFADDEM, L. D.; KNUEPFER, P. L. K. Soil Geomorphology: the linkage of pedology and surficial process. *Geomorphology*, 03, 1990. p. 197-205.

MEIS, M. R. M.; MOURA, J. R. S. Upper Quaternary Sedimentation and Hillslope Evolution: Southeastern Brazilian Plateau. *American Journal of Science*, nº. 284, p. 241-254, 1984.

MONDENESI, M. C. Quaternary Mass Movements in a Tropical Plateau (Campos do Jordão, São Paulo, Brasil). *Z. Geomorph. N. F.*, nº. 32(4), Berlin-Stuttgart, p. 425 - 440, dez/1988.

MOYERSONS, J. Slumping and Sliding on Hill-Slopes in Rwanda. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 6, p. 265-274, 1981.

- MOYERSONS, J. The Complex Nature of creeps movements on steeply Sloping ground in Southern Rwanda. *Earth Surface Processes and Landforms*, vol. 13, p. 511-524, 1988.
- OLIVEIRA, M. A. T. *Morphologie des versants et ravinements: héritages et morphogénèse actualle dans une région de socle tropical. Le cas de Bananal, São Paulo, Brésil.* Universidade de Paris IV-Sorbonne, Paris, França, 1992. 401 p. Tese de Doutorado.
- OLIVEIRA, M. A. T. *Towards the Integration of Subsurface fow and Overland flow on Gully Head Extension: issues from a conceptual model for gully evolution.* Artigo submetido ao South African Journal of Geography, setembro de 1996.
- OLIVEIRA, M. A. T.; MEIS, M. R. M. Relações entre Geometria do Relevo e Formas de Erosão Linear Acelerada (Bananal, SP). São Paulo, *Geociências*, n.º. 4, p. 87-99. 1985.
- OLIVEIRA, M. A. T.; SBRUZZI, G. J.; PAULINO, L. A. Taxas de Erosão Acelerada por Voçorocas no Médio Vale do Rio Paraíba do Sul. In: VI Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada. *Anais...*, vol. I, Goiânia, 1995. p.
- PELLERIN, J. (Coord.). Relatório de Campo da Disciplina Pedologia de Áreas Tropicais e Subtropicais - GCN 3338, Curso de Pós-Grad. em Geografia - Universidade Federal de Santa Catarina, 1º Semestre de 1995.
- PELLERIN, J.; BELTRAME, A.; BOULET, R.; LUIZ, E. L.; OLIVEIRA, M. A. T.; QUEIROZ-NETO, J. P. Organização e evolução pedológica e geomorfológica das coberturas de alteração sobre migmatitos no Vale do Inferninho, Município de Biguaçu, SC. In: Seminário de avaliação e de programação da cooperação franco-brasileira sobre análise estrutural da cobertura pedológica. *Resumos*. São Paulo/Paraná, FFLCH/USP., pág. 151-154. 1995.
- PELLERIN, J.; DUARTE, G. M.; SCHEIBE, L. F.; MENDONÇA, M.; BUSS, M. D.; MONTEIRO, M. A. A Enxurrada Catastrófica de 23-24/12/1995 no Sul de Santa Catarina. 3ª. Reunião Especial da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC), *Caderno de Resumos*, Florianópolis, maio/1996. p. 395-96.

- PELLERIN, J.; HELLUIN, M. Análise Estrutural e Organização das Paisagens: as pesquisas visando a generalização cartográfica. In: XXI CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DO SOLO. *Anais...*, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, p. 455 - 463, 1988.
- PELLERIN, J.; QUEIROZ-NETO, J. P. Morfogênese e Pedogênese no Córrego da Invernada (Marília, SP). III Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário - ABEQUA, *Anais...*, Belo Horizonte, 1993, p.111-122.
- ROMITO ALMEIDA, H. *Aspectos da Instabilidade das Encostas nas Regiões Tropicais (Movimentos de Massa)*. Rio de Janeiro, Comissão Permanente de Defesa Civil (C.P.D.C.). 46 p. s.d.
- RUELLAN, A. Contribuição das Pesquisas em Zona Tropical ao Desenvolvimento da Ciência do Solo. XXI CONGRESSO BRASILEIRO DA CIÊNCIA DO SOLO. *Anais...*, Campinas, Sociedade Brasileira da Ciência do Solo, p. 405 - 414, 1988.
- RUHE, R. V. *Geomorfology: geomorphic process and surficial geology*. Boston, Houghton Mifflin Company, 1975. 219 p.
- SANTA CATARINA. GABINETE DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL. SUBCHEFIA DE ESTATÍSTICA, GEOGRAFIA E INFORMÁTICA. *Atlas de Santa Catarina*. Rio de Janeiro, Aerofoto Cruzeiro do Sul, 1986. 173 p.
- SALOMÃO, F. X. de T. *Processos erosivos em Baurú (SP)*. Regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural. Dp<sup>10</sup>. de Geografia Física, USP, São Paulo, 200p. Tese de Doutorado
- SANTOS, L. A.; GUIMARÃES, R. B. Infiltração Vertical em Solos Insaturados: frente de saturação ou umedecimento. 1<sup>a</sup> Conferência Brasileira Sobre Estabilidade de Encostas- 1<sup>a</sup> COBRAE. *Anais...* Rio de Janeiro, nov. 1992. p. 631-645.
- SELBY, M. J. *Hillslope Materials & Processes*. New York, Oxford University Press, 1982. 264 p.

- TERZAGHI, K. *Mecanismo dos Escorregamentos de Terra*. (Trad. de E. Pichler), Escola Politécnica/USP, 1952. 43 p.
- THOMAS, M. F. *Geomorphology in the Tropics*. A study of weathering and denudation in low latitudes. West Sussex, John Wiley & sons Ltd., 1994. 460 p.
- THORNBURY, W. D. *Princípios de Geomorfologia*. Buenos Aires, Kapelusz, 1960.
- TRAININI, D. R. *et al. Projeto Vidal Ramos-Biguaçu*. Porto Alegre, CPRM, V.1, 1978.120 p.
- TESSIER, D. *Organisation des Sols et Sensibilite ou Compactage: resultats experimentaux et elements de modelisation*. Palestra no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, agosto de 1996.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA. *Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de Santa Catarina*. Santa Maria, SUDESUL, 1973.
- WOLFF, R. A. *Recursos Naturais e Pequena Produção Rural em Sorocaba de Dentro e Amâncio (Biguaçu/SC)*. Florianópolis, Programa de Pós-Graduação em Geografia/UFSC, 1995. 151 p. Dissertação de Mestrado.
- WOLLE, C. M.; CARVALHO, C. S. Deslizamentos em Encostas na Serra do Mar - Brasil. *Solos e Rochas*, vol. 12, n° único, 1989. p. 27-36.
- VARGAS, M. *Introdução à Mecânica dos Solos*. São Paulo, Mac-Hill, 1977. 509 p.

**ANEXOS:****1 - Descrições de Furos de Sondagens, da Parede da Cicatriz e das Paredes das Trincheiras 1, 2 e 3.****PONTO 12:**

Localização: meio da vertente, segmento íngreme.

0 - 05 cm: mat. de cor 10 YR 3/2, areno-argiloso, com areia lavada.

05 - 50 cm: mat. de cor 7.5 YR 5/6, textura argilo-arenosa.

50 - 1,20 m: mat. mais argiloso de cor 5 YR 5/8.

1,20 - 1,30 m: idem, porém mat. ligeiramente mais vermelho.

1,30 - 1,40 m: idem, porém com lito-reliquias vermelhas e presença de pequenas manchas amarelas.

1,40 - 1,50 m: a cor do fundo do mat. muda para 2.5 YR 4/8.

1,60 - 1,70 m: idem, porém presença de manchas violáceas

1,70 - 1,80 m: matriz de 2.5 YR mais homogênea, com fragmentos de quartzo e feldspato.

1,80 - 2,20 m: mat. com a mesma cor do anterior, porém com presença de menos lito-reliquias, com grãos de quartzo grosso e mais argiloso.

2,20 - 2,40 m: idem, porém presença de mais lito-reliquias e grãos de feldspato alterado.

2,40 - 2,50 m: mat. siltico-arenoso, mais avermelhado e com presença de mica.

2,50 - 2,60 m: mat. de rocha alterada com estrutura conservada areno-siltoso.

2,60 - 3,00 m: idem com presença de manganês.

3,00 - 4,00 m: mat. areno-siltoso.

**PONTO 20:**

Localização: planície, próximo a base da cicatriz.

0 - 0,5 cm: mat. argilo-siltoso de cor 10 YR 4/2, com manchas ferruginosas ao longo das raízes.

0,5 - 15 cm: mat. mais siltoso de cor 5 Y 6/1, com presença de manchas ferruginosas contrastadas de cor 5 YR 5/8.

15 - 40 cm: mat. argilo-siltoso, de cor 2.5 Y 7/2, com presença de manchas ferruginosas de cor 2.5 YR 5/8.

40 - 50 cm: mat. pouco mais arenoso, cor idem, porém manchas vermelhas são mais importantes, muito úmido.

50 - 60 m: idem a textura, porém a cor passa para mais azulada 5B 7/1.

60 - 80 cm: idem a cor, porém a textura volta ser argilo-siltosa.

80 - 1,00 m: mat. de textura bem arenosa ( areia fina), com presença de mica e cor cinza-azulado 5G 6/1.

1,00 - 1,10 m: mat. de textura areia fina, com cor bruno-amarelada com manchas mais avermeladas.

1,10 - 1,20 m: idem, porém com água livre.

1,20 - 1,30 m: mat. de textura areia fina pura de cor bruno-amarelada.

1,30 - 2,00 m: mat. de textura areia fina e cor mais clara.

2,00 - 2,40 m: mat. de textura arenosa sem consistência e de cor mais bruna.

2,40 - 3,70 m: mat. de textura areia grossa e cor acinzentada.

3,70 - 4,00 m: idem, porém com presença de veios de manganês no material arenoso.

**PONTO 05:**

Localização: topo da vertente, próximo da parede da cicatriz.

0 - 10 cm: mat. areno-argiloso de cor 10 YR 3/3, com areia lavada.

10 - 30 cm: mat. argilo-arenoso de cor 7.5 YR 5/6.

30 - 40 cm: idem, porém mat. mais úmido.

40 - 70 cm: a cor muda para 7.5 YR 5/8.

70 - 1,10 m: idem, porém com presença de traços de manganês.

1,10 - 1,20 m: idem, porém a cor é ligeiramente mais bruna.

1,20 - 1,50 m: a cor se define para 5 YR 5/8.

1,50 - 1,80 m: idem, porém com presença de fragmento de rocha alterada com 0,5 cm de diâmetro.

1,80 - 1,90 m: idem, porém a cor do fundo muda para 7.5 YR 5/8.

1,90 - 2,00 m: passagem brutal para material de textura siltico-argilosa.

2,00 - 2,10 m: mat. de textura siltico-argilosa e cor 2.5 YR 5/8, presença de muitos fragmentos de rocha alterada, alguns grãos de feldspato alterado e manchas amarelas.

2,10 - 2,50 m: idem, porém matriz mais homogênea.

2,50 - 2,60 m: presença de manchas brancas de feldspato alterado.

2,60 - 2,70 m: mat. de textura um pouco mais arenosa.

2,70 - 2,80 m: mat. de rocha alterada com estrutura conservada, bem arenoso e com cores variegadas, cor da matriz é violácea.

2,80 - 3,00 m: pequeno bloco de rocha alterada.

3,00 - 3,20 m: idem mat. de 2,70 m.

#### PONTO 07:

Localização: terço inferior da vertente, no interior da cicatriz.

0 - 10 cm: mat. argilo-arenoso de cor 5 YR 4/3, com presença de manchas mais vermelhas e amarelas.

10 - 20 cm: mat. argilo-arenoso, com manchas escuras 10 YR 3/4 no interior da matriz 5 YR 4/3.

20 - 30 cm: mat. de cor mais homogênea, 5 YR 5/8, mais argiloso e com presença de lito-reliquias de cor 2.5 YR 4/8. Mat. fácil de penetrar com o trado.

30 - 40 cm: idem.

40 - 50 cm: idem, porém mat. com cor de fundo ligeiramente mais amarela.

50 - 70 cm: idem, porém mat. mais úmido.

70 - 80 cm: idem, porém a cor se define para 7.5 YR 7/8 e aumenta a presença de lito-reliquias.

80 - 90 cm: idem, porém maior quantidade de grãos de feldspato e quartzo.

90 - 1,00 m: mat. de textura argilo-arenosa, com areia grossa de quartzo e feldspato, cor ligeiramente mais vermelha. Continua úmido.

1,00 - 1,10 m: mat. avermelhado, areno-argiloso, com mais fragmentos de rocha alterada.

1,10 - 1,20 m: idem, porém manchas 2.5 YR 4/8 na matriz.

1,20 - 1,40 m: idem.

1,40 - 1,50 m: idem, porém presença de manchas amarelas.

1,50 - 1,60 m: manchas amarelas se ampliam.

1,60 - 1,70 m: mat. argilo-arenoso com muitas lito-reliquias e cor de fundo 7.5 YR 5/8.

1,70 - 2,10 m: idem.

2,10 - 2,20 m: mat. mais compacto, mais avermelhado, argilo-siltoso e com cor de fundo 2.5 YR 5/8.

2,20 - 2,30 m: idem, porém presença de manchas mais amarelas.

2,30 - 2,40 m: mat. mais avermelhado.

2,40 - 2,50 m: mat. mais arenoso, com lito-reliquias.

2,50 - 2,70 m: idem, porém mat. mais úmido.

2,70 - 2,80 m: a cor do fundo passa para ligeiramente mais bruna.

2,80 - 2,90 m: mat. mais amarelado.

2,90 - 3,30 m: bloco de rocha pouco alterada dentro da matriz bruna, textura areno-argilosa.

3,30 - 3,40 m: mat. argilo-arenoso, com matriz de cor 7.5 YR 5/8 e manchas violáceas.

3,40 - 3,60 m: presença de bloco de rocha alterada.

3,60 - 4,10 m: mat. areno-argiloso a areno-siltoso, com muita mica, quartzo e feldspato, cor de fundo amarelada 7.5 YR 7/8 ou 10 YR 7/8.

4,10 - 4,20 m: mat. mais homogêneo, de textura argilo-arenosa e cor amarela.

4,20 - 4,30 m: idem, porém presença de maior quantidade de lito-reliquias pouco alteradas.

4,30 - 4,40 m: idem, maior quantidade de lito-reliquias.

4,40 - 4,50 m: mat. mais argiloso, com areia grossa e cor 7.5 YR 5/8, menor quantidade de lito-reliquias.

4,50 - 4,70 m: idem, com presença de manchas violáceas.

4,70 - 4,80 m: idem a textura, porém presença também de manchas amarelas na matriz mais avermelhada.

4,80 - 4,90 m: idem, muitas manchas amarelas e vermelhas.

4,90 - 5,00 m: idem, mat. continua úmido.

5,00 - 5,10 m: idem, com presença de lito-reliquias.

5,10 - 5,20 m: mat. mais homogêneo de cor 7.5 YR 7/8, continua úmido. Água livre.

#### PONTO 23:

Localização: terço superior da vertente.

0 - 10 cm: mat. areno-argiloso de cor 7.5 YR 3/4.

10 - 20 cm: mat. bifase, argilo-arenoso de cores 7.5 YR 3/4 e 7.5 YR 5/6.

20 - 40 cm: mat. argilo-arenoso de cor 7.5 YR 5/6.

40 - 50 cm: mat. argilo-arenoso de cor 5 YR 5/8.

50 - 1,50 m: idem.

1,50 - 1,90 m: mat. mais arenoso, com cor ligeiramente mais vermelha.

1,90 - 2,00 m: mat. areno-siltoso de cor bifásica: 5 YR 5/8 e 2.5 YR 5/8, presença de lito-reliquias com quartzo.

2,00 - 2,80 m: idem, porém cor progressivamente mais vermelha.

2,80 - 2,90 m: mat. muito siltoso de cor muito vermelha 2.5 YR 3/4, compacto e muito seco, com muitas relíquias da rocha alterada com estrutura conservada e manganês.

2,90- 3,00 m: idem, porém presença de manchas de cor ocre ou amarelo-avermelhado.

3,00 - 3,10 m: Rocha alterada com estrutura conservada, porém com mat. muito fino (siltoso) e muito vermelho-amarelado. Filão de alteração de origem mais máfico ?? Paleossoma ???

#### PONTO 49:

Localização: terço médio da cicatriz.

0 - 20 cm: mat. areno-argiloso de cor 7.5 YR 3/2.

20- 25 cm: mat. de cor mais bruna, 5 YR 5/4.

25 - 30 cm: idem, porém cor passa para 5 YR 5/8.

30 - 40 cm: mat. argilo-arenoso de cor 5 YR 5/8.

40 - 50 cm: idem, porém presença de pequeno fragmento de rocha alterada na matriz, mat. pouco mais arenoso, úmido.

50 - 1,70 m: idem ao mat. de 40 cm.

1,70 - 1,90 m: presença de um fragmento de rocha alterada na matriz da descrição anterior.

1,90 - 2,10 m: mat. mais amarelado e arenoso.

2,10 - 2,20 m: mat. argilo-arenoso, de cor 5 YR 5/8.

2,20 - 2,35 m: mat. argilo-siltoso a siltico-argiloso, com cor não homogênea: amarela, violácea, vermelha.

2,35 - 2,45 m: presença de um fragmento de rocha alterada.

2,45 - 2,80 m: mat. com aspecto de rocha alterada com estrutura conservada.

2,80 - 2,90 m: mat. com matriz de cor mais bruna, areno-argiloso.

2,90- 3,30 m: idem, porém presença de um pequeno fragmento de rocha alterada com quartzo e feldspato.

3,30 - 3,40 m: mat. areno-argiloso, quase sem feldspato alterado e com cor 5 YR 5/8.

3,40 - 3,55 m: idem, porém com presença de lito-reliíquias.

3,55 - 3,70 m: presença de um bloco de rocha alterada.

3,70 - 3,80 m: mat. arenoso de cores vermelha e amarela.

3,80 - 4,00 m: mat. de cores vermelha e amarela e textura argilo-arenosa a argilo-siltosa.

4,00 - 4,20 m: mat. com cor mais homogênea e com muita mica.

4,20 - 4,50 m: atravessando um bloco de rocha alterada.

4,50 - 5,10m: mat. mais amarelo, argilo-siltoso a siltico-argiloso.

#### \* Tradagem no topo da cicatriz:

0 - 10 cm: horizonte orgânico cor 7,5 YR 5/8, textura areno-argilosa com areia média, presença de raízes.

10 - 1,30 m: volume de cor 10 YR 5/4, textura argilosa a muito argilosa, com presença de grãos de quartzo finos.

1,30 - 2,00 m: volume de cor 7,5 YR 6/6, textura areno-argilosa, apresentando fragmentos de rocha.

2,00-2,30 m: volume de 2,5 YR 5/8, textura argilosa, com fragmentos de rocha alterada, passando para siltico-argiloso, a medida que aumenta a profundidade.

2,30 - 3,00 m: alteração da rocha com estrutura conservada, apresentando variação de cor a medida que se aprofunda a tradagem.

#### \* Descrições da parede da cicatriz (fotos 13, 14 e 16):

##### Ponto 1:

0 - 24 cm: Volume com matéria orgânica de cor 10 YR 5/4 entre 0 - 13 cm, passando para 7,5 YR 5/6 até 24 cm. Horizonte de textura argilo-arenosa, com presença de grãos de quartzo de finos a grossos, estrutura poliédrica sub-angular, porosidade tubular e fissural, presença abundante de raízes de gramíneas, com transição bem definida para o volume subsequente.

24 - 53 cm: volume de cor 5 YR 5/6 a 5/8, textura areno-argilosa, grãos finos de quartzo, estrutura poliédrica, porosidade tubular e fissural, presença de raízes em decomposição, com transição bem definida para o volume seguinte.

53 - 80 cm: volume de 2,5 YR 5/8, textura areno-argilosa, presença de areia grossa, porosidade fraca, estrutura poliédrica, transição bem definida através da cor.

80 - 2,82 m: rocha alterada de tonalidade 7,5 YR 6/6, textura siltico-argilosa, estrutura maciça, porosidade tubular, evidência do trabalho de formigas, presença de raízes, transição bem definida.

2,82-3,38 m: bloco alterado de rocha escura e textura muito fina de + ou - 30 cm de diâmetro, cor 7,5 YR 5/8, estrutura maciça, textura argilo-siltosa, presença de muito manganês. Realizou-se perfuração horizontal, verificando-se tratar-se de bloco interpenetrado em matriz de migmatito.

abaixo de 3,38 m: rocha alterada com estrutura conservada de cor 2,5 YR 4/6, estrutura maciça, textura siltico-argilosa, passando para siltico-arenosa a arenosa. Presença de concentrações de manganês e galerias com aproximadamente 2,0 cm de diâmetro, originárias de raízes decompostas e uma outra de aproximadamente 8,0 cm de diâmetro, proveniente de formigueiro ativo.

#### Ponto 2:

0 - 3cm: Material superficial de cor 10YR 3/3, arenoso, pouco úmido, presença de fendas ( até 5mm ), com matéria orgânica, transição gradual.

3 -20 cm: cor 10YR 4/4, areno-argiloso com lixiviação evidente, presença de fendas por onde desce material do horizonte superior, macro-estrutura prismática bem definida de aproximadamente 6 a 10 cm, bastante poroso, forte presença de raízes, transição gradual.

20 - 40 cm: cor 10YR 5/6, argilo/arenoso, úmido, camada com presença de material do volume superior penetrando através de fissuras que chegam a medir 80cm, porosidade muito grande em decorrência de atividade biológica (galerias tubulares provenientes do sistema radicular de até 4 cm de diâmetro), transição gradual.

40 - 1,20 m: cor 7,5 YR 4/6, argilo/arenoso, úmido, volume com agregados de 1 a 2 cm, forte porosidade decorrente de ação biológica (galerias tubulares provenientes do sistema radicular com até 5 cm de diâmetro, com média aproximada de ocorrência de 17 por m<sup>2</sup>), estrutura bem definida em agregados de forma poliédrica, presença de material mais avermelhado possivelmente transportado por animais (formigas), transição gradual.

1,20 - 2,10 m: cor 5YR 5/8 não muito definida, aparecendo manchas mais amareladas, areno/argiloso, muito úmido, estrutura bem definida em agregados de até 1 cm com forma poliédrica; forte porosidade, presença de raízes, galerias (na parte superior) grãos de quartzo, feldspato alterado e manganês (com maior incidência na parte inferior). Aparece uma faixa de material mais resistente (filão alterado), com direção geral de 70° leste, com mergulho ( inclinação ) de 42°. Transição gradual.

2,10 m: cor 2,5 YR 5/8, material muito grosso que preserva características da rocha matriz. Aparecem faixas de material mais resistente como na camada anterior, em intervalos regulares.

#### Descrições das Trincheiras abertas no terço superior da vertente:

##### Trincheira 1:

0 - 10 cm: mat. bruno-escuro de cor 10YR 3/3 a 3/2, textura areno-argilosa com areia grossa lavada, possui estrutura poliédrica muito fina ou grumosa e forte porosidade inter-agregados fornecida principalmente por atividade biológica (em especial, por raízes).

10 - 45 cm: mat. bifásico de cores 10YR 3/2 e 7,5YR 5/8, textura mais argilosa. Mat. do horizonte superficial (argila com areia grossa e média) penetra nos poros inter-agregados. Apresenta estrutura poliédrica fina com forte porosidade tubular (poros de 3 a 4 mm de diâmetro) e fissural, presença de muitas raízes.

45 - 70 cm: mat. bruno-amarelado (7,5YR 5/6), textura argilo-arenosa com menor quantidade de areia, estrutura poliédrica fina, com porosidade fissural e tubular de origem biológica, úmido.

70 - 2,40 m: mat. bruno-avermelhado (5YR 5/8), textura argilo-arenosa, com areia grossa, presença de um veio formado por blocos de quartzo no seu interior que começa a 1,40 m de profundidade e vai até 2,40 m. Possivelmente isto é o resultado de um filão localizado de quartzo mais resistente, característico da grande heterogeneidade da rocha matriz deste solo. A estrutura da matriz 5YR é poliédrica grossa (agregados entre 1 cm até 1,5 cm) aliada a uma sub-estrutura mais fina (agregados em torno de 0,5 cm), possuindo porosidade fissural e pouca porosidade tubular. Apresenta-se úmido.

Através de tradagem foi possível observar que este volume vai até a profundidade de 2,70 m, sendo seguido do volume 2,5 YR 5/8 a 6/8. A rocha alterada com estrutura conservada foi encontrada a 3,60 m, apresentando textura muito fina e cor muito amarela-avermelhada, com muito manganês.

##### Trincheira 2:

Apresenta a mesma descrição da T1, pois foi aberta ao lado desta, contudo não apresentou os blocos de quartzo no volume 5YR 5/8.

##### Trincheira do interior da cicatriz - Perfil lateral (foto 15)

Vol. A: 0 - 5 cm - cor 7,5YR 4/6; leve hidromorfia em torno das raízes; textura argilosa com areia média (grãos de quartzo de aproximadamente 1mm); presença de cascalho de rocha alterada (1,5 a 2 cm); estrutura poliédrica arredondada (0,5 a 2,0 cm); presença de carvão vegetal; porosidade inter-agregados e galerias biológicas com forte presença de raízes; contato claro.

Vol. B: 5 - 10 cm - cor 7,5YR 5/6 e 10YR 5/6; parte superior levemente mais escura (7,5YR 4/4); leve hidromorfia em torno das raízes; textura argilosa com areia média (com grãos de quartzo de até 2 mm); presença de traços de manganês; estrutura forte poliédrica angular (maior que no horizonte superior); porosidade inter-agregados e galerias biológicas; presença de raízes; contato difuso.

Vol. C: 10 - 20 cm - cor 5YR 5/8; textura média (argilo-siltosa com muito areia grossa); presença de concreções de manganês (0,3 a 1 cm) e de feldspato; estrutura poliédrica arredondada (0,5 a 1,5 cm); porosidade inter-agregados e biológica; contato nítido.

Vol. D: 20 - 30 cm - cor 10YR 4/3; textura argilosa com areia grossa; presença de quartzo em menor quantidade, relíquias de manganês no contato com o volume superior; estrutura forte, poliédrica (0,5 a 3 cm), super-estrutura prismática; porosidade inter-agregados e biológica; presença de raízes; contato claro.

Vol. E: 30 - 50 cm - cor 7,5YR 5/8 não homogênea; textura muito argilosa com areia grossa (muitos grãos de quartzo entre 1 e 2 mm); estrutura forte, poliédrica sub-angular (2 a 3 cm); porosidade inter-agregados e tubular intra-agregados; nas fissuras há penetração de material mais escuro (matéria orgânica); presença de muitas raízes finas; contato claro.

Vol. F: 50 - 65 cm - cor 2,5YR 5/8; textura argilo-siltosa; presença de areia grossa e muita mica; presença de rocha alterada (6 cm) e concreções de manganês; estrutura poliédrica arredondada pouco marcada (menos que nos horizontes superiores); porosidade tubular bem desenvolvida; contato claro

Vol. G: - prof. variável (55 - 70 cm à montante, 70 - 80 cm à jusante) - cor 2,5YR 5/8; textura silto-arenosa, com muitos grãos de quartzo e muito feldspato grosso (particularmente à jusante) e pequenas concreções de manganês; estrutura fraca, angular (0,5 cm); porosidade biológica tubular densa (?); presença rarefeita de raízes finas; contato nítido.

Vol. H: 65 - 85 cm (variável ao longo do perfil) - cor pouco homogênea, 7,5YR 6/8 e manchas 7,5YR 5/8; textura siltico-arenosa; presença de grãos de quartzo, de minerais em decomposição (até 2 cm) e de feldspato; estrutura fraca, sub-angular (0,5 a 1 cm); porosidade tubular biológica; contato claro.

Vol. I: 70 - 1,30 m (variável ao longo do perfil) - cor homogênea 2,5YR 4/8; presença de feldspato, de concreções de manganês (até 5 mm); presença de fantasmas de rocha e de carvão vegetal; textura siltico-arenosa, com grãos de quartzo de até 5 mm; estrutura fraca, poliédrica sub-angular; porosidade tubular intra-agregados e inter-agregados; contato claro.

Vol. J: 1,30 - 1,50 m - presença de uma pequena ramificação no volume superior; cor pouco homogênea 7,5YR 6/8, com pequenas manchas 5YR 5/8; textura siltico-arenosa (um pouco mais argilosa do que a do horizonte superior), com areia grossa e feldspato; estrutura fraca poliédrica sub-angular; porosidade tubular intra-agregados (porosidade menor que no horizonte anterior); contato claro; para jusante o material é bastante misturado com o superior.

Vol. K: 1,50 - 1,90 m - cor 5YR 5/6; textura siltico-arenosa com muita areia grossa, muitos grãos de quartzo e pedras com mais de 10 cm; estrutura fraca, poliédrica sub-angular (1 cm); pouca porosidade tubular intra-agregados; material muito úmido.

\* Sondagem no fundo da trincheira da cicatriz:

1,90 m: 5YR 5/8; argiloso com muita areia grossa.

2,00 m: idem.

2,10 m: 2,5YR 5/8, não homogêneo, com manchas de rocha em decomposição (cor 10YR 6/8); presença de manganês e de feldspato; argiloso com muita areia grossa.

2,20 m: idem.

2,30 m: 7,5YR 5/8; argilo-siltoso, com muitos grãos de quartzo.

2,50 m: idem., com grãos de feldspato.

2,80 m: idem.

3,00 m: 2,5YR 5/8, não homogêneo; aparece material amarelado 10YR 6/8; siltoso, com muita areia grossa e grãos de quartzo até 2 cm; presença de muito feldspato.

3,10 m: cores 10YR 6/8 e 5YR 5/8; argilo-siltoso, com muita areia grossa.

3,30 m: 5YR 5/8; siltico-argiloso, com muita areia grossa.

3,50 m: matriz 7,5YR 5/8 com grandes manchas 5YR 5/8; siltico-argiloso, com muita areia grossa.

3,80 m: 5YR 5/8; siltico-argiloso, com muita areia grossa; reaparecem concreções de manganês.

4,00 m: idem.

4,20 m: idem, aparece a iso- alterita na ponta (?)

4,30 m: iso-alterita, manchas de rocha alterada; cor não homogênea 2,5YR 4/8 e 2,5YR 5/8; material siltico-arenoso com muita areia grossa; presença de manganês e muito feldspato.

4,50 m: 2,5YR 4/8 não homogêneo; pequenas manchas 10YR 6/8; siltico-arenoso, com muitos grãos de quartzo; presença de muito feldspato e muito manganês.

4,80 m: idem.

5,30 m: idem.

5,80 m: 2,5YR 5/6, com muito manganês, muito feldspato, muita areia grossa.

**PONTO G1:**

Localização: 1,0 m à montante da trincheira do interior da cicatriz.

10 cm: 5YR 5/8; material argilo-siltoso, com pouca areia grossa; presença de muitas raízes.

20 cm: 5YR 5/8 não homogêneo; argilo-siltoso, com areia grossa (grãos de quartzo de até 2 mm); presença de manganês.

30 cm: 7,5YR 5/6 (não homogêneo) e 10YR 6/8, com manchas mais escuras (matéria orgânica); argilo-siltoso, com areia grossa, com pouco mais de argila que o horizonte superior.

40 cm: 7,5YR 5/8; material argiloso com areia grossa.

50 cm: 7,5YR 5/8 não homogêneo; com pequenas manchas de rocha alterada, com feldspato e com manganês; material argiloso.

55 cm: 10YR 4/3; argilo-siltoso, com areia grossa e média.

60 cm: 7,5YR 5/8; argilo-siltoso com areia grossa (grãos de quartzo de até 2 mm de diâmetro).

70 cm: 5YR 5/8; argilo-siltoso com areia grossa.

80 cm: 5YR 5/8 não homogêneo; com fragmentos de rocha alterada, com manganês e com feldspato; argilo-siltoso com muita areia grossa (grãos de quartzo maiores que na amostra anterior).

90 cm: idem.

1,00 m: 5YR 5/8 homogêneo; material siltico-argiloso com muitos grãos de quartzo; com mica.

1,10 m: 5YR 5/8 com pequenas manchas 7,5YR 5/8; argilo-siltoso, com muitos grãos de quartzo; com mica.

1,20 m: idem, com um pouco mais de material amarelo.

1,30 m: idem.

1,40 m: 2,5YR 5/8; siltico-argiloso, com muita areia grossa, com pequenos fragmentos de rocha alterada; presença de feldspato e de um pouco de manganês.

1,50 m: 7,5YR 5/8, não homogêneo, com manchas 5YR 5/8; siltico-argiloso com muita areia grossa; muitos fragmentos de rocha alterada (de até 1,5 cm); com manganês e feldspato.

1,60 m: idem.

1,70 m: idem. 5YR 5/8 e 7,5YR 5/8, aumenta a proporção de material vermelho.

1,80 m: idem.

1,90 m: idem.

2,00 m: 2,5YR 5/8 homogêneo, siltico-argiloso, com muitos grãos de quartzo; pequenos fragmentos de rocha alterada.

2,20 m: idem.

2,30 m: 5YR 5/8 e 7,5 YR 6/8; com presença de manchas de rocha alterada; pouco de feldspato e manganês.

2,40 m: 10 YR 6/8; com manganês; argilo-arenoso, com muitos grãos de quartzo.

2,60 m: idem.

2,70 m: material mais vermelho, 7,5YR 5/8; argilo-siltoso, com grãos de quartzo; com pouco manganês, alguns fragmentos de rocha alterada.

2,80 m: idem.

2,90 m: 10YR 6/8 e 5YR 5/8, material mosqueado; aparecem mais manchas de rocha alterada; argilo-siltoso, com muita areia grossa.

3,00 m: idem.

3,60 m: rocha alterada com estrutura conservada.

**PONTO G7:**

Localização: 12,5 m à jusante da trincheira do interior da cicatriz.

15 cm de recobrimento sobre um nível ligeiramente mais escuro.

30 cm: material muito arenoso, com pedaços de rocha alterada.

40 cm: idem, bem arenoso; rocha alterada dentro da matriz argilo-siltosa.

50 cm: 5YR 5/8 homogêneo; argilo-siltoso; presença de muita mica.

60 cm: idem; muita areia grossa.

70 cm: idem; pequenos fantasmas de rocha de até 2 cm.

90 cm - idem; presença de fantasmas de rocha e de manganês.

1,00 m: 2,5YR 5/8; presença de fantasmas de rocha e de manganês.

1,10 m: idem.

1,20 m: idem, um pouco menos vermelho; argilo-siltoso, com muita areia grossa; material muito úmido.

1,40 m: idem, bem úmido.

1,50 m: um pouco mais amarelo.

1,70 m: idem.

1,80 m: bem amarelo, cor não homogênea; pequenas concreções de ferro pouco consolidadas.

1,90 m: ainda mais amarelo, 7,5YR 6/8.

- 2,00 m: 10YR 6/8.  
 2,10 m: contato muito brutal com material violáceo.  
 2,20 m: idem, fragmentos de rocha; com muito feldspato.  
 2,30 m: 5YR 6/8; aspecto de rocha com estrutura conservada.  
 2,40 m: material com aspecto de rocha com estrutura conservada, cor não homogênea 10YR 6/8 e 5YR 6/8; muito arenoso (bloco alterado).  
 2,50 m: idem, sítico-arenoso, com muito feldspato alterado.  
 2,60 m: idem, mais vermelho.  
 2,70 m: pequeno bloco com estrutura conservada.  
 2,80 m: idem, com muita areia grossa.  
 2,90 m: idem.  
 3,00 m: 5YR 5/8; muita areia grossa.  
 3,10 m: idem; muito feldspato.  
 3,20 m: idem; bloco de rocha com estrutura bem conservada.  
 3,30 m: idem; muito feldspato e manganês; tradagem bloqueada sobre bloco resistente.

## 2- Tabelas de Percentuais de Textura dos Perfis Analisados

### ponto 5

| profundidade (m) | cascalho(%) | areia (%) | silte(%) | argila(%) |
|------------------|-------------|-----------|----------|-----------|
| 0,1              | 00,41       | 43,59     | 30,00    | 26,00     |
| 0,2              | 02,50       | 39,50     | 29,00    | 29,00     |
| 0,5              | 02,00       | 38,00     | 20,00    | 40,00     |
| 1,0              | 01,00       | 34,00     | 19,00    | 46,00     |
| 1,5              | 01,07       | 32,93     | 20,00    | 46,00     |
| 2,0              | 01,20       | 33,80     | 33,00    | 32,00     |
| 2,5              | 03,10       | 42,90     | 31,00    | 23,00     |
| 3,0              | 02,14       | 42,86     | 33,00    | 22,00     |
| 3,5              | 03,56       | 57,44     | 24,00    | 15,00     |
| 4,0              | 02,80       | 51,20     | 37,00    | 09,00     |
| 4,5              | 03,15       | 57,85     | 32,00    | 07,00     |
| 5,0              | 03,20       | 57,80     | 32,00    | 07,00     |

### PONTO 12

| profundidade (m) | cascalho(%) | areia (%) | silte(%) | argila(%) |
|------------------|-------------|-----------|----------|-----------|
| 0,1              | 00,41       | 33,54     | 30,06    | 36,00     |
| 0,2              | 02,67       | 28,97     | 20,39    | 47,97     |
| 0,5              | 03,37       | 25,45     | 18,48    | 52,71     |
| 1,0              | 01,05       | 17,77     | 19,07    | 62,12     |
| 1,5              | 01,91       | 25,51     | 23,77    | 48,81     |
| 2,0              | 02,91       | 30,73     | 42,76    | 23,60     |
| 2,5              | 04,06       | 36,00     | 41,72    | 18,22     |
| 3,0              | 03,56       | 53,92     | 32,58    | 09,93     |
| 3,5              | 02,14       | 57,59     | 33,01    | 07,26     |
| 4,0              | 00,08       | 29,84     | 56,28    | 013,8     |
| 4,5              | 01,25       | 49,50     | 40,36    | 08,89     |
| 5,0              | 02,30       | 54,54     | 36,48    | 06,68     |

## ponto 23

| profundidade (m) | cascalho(%) | areia (%) | silte(%) | argila(%) |
|------------------|-------------|-----------|----------|-----------|
| 0,1              | 01,01       | 34,08     | 40,17    | 24,74     |
| 0,2              | 00,77       | 32,19     | 37,55    | 29,48     |
| 0,5              | 01,44       | 19,67     | 21,07    | 57,82     |
| 1,0              | 00,19       | 16,29     | 24,12    | 59,41     |
| 1,5              | 00,33       | 14,90     | 19,49    | 65,29     |
| 2,0              | 05,15       | 20,91     | 37,72    | 36,23     |
| 2,5              | 03,73       | 30,21     | 43,17    | 22,88     |
| 3,0              | 02,72       | 26,32     | 44,37    | 26,58     |

## PONTO 25

| profundidade (m) | cascalho(%) | areia (%) | silte(%) | argila(%) |
|------------------|-------------|-----------|----------|-----------|
| 0,5              | 01,42       | 24,70     | 16,98    | 56,90     |
| 1,0              | 00,63       | 22,46     | 17,50    | 59,42     |
| 1,5              | 00,31       | 21,02     | 12,56    | 66,10     |
| 2,0              | 01,12       | 21,08     | 13,92    | 63,88     |

## Ponto 4

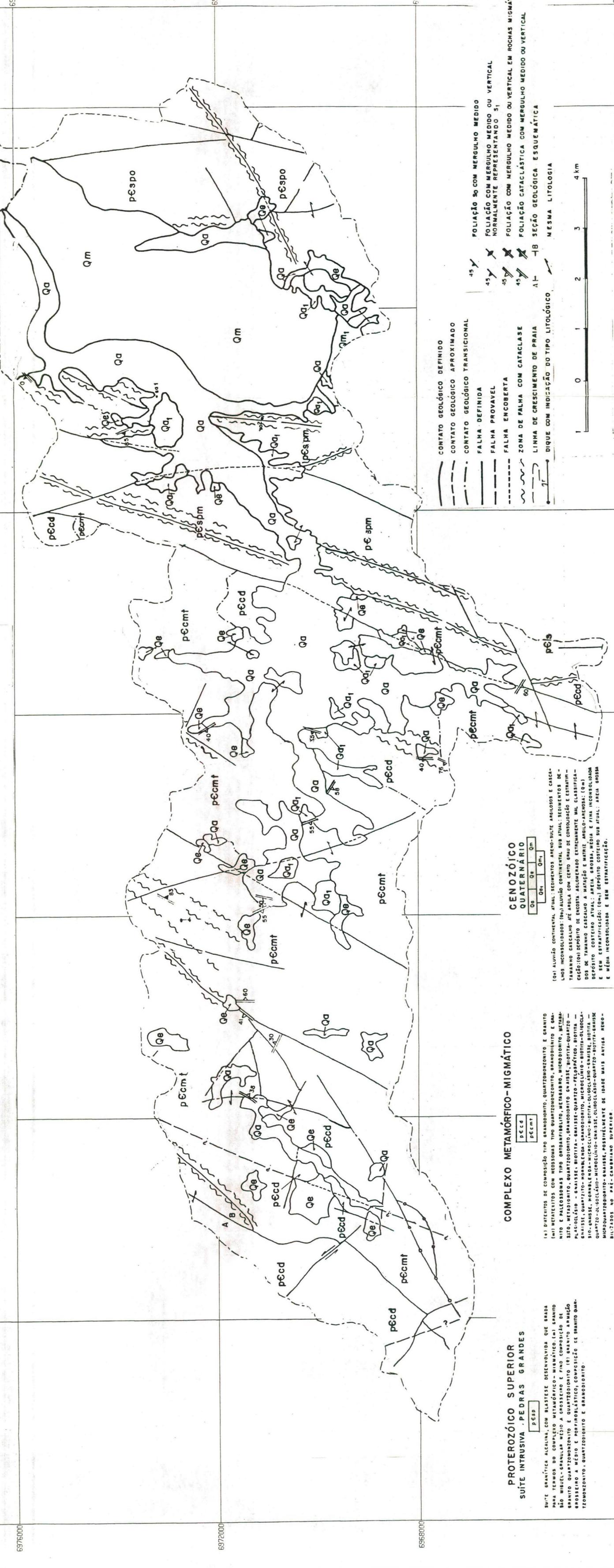
| profundidade (m) | cascalho(%) | areia (%) | silte(%) | argila(%) |
|------------------|-------------|-----------|----------|-----------|
| 0,1              | 01,42       | 43,15     | 30,49    | 24,94     |
| 0,2              | 00,87       | 42,40     | 42,47    | 14,26     |
| 0,5              | 00,28       | 26,20     | 23,02    | 50,49     |
| 1,0              | 00,63       | 42,00     | 34,24    | 23,13     |
| 1,5              | 02,31       | 37,13     | 29,83    | 30,73     |
| 2,0              | 00,65       | 37,29     | 21,52    | 40,54     |
| 2,5              | 02,00       | 42,30     | 28,40    | 27,30     |
| 3,0              | 01,22       | 48,05     | 37,17    | 13,56     |
| 3,5              | 01,29       | 38,47     | 26,68    | 33,56     |
| 4,0              | 01,40       | 39,80     | 33,45    | 25,35     |
| 4,5              | 01,70       | 47,30     | 38,50    | 12,50     |
| 5,0              | 02,11       | 49,71     | 41,33    | 06,85     |

## ponto 7

| profundidade<br>(m) | cascalho(%) | areia (%) | silte(%) | argila(%) |
|---------------------|-------------|-----------|----------|-----------|
| 0,1                 | 00,68       | 42,52     | 34,72    | 22,08     |
| 0,2                 | 01,09       | 33,96     | 36,45    | 28,50     |
| 0,5                 | 01,63       | 33,46     | 22,32    | 42,60     |
| 1,0                 | 02,95       | 53,23     | 26,61    | 17,21     |
| 1,5                 | 00,79       | 29,13     | 21,46    | 48,61     |
| 2,0                 | 01,89       | 32,05     | 30,06    | 36,00     |
| 2,5                 | 01,82       | 38,91     | 24,96    | 34,31     |
| 3,0                 | 03,16       | 41,76     | 22,88    | 32,20     |
| 3,5                 | 04,92       | 50,75     | 23,58    | 20,74     |
| 4,0                 | 01,73       | 53,61     | 21,32    | 23,34     |
| 4,5                 | 01,69       | 35,51     | 36,23    | 26,57     |
| 5,0                 | 04,74       | 44,44     | 22,31    | 28,51     |



# MAPA 02 - GEOLOGIA DA BACIA DO RIO INFERNINHO



## PROTEROZOICO SUPERIOR SUITE INTRUSIVA PEDRAS GRANDES

SUITE GRANÍTICA ALCALINA, COM BLASTESE DESENVOLVIDA QUE BRADA PARA TEMPOS DO COMPLEXO METAMÓRFICO-MIGMÁTICO. (L1) GRANITO MIOCEL-GRANULAR MÉDIO A GROSSO E FINO COMPOSIÇÃO DE GRANITO QUARTZOFONOLITO E QUARTZOFONOLITO (Q1) GRANITO ARMADO GROSSO A MÉDIO E PORFÍRICO, COMPOSIÇÃO DE GRANITO QUARTZOFONOLITO, QUARTZOFONOLITO E GRANODIORITO.

## COMPLEXO METAMÓRFICO-MIGMÁTICO

(L1) QUARTZITOS DE COMPOSIÇÃO TIPO GRANODIORITO, QUARTZOFONOLITO E GRANITO (L2) METACALCINOS TIPO QUARTZOFONOLITO, GRANODIORITO E GRANITO E PALÉSOSSIAS TIPO ORTOAMFIBOLITO, METAGABRO, MICRODIORITO, METASITO, METAGRANITO, QUARTZOFONOLITO, GRANODIORITO, QUARTZOFONOLITO - PLACOCALCÍO - GNÁISSIS, BIOTITA - GRANITE-QUARTZO-FELDSPÁTICO, BIOTITA - GNÁISSIS, QUARTZITO - MORANILINDA - GRANODIORITO, MICROCLÍNICO-BIOTITA - GNÁISSIS, NORMÁLENDIA - GRANODIORITO, MICROCLÍNICO-BIOTITA - GNÁISSIS, QUARTZO - OLIGOCALCÍO - MICROCLÍNICO - GNÁISSIS, OLIGOCALCÍO - QUARTZO - BIOTITA - GNÁISSIS QUARTZO - OLIGOCALCÍO - MICROCLÍNICO - GNÁISSIS, POSSIVELMENTE DE IDADE MAIS ANTIGA REPO- SULTADOS NO PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR.

## CENOZOICO QUATERNÁRIO

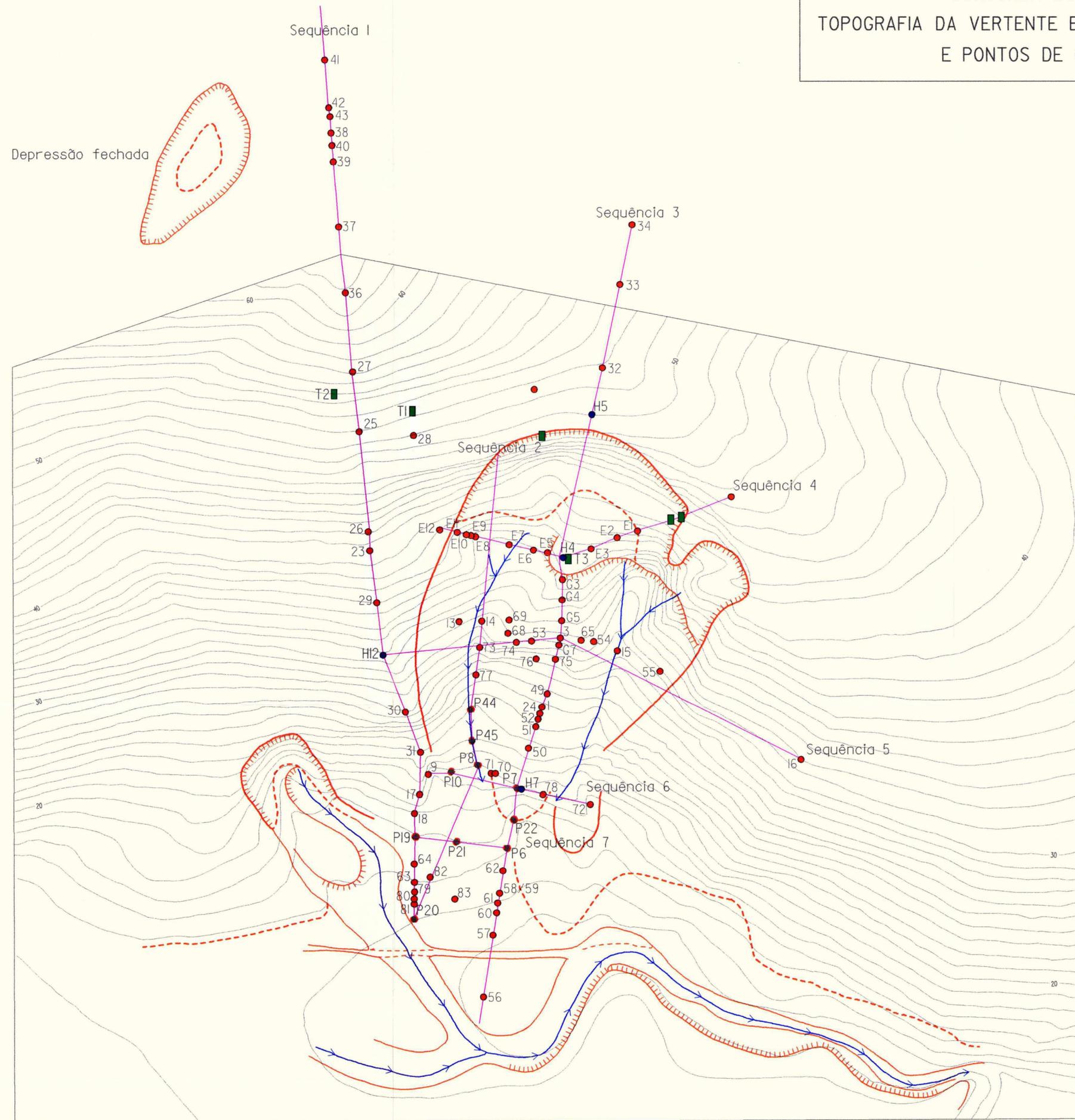
(Qc) ALUVIÃO CONTINENTAL ATUAL: SEDIMENTOS ARENO-SILTOS ARGILOSOS E CASCALHOS INCONSOLIDADOS. (Qa) ALUVIÃO CONTINENTAL SUB ATUAL: SEDIMENTOS DE TAMANHO CASCALHO ATÉ ARELHA COM CERTO GRAU DE CONSOLIDAÇÃO E ESTRATIFICACÃO. (Qa1) DEPÓSITO DE ENCOSTA AGLOMERADO EXTREMAMENTE MAL CLASSIFICADOS DE TAMANHO CASCALHO A MATÃO E MATRIZ ARGILO-ARENOSA. (Qe) DEPÓSITO COSTEIRO ATUAL: AREIA GROSSA, MÉDIA E FINA INCONSOLIDADA E SEM ESTRATIFICACÃO. (Qm) DEPÓSITO COSTEIRO SUB ATUAL: AREIA GROSSA E MÉDIA INCONSOLIDADA E SEM ESTRATIFICACÃO.

- CONTATO GEOLÓGICO DEFINIDO
- - - CONTATO GEOLÓGICO APROXIMADO
- . - CONTATO GEOLÓGICO TRANSICIONAL
- FALHA DEFINIDA
- - - FALHA PROVAVEL
- - - FALHA ENCOBERTA
- - - ZONA DE FALHA COM CATACLASE
- - - LINHA DE CRESCIMENTO DE PRAIA
- DIQUE COM INDICAÇÃO DO TIPO LITOLÓGICO

- 45° FOLIAÇÃO 50 COM MERGULHO MEDIDO
- 45° FOLIAÇÃO COM MERGULHO MEDIDO OU VERTICAL NORMALMENTE REPRESENTANDO 31°
- 45° FOLIAÇÃO COM MERGULHO MEDIDO OU VERTICAL EM ROCHAS MIGMÁTICAS
- 45° FOLIAÇÃO CATACLÁSICA COM MERGULHO MEDIDO OU VERTICAL
- A-B SEÇÃO GEOLÓGICA ESQUEMÁTICA
- MESMA LITOLOGIA



SOROCABA DO SUL / BIGUAÇU - SC  
 TOPOGRAFIA DA VERTENTE E LOCALIZAÇÃO DAS TOPOSEQUÊNCIAS  
 E PONTOS DE COLETAS DE AMOSTRAS



LEGENDA

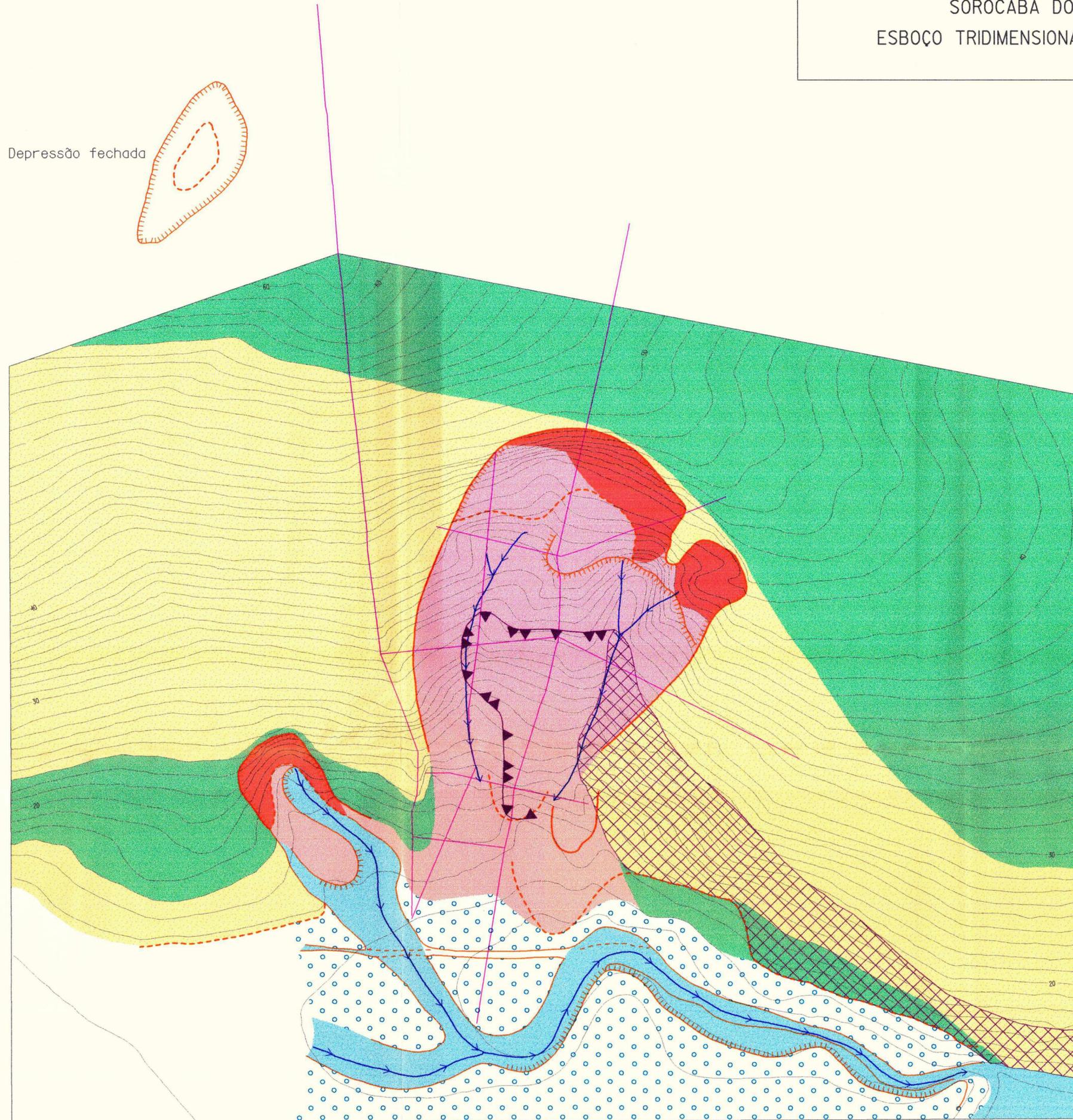
- Piezômetro
- Ponto de Coleta de Unidade Gravimétrica
- Outra Tradagem
- Trincheira
- ▬ Ruptura de Declive Vertical
- ▬ Ruptura de Declive Convexo
- ▬ Ruptura de Declive Côncavo
- ▬ Eixo de Drenagem
- ▬ Toposequência estudada

ESCALA

5m 0 5 10 15m

Equidistância das curvas de nível: 1metro

SOROCABA DO SUL / BIGUAÇU - SC  
 ESBOÇO TRIDIMENSIONAL DAS FEIÇÕES DA VERTENTE



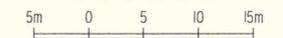
Depressão fechada



LEGENDA

- Vertente sem Terracetes
- Vertente com Terracetes
- Zonas de Deslizamento
- Zonas Reativadas a Partir de nov/91
- Zona Alagada
- Planície Aluvial
- Afloramento Rochoso
- Limite Provável da Rocha com Estrutura Conservada a Menos de 2m de Profundidade
- Ruptura de Declive Vertical
- Ruptura de Declive Convexo
- Ruptura de Declive Côncavo
- Eixo de Drenagem
- Toposequência estudada

ESCALA



Equidistância das curvas de nível: 1metro

Figura n° 05 - Topossequências longitudinais à vertente

